



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI GENOVA



## **Università degli Studi di Genova**

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

### **Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici**

A.A 2014/2015

Campus Universitario di Savona

# **Il ruolo della caviglia e del piede nella catena cinetica dell'arto inferiore**

Candidato:

Simone Pratesi

Relatore:

Andrea Raschi

## SOMMARIO

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. ABSTRACT.....           | 3  |
| 2. INTRODUZIONE.....       | 4  |
| 3. MATERIALI E METODI..... | 6  |
| 4. RISULTATI.....          | 7  |
| 5. DISCUSSIONE.....        | 23 |
| 6. CONCLUSIONE.....        | 28 |
| 7. BIBLOGRAFIA.....        | 30 |

## 1. ABSTRACT

**Background:** Nel corso degli ultimi anni, una biomeccanica alterata di piede e di caviglia è stata individuata come causa delle patologie prossimali per l'arto inferiore. A livello generale gli infortuni da overuse hanno un'eziologia multifattoriale; in particolare si è reso evidente che alcuni di questi, come la tendinopatia achillea, la medial tibial stress syndrome, il dolore femoro-rotuleo e le fratture da stress sono più frequenti in soggetti con un'alterata funzione del piede. I potenziali meccanismi che collegano le variazioni della funzione dinamica del piede con questi infortuni possono essere ricondotti ad alterazioni dei parametri spazio temporali, della cinematica dell'arto inferiore, delle pressioni plantari dinamiche e della cinetica.

**Obiettivi:** Lo scopo dell'elaborato è quindi quello di analizzare, all'interno di un'ottica di "regional interdependence", se esiste una relazione causa-effetto tra la funzione dinamica del piede e le patologie da overuse più frequenti dell'arto inferiore.

**Materiali e Metodi:** E' stata effettuata una revisione della letteratura attraverso il database MedLine. Le parole chiave utilizzate sono state: ankle biomechanics, foot biochemechanics, risk factor e lower limb. La ricerca è stata limitata ai soli record provvisti di abstract in lingua inglese e con full-text accessibile. Non sono state effettuate restrizioni per l'anno di pubblicazione.

**Risultati:** Sono stati considerati 10 studi che rispettavano i vincoli metodologici. Le patologie da overuse studiate sono state: sindrome femoro-rotulea, tendinopatia achillea, sindrome delle bandelletta ileo-tibiale e patologie non specifiche dell'arto inferiore, tra cui fratture da stress e sindrome da stress mediale tibiale. Non sono emerse evidenze univoche riguardo la correlazione tra la funzione dinamica del piede e le patologie da overuse sopracitate.

**Conclusioni:** La revisione degli studi presi in esame non è riuscita ad identificare una chiara relazione causa - effetto tra la funzione dinamica del piede e le patologie dell'arto inferiore. Futuri studi prospettici dovrebbero rivolgersi alle limitazioni metodologiche, evitare di raggruppare differenti patologie dell'arto inferiore nelle analisi, ed esplorare una significativa rappresentazione clinica della funzione dinamica del piede.

## 2. INTRODUZIONE

L'eziologia consiste nello studio e nella ricerca delle cause di un determinato fenomeno. In campo medico l'eziologia indaga i fattori che possono intervenire nell'origine delle malattie, studiandone l'importanza ed i possibili rapporti di interdipendenza. Nelle patologie muscolo-scheletriche è fondamentale studiare quali sono i possibili fattori di rischio per una determinata patologia, se esiste cioè una relazione di causa effetto. Nella ricerca clinica gli studi che meglio rispondono al quesito eziologico sono gli studi osservazionali con disegno prospettico di coorte.

In particolare, nello studio delle cause delle patologie muscolo-scheletriche, la ricerca si confronta con il tema dell'interdipendenza regionale: questo termine identifica il fenomeno per cui il disordine primario del paziente può essere causato o associato a disfunzioni in regioni anatomiche distanti e apparentemente a esso non collegate. Wainner (31) lo definisce come un modello di valutazione che si focalizza prima di tutto sull'*impairment* presente in segmenti prossimali o distali alla sede del dolore che è distinto dal fenomeno del dolore riferito: infatti, disturbi apparentemente non correlati in aree anatomiche lontane, possono contribuire o essere associati alla causa del sintomo del paziente. A livello clinico, non è possibile soffermarsi soltanto sulla sede dell'*impairment*, ma per avere un quadro completo è necessario avere una visione globale delle aree prossimali e distali, specialmente quando l'origine del problema è aspecifica e la dinamica poco chiara.

Il modello biomedico della patologia spesso appare inadeguato per la gestione conservativa dei disordini muscoloscheletrici più frequenti nella pratica clinica del fisioterapista; per questo motivo è necessario considerare altri fattori, e il modello dell'interdipendenza regionale è probabilmente uno di questi.

Nonostante queste premesse e l'evidenza della sua importanza nella ricerca e nella pratica clinica, in letteratura non vi è ancora una terminologia comune che vada a raggruppare tutti quegli studi che analizzano l'influenza di un distretto sugli altri.

Ad oggi, le correlazioni più studiate sono quelle tra l'anca e dolori femororotulei (22), gonartrosi (5), e LPB (2). Questo fenomeno è stato studiato anche per il quadrante superiore: sono state riscontrate evidenze per connessioni tra un trattamento del rachide toracico superiore della colonna in pazienti con dolori e riduzione del movimento a livello cervicale (4) e del cingolo scapolare (25).

Per quanto riguarda in maniera specifica l'arto inferiore, negli anni sono stati indicati molti fattori come responsabili dell'aumento del rischio di infortunio, ad esempio un alto indice di massa

corporea (BMI) (11), il sesso femminile (17) e una meccanica dell'anca alterata (6). In aggiunta a questi, uno dei possibili fattori causali delle patologie dell'arto inferiore è stato ricondotto in letteratura alle alterazioni di piede e caviglia.

Storicamente, una biomeccanica alterata del piede è considerata causare un disallineamento dell'arto inferiore e patologie prossimali trasmesse attraverso una rotazione interna della tibia (28). La ricerca ha suggerito che il movimento in eversione del retropiede corrisponde strettamente con il movimento di rotazione interna della tibia (18), ed è potenzialmente associato alle rotazioni sul piano trasverso dell'anca (24). Sulla base di questo modello di accoppiamento delle articolazioni dell'arto inferiore c'è stato per lungo tempo un legame tra la pronazione del piede e le patologie dell'arto inferiore, incluso il dolore dell'arto inferiore legato all'esercizio (exercise-related lower leg pain), la sindrome da stress tibiale mediale o shin splints e il dolore femoro-rotuleo (11, 21, 16). Dall'altra parte un'eccessiva supinazione del piede è stata collegata a infortuni dell'arto inferiore tramite un meccanismo di eccessiva rigidità (33).

Considerando questo legame ipotizzato tra la postura del piede e l'infortunio dell'arto inferiore, la postura statica del piede è spesso affrontata nel setting clinico, con la convinzione che questa possa fornire indicazioni per interventi biomeccanici attraverso ortesi. I metodi utilizzati come elemento per valutare la postura del piede includono la caduta del navicolare, l'eversione del calcagno a riposo, l'angolo dell'arco longitudinale e il Foot Posture Index (FPI) (29).

Due recenti review hanno valutato la relazione tra la postura del piede e l'infortunio dell'arto inferiore (29, 3). Tong e Kong (29) hanno concluso che entrambi i tipi di piede, sia pronato che supinato, sono associati strettamente con l'infortunio dell'arto inferiore, sebbene la forza di questa relazione sia bassa e gli autori non abbiano fornito una lista di patologie individuali o di misure quantitative dei risultati. Questa review ha considerato inoltre studi che non sono di natura prospettica, elemento che ne limita l'abilità di differenziare tra la causa e l'effetto. La revisione narrativa di Chuter e Janse de Jonge (3), invece, ha evidenziato come l'eccessiva pronazione del piede aumenti il rischio di dolore dell'arto inferiore correlato all'esercizio e la sindrome da stress mediale tibiale, ma non del dolore femoro-rotuleo. Anche questa review, tuttavia, non è metodologicamente corretta rendendo quindi le conclusioni potenzialmente soggette a bias.

Nell'ambito degli infortuni dell'arto inferiore vi è un'altra tematica che trova grande attenzione in letteratura, ovvero l'insieme degli infortuni da overuse, la cui incidenza statistica è particolarmente rilevante per due categorie di soggetti: gli sportivi e i militari. Ad esempio, nell'ambito dei fattori di rischio per gli infortuni sportivi, circa il 50% di essi sono secondari all'overuse, come risultato di microtraumi ripetuti che causano danni al tessuto locale (Wilder R. P., e Sethi S., Overuse injuries: tendinopathies, stress fractures, compartment syndrome, and shin splints. Clin Sports Med. 23:55-

81, 2004)

Altri studi parlano di una stima d'incidenza degli infortuni relativi alla corsa in un range del 20% al 79% (6). A livello generale questo tipo di infortuni hanno un'eziologia multifattoriale (15); in particolare si è reso evidente che alcuni di questi, come la tendinopatia achillea, medial tibial stress syndrome, dolore femoro-rotuleo e le fratture da stress sono più frequenti in soggetti con un'alterata funzione del piede. (6).

I potenziali meccanismi che collegano le variazioni della funzione dinamica del piede con gli infortuni da overuse dell'arto inferiore possono essere ricondotti ad un'alterata biomeccanica e ai conseguenti cambiamenti nello stress dei tessuti (10): tali alterazioni includono parametri spazio temporali, la cinematica dell'arto inferiore, le pressioni plantari dinamiche, la cinetica (le forze di reazione del suolo e i momenti articolari).

In letteratura l'esistenza di questa relazione è supportata da ricerche su soggetti sani, che suggeriscono come le variazioni della postura del piede (arco piatto e arco normale) siano associate a cambiamenti nella cinematica (1), nella cinetica (26), nella funzione muscolare (14) e nella morfometria tendinea (13). Un numero sostanziale di studi prospettici ha utilizzato una grande varietà di misure tecniche per quantificare la funzione dinamica del piede e la sua relazione con le lesioni da overuse dell'arto inferiore. Tuttavia, non è chiaro se ci sono risultati consistenti tra le diverse misure, o se particolari caratteristiche della funzione del piede sono fattori di rischio per specifiche lesioni da overuse. Una migliore conoscenza riguardo a questo potrebbe portare allo sviluppo di strategie mirate alla prevenzione (16).

Lo scopo dell'elaborato è quindi quello di analizzare, all'interno di un'ottica di "regional interdependence", se esiste una relazione di causa-effetto tra le problematiche del distretto piede-caviglia, in particolar modo nella sua funzione dinamica, e le patologie più frequenti dell'arto inferiore, ovvero se le disfunzioni di questo distretto sono un fattore di rischio per sviluppare una patologia dell'arto inferiore.

### **3. MATERIALI E METODI**

La ricerca è stata condotta attraverso il motore di ricerca Pubmed (database Medline) e nelle bibliografie degli articoli più rilevanti.

Le parole chiave utilizzate sono state: lower limb, ankle biomechanics, foot biomechanics e risk factor.

La ricerca è stata limitata ai soli record provvisti di abstract in lingua inglese e condotti su esseri umani; non sono state effettuate restrizioni per l'anno di pubblicazione.

Il titolo di ogni studio è stato revisionato per valutarne la pertinenza allo scopo di questo elaborato.

Sono stati inclusi gli articoli con un disegno prospettico.

Sono stati esclusi articoli che non erano in linea con gli obiettivi della tesi.

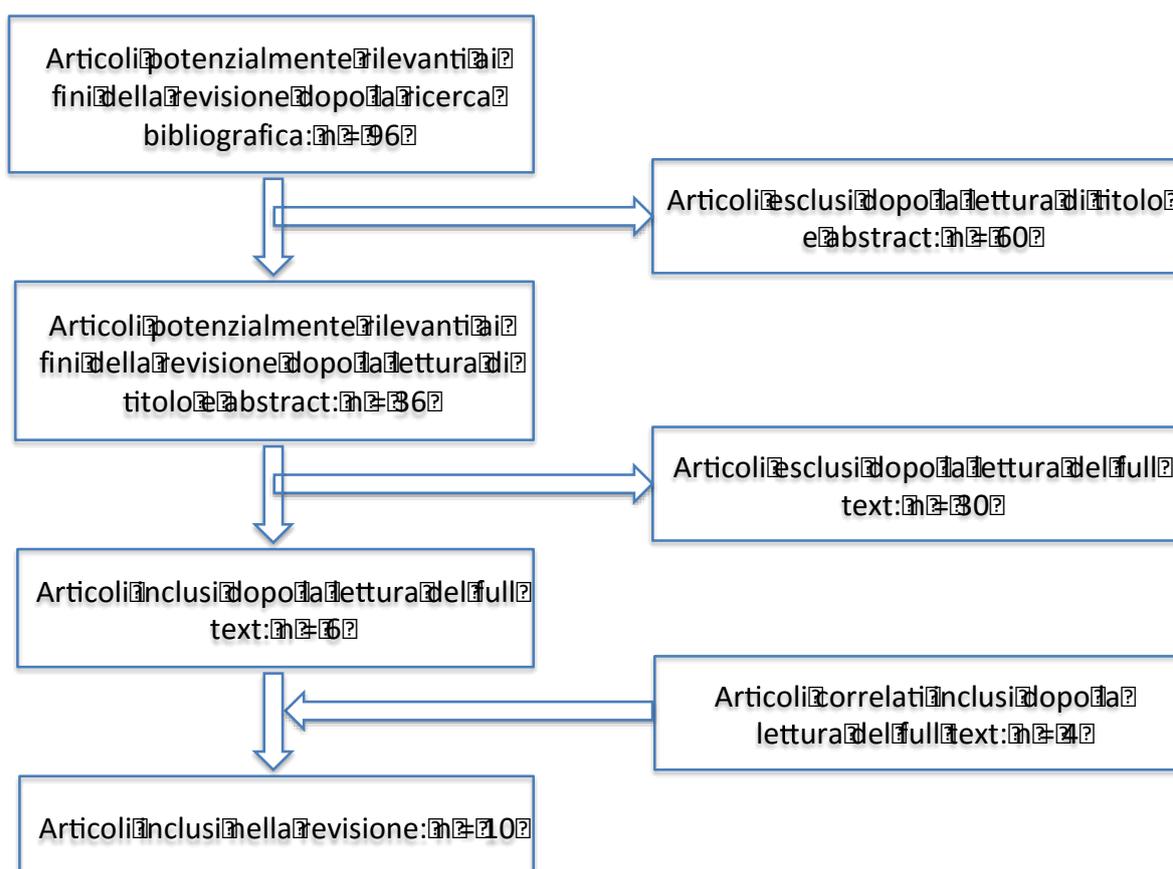
## 4. RISULTATI

La ricerca bibliografica ha individuato 96 articoli, di cui 60 esclusi dopo la lettura del titolo e dell'abstract. Dei restanti 36 articoli è stato letto il full text e 6 hanno soddisfatto i criteri di inclusione. Sono stati poi inseriti 4 articoli non contenuti nella ricerca bibliografica ma presenti fra gli articoli correlati e che, dopo la lettura del full text, sono risultati di buona rilevanza per l'obiettivo dell'elaborato.

La *Figura 1* presenta il processo di selezione degli studi.

In *Tabella 1* sono riportati tutti gli studi inclusi nella revisione sistematica.

### Diagramma di flusso



*Figura 1*

**N° ARTICOLI INCLUSI NELLA REVISIONE**

1. Hetsroni I., Finestone A., Milgrom C., Ben Sira D., Nyska M., Radeva-Petrova D., Ayalon M. **A prospective biomechanical study of the association between foot pronation and the incidence of anterior knee pain among military recruits.** J Bone Joint Surg Br. **2006**;88:905-908.
2. Thijs Y., Van Tiggelen D., Roosen P., De Clercq D., Witvrouw E. **A Prospective Study on Gait-related Intrinsic Risk Factors for Patellofemoral Pain.** Clin J Sport Med. **2007**; 17:437-445.
3. Noehren B., Hamill J., Davis I. **Prospective Evidence for a Hip Etiology in Patellofemoral Pain.** Med Sci Sports Exerc. **2013**; 45:1120-1124.
4. Van Ginckel A, Thijs Y, Hesar NG, Mahieu N, De Clercq D, Roosen P, Witrouw E. **Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: a prospective study.** Gait Posture. **2009**;29:387-391.
5. Munteanu S. E., Barton C. J., **Lower limb biomechanics during running in individuals with achilles tendinopathy: a systematic review.** Journal of Foot and Ankle Research. **2011**, 4:15
6. Sharma J., Golby J., Greeves J., Spears I. R., **Biomechanical and lifestyle risk factors for medial tibia stress syndrome in army recruits: A prospective study.** Gait Posture. **2010**; 33:361-365.
7. Hetsroni I., Finestone A., Milgrom C., Ben-Sira D., Nyska M., Mann G., Almosino S., Ayalon M. **The role of foot pronation in the development of femoral and tibial stress fracture: a prospective biomechanical study.** Clin J Sport Med. **2008**;18:18-23.
8. Noehren B., Davis I., Hamill J., **ASB Clinical Biomechanics Award Winner 2006: Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome.** Clin Biomech (Bristol, Avon) **2007**;22:951-956.
9. Witvrouw E., Willems TM., De Cook A., De Clercq D. **Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running.** Med Sci Sports Exerc. **2007**;39:330-339.
10. Willems TM, De Clercq D., Delbaere K., Vanderstaeten G., De Cock A., Witvrouw E. **A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain.** Gait Posture. **2006**;23:91-98.

*Tabella 1*

| TITOLO  | AUTORI   | ANNO | OBIETTIVO  |
|---|--|------|--|
| A prospective biomechanical study of the association between foot pronation and the incidence of anterior knee pain among military recruits | Hetsroni I., Finestone A., Milgrom C., Ben Sira D., Nyska M., Radeva-Petrova D., Ayalon M    | 2006 | Studio prospettico che cerca di determinare se c'è relazione tra il dolore anteriore di ginocchio e i parametri statici e dinamici di pronazione del piede.    |
| A Prospective Study on Gait-related Intrinsic Risk Factors for Patellofemoral Pain  | Thijs Y., Van Tiggelen D., Roosen P., De Clercq D., Witvrouw E                               | 2007 | Studio prospettico che cerca di individuare i fattori di rischio per il dolore femoro – rotuleo nel cammino  |
| Prospective Evidence for a Hip Etiology in Patellofemoral Pain  | Noehren B., Hamill J., Davis I   | 2013 | Verificare se nei runners una maggior rotazione interna, adduzione d'anca e eversione del piede possono essere fattori di rischio per il dolore femoro-rotuleo |
| Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: a prospective study  | Van Ginckel A, Thijs Y, Hesar NG, Mahieu N, De Clercq D, Roosen P, Witrouw E                 | 2009 | Identificare i fattori di rischio nella dinamica del piede per lo sviluppo di tendinopatia achillea  |
| Lower limb biomechanics during running in individuals with achilles tendinopathy: a systematic review                                       | Munteanu S. E., Barton C. J  | 2011 | Determinare se esistono dei fattori di rischio nella biomeccanica dell'arto inferiore per lo sviluppo di tendinopatia achillea                                 |
| Biomechanical and lifestyle risk factors for medial tibia stress syndrome in army recruits  | Sharma J., Golby J., Greeves J., Spears I.R.   | 2010 | Verificare se esistono dei fattori di rischio biomeccanici o nello stile di vita per sviluppare la sindrome da stress mediale tibiale                          |
| The role of foot pronation in the development of femoral and tibial stress fracture: a prospective biomechanical study                      | Hetsroni I., Finestone A., Milgrom C., Ben-Sira D., Nyska M., Mann G., Almosino S., Ayalon M | 2008 | Esaminare quali parametri nella pronazione del piede possano rappresentare un fattore di rischio per le fratture da stress a livello della tibia e del femore  |
| Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome   | Noehren B., Davis I., Hamill J   | 2007 | Determinare se nella cinetica e nella cinematica dell'arto inferiore ci siano fattori di rischio per lo sviluppo della sindrome della bandelletta ileotibiale  |
| Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running.  | Witvrouw E., Willems TM., De Cook A., De Clercq D.   | 2007 | Valutare se esistono dei fattori di rischio nella corsa senza scarpe per lo sviluppo di patologie non specifiche dell'arto inferiore relative all'esercizio    |
| A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg pain.   | Willems TM, De Clercq D., Delbaere K., Vanderstaeten G., De Cock A., Witvrouw E.             | 2006 | Analizzare l'esistenza di fattori di rischio nel cammino per lo sviluppo di patologie non specifiche dell'arto inferiore relative all'esercizio                |

In questa revisione sono state raggruppate le patologie più frequenti dell'arto inferiore nel soggetto sportivo, così come anche la letteratura evidenzia. Queste sono: il dolore femoro-rotuleo (PFP), la tendinopatia achillea (TA), la sindrome della bandelletta ileotibiale (ITBS) e infine le patologie non specifiche da overuse dell'estremità inferiore (ERLLP), che comprendono a loro volta le fratture da stress (FS) e la sindrome da stress mediale tibiale (MTSS).

Prima di passare in rassegna i risultati al dettaglio, è opportuno presentare le diverse fasi del ciclo del passo (figura 2) poiché in tutti gli studi vengono analizzate le caratteristiche biomeccaniche durante il ciclo del cammino o della corsa.

## DESCRIZIONE DEL CAMMINO E DELLA CORSA

Il primo contatto del piede con il terreno è rappresentato dall'*initial contact* allo 0% del ciclo, che negli studi analizzati sarà denominato spesso *heel strike*. Da questo momento inizia la fase di *stance* che corrisponde al 60% di tutto il ciclo e termina con il *toe off*, la fase di stacco delle dita, anticipata dalla *heel lift*, il momento di stacco del tallone quando le dita sono ancora appoggiate.

La seconda parte del ciclo del cammino è quella di *swing*, che indica letteralmente la fase di volo.

Sia la fase di *stance* che quella di *swing* sono ulteriormente suddivise in tre parti: iniziale, media e finale.

Lo *stride* infine è considerato la somma della fase di *stance* e quello di *swing*.

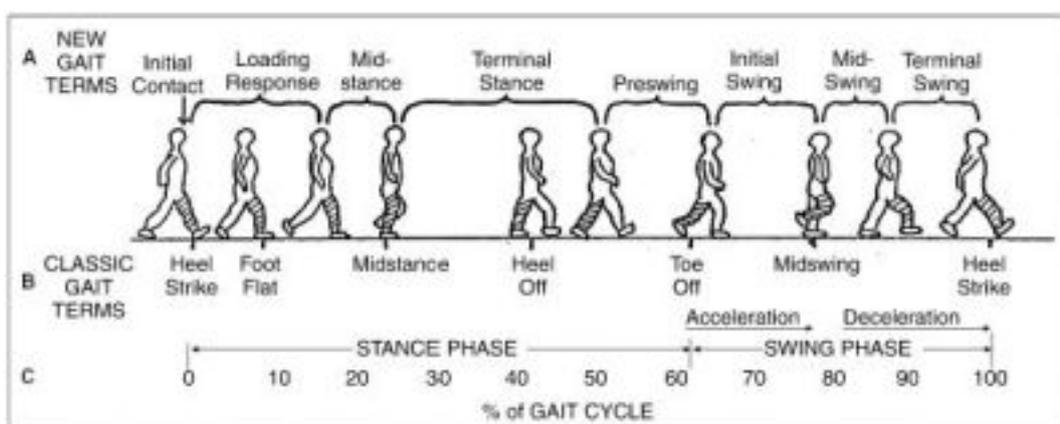


FIGURA 2

La corsa, invece, il cui scopo principale è muovere il corpo velocemente sopra il terreno verso uno specifico obiettivo, si differenzia dal cammino per la presenza della "*float phase*" (doppio volo), nella quale entrambi gli arti inferiori sono contemporaneamente in sospensione.

Un'altra differenza sostanziale è che al foot contact il ginocchio ha una posizione molto diversa quando si corre: nel cammino il ginocchio è esteso o a 5° di flessione, mentre nella corsa è a circa 20° di flessione. Questo consente un maggior ammortizzamento del carico corporeo e un aumento delle forze compressive tra patella e femore, oltre ad un'importante flessibilità del soleo e dei gastrocnemi.

## **SINDROME FEMORO ROTULEA (PFP)**

La sindrome femoro rotulea (PFP) è la principale causa di dolore di ginocchio nei runners, e la biomeccanica prossimale e distale della corsa è stata spesso collegata in letteratura con lo sviluppo di PFP. La mancanza di studi prospettici sul tema specifico non permette tuttavia di stabilire una relazione causale tra questi meccanismi e la PFP.

L'obiettivo dello studio di Hetsroni et al. (8) è quello di testare l'ipotesi che il dolore anteriore di ginocchio sia relazionato ai parametri statici e dinamici di pronazione del piede.

Per fare questo sono state osservate 473 nuove reclute in maniera prospettica ed esaminate per 2 settimane prima dell'inizio dei loro 4 mesi di allenamento, attraverso un filmato di cammino su treadmill a 5 km/h.

I 6 parametri della pronazione presi in considerazione sono stati:

- 1) angolo tibio calcaneale statico;
- 2) massimo angolo di pronazione del piede;
- 3) range di movimento della pronazione;
- 4) tempo di massima pronazione dall'heel strike;
- 5) velocità di pronazione;
- 6) durata dello stance.

L'esame obiettivo è stato fatto da un unico ortopedico.

Dopo la collezione dei dati tutti i partecipanti sono stati divisi in 4 quartili uguali, a seconda dei valori dei parametri di misura.

Alla fine dello studio è stato visto che durante i 4 mesi il 15% dei partecipanti ha sviluppato dolore anteriore di ginocchio (405 reclute).

Dall'analisi statistica non ci sono state però evidenze significative per un'associazione tra dolore anteriore di ginocchio e angolo tibio-calcaneare in posizione eretta, massimo angolo di pronazione del piede, range di pronazione, tempo di massima pronazione e durata del passo. E' risultata invece statisticamente rilevante la relazione tra dolore anteriore di ginocchio e velocità di pronazione del piede (8), in cui si nota che il piede prona in ritardo rispetto all'impatto con il suolo, anche se

l'associazione non è stata coerente tra i due piedi: l'incidenza della patologia è stata maggiore nel primo e ultimo quartile per il piede sinistro e minore per il piede destro.

Lo studio prospettico di coorte di Youri Thijs et al. (27) ha lo scopo di determinare i fattori di per il dolore femoro-rotuleo nel ciclo del passo.

Sono stati esaminati in maniera prospettica durante 6 settimane 84 cadetti dell'accademia militare belga (65 uomini e 19 donne), che non presentavano nessuna storia di dolore al ginocchio o disturbi all'arto inferiore. Prima dell'inizio dell'allenamento militare, sono stati sottoposti a delle misurazioni della pressione plantare del piede durante il cammino attraverso una tavola di scansione del piede; tali misurazioni sono state eseguite a piedi scalzi per controllare le discrepanze attribuibili a calzature insolite. Ai soggetti non è stata resa visibile la tavola di misurazione, perché coperta da un tappeto, ed è stato chiesto loro di camminare a una velocità per loro confortevole. Sono state prese 3 misurazioni per il piede destro e 3 per il sinistro, ed ogni prova è stata considerata valida solo quando si è registrato un pattern di appoggio di tallone e nessun tipo di aggiustamento nella lunghezza/frequenza del passo per raggiungere la tavola di pressione.

Le variabili di pressione plantare considerate sono state:

- 1) dati temporali (durata);
- 2) dati di picco di pressione (entità);
- 3) distribuzione di pressione mediolaterale;
- 4) trasferimento del centro di pressione (COP).

Durante il periodo di allenamento militare il disturbo femoro-patellare è stato registrato e diagnosticato da un medico dello sport, cieco in quanto non era a conoscenza dei risultati delle misurazioni plantari.

Ogni recluta ha seguito lo stesso allenamento con lo stesso equipaggiamento, tenendo così sotto controllo i fattori estrinseci per l'incidenza del dolore femoro-rotuleo.

Per la diagnosi della patologia i soggetti dovevano avere una storia e sintomi caratteristici per la sindrome femoro-rotulea; in più dovevano presentare almeno due di questi criteri clinici:

- 1) dolore alla compressione diretta della rotula sui condili femorali con il ginocchio in completa estensione;
- 2) dolorabilità alla palpazione sul polo inferiore della rotula;
- 3) dolore all'estensione di ginocchio contro resistenza;
- 4) dolore con la contrazione isometrica del quadricipite a 15° di flessione del ginocchio.

I criteri di esclusione invece erano: patologie che includevano legamenti, menischi, borse, plica sinoviale, sindrome del corpo adiposo di Hoffa, bandelletta ileotibiale, hamstring, quadricipite e loro inserzioni.

Durante le 6 settimane di allenamento 36 soggetti (25 uomini e 11 donne) hanno sviluppato il dolore femoro-rotuleo.

Tra i due gruppi non vi erano differenze di età, peso e altezza.

L'analisi di regressione logistica ha rivelato che i soggetti che hanno sviluppato il PFP presentavano, rispetto al gruppo di controllo, le seguenti caratteristiche:

- 1) tempo di massima pressione sul quarto metatarso significativamente più corto ( $p=0,009$ );
- 2) distribuzione della pressione medio-laterale diretta più lateralmente ( $p=0,003$ ) durante la prima fase di contatto del piede al suolo (initial contact);
- 3) velocità massima di cambiamento nella direzione latero-mediale del centro di pressione nella fase di forefoot contact significativamente più lenta ( $p=0,002$ ).

Inoltre, il centro di pressione (COP) in tali soggetti cambiava meno velocemente dalla parte laterale del piede a quella mediale. Il valore medio della componente x del centro di pressione ha mostrato che durante il First foot contact (FFCP) era diretta più lateralmente in PFP e più medialmente nel gruppo di controllo. Tuttavia questa differenza della componente x del centro di pressione durante il FFCP non è risultata statisticamente significativa ( $p=0,088$ ).

Quello di Noehren et. al. (20) è un grande studio prospettico per le lesioni dell'arto inferiore di 400 donne runner. Le caratteristiche dei partecipanti sono: età compresa tra i 18 e i 45 anni, nessun infortunio, rear foot strikers e tutti con un allenamento di minimo di 20 miglia di corsa alla settimana. L'obiettivo dello studio è quello di mettere a confronto la meccanica della corsa, attraverso l'analisi di ciclo del passo, in un gruppo di donne che sviluppano PFP con controlli sani. L'ipotesi di base era che podiste che sviluppano la sindrome dovrebbero mostrare un'augmentata adduzione e rotazione interna dell'anca, e un'augmentata eversione del retro piede.

Lo studio ha avuto la durata di 2 anni, nei quali ci sono stati 15 casi di PFP, confermati da un solo medico. Per fare diagnosi di PFP venivano considerati: sintomi riferiti all'articolazione patello-femorale e non ad altre strutture. Venivano esclusi in particolare, individui con diagnosi di tendinopatia rotulea, sindrome del fat pad o sindrome della bandelletta ileotibiale; inoltre i soggetti non dovevano presentare nessun episodio precedente di PFP (superiore a 2 mesi) e il meccanismo di lesione doveva essere collegato alla corsa e non a traumi o ad altre attività. La biomeccanica della corsa iniziale di questi soggetti è stata messa a confronto con un equo numero di podiste che non hanno sviluppato la sindrome.

I risultati mostrano che le donne runner con insorgenza di PFP hanno un'adduzione dell'anca significativamente aumentata ( $p=0,007$ ). Non è stata trovata, invece, nessuna differenza significativa per la rotazione interna dell'anca ( $p=0,47$ ) o l'eversione del retro piede ( $p=0,1$ ), confermano quindi solo parzialmente le ipotesi di partenza.

## **SINDROME DELLA BANDELLETTA ILEOTIBIALE (ITBS)**

Nello studio di Noehren et al. (19) vengono messe a confronto la cinetica e la cinematica dell'estremità inferiore di donne podiste con quelle di un gruppo di controllo sano. Questo studio prospettico include donne sane che corrono almeno 20 miglia a settimana e che hanno un'età compresa tra 18 e 45 anni, le quali vengono seguite nell'arco di 2 anni. In tutto vengono reclutate 400 donne, ognuna delle quali indossa una scarpa neutra da corsa e viene fatta correre per 25 m a una velocità di 3,7 m/s per raccogliere i dati di cinematica e cinetica. L'incidenza dello sviluppo della sindrome della bandelletta ileotibiale (ITBS) è del 16% (18 podiste sviluppano la sindrome). All'inizio dello studio nessun soggetto presentava alcuna patologia o storia di patologia all'anca e/o al ginocchio. 18 podiste sono state scelte come gruppo di controllo, per confrontare il loro arto destro con l'arto infortunato del gruppo con ITBS.

Sono stati raccolti i dati della cinematica e della cinetica durante la corsa, per un totale di 5 prove collezionate. Le variabili cinematiche di interesse sono state:

- 1) il picco di eversione del retropiede;
- 2) la rotazione interna del ginocchio;
- 3) l'adduzione dell'anca e la flessione di ginocchio nella fase di contatto del piede al suolo (heel strike).

In aggiunta a queste sono state considerate anche la rotazione interna globale della tibia e la rotazione femorale globale, per approfondire lo studio dei dati.

Le variabili cinetiche di interesse sono state, invece:

- 1) il picco di inversione del retropiede;
- 2) i momenti di rotazione esterna di ginocchio e di abduzione dell'anca.

I dati di cinematica e cinetica sono stati analizzati usando il software Visual3D, mentre quelli statistici utilizzando SPSS.

Sono stati messi a confronto i momenti e gli angoli di picco dell'anca, del ginocchio e del retropiede durante la fase di stance della corsa.

Il gruppo con ITBS ha mostrato un'aumentata adduzione dell'anca che rimane più addotta durante la fase di stance. Anche il picco dell'angolo di adduzione è maggiore, tuttavia il momento di abduzione dell'anca non ha presentato differenze, rivelando lo stesso pattern tra i due gruppi. Non vi è stata differenza inoltre nella flessione di ginocchio all'heel strike tra i due gruppi.

Il gruppo ITBS possedeva una maggiore rotazione interna che rimane durante la fase di stance; in aggiunta questo gruppo mostra un picco significativamente più alto dell'angolo di rotazione interna

di ginocchio. Per capire se questo dipendesse da fattori prossimali o distali, è stata valutata la rotazione di tibia e femore: la rotazione interna della tibia era più bassa nel gruppo ITBS, ma con una differenza non significativa, mentre la rotazione esterna del femore era significativamente maggiore nel gruppo ITBS.

Per il retro piede, il gruppo ITBS ha presentato un'inversione leggermente maggiore, ma un pattern simile rispetto all'altro gruppo durante lo stance: in sostanza non si è registrata nessuna differenza significativa nel momento di inversione del retro piede tra i due gruppi. Si è vista invece una minore entità del picco di eversione nel gruppo ITBS, tuttavia gli autori si sono meravigliati nel trovare nel gruppo ITBS una maggiore rotazione interna di ginocchio associata a un picco più basso di eversione del retro piede; per questo motivo hanno esaminato ulteriormente i dati e determinato un sottogruppo di soggetti che avessero un meccanismo distale di eccessiva eversione del retro piede con maggiore rotazione interna di ginocchio (4 soggetti).

I risultati di questo studio riportano quindi che il gruppo con ITBS mostra una maggiore adduzione dell'anca e rotazione interna del ginocchio, entrambe statisticamente significative. Tuttavia l'eversione del retro piede e la flessione del ginocchio sono simili in entrambi i gruppi.

## **TENDINOPATIA ACHILLEA (TA)**

La revisione sistematica di Munteanu e Barton (12) analizza la letteratura esistente per identificare, criticare e formulare supposizioni riguardo ai fattori di rischio biomeccanici associati alla tendinopatia achillea.

Nel loro lavoro sono stati inclusi studi prospettici di coorte e caso-controllo che valutavano i fattori biomeccanici, parametri spazio-temporali, cinematica dell'arto inferiore, pressioni plantari dinamiche, cinetica cioè le reazioni di forza del suolo e i momenti articolari, e l'attività muscolare associati con la tendinopatia achillea della porzione media.

Sono stati identificati 9 studi, tutti con analisi biomeccanica della corsa: 2 prospettici e 7 studi caso-controllo, con qualità variabile (punteggio Quality Index dal 4 al 15 su un totale di 17). Alcuni mostrano l'aumento del range of motion di eversione del retro piede, una ridotta abduzione massima dell'arto inferiore, una ridotta velocità della dorsiflessione dell'articolazione della caviglia e una ridotta flessione di ginocchio durante il passo. Altri dimostrano un numero di differenze nelle pressioni dinamiche plantari (soprattutto la distribuzione del centro di forza), le forze di reazione del suolo (grandi effetti per le variabili di tempo) e mostrano anche un ridotto picco del momento di rotazione esterna della tibia. Altri studi mostrano poi differenze nel tempo e nell'ampiezza del numero di muscoli, ma molte differenze sono equivoche.

Nello studio prospettico di coorte di Van Ginckel et al. (30), 129 volontari (110 donne e 19 uomini) podisti novizi sani sono reclutati per identificare i fattori di rischio relativi alla corsa per sviluppare la tendinopatia achillea. All'inizio dello studio viene calcolato il livello di attività fisica dei soggetti tramite un questionario, e vengono registrate le misurazioni delle forze dinamiche usando un piatto pressorio (footscan), mentre i soggetti corrono scalzi per 15 m a una velocità per loro confortevole (tra le quali ne vengono scelte 3 valide a destra e 3 a sinistra).

La diagnosi di tendinopatia viene stabilita come un inizio insidioso e graduale di dolore nella porzione media del tendine, un indolenzimento alla palpazione, rigidità mattutina, indolenzimento e dolore allo sforzo. Strutture per la diagnosi differenziale includono il nervo surale, strutture posteriore della caviglia, i tendini mediali del piede e delle dita del piede e le borse vicino al calcagno.

Il programma di corsa dura 10 settimane, durante le quali i partecipanti vengono guidati da dei coach. In questo periodo di tempo vengono riportate 69 lesioni da overuse dell'estremità inferiore. Il gruppo 1 comprende 10 soggetti con diagnosi di tendinopatia achillea, mentre il gruppo 2 consiste di 53 soggetti che non hanno riportato nessuna lesione.

Vengono identificati due fattori di rischio intrinseci relativi al passo per lo sviluppo della tendinopatia: una significativa distribuzione di forza laterale sotto l'avampiede al forefoot flat (FFF) e una diminuzione sostanziale nello spostamento postero-anteriore del centro di forza (COF), in contrasto, quindi, con l'iperpronazione frequentemente descritta.

Nessuna differenza rilevante è stata trovata per l'età, il peso, il BMI o il punteggio della scala sull'attività fisica.

## **LE PATOLOGIE NON SPECIFICHE DELL'ARTO INFERIORE RELATIVE ALL'ESERCIZIO (ERLLP)**

Il termine ERLLP, in inglese "exercise-related lower-leg pain", descrive caratteristiche clinicopatologiche di una condizione valida per diverse patologie o condizioni, quali:

- 1) shin splints
- 2) shin pain
- 3) medial tibial stress syndrome
- 4) stress fractures.

La caratteristica principale è il dolore provocato o aggravato dal carico durante un'attività intensa, che diminuisce o cessa quando finisce l'attività stessa. Prevenire ERLLP richiede di conoscere i fattori di rischio che predispongono a questo tipo di infortunio. Lavori precedenti hanno suggerito

che questa condizione sia il risultato dell'interazione complessa di numerosi fattori; per quanto riguarda fattori estrinseci correlati a ERLLP ne sono stati individuati molteplici, tra i quali il rapido incremento del volume di allenamento, l'intensità, o la distanza corsa settimanalmente. In letteratura, tuttavia, ci sono ben pochi studi incentrati a identificare i fattori di rischio intrinseci per ERLLP. Alcuni studi retrospettivi hanno notato un'eccessiva pronazione nei soggetti con storia di ERLLP (7); in aggiunta, la postura statica del piede in soggetti con ERLLP risultava maggiormente pronata (9).

Nella pratica clinica, una biomeccanica del passo anomala è frequentemente considerata un elemento chiave nello sviluppo di ERLLP, tuttavia vi è una scarsa evidenza scientifica riguardo alle modalità con cui le variabili biomeccaniche del passo predispongano gli atleti a questo tipo di infortunio.

Scopo dello studio di Willems et al. (32) è determinare attraverso uno studio prospettico i fattori di rischio biomeccanici in dinamica per ERLLP in una giovane popolazione sana di 400 studenti (241 uomini, 159 donne). Il criterio di esclusione è stato il seguente: una storia di lesione al piede, alla caviglia o all'arto inferiore nei 6 mesi precedenti allo studio. Tutti gli studenti hanno svolto lo stesso programma di educazione fisica per 26 settimane all'anno. Lo studio è durato dal 2000 al 2003. Prima dell'inizio della loro educazione fisica sono state prese come misurazioni la cinematica 3D del passo con i profili di pressione plantare (tramite una tavola di scansione di pressione: RsScan International) e l'allineamento statico dell'arto inferiore; è stato chiesto loro di correre scalzi alla velocità di 3 m/s e dopo aver familiarizzato con la corsa, sono state prese tre misurazioni del passo valide a destra e tre a sinistra.

Sono stati quindi collocati marcatori retroriflettenti sulla parte alta della coscia, sulla gamba e sul retropiede, marcatori anatomici sul gran trocantere, sul condilo femorale mediale e laterale, sul malleolo mediale e laterale, sulla parte mediale e laterale del calcagno e sulla testa del primo e del quinto metatarso.

Questo studio si focalizza sulla fase di stance della corsa, per questo motivo dai dati della cinematica sono state identificate la posizione iniziale all'heel strike, la posizione al toe off, la posizione più alta, l'escursione, la velocità di escursione media e massima.

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'allineamento statico dell'arto, invece, con l'uso di un goniometro manuale è stato valutato:

- 1) range di dorsiflessione e plantaflessione della tibio-tarsica con il ginocchio esteso e flesso;
- 2) inversione ed eversione sottoastragalica;
- 3) posizione del calcagno in scarico, in posizione neutra della sottoastragalica e in carico con e senza che la sottoastragalica fosse in posizione neutra;

4) range in flessione ed estensione della prima metatarsofalangea.

Tutti gli infortuni sono stati registrati dallo stesso medico dello sport durante la durata dello studio. 46 soggetti hanno sviluppato ERLLP e 29 di loro hanno presentato sintomi bilaterali, dando così 75 arti inferiori sintomatici. Gli arti inferiori bilaterali dei 167 soggetti che non hanno sviluppato nessuna lesione nell'estremità inferiore sono serviti come controlli.

Da tutte le misurazioni delle caratteristiche di allineamento è risultato che i soggetti con un maggiore range di estensione della prima metatarsofalangea sono più a rischio di ERLLP ( $p=0,002$ ). L'analisi dei dati di pressione, con particolare riferimento al rapporto di pressione medio-laterale, ha poi mostrato che una più alta pressione sotto la parte mediale del piede nella fase forefoot flat ( $p=0,003$ ) e all'heel off ( $p=0,049$ ), e un maggior spostamento di pressione da laterale a mediale durante il forefoot contact ( $p=0,001$ ), aumentano il rischio di ERLLP.

L'analisi delle componenti medio-laterali del centro di pressione hanno rivelato inoltre che i soggetti con una direzione più mediale del centro di pressione al forefoot flat ( $p=0,039$ ) e una più laterale nell'ultima fase di contatto ( $p<0,001$ ) hanno un più alto rischio di ERLLP.

Durante il forefoot contact si è evidenziato un trasferimento minore del centro di pressione in direzione laterale ( $p=0,001$ ), mentre durante il push off uno spostamento più laterale nei soggetti a rischio di ERLLP ( $p<0,001$ ). I soggetti con un aumento della distanza delle componenti antero-posteriori del COP (centro di pressione) all'initial contact ( $p=0,007$ ), e una diminuzione della distanza al last foot contact ( $p=0,001$ ), sono stati quelli a maggior rischio di sviluppo della patologia. I soggetti nel gruppo di ERLLP hanno avuto un significativo aumento dell'escursione dell'abduzione ( $p=0,026$ ) e di conseguenza un aumento della massima velocità di abduzione ( $p=0,001$ ), un aumento della massima eversione ( $p=0,034$ ) e del movimento di eversione ( $p=0,032$ ), e perciò un aumento della velocità di eversione massima e media (rispettivamente  $p=0,034$  e  $p=0,031$ ). Anche la velocità media di re-inversione ( $p=0,029$ ) è stata più alta in questi soggetti.

In definitiva, per quello che lo studio ha riportato, i migliori predittori per ERLLP sono la componente antero-posteriore del COP al primo contatto del piede a terra ( $p=0,087$ ), il rapporto medio-laterale durante la fase di forefoot contact ( $p=0,007$ ), e la componente medio-laterale del COP nella fase dell'ultimo contatto del piede a terra ( $p=0,001$ ).

L'analisi di regressione di Cox mostra che i soggetti che sviluppano ERLLP, in confronto al gruppo di controllo, hanno un alterato pattern di corsa prima che compaia l'infortunio, in particolare: un significativo e più centrale heel strike, un significativo aumento di pronazione accompagnato da un aumento di pressione sotto la parte mediale del piede e da un roll-off più laterale.

Lo studio di Witvrouw et al. (34) ha lo scopo di esaminare prospetticamente, in una popolazione giovane e attiva, i fattori di rischio legati alla biomeccanica del passo per ERLLP durante l'attività di corsa con scarpe.

Sono stati valutati i pattern del ciclo del passo di 400 studenti all'inizio del loro percorso accademico attraverso la misurazione delle pressioni plantari e della cinematica in 3d. Successivamente, lo stesso medico dello sport ha poi registrato tutti gli infortuni durante questo studio.

Durante il periodo di follow-up 46 soggetti hanno sviluppato ERLLP, dei quali 29 con disturbo bilaterale: sono state così classificate 75 gambe sintomatiche (35 sinistre e 40 destre) nel gruppo ERLLP. I piedi bilaterali di 167 soggetti, che non hanno sviluppato nessuna patologia all'estremità inferiore, sono serviti come gruppo di controllo. L'analisi di regressione mostra che i soggetti che hanno sviluppato ERLLP presentavano uno schema di corsa alterato rispetto al gruppo di controllo, consistente in un aumento nell'escursione della pronazione accompagnato da un maggiore pressione sotto la parte mediale del piede, da una diminuzione della massima eversione e da un'accelerazione nella re-inversione.

## **FRATTURE DA STRESS**

Lo studio condotto da Hetstroni et al. (9), vuole esaminare se i parametri della pronazione del piede in dinamica sono fattori di rischio per lo sviluppo di una frattura da stress per il femore e per la tibia. Vengono osservati prospetticamente 473 reclute maschi, valutati ogni 2 settimane da un solo ortopedico per diagnosi di frattura da stress durante un allenamento militare di 14 settimane. L'analisi finale comprende 405 reclute. Le fratture sono state diagnosticate e gestite secondo l'IDF Stress Fracture Protocol e confermate dall'imaging.

Due settimane prima di iniziare l'allenamento è stata valutata su ciascun soggetto la cinematica dell'articolazione sottoastraglica durante il cammino a piedi nudi su treadmill a 5 km/h e la velocità media della marcia per lunghe distanze, che è stata riconosciuta proprio come principale fattore a causare le fratture da stress. Sono stati misurati bilateralmente cinque parametri dinamici della pronazione del piede durante la fase di stance:

- 1) il massimo angolo di pronazione (gradi)
- 2) il range di movimento di pronazione subtalare da heel strike fino alla massima pronazione (gradi)
- 3) il tempo da heel strike fino alla massima pronazione (secondi)
- 4) la velocità angolare media di pronazione (gradi/sec)

5) il tempo della massima pronazione come percentuale del tempo totale di stance (%).

Per ogni parametro è stato analizzato il valore medio tra 4 cicli consecutivi di camminata.

L'analisi finale ha incluso 405 soggetti: al 10% (42 soggetti) sono state diagnosticate 71 fratture da stress del femore e della tibia, rispettivamente 36 del femore e 35 della tibia. I soggetti infortunati e quelli non infortunati non hanno riportato differenze sostanziali nel BMI ( $p=0,52$ ).

Le reclute con una durata di pronazione maggiore hanno presentato invece un ridotto ODDs ratio nello sviluppare fratture da stress (solo però per il piede sinistro).

### **SIDROME DA STRESS MEDIALE TIBIALE (MTSS)**

Nello studio di Sharma et al. (23) sono stati inclusi 468 militari maschi sani con un'età media di 18,9 anni, per determinare in modo prospettico se i fattori biomeccanici del passo e dello stile di vita possono essere usati come predittori per lo sviluppo di medial tibia stress syndrome (MTSS).

Il livello aerobico è stato misurato attraverso una corsa a tempo di 1,5 miglia e l'analisi delle pressioni plantari del piede effettuata attraverso Footscan software 7.0 RsScan International. I soggetti sono stati analizzati in condizioni di camminata senza scarpe e a una velocità naturale, e per ognuno sono state registrate le distribuzioni di pressione plantare durante la fase di stance, 6 a destra e 6 a sinistra. I dati di pressione plantare per ogni piede sono stati divisi in 9 regioni.

L'analisi del piede senza scarpa si è rivelata lo strumento più sensibile ed efficace per trovare fattori di rischio.

Il programma di allenamento era così strutturato: una fase 1 (1-13 settimana), due settimane di riposo e una fase 2 (14-26 settimana), per un totale quindi di 26 settimane.

In aggiunta, in questo studio sono state prese in considerazione anche le variabili fumo e assenza di fitness come fattori di rischio.

37 soggetti hanno sviluppato MTSS (15 bilaterale, 11 sinistra e 11 destra), per un'incidenza complessiva del 7,9%; in particolare, questo infortunio è comparso in maniera predominante nella prima fase dell'allenamento (31 soggetti tra la terza e la decima settimana).

A questo punto è stato costruito un modello di regressione logistica per il gruppo MTSS e il gruppo non-MTSS. Il fattore primario di rischio è risultata essere una discrepanza nella pressione del piede, nello specifico una pressione maggiore nella parte mediale rispetto a quella laterale. Inoltre si sono rivelati importanti come fattori di rischio per MTSS anche una bassa condizione fisica, come dedotto dalla corsa a tempo per 1,5 miglia, e l'abitudine del fumo. Il modello di regressione

logistica, combinando i tre fattori di rischio sopracitati, è stato in grado di predirre le manifestazioni al 96,9% sul gruppo non MTSS e al 67,5% sul gruppo MTSS, con una accuratezza totale di 87,7%.

## 5. DISCUSSIONE

Questa revisione della letteratura vuole indagare se, ad oggi, vi sono evidenze riguardo alla funzione dinamica del piede come fattore di rischio per lo sviluppo di patologie da overuse dell'arto inferiore.

Come la sezione dei risultati, anche questo capitolo sulla discussione sarà organizzato per patologie.

Lo studio di Hetsroni et al. (8) è stato il primo, tra quelli revisionati, a correlare l'analisi dei fattori di rischio per la sindrome femoro-rotulea con la dinamica del piede. In particolare, la pronazione è l'elemento centrale attorno a cui ruota il suo studio: questa è un movimento complesso triplanare dell'articolazione sottoastraglica che consiste in abduzione, dorsiflessione ed eversione. Un anormale movimento di questa articolazione porta a una anormale rotazione della tibia, che può a sua volta causare patologie da overuse dell'arto inferiore; la pronazione del retro-piede, in particolare, è meccanicamente accoppiata con la rotazione interna della tibia durante la prima metà dello stance. Da questo studio, tuttavia, la pronazione del piede ed i principali parametri ad essa associati (massimo angolo di pronazione, range di pronazione) non sono stati trovati significativamente relazionabili con il dolore anteriore di ginocchio.

Risultati parzialmente concordanti con queste evidenze sono anche quelli di Thijs et al. (27), che focalizzano il proprio elaborato sullo studio della distribuzione della pressione plantare durante il movimento.

I loro risultati mostrano che, nel gruppo che sviluppa la patologia, la distribuzione della pressione plantare è diretta più lateralmente sia nella prima fase di contatto del piede con il suolo sia nel foot roll-over: questo può indicare che nel gruppo con PFP il piede prona meno. A parziale spiegazione di questa evidenza si può considerare il meccanismo per cui un'adeguata pronazione del piede è necessaria per l'assorbimento dell'impatto col suolo al momento del primo contatto; una minor pronazione, d'altra parte, può causare un atterraggio più rigido, una minor rotazione interna della tibia ed un conseguente aumento di shock all'estremità inferiore, contribuendo allo sviluppo di patologie da overuse. Questa dinamica è confermata anche da un'altra variabile analizzata dagli autori, ovvero il centro di pressione, che si sposta più lentamente da laterale a mediale durante il foot roll-over. In conseguenza, la maggior parte delle forze di reazione al suolo sono trasferite alle articolazioni più prossimali, incluso il ginocchio, che può determinare un più alto carico sull'articolazione patello-femorale e lo sviluppo di dolore femoro-rotuleo.

I risultati di questo studio potrebbero essere in contraddizione perciò con gli studi precedenti retrospettivi, che avevano suggerito l'associazione tra un'eccessiva pronazione del retro-piede con

dolore anteriore di ginocchio. Potrebbe comunque essere plausibile che, quando si parla di aumentato carico fisiologico dell'articolazione e quindi di overuse, entrambe le deviazioni del pattern di roll-over del piede, o un'eccessiva pronazione o una minor pronazione, possano portare a una disfunzione dell'articolazione femoro-rotulea.

In contrasto, i risultati del lavoro di Noehren et al. (20) sono allineati con quelli di Hetsroni (8), non trovando associazioni significative tra PFP e angolo di eversione del piede.

In particolare le considerazioni emerse dallo studio di Noehren et al. (20), che hanno invece trovato correlazione tra la patologia e il distretto dell'anca, fanno pensare che i programmi di riabilitazione e prevenzione da infortunio dovrebbero essere indirizzati alla meccanica alterata di questa articolazione, piuttosto che alla dinamica del piede, per prevenire lo sviluppo o la ricorrenza di PFP.

I pattern di pressione plantare associati con la tendinopatia achillea sono analizzati nel ciclo del jogging. Van Ginckel et al. (33) identificano un ridotto trasferimento della forza dal retro-piede all'avampiede e una distribuzione della forza più laterale nella fase di *forefoot flat* come fattori di rischio intrinseci per TA. È plausibile che queste differenze nel trasferimento di forza intorno al piede possano portare a un alterato carico sul tendine di Achille e contribuire a un infortunio, ma sono ipotesi che necessitano di ulteriori valutazioni. Questi risultati suggeriscono inoltre che, in contrasto con l'iper-pronazione frequentemente descritta, dovrebbero essere considerati invece, per la prevenzione della TA, un foot roll-over laterale e un trasferimento di forza diminuito sotto il piede, causato da un appoggio più invertito.

In linea con queste considerazioni sono anche alcune delle evidenze riscontrate dalla revisione di Munteanu e Barton (12): valutando un gran numero di variabili dinamiche della pressione plantare si è trovato che i soggetti con TA hanno una distribuzione della forza diretta più lateralmente sotto l'avampiede nella fase di *forefoot flat*. Lo schema del passo laterale del piede durante il periodo di contatto può creare una riduzione dell'assorbimento dello shock e causare più stress sulla parte laterale del tendine d'Achille.

I soggetti con TA, inoltre, hanno mostrato alterate pressioni plantari e forze di reazione del suolo, insieme ad un ridotto picco del momento di rotazione esterna della tibia. I risultati riguardo al carico plantare del piede e del range di movimento in eversione del retro-piede suggeriscono la presenza strutturale di differenze nella funzionalità del piede tra chi ha e chi non ha TA, sebbene non ci siano indicazioni univoche rispetto alla natura di tali differenze.

I risultati hanno bisogno tuttavia di essere interpretati con cautela anche a causa della limitata qualità di molti degli studi inclusi.

Non sono state trovate evidenze che caratterizzano la dinamica del piede come un fattore di rischio per la sindrome della bandelletta ileotibiale o le fratture da stress dell'estremità inferiore. I dati di Noehren et al. (19) indicano che un meccanismo alterato dell'anca durante la corsa può essere un fattore di rischio più forte per la sindrome della bandelletta rispetto alla dinamica del piede; l'eversione del retro-piede risulta addirittura minore durante lo *stance* nei soggetti che sviluppano ITBS. Questi movimenti combinati (aumento del picco di adduzione dell'anca e rotazione interna del ginocchio) possono aumentare lo sforzo della bandelletta causando la sua compressione sul condilo laterale del femore; pertanto il trattamento dovrebbe focalizzarsi sul controllo di questi piani secondari di movimento attraverso il rinforzo, lo stretching e la rieducazione neuromuscolare. Anche lo studio di Hetsroni et al. (9) dimostra, in contrasto con i precedenti studi retrospettivi, che non vi sono correlazioni tra i parametri di pronazione del piede e l'evento delle fratture da stress. Un contatto del piede in pronazione più prolungato potrebbe avere invece un ruolo di protezione dalle fratture da stress di tibia e femore, poiché questo appoggio prorogato nel tempo consente di generare una forza media inferiore per realizzare una data quantità di lavoro meccanico, infliggendo meno danno al sistema scheletrico.

Sono tuttavia necessari ulteriori studi per determinare se la modifica della durata della pronazione tramite un intervento sulla calzatura o un allenamento specifico possa aiutare nella riduzione dell'incidenza di questo tipo di infortunio.

Lo studio di Sharma et al. (23), invece, per quanto riguarda la sindrome da stress mediale tibiale, trova un importante ruolo della biomeccanica del piede nel rischio di sviluppare MTSS: uno sbilanciamento della pressione plantare, ed in particolare un'eccessiva pressione mediale della superficie del piede durante il cammino, risulta essere il fattore primario. Un'altra potenziale ragione è che il più rapido affaticamento della muscolatura intrinseca del piede durante l'attività fisica, potrebbe portare ad una maggiore pronazione durante la fase di appoggio.

La fisiopatologia della sindrome da stress mediale tibiale rimane controversa, alcuni autori sostengono che sia dovuta a un'infiammazione del periostio a causa dell'eccessiva trazione (teoria della trazione), altri supportano la tesi che l'MTSS non sia un processo infiammatorio del periostio ma piuttosto una reazione ossea da stress (teoria dello stress osseo), come nelle fratture da stress. Sebbene MTSS e fratture da stress siano patologie diverse, a volte esse coesistono e per questo sono ricondotte a meccanismi simili, di cui MTSS è la manifestazione più lieve e la frattura da stress quella più estrema.

Infine per le patologie non specifiche dell'arto inferiore relative all'esercizio (ERLLP) vi sono due studi prospettici che trovano evidenze simili, quello di Willems et al. (32) e di Witvrouw et al. (34). Entrambi rivelano che il pattern di corsa dei soggetti che sviluppano ERLLP presenta delle precise

alterazioni biomeccaniche: un piede con maggior eversione accompagnato da un più alto carico sotto la parte mediale dell'avampiede e un incremento nella velocità di re-inversione, con un aumento del roll-over laterale e del range di estensione della prima articolazione metatarsofalangea. Durante la fase di pronazione si registra un'eccessiva eversione che porta a un piede meno stabile; per compensarla si potrebbe incorrere in una re-inversione maggiore e accelerata, per fornire la leva rigida per lo stacco.

Una re-inversione accelerata con un roll-off più laterale, che normalmente si ha invece a livello dell'alluce, è causata probabilmente dalla riduzione di supporto a livello della prima articolazione metatarsofalangea, che risulta avere una maggiore estensione.

I dati confermano che l'over-pronazione e l'aumentata velocità di pronazione sono associate con un'alta incidenza di ERLLP, come trovato da altri studi precedenti.

Nonostante le evidenze concordanti dei due studi, sopra esaminate, si registra una differenza importante nella condizione in cui è stato analizzato il movimento nei due elaborati: corsa con scarpe, per Willems et al. (32), e corsa a piedi nudi, da parte di Witvrouw et al. (34).

Si ha l'impressione, infatti, che la scarpa mascheri in parte la biomeccanica intrinseca del piede, per questo alcuni fattori di rischio risultano meno pronunciati in questa condizione (eversione del piede e velocità di re-inversione); nella corsa a piedi nudi, invece, si trova un contatto del tallone più centrale come fattore di rischio, non osservato nella corsa con le scarpe a causa del contatto alterato del tallone nella scarpa da corsa. Questa potrebbe essere un'ulteriore spiegazione della maggiore eversione nella fase di *forefoot flat* nei soggetti che sviluppano la patologia, poiché un contatto del tallone di questo tipo assorbe meno lo shock e viene compensato quindi da una successiva pronazione esasperata.

Sebbene entrambe le condizioni permettano di rilevare le tendenze principali rispetto ai fattori di rischio, si ritiene auspicabile considerare prima l'analisi a piedi nudi e solo dopo quella con scarpe, sia per prevenire che per diagnosticare un infortunio da overuse.

Alla luce di questi risultati, un programma di prevenzione dovrebbe includere la valutazione dello schema del passo degli atleti, per diminuire l'incidenza della patologia.

L'obiettivo primario di queste strategie potrebbe essere minimizzare il movimento di pronazione e la distribuzione mediale della pressione, poiché queste variabili possono essere collegate con lo sviluppo fisiopatologico dell'infortunio. Comunque, il modo in cui queste variabili debbano essere corrette non è chiaro; le strategie di correzione potrebbero consistere in tape, inserti, plantari da scarpe o scarpe anti-pronazione.

## **LIMITI**

Il primo grosso limite di questa revisione sta nella bassa numerosità degli studi analizzati (dieci). Nella maggior parte degli elaborati presi in considerazione, inoltre, la comparazione dei parametri indagati non era pienamente sovrapponibile e statisticamente non significativa.

Nonostante questa revisione abbia messo in luce specifiche misure della funzione dinamica del piede che sono fattori di rischio per l'arto inferiore, ci sono molti limiti per identificare tali fattori in un setting di pratica clinica. Per prima cosa, mentre i dati indicano come la direzione del carico plantare alterato possa aumentare il rischio dello sviluppo di tendinopatia achillea o dolore femoro-rotuleo, non c'è la soglia limite presunta di quando un individuo è ritenuto a rischio (esempio il picco di forza nell'avampiede supera i 150 N). Ricerche future sono necessarie per stabilire linee guida cliniche e una selezione di criteri per questi fattori di rischio.

In secondo luogo, la valutazione delle pressioni plantari e la cinematica in tre dimensioni richiedono un'attrezzatura costosa e sofisticata che non è prontamente disponibile in un setting di pratica clinica. Studi futuri dovrebbero ricercare la conversione di queste misure di laboratorio a misure applicabili clinicamente.

Ci sono anche limiti specifici associati agli studi inclusi nella revisione. La maggior parte di essi valuta la funzione del piede durante il cammino o la corsa senza scarpe, che può limitare la generalizzabilità dei risultati nel passo con le scarpe. Anche se è riconosciuto che ci sono limiti associati alla misura delle pressioni plantari e della cinematica mentre si indossa le scarpe, questa condizione è quella che più strettamente assomiglia al passo durante l'attività quotidiana e le attività sportive.

Ci sono differenze anche tra studi che valutano il ciclo del passo sul terreno e sul treadmill. Dato che sono stati osservati schemi differenti tra le due condizioni (8, 23), potrebbe essere inappropriato misurare la funzione dinamica del piede durante ciclo su treadmill in runners che corrono abitualmente sul terreno e viceversa. Questo potrebbe portare a una discrepanza tra la funzione del piede dinamica misurata durante il test, e la funzione del piede durante l'attività ripetuta abitualmente.

Un'ulteriore limitazione sta nella qualità metodologica degli studi inclusi, generalmente scarsa. Questo è in gran parte dovuto a: misurazioni della funzione del piede inadeguate, risultati non significativi e basse covarianze. Al fine di accrescere la qualità complessiva della ricerca in questo campo, futuri studi prospettici dovrebbero rispettare le linee guida pubblicate per gli standard minimi della ricerca.

## 6. CONCLUSIONI

Questa revisione identifica un'evidenza molto limitata, con piccoli e moderati effetti riguardo alla funzione del piede durante il cammino e la corsa come fattore di rischio per il dolore femoro-rotuleo, la tendinopatia achillea e le patologie non specifiche da overuse dell'arto inferiore.

In particolare si nota che per la maggior parte degli infortuni la pronazione del piede, solitamente indicata come fattore primario di rischio, non risulta esserlo in modo così netto. Una sua associazione è stata trovata soltanto con ERLLP e con MTSS, al contrario in alcuni casi una maggiore pronazione può rappresentare un fattore protettivo come per FS, PFP, TA, ITBS, in quanto i soggetti che vanno a sviluppare queste patologie mostrano un *roll-over* più laterale nel pattern di corsa.

Potrebbe essere plausibile che quando si parla di aumentato carico fisiologico dell'articolazione o quindi di overuse, entrambe le deviazioni del pattern di roll-over del piede, o un'eccessiva pronazione o una minor pronazione, possano portare a una disfunzione dell'arto inferiore.

Un'altra considerazione è che un aumento del carico laterale del piede è una risposta adattativa a meccanismi prossimali che aumentano il carico mediale dell'arto inferiore. Studi prospettici hanno mostrato che un'aumentata adduzione dell'anca durante la corsa (20) e un'aumentata rotazione interna dell'anca nell'atterraggio da un salto (32) sono fattori di rischio per lo sviluppo del dolore femoro-rotuleo. Inoltre studi cross-sectional hanno riportato deficit nel controllo neuromuscolare dell'anca nei soggetti con dolore femoro-rotuleo (27,29) e tendinopatia achillea (26, 30). Ulteriori ricerche sono necessarie per capire meglio la relazione tra i meccanismi distali e prossimali durante il passo e il rischio di sviluppare una patologia da overuse.

Da questa revisione emerge che i parametri più studiati per la funzione dinamica del piede sono le variabili di carico plantare e quelle cinematiche: a differenza delle evidenze trovate riguardo alle prime, comunque poco significative, ce ne sono ancora meno riguardo ai fattori di rischio della cinematica dell'arto inferiore per le patologie da overuse. E' plausibile che i soggetti che sviluppano infortuni di questo tipo dimostrino differenze sottili, non osservabili dalle attuali misure di cinematica. Queste necessitano pertanto di tecniche più sofisticate di monitoraggio su tre dimensioni e multi-segmentali del piede, e clinicamente meglio applicabili per la misura dinamica della sua funzione. In mancanza di dati sugli effetti cinematici, i risultati di questo lavoro suggeriscono che i plantari possono avere i loro effetti clinici nella redistribuzione della pressione plantare, per esempio alterare l'intensità e gli schemi temporali e spaziali delle forze di reazione all'interfaccia piede-plantare.

Futuri studi prospettici dovrebbero rivolgersi alle limitazioni metodologiche, evitare di raggruppare differenti patologie dell'arto inferiore nelle analisi, ed esplorare una significativa rappresentazione clinica della funzione dinamica del piede.

## **7. BIBLIOGRAFIA**

- 1.** Buldt AK, et al., The relationship between foot posture and lower limb kinematics during walking: A systematic review. *Gait Posture*, 2013.
- 2.** Childs, J. D. et al., A clinical prediction rule to identify patients with low back pain most likely to benefit from spinal manipulation: a validation study. *Ann Intern Med*, 2004.
- 3.** Chuter VH, de Jonge XAK J. Proximal and distal contributions to lower extremity injury: a review of the literature. *Gait Posture*, 2012.
- 4.** Cleland, J. A., et al., Examination of a clinical prediction rule to identify patients with neck pain likely to benefit from thoracic spine thrust manipulation and a general cervical range of motion exercise: multi-center randomized clinical trial. *Phy Ther*, 2010.
- 5.** Cliborne, A. V., et al., Clinical hip tests and a functional squat test in patients with knee osteoarthritis: reliability, prevalence of positive test findings, and short-term response to hip mobilization. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2004.
- 6.** Gent RN, et al., Incidence and determinants of lower extremity running injuries in long distance runners: a systematic review. *Br J Sports Med*, 2007.
- 7.** Ghani et al., A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for lower leg overuse injuries. *Br J Sports Med*. 2009
- 8.** Hetsroni I et al., A prospective biomechanical study of the association between foot pronation and the incidence of anterior knee pain among military recruits. 2006
- 9.** Hetsroni I et al., The role of foot pronation in the development of femoral and tibial stress fractures: a prospective biomechanical study. *Clin J Sport Med*. 2008;18:18–23.
- 10.** McPoil TG, Hunt GC. Evaluation and management of foot and ankle disorders: present problems and future directions. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1995.
- 11.** Moen MH, et al., Risk factors and prognostic indicators for medial tibial stress syndrome. *Scand J Med Sci Sports*, 2012.
- 12.** Munteanu SE, Barton CJ. Lower limb biomechanics during running in individuals with achilles tendinopathy: a systematic review. *J Foot Ankle Res*. 2011 May 30;4:15. doi: 10.1186/1757-1146-4-15. PubMed PMID: 21619710; PubMed Central PMCID: PMC3127828.
- 13.** Murley GS et al., Foot posture influences the electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *J Foot Ankle Res*, 2009.
- 14.** Murley GS et al., Foot posture is associated with morphometry of the peroneus longus

- muscle, tibialis anterior tendon, and Achilles tendon. *Scand J Med Sci Sports*, 2014.
15. Murphy DF, et al., Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*, 2003.
  16. Neal BS et al., Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis. *Foot Ankle Res*, 2014.
  17. Neely FG. Intrinsic risk factors for exercise related lower limb injuries. *Sport Med*, 1998.
  18. Nigg BM, et al., Effects of arch height of the foot on angular motion of the lower extremities when running. *J Biomech*, 1993.
  19. Noehren B, et al., Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome. *Clin Biomech*, 2007.
  20. Noehren B. et al., Prospective Evidence for a Hip Etiology in Patellofemoral Pain. *Med Sci Sports Exerc*. 2013; 45:1120-1124.
  21. Powers CM., et al., Patellofemoral pain: proximal, distal and local factors. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2012.
  22. Powers, C.M., The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *J. Orthop Sports Phys Ther*, 2003.
  23. Sharma J et al., Biomechanical and lifestyle risk factors for medial tibia stress syndrome in army recruits: A prospective study. *Gait Posture*. 2011;33:361–36
  24. Souza TR, et al., Temporal couplings between rearfoot shank complex and hip joint during walking. *Clin Biomech*, 2010.
  25. Strunce, J.B., et al., The immediate effects of thoracic spine and rib manipulation on subjects with primary complaints of shoulder pain. *J Man Manip Ther*, 2009.
  26. Teyhen DS et al., Dynamic plantar pressure parameters associated with static arch height index during gait. *Clin Biomech*, 2009.
  27. Thijs Y et al., A prospective study on gait-related intrinsic risk factors for patellofemoral pain. *Clin J Sport Med*. 2007;17:437–445.
  28. Tiberio D. The effect of excessive subtalar joint pronation on patellofemoral mechanics: a theoretical model. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1987.
  29. Tong JWK, Kong PW. Association between foot type and lower extremity injuries: systematic literature review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2013.
  30. Van Ginckel et al., Intrinsic gait-related risk factors for Achilles tendinopathy in novice runners: a prospective study. *Gait Posture*. 2009;29:387–391.
  31. Wainner, R.S., Regional Interdependence: A Musculoskeletal Examination Model Whose Time Has Come. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 2007.
  32. Willems et al., A prospective study of gait related risk factors for exercise-related lower leg

pain. 2006

33. Williams DS., et al., High-arched runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait Posture*, 2004.
34. Witvrouw E., Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:330–339

## **RINGRAZIAMENTI**

Ringrazio la Mamma e il Babbo, che mi son sempre vicini, che mi hanno sopportato anche in questo difficile anno e mezzo in cui i periodi mestruali sono stati più frequenti dell'appuntamento mensile, non ho certo un carattere facile.

Ringrazio Luchignolo, amico prima e socio poi, che mi ha permesso di essere un anno e mezzo nella ridente Liguria, mantenendo un'eccellente qualità e attività lavorativa; per questo non posso non ringraziare Martino, con la a le piacerebbe di più ma a me diverte così, collega fantastica e confidente fidata.

Ringrazio Ivano Penti, a carico da quando ci conosciamo, compagno immancabile di ogni mia fase formativa e non solo (le cazzate vanno fatte per bene, per questo ci ho aperto pure un paio di studi).

Ringrazio Andre i Giusti e Edo Ballish, mi siete rimasti simpatici da subito e questo non è poco, sarebbe stato molto peggio senza di voi. Ringrazio gli amici di Pisa, Vong, Curo, la Marta e la Milena, abbiamo volato in ogni momento. Ringrazio la Pieeera, l'anima OMT del nostro gruppetto e futura assistente. Ringrazio la Simo per averci sopportato ed averci accompagnato in tutti i momenti, compreso quelli più disagiati.

Ringrazio Tappano per le domeniche scaccia pensieri e aumenta madonne, per le serate non serate, per le polemiche immotivate; ringrazio Marco Decimo Meridio, bff, sempre vicino nei momenti di sconforto.

Ringrazio Andrea Raschi, per la pazienza e la simpatia, e per il buon lavoro che mi ha fatto fare.

Infine ringrazio Paolo, perché se ho fatto questo master la "colpa" è solo sua.. Avevamo bisogno di un'esperienza che ci accrescesse sotto diversi punti di vista e così è stato.. Sei la parte migliore del mio disagio e non basterebbe una tesi per descrivere il tutto. Sono contento che non ti sposerai a breve, sennò sai che bagarre per i testimoni?!?!