



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE BIOMEDICHE E NEUROMOTORIE

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA

# RIABILITAZIONE DEL PAZIENTE AMPUTATO DI ARTO INFERIORE NELLO SPORT: SCOPING REVIEW

Tesi di laurea in Medicina Riabilitativa in Neurologia

**Relatore**

**Prof. Maria Vittoria Filippi**

**Presentata da**

**Chiara Camaggi**

---

**Sessione Novembre 2024**

**Anno Accademico 2023/2024**

## ABSTRACT

### **Background**

Tra le principali preoccupazioni di un paziente che ha subito un'amputazione di arto inferiore e/o superiore, emerge spesso il dubbio riguardo al percorso riabilitativo da seguire. Ci si domanda, in particolare, se esista un approccio standard o se la riabilitazione post-amputazione venga adattata alle necessità di ciascun paziente.

È fondamentale chiarire che ogni percorso riabilitativo è studiato su misura, tenendo conto delle caratteristiche individuali di ciascuna persona che ha subito un'amputazione. Non esiste un protocollo unico valido per tutti, poiché il programma riabilitativo deve essere costruito sulla base di molteplici fattori, tra cui l'anamnesi del paziente, la sua storia clinica, le condizioni fisiche attuali e la presenza di eventuali patologie pregresse o sopraggiunte a seguito dell'amputazione. Questo processo personalizzato garantisce che ogni individuo riceva l'attenzione necessaria per favorire un recupero ottimale, rispettando le sue capacità e il suo stato di salute generale.

L'importanza di un allenamento mirato e di un supporto psicologico nel percorso di riabilitazione post amputazione di un atleta è cruciale per favorire un recupero efficace.

L'allenamento fisico, personalizzato in base alle esigenze dell'individuo, aiuta a migliorare la forza, l'equilibrio e la mobilità, preparando il corpo all'uso di protesi e alla ripresa delle attività sportive.

Allo stesso tempo, il supporto psicologico è fondamentale per affrontare l'impatto emotivo dell'amputazione, promuovendo la motivazione.

### **Obiettivo**

Identificare gli aspetti principali su cui impostare un trattamento riabilitativo in pazienti amputati di arto inferiore che praticano un'attività sportiva e valutare l'efficacia di adeguati programmi riabilitativi.

### **Materiali e metodi**

È stata eseguita una ricerca da luglio a ottobre 2024 sulle principali banche dati *PubMed*, *PEDro* e *Cinhal Complete*. Sono pervenuti 468 articoli e altri 2 sono stati inclusi nello studio tramite citazioni della bibliografia. Dopo un'attenta selezione secondo i criteri di eleggibilità ne sono stati mantenuti un totale di 10. I criteri di inclusione sono articoli di attività sportive in pazienti

amputi di arto inferiore che forniscano dati riabilitativi utili per un percorso fisioterapico più specifico e in lingua inglese.

### **Risultati**

Negli studi selezionati sono stati individuati diversi aspetti rilevanti per un programma riabilitativo in pazienti amputati, però risultano essere specifici per ogni sport sulla base di analisi biomeccaniche.

Programmi di allenamento intensivi hanno migliorato gli outcome di molti pazienti sia riguardo ad aspetti come il dolore e prestazione fisica, ma anche sulla sfera psicologica.

### **Conclusioni**

La riabilitazione di pazienti amputati di arto inferiore che praticano attività sportive ad alto livello deve tenere in considerazione gli studi delle analisi biomeccaniche; per questo, risulta essere molto specifica per ogni sport e individualizzata sul paziente.

Sulla base di questi dati si possono eseguire programmi di allenamento più mirati che, questi studi, hanno dimostrato apportare un miglioramento delle prestazioni fisiche.

## INDICE

### **ABSTRACT**

### **CAPITOLO 1: INTRODUZIONE**

- 1.1 Razionale.....pag. 5  
1.2 Obiettivo.....pag. 13

### **CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI**

- 2.1 Protocolli e registrazioni.....pag. 14  
2.2 Criteri di eleggibilità.....pag. 14  
2.3 Strategia di ricerca.....pag. 14  
2.4 Selezione delle fonti di evidenza.....pag. 16  
2.5 Processo di mappatura dei dati.....pag. 16

### **CAPITOLO 3: RISULTATI**

- 3.1 Selezione delle fonti.....pag. 17  
3.2 Caratteristiche dei singoli studi.....pag. 20  
3.3 Risultati dei singoli studi.....pag. 23  
3.4 Sintesi dei risultati.....pag. 29

### **CAPITOLO 4: DISCUSSIONE E CONCLUSIONI**

- 4.1 Limiti dello studio.....pag. 39  
4.2 Conclusioni.....pag. 40

**BIBLIOGRAFIA**.....pag. 42

**SITOGRAFIA**.....pag. 43

## CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

### 1.1 Razionale

#### L'amputazione di un arto

L'amputazione è intesa come la perdita accidentale o l'asportazione chirurgica di un arto (inferiore o superiore), totale o di un suo segmento, con tutte le sue componenti (pelle, vasi, nervi, osso e muscolo).

L'estremo dell'arto amputato è detto moncone d'amputazione.

Le cause possono essere molteplici:

- Amputazione chirurgica: è un intervento eseguito per controllare il dolore, i traumi irreparabili o un processo patologico severo nell'arto interessato. La maggior parte di quest'interventi è praticata per gestire le complicanze vascolari periferiche, correlate soprattutto al diabete, all'arteriosclerosi e alle gangrene di origine arteriosa.
- Amputazione spontanea: si verifica prevalentemente negli arti affetti da gangrena. La gangrena è una tipologia di necrosi tissutale provocata, generalmente, da un carente apporto sanguigno nella parte interessata
- Amputazione traumatica: è un'evenienza che si osserva prevalentemente in caso di incidenti stradali (automobili, motocicli, biciclette ecc.) e di infortuni sul lavoro.
- Amputazione congenita: è un'evenienza piuttosto rara che si verifica quando il nascituro è ancora nell'utero.
- Altre cause

L'amputazione chirurgica prevede innanzitutto l'interruzione dell'apporto di sangue alla zona d'asportare, successivamente si passa alla sezione di muscoli e ossa. In base alle condizioni di partenza si cerca di preservare il più possibile la componente muscolare con l'intento di ottenere una buona copertura dell'osso residuo e mantenere un volume e inserzioni muscolari il più possibile simili alla fisiologia umana. Si cerca inoltre, di preservare la cute a copertura del moncone residuo ma se le condizioni di partenza non consentono tale copertura è possibile la realizzazione di innesti o lembi cutanei. Un adeguato tempo chirurgico con il confezionamento di un moncone, secondo quanto sopra citato, offre i presupposti per consentire una contrazione muscolare efficace in grado di ridurre l'atrofia della parte, consentire l'uso funzionale del moncone e mantenere la copertura dei tessuti molli dell'osso residuo.

Il decorso post-operatorio può essere costellato di sintomi, quali sensazione di arto fantasma, dolore da arto fantasma o dolore al moncone.

Il trattamento riabilitativo inizia subito dopo l'intervento ed è focalizzandosi da un lato sulla gestione del moncone, sul controllo dell'edema e della ferita chirurgica, così come sulla prevenzione di contratture e del dolore, dall'altro al miglioramento delle condizioni cliniche generali di paziente spesso pluri-patologici.

Quando le condizioni cliniche del paziente e lo stato del moncone saranno ottimali, verrà fabbricata una protesi basata sul livello di amputazione e sulle richieste funzionali del paziente; inizierà quindi la riabilitazione post-protetica che sarà finalizzata alla ripresa della funzione del cammino del paziente.

### **Come cambia lo schema corporeo dopo l'amputazione**

L'amputazione non è causa solamente dell'asportazione di un segmento di un arto, ma lo è anche di un'alterazione sia dello schema corporeo sia dell'immagine corporea [2].

Attraverso i nostri ininterrotti cambiamenti di posizione, costruiamo e ricostruiamo continuamente un modello posturale di noi stessi che, proprio per questa sua natura dinamica, è in perenne cambiamento. Ogni posizione ed ogni movimento vengono registrati in uno schema plastico (lo "schema corporeo") derivato dall'integrazione cerebrale di ogni nuovo gruppo di sensazioni prodotte dal mutamento stesso. Lo schema corporeo agisce senza consapevolezza o monitoraggio cosciente.

L'immagine corporea è l'immagine tridimensionale che ciascuno ha di sé stesso, è il riconoscimento della localizzazione di un punto corporeo stimolato e si riferisce a una rappresentazione cosciente del corpo, comprendente non solo percezioni, ma anche atteggiamenti.

Molto spesso per varie motivazioni, la persona amputata percepisce la porzione mancante dell'arto sia come reale presenza sia come fenomeno doloroso, percepisce lo stesso dolore ma anche prurito, fitte ed altro nelle zone come prima dell'amputazione.

Questi sono quadri clinici definiti Arto Fantasma ed Arto Fantasma doloroso. Queste alterazioni incidono in modo molto significativo sul vissuto della persona amputata, perché presenti anche tutto il giorno ostacolando spesso le attività della vita quotidiana, l'uso della protesi, il sonno.

### **Livelli di amputazione dell'arto inferiore**

Per l'arto inferiore possiamo avere 6 diversi livelli di amputazione [1]:

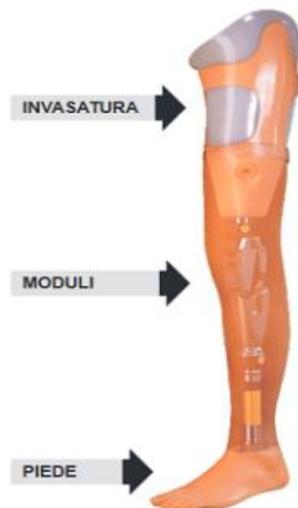
1. Amputazione del piede: ha più di dodici livelli di amputazione differenti. Per questi tipi di amputazione possono essere utilizzate delle protesi in silicone, puramente estetiche oppure con componenti funzionali e di supporto.
2. Amputazione trans-tibiale: prevede l'asportazione al di sopra dell'articolazione tibio-tarsica, con l'asportazione di porzioni di tibia e perone.
3. Disarticolazione di ginocchio: la parte inferiore della gamba (tibia e perone) viene amputata a livello dell'articolazione del ginocchio, lasciando intatto il femore e spesso la rotula.
4. Amputazione trans-femorale: amputazione a livello del femore, tra l'anca e il ginocchio.
5. Disarticolazione d'anca: l'amputazione si effettua con il distacco del femore, lasciando intatte le altre strutture ossee del bacino.
6. Emipelvectomy: sono amputate la gamba intera e alcune componenti ossee del bacino fino alla possibilità di arrivare al sacro.

### **Tipi di protesi**

In ortopedia, per le persone che hanno subito un'amputazione, quando si parla di protesi si fa riferimento soprattutto a due tipi di dispositivi artificiali: le protesi esoscheletriche (tradizionali) ed endoscheletriche (modulari) [3].

Le protesi tradizionali o esoscheletriche sono protesi in cui le pareti esterne sono rigide, con funzioni portanti che ne determinano la forma cosmetica esteriore; sono realizzate con materiali come legno, resine epossidiche da laminazione e poliuretani espansi che le rendono affidabili, resistenti e sicure. Sono dei dispositivi che sostituiscono del tutto un arto o una sua parte mancante a seguito di amputazione.

Con l'avanzamento della tecnologia il sistema esoscheletrico è stato quasi completamente abbandonato perché non è in grado di soddisfare alcune esigenze dei pazienti a causa del limitato movimento che queste protesi impongono.



**Figura 1:** protesi esoscheletrica arto inferiore sx

Le protesi endoscheletriche invece hanno una struttura scheletrica centrale interna, che comprende componenti modulari intercambiabili che conferiscono a questa tipologia di dispositivo una grande versatilità e che facilitano la rimozione di componenti nel caso in cui questi si danneggiassero durante l'uso [3]. Le protesi endoscheletriche permettono quindi l'intervento sui singoli componenti che la formano al fine di effettuare eventuali adattamenti, correzioni o cambiamenti, in base alla specifica funzionalità richiesta dal soggetto o all'attività che il paziente dovrà compiere. L'unico svantaggio per questi dispositivi riguarda la durata; sono infatti meno resistenti e alcune parti vanno periodicamente cambiate. Nonostante ciò presentano molti vantaggi che permettono loro di essere le protesi più comunemente utilizzate. I vantaggi più evidenti che portano a innumerevoli benefici nella quotidianità di chi le indossa sono: semplicità, versatilità, modularità, leggerezza e flessibilità.



**Figura 2:** protesi endoscheletriche modulari

In figura 2 sono riportati due esempi di endoprotesi per atleti transfemorali. La protesi a sinistra è una protesi per lo sprinting che condivide, con quella a destra adatta per il running, il medesimo sistema di articolazione artificiale di ginocchio (3S80 sport knee joint, cerchio giallo). I cerchi rossi indicano i diversi tipi di piedi protesici: quello per lo sprinting presenta una forma a J, per il running a C; la forma è strettamente legata alla capacità di rilasciare l'energia elastica acquisita durante il movimento. I cerchi blu indicano i nuclei di registrazione che nel caso di protesi da sprinting sono a piramide per agevolare il corretto allineamento della protesi, mentre in quella da running presentano una forma a L per collegare l'articolazione del ginocchio al piede protesico. Infine i cerchi verdi mostrano delle soles specifiche che servono per aumentare il grip con il suolo, a seconda del tipo di terreno vengono utilizzate soles differenti.

Le protesi su cui questa tesi si focalizza sono principalmente quelle specifiche per la corsa, applicate sia per atleti agonisti che intendono massimizzare le loro prestazioni, sia per atleti principianti che vogliono avviarsi allo sport minimizzando l'energia spesa e la relativa fatica. La progettazione di queste protesi si basa sull'analisi del cammino e della corsa al fine di ricavare i parametri cinematici e dinamici utili per un corretto sviluppo ed innovazione futura. Dato che la ricerca ha preso in considerazione solo protesi trans-tibiali e trans-femorali, andremo a vedere le loro caratteristiche.

### Protesi trans-tibiali

La corretta progettazione di un piede protesico, che sia da corsa o da cammino, deve avere come obiettivo principale quello di replicare in modo il più fedele possibile i movimenti articolari della caviglia, è essenziale quindi conoscere la cinematica e i movimenti articolari di questo distretto [3]. Esistono in commercio numerosi tipi di piedi protesici dove ciascuno presenta le proprie caratteristiche e funzionalità.

La funzionalità che il piede protesico acquisisce determina la sua forma, la geometria e l'abbinamento con i vari moduli di collegamento. Attualmente in commercio è presente una vasta gamma di piedi protesici che rispondono al meglio alle varie esigenze: dalla semplicità di utilizzo e leggerezza per chi ha poca mobilità fino ai piedi più avanzati che consentono al paziente di correre. I piedi protesici sono classificati nel seguente modo e sono adatti sia per amputazioni transtibiali che transfemorali:

- piedi rigidi: Sach e dinamici. Sono piedi adatti per il solo cammino infatti presentano una componente di assorbimento di energia e una quasi totale assenza di restituzione.

- piedi articolati: i piedi articolati sono differenti rispetto a quelli rigidi perché è presente un'articolazione artificiale della caviglia che si può muovere o su un piano (monoassiale) oppure sui tre piani spaziali (pluriassiali) facilitando il cammino; questa tipologia di piedi non è adatta per la corsa.
- piedi pluriassiali: il piede pluriassiale consente movimenti in tutte le direzioni, riesce ad adattarsi a qualsiasi superficie e di assorbire alcune forze di torsione che si generano durante il cammino, è indicato quindi per pazienti dinamici.
- piedi a restituzione di energia: i piedi a restituzione di energia sono impiegati nei pazienti che hanno un grado di mobilità elevato e che vogliono praticare anche attività sportiva. Questo piede accumula energia durante la fase di appoggio del piede sul terreno e la restituisce nella fase di spinta.

Lo scheletro della protesi è inserito tra l'invasatura e il piede protesico e svolge una funzione portante: un sistema di allineamento registrabile permette i movimenti di flessione-estensione e di ab-adduzione di un componente rispetto al successivo, dove i due componenti sono il "maschio" a forma tronco-piramidale e la "femmina" caratterizzata da 4 viti poste a coppie contrapposte sul piano frontale e su quello sagittale, che bloccano la piramide e consentono, scorrendo sulle sue pareti, i movimenti sopra citati. L'invasatura è l'alloggiamento del moncone, ne esistono di vari tipi a seconda delle caratteristiche del paziente.

### Protesi trans-femorale

I componenti che formano una protesi sono [3]:

1. Cuffia (liner), è una guaina che serve ad aumentare la superficie di contatto tra moncone e invasatura;
2. Invasatura (socket);
3. Ginocchio artificiale;
4. Giunto sferico per assorbire parte dei carichi durante il movimento;
5. Piede protesico, differente a seconda della mobilità del paziente.

La protesi transfemorale svolge l'arduo compito di simulare l'articolazione del ginocchio; di tutte le componenti protesiche è la parte più complessa poiché ricopre un ruolo fondamentale per il corretto funzionamento del dispositivo artificiale, influenzando così le prestazioni sportive.

Esistono in commercio oltre cento meccanismi che simulano l'articolazione del ginocchio, e si possono classificare in due categorie: quelli meccanici e quelli computerizzati. Quelli meccanici si dividono in monoassiali e multiassiali.

Nei primi il movimento relativo tra coscia e gamba avviene attorno ad un unico e definito asse di rotazione, si realizza quindi un giunto a cerniera.

Nei secondi il centro di rotazione tra le due porzioni dell'arto è mobile in funzione dell'angolo di flessione del ginocchio; questa modalità è chiamata cerniera mobile perché cerca di riprodurre fedelmente il movimento naturale del ginocchio di rotazione e scorrimento.

Negli ultimi anni si è cercato di sviluppare un ginocchio computerizzato con un alto livello di funzionalità che permette di far combaciare sicurezza e velocità: il controllo elettronico soddisfa questa richiesta, ed è la soluzione più sofisticata attualmente in commercio.

Il principio ingegneristico che sta alla base di questo progetto è dato da un'interazione molto specifica tra componenti sensoriali come accelerometri e celle di carico, il cui compito è quello di rilevare la posizione e il movimento del dispositivo nello spazio, ed un'intelligenza artificiale che elabora i segnali provenienti dai sensori facendo produrre una risposta in retroazione degli attuatori meccanici che permettono la locomozione.

### **Biomeccanica di una protesi endoscheletrica**

Per comprendere meglio il funzionamento delle protesi, analizziamo alcuni aspetti biomeccanici durante un'attività dinamica come la corsa [3].

L'analisi biomeccanica della corsa distingue due fasi principali: la fase di appoggio (stance phase), che rappresenta il 40% dell'intero movimento, e la fase di oscillazione (swing phase), pari al 30%. Entrambe le fasi sono definite come l'insieme dei movimenti che intercorrono tra due momenti successivi di contatto dello stesso piede con il terreno. Inoltre, possiamo identificare una terza fase, la fase di galleggiamento (floating phase), che copre il 30% del movimento e riguarda il recupero degli arti inferiori per l'alternanza delle loro funzioni.

Durante la fase di appoggio, sia gli amputati che i soggetti normodotati si affidano alle articolazioni per generare l'assorbimento e il rilascio di energia: l'articolazione tibiotarsica per il contatto con il suolo, l'estensione dell'anca e del ginocchio per favorire la progressione in avanti. La fase di appoggio può essere ulteriormente suddivisa in tre sottofasi: footstrike (momento di ammortizzazione), midsupport (momento di sostegno) e take off (momento di spinta).

Il piede ha un duplice ruolo: trasmettere la forza d'impatto con il suolo al resto del corpo e facilitare il flusso dell'energia elastica immagazzinata dai muscoli al terreno per generare propulsione. Nella fase di contatto (heel strike), una specifica area del piede tocca il suolo, a seconda del tipo di corridore, sia con il calcagno, l'intera pianta o con l'avampiede, specialmente a velocità elevate. In questo momento, l'impatto genera una forza pari a circa tre volte il peso

corporeo, e le vibrazioni si propagano verso l'alto, interessando muscoli, tendini e ossa dell'intera gamba, così come il bacino e la colonna vertebrale. Il piede in fibra di carbonio è progettato per imitare il comportamento di un piede normale, appoggiandosi solo con le punte; infatti, solo una ristretta sezione della protesi entra in contatto con il suolo, subendo una compressione in questa fase.

Quando il peso del corpo si sposta in avanti, il piede entra nella fase di sostegno (midfoot strike) ed è in eversione o pronazione. In questo momento, il piede ruota in avanti, distribuendo il peso dalla zona mediale, precedentemente concentrata sul tallone. Nel piede protesico, tuttavia, non si verifica un rollamento così marcato; durante la fase di spinta (toe off - forefoot strike), il piede continua a ruotare in avanti, e il peso si sposta dall'area mediale all'avampiede, generando una forza pari a cinque volte il peso corporeo. Il piede in carbonio rilascia l'energia accumulata in modo proporzionale alla compressione avvenuta nella fase precedente.

L'analisi temporale della forza di reazione al suolo (GRF) consente di stabilire una relazione tra la forza di impatto generata al contatto del piede con il terreno e le eventuali patologie correlate. In genere, la GRF presenta tre componenti spaziali che, se studiate, forniscono informazioni sulla direzione, l'ampiezza e il punto d'impatto della forza.

Al momento del contatto iniziale del piede, si genera una forza di taglio antero-posteriore molto breve che garantisce stabilità sotto carico; successivamente, il carico sulla gamba produce rapidamente una forza diretta in avanti, che raggiunge l'intensità massima in pochi istanti. Durante la fase di appoggio intermedio, la forza antero-posteriore è minima fino al sollevamento del tallone, per poi aumentare in direzione posteriore, raggiungendo il valore massimo al momento di take off.

Durante la corsa, quando il centro di massa corporeo è orientato verso il terreno, l'energia potenziale diminuisce, così come l'energia cinetica al contatto del piede con il suolo. La maggior parte dell'energia potenziale e cinetica persa viene convertita in energia elastica e immagazzinata nei muscoli, nei tendini e nei legamenti. Nella fase di propulsione, il centro di massa accelera verso l'alto fino al picco massimo: la contrazione muscolare e il rilascio di energia da parte di tendini e legamenti forniscono il lavoro necessario per la spinta in avanti. Quando il piede tocca terra, l'energia cinetica e potenziale sono al minimo. L'attività muscolare genera lavoro meccanico che muove il tronco e i segmenti corporei; i muscoli, infatti, influenzano direttamente il movimento degli arti rilasciando energia tramite contrazione concentrica e assorbendo attraverso contrazione eccentrica.

## **Epidemiologia**

Un trauma rappresenta circa il 15% delle cause di amputazione, mentre tumori e malformazioni congenite costituiscono circa il 5%. Le differenze in termini di sesso ed età sono significative: i traumi colpiscono principalmente il sesso maschile, con un'età compresa tra 20 e 40 anni, mentre le malattie vascolari, che colpiscono maggiormente il sesso maschile (rapporto 3:1), portano a interventi di amputazione soprattutto dopo i 50 anni (80% dei casi).

L'incidenza di malattie aterosclerotiche aumenta con l'età, soprattutto tra gli anziani, spesso affetti da polipatologie.

Nei pazienti con arteriopatie ostruttive gravi, l'amputazione dell'arto inferiore avviene nel 6-15% dei casi, con una percentuale che sale al 44% in presenza di ischemia cronica. La vasculopatia è una complicanza comune nei diabetici: si riscontra nell'8% all'esordio della malattia, aumenta al 15% dopo 10 anni e colpisce il 45% dopo 20 anni. Tra i pazienti diabetici ospedalizzati, il 20% presenta problemi di piede diabetico, il 30% vasculopatia periferica e il 7% necessita di interventi chirurgici o amputazioni.

Nei paesi industrializzati, dove la chirurgia è sempre programmabile e le tecniche di riabilitazione e fisioterapia sono avanzate, la causa principale risiede nelle patologie vascolari; in contrapposizione, nei paesi in via di sviluppo, spesso colpiti da conflitti, la chirurgia è realizzata in uno stato di emergenza e la causa principale della mutilazione è bellica (nelle regioni con una storia recente di guerre e scontri civili, si può stimare che circa l'80% delle amputazioni avvenga per causa traumatica), con predominanza di bambini e giovani (spesso per incontri fortuiti con mine antiuomo). Inoltre, l'indicatore dell'età media di queste popolazioni è molto basso, cosa che limita fortemente l'incidenza di malattie vascolari.

Il grosso problema delle mine antiuomo riguarda in particolar modo 90 Paesi in cui ne sono presenti un numero imponente, prossimo a 100.000.000. Dieci Paesi dei 90 ne totalizzano circa il 50% [4].

### **1.2 Obiettivo**

L'obiettivo di questa *Scoping Review* è identificare gli aspetti principali su cui impostare un trattamento riabilitativo in pazienti amputati di arto inferiore che praticano un'attività sportiva.

## CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI

### 2.1 Protocolli e registrazioni

Questa *Scoping review* è stata redatta secondo la checklist *PRISMA Extension* per le *Scoping Review (PRISMA-ScR)* [5].

### 2.2 Criteri di eleggibilità

Il quesito di ricerca clinica che è stato seguito durante il processo è stato “quali aspetti riabilitativi vanno tenuti in considerazione in un percorso fisioterapico di un paziente amputato di arto inferiore che deve affrontare un’attività sportiva?”.

Questo studio è stato svolto con l’intento di rispondere a tale domanda e di fornire informazioni sugli aspetti biomeccanici che possono influenzare il trattamento riabilitativo di questi pazienti, in modo da capire al meglio quali problemi principali si possono incontrare e come trattarli.

Di conseguenza, è stata svolta una ricerca in cui sono stati presi in considerazione gli studi primari e secondari disponibili nella letteratura, con lo scopo di fornire un intervento completo.

Il quesito di ricerca è stato attuato seguendo il PCC:

- Popolazione (*Population*): pazienti sportivi amputati di arto inferiore mono/bilateralmente e protesizzati;
- Concetto (*Concept*): aspetti riabilitativi e da considerare in un percorso fisioterapico di un atleta e conseguenze associate;
- Contesto (*Context*): attività sportiva praticata.

### 2.3 Strategia di ricerca

La ricerca è stata eseguita da luglio a settembre 2024, ricercando le evidenze scientifiche sulle banche dati *PubMed*, *PEDro* e *Cinahl Complete*. Sono stati ottenuti i testi “*free full text*” degli articoli grazie al portale proxy universitario (*Alma Mater Studiorum* di Bologna).

Non sono stati applicati filtri per non restringere il campo di ricerca ed essere certi di riuscire a mappare tutta la letteratura.

Le parole chiave utilizzate sono state:

“*lower limb amputation*”, “*monolateral*”, “*bilateral*”, “*transtibial*”, “*transfemoral*”, “*prostheses*”, “*sport*”, “*athlete*”, “*rehabilitation*”.

La ricerca su PubMed è stata eseguita unendo le parole chiave attraverso gli operatori booleani e la stringa di ricerca risultante è stata la seguente:

“(monolateral lower limb amputation OR bilateral lower limb amputation OR transtibial amputation OR transfemoral amputation) AND prostheses AND (((sport) OR spor\*) OR athlete) OR athlet\*) AND ((rehabilitation[MeSH Terms]) OR rehabilitatio\*)”.

Sono stati ottenuti 439 articoli. Valutando la pertinenza per titolo e abstract sono stati eliminati 395 articoli. Dopo un’attenta lettura dei full text dei 44 articoli rimanenti, 37 sono stati esclusi perché non pertinenti al quesito di ricerca, 7 sono stati mantenuti.

La ricerca su Cinhal Complete è stata eseguita nella stessa modalità di quella su PubMed, inserendo la seguente stringa di ricerca:

“(monolateral lower limb amputation OR bilateral lower limb amputation OR transtibial amputation OR transfemoral amputation) AND prostheses AND (((sport) OR spor\*) OR athlete) OR athlet\*) AND ((rehabilitation[MeSH Terms]) OR rehabilitatio\*)”.

Attraverso questa ricerca sono emersi 28 articoli. Tra questi, 17 sono stati eliminati perché duplicati. Dopo la lettura di titolo e abstract, 3 sono risultati pertinenti. Successivamente, leggendo gli articoli in modo completo, nessuno è risultato idoneo per lo studio. Dalla bibliografia di uno di questi studi (*Comparison of mobility and quality of life levels in sedentary amputees and amputee soccer players*) è emerso un ulteriore articolo di interesse che è stato incluso nello studio, intitolato “*Short-term effect of physiotherapy rehabilitation on functional performance of lower limb amputees*”.

La ricerca su PEDro è stata eseguita in modalità avanzata, selezionando le opzioni nell’elenco a tendina, di seguito riportate:

- Abstract & Title: lower limb amputation, athlete, prostheses
- Therapy: fitness training
- Problem /
- Body part /
- Subdiscipline: sports
- Topic /
- Method /

Tutti gli articoli sono stati uniti tramite operatore booleano AND. Dalla ricerca è pervenuto 1 articolo in lingua inglese, il quale è stato mantenuto poiché il full text è risultato pertinente allo

studio. Dalle citazioni della bibliografia di questo studio è stato incluso un altro articolo di interesse, coerente con lo studio eseguito, intitolato “*Individualized preventive program in paralympic athletics athletes. Article in Physical Therapy in Sport*”.

#### **2.4 Selezione degli studi**

La selezione degli studi è stata effettuata da un singolo revisore, attraverso il processo di *Identificazione degli studi, Screening e Inclusione*. I risultati di tutte le banche dati sono stati importati sul programma di gestione bibliografica Zotero, tramite il quale sono stati eliminati i duplicati. Gli studi rimasti dopo la rimozione dei duplicati sono stati sottoposti al processo di screening di titolo e abstract e sono stati esclusi quelli non pertinenti. Infine, è stato effettuato il processo di eleggibilità degli studi rimanenti tramite la lettura del full-text, includendo quelli pertinenti in questa revisione ed eliminando gli altri.

L'intero processo di selezione degli studi è stato schematizzato con il PRISMA 2020 flow diagram.[6].

#### **2.5 Processo di mappatura dei dati**

Il processo di mappatura è stato eseguito da un singolo revisore indipendente, le informazioni pertinenti all'argomento di questa tesi, raccolte attraverso la lettura del full text di ogni articolo incluso, sono state inserite nella tabella sinottica (vedi capitolo 3, paragrafo 3.4 “Sintesi dei risultati”).

## CAPITOLO 3: RISULTATI

### 3.1 Selezione delle fonti

La ricerca svolta nelle tre banche dati PubMed, PEDro, Cinhal hanno portato alla raccolta di 468 articoli. Di questi, tenendo conto dei criteri eleggibilità, ne sono stati mantenuti 20 per la costruzione di questa *Scoping review*.

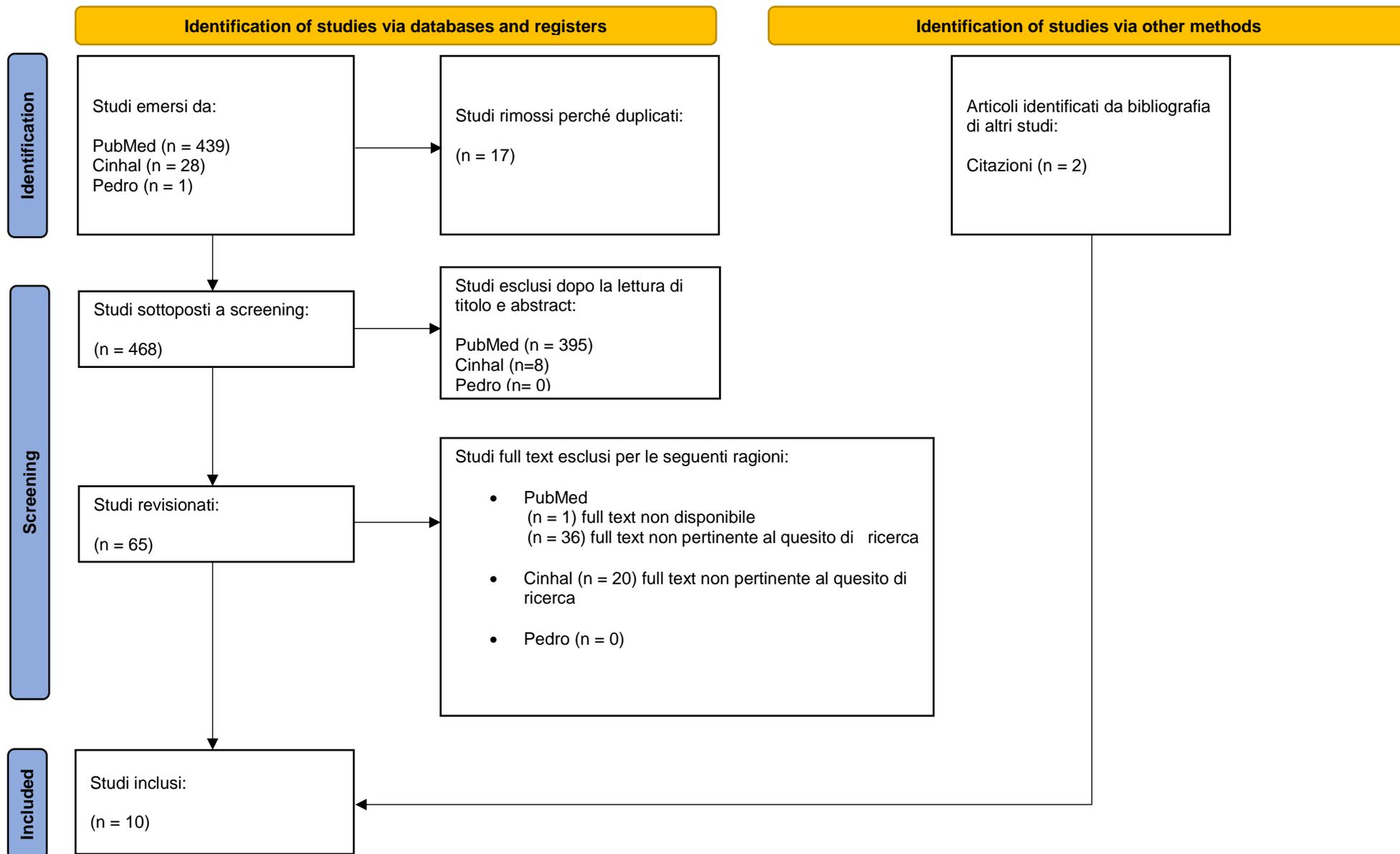
Gli articoli reperiti, in ordine cronologico dal meno recente al più recente, sono:

- The biomechanics of cycling with a transtibial amputation: Recommendations for prosthetic design and direction for future research. W Lee Childers, Robert S Kistenberg, Robert J Gregor. PMID: 19658015, DOI: 10.1080/03093640903067234
- Amputees and Sports. A Systematic Review. Mihail Bragaru, Rienk Dekker, Jan H.B. Geertzen and Pieter U. Dijkstra
- Asymmetrical loading demands associated with vertical jump landings in people with unilateral transtibial amputation. Marlene Schoeman, Ceri E Diss, Siobhan C Strike. PMID: 24699978, DOI: 10.1682/JRRD.2012.10.0199
- Amputee Locomotion: Joint Moment Adaptations to Running Speed Using Running-Specific Prostheses after Unilateral Transtibial Amputation. Brian S Baum, Hiroaki Hobara, Kyung Koh, Hyun Joon Kwon, Ross H Miller, Jae Kun Shim. PMID: 29406403, PMCID: PMC6077106, DOI: 10.1097/PHM.0000000000000905
- Three-Dimensional Takeoff Step Kinetics of Long Jumpers with and without a Transtibial Amputation. Johannes Funken, Steffen Willwacher, Kai Heinrich, Ralf MÜLLER, Hiroaki Hobara, Alena M Grabowski, Wolfgang Potthast. PMID: 30489495, DOI: 10.1249/MSS.0000000000001853
- Running-specific prostheses reduce lower-limb muscle activity compared to daily-use prostheses in people with unilateral transtibial amputations. Lauren A Sepp, Erika Nelson-Wong, Brian S Baum, Anne K Silverman. PMID: 33091790, DOI: 10.1016/j.jelekin.2020.102462
- Exercise training program in children with lower-limb amputation. Óscar García-García, Sofía Mosteiro, David Suárez-Iglesias, Carlos Ayán. PMID: 34406253, DOI: 10.1590/1806-9282.67.02.20200723
- Strategies for Gait Retraining in a Collegiate Runner with Transfemoral Amputation: A Case Report. Jillian Santer, Stephanie MacDonald, Katherine Rizzone, Shawn

Biehler, Tanya Beiswenger. PMID: 34123538, PMCID: PMC8169020,  
DOI: 10.26603/001c.23671

I due articoli che sono stati inclusi nello studio tramite le citazioni della bibliografia sono:

- Individualized preventive program in paralympic athletics athletes. Article in Physical Therapy in Sport. Júlia Ribeiro Lemos, Fabio Fonseca. March 2016 DOI: 10.1016/j.ptsp.2015.11.016
- Short-term effect of physiotherapy rehabilitation on functional performance of lower limb amputees. B. RAU, F. BONVINI, & R. DE BIE. International Committee of the Red Cross, Geneva, Switzerland, and Department of Epidemiology CAPHRI Research Institute, Maastricht University, Netherlands.



**Figura 3:** PRISMA flow diagram

### 3.2 Caratteristiche dei singoli studi

Gli studi utilizzati per realizzare questa *Scoping review* sono di varie tipologie, tra cui case report, revisioni sistematiche, scoping review che vanno dal 2001 al 2022. La popolazione presa in esame è costituita da soggetti amputati di arto inferiore (sia trans-tibiale che trans-femorali) che si avvicinano o praticano un'attività sportiva.

Nell'articolo “The biomechanics of cycling with a transtibial amputation” [7] lo scopo principale è fornire una panoramica del compito del ciclismo nei ciclisti integri e collegare queste informazioni alla comprensione delle sfide affrontate dai ciclisti con amputazioni transtibiali (CTA). L'articolo include raccomandazioni per la progettazione protesica e la modifica della bicicletta per migliorare le prestazioni ciclistiche delle CTA a tutti i livelli di esperienza.

L'articolo “Amputees and Sports” [8] è una revisione sistematica della letteratura sulla partecipazione allo sport e/o attività fisica di individui che hanno subito amputazione di arto inferiore e/o superiore, e identificare: le loro caratteristiche biomeccaniche, la funzione cardiopolmonare, il benessere psicologico, la partecipazione sportiva, il funzionamento fisico e le caratteristiche della lesione.

Il testo completo di un articolo è stato valutato se l'articolo soddisfaceva i seguenti criteri di inclusione: un minimo di dieci individui nella popolazione e considerazione di sport o attività fisica. La qualità metodologica si basava sulla valutazione dei seguenti criteri: segnalazione dei criteri di inclusione ed esclusione; numeri o percentuali di maschi e femmine; età (come media e deviazione standard o mediana e intervallo interquartile); causa dell'amputazione (descrizione generale della causa e numero esatto per causa) e livello; lato dell'amputazione.

Nell'articolo “Asymmetrical loading demands associated with vertical jump landings in people with unilateral transtibial amputation” [9] come obiettivo primario è stata valutato il ruolo di ciascun arto nel controllare il momento discendente del centro di massa durante l'atterraggio. Sei partecipanti con amputazione transtibiale unilaterale (TTA) e dieci partecipanti non disabili hanno completato 10 salti verticali massimali, di cui è stato analizzato il salto più alto. I partecipanti con TTA hanno eseguito atterraggi quasi unilaterali sugli arti integri, a causa dell'incapacità della caviglia protesica di effettuare la flessione plantare o di un aumento della flessione del ginocchio e dell'anca dell'arto residuo.

Lo studio “Amputee locomotion: joint moment adaptations to running speed using running-specific prostheses after unilateral transtibial amputation” [10] mira a investigare come i momenti articolari degli arti inferiori in 3D cambiano durante la corsa con protesi a supporto residuo (RSP) sotto diverse restrizioni di velocità.

Otto soggetti maschi con amputazione transtibiale unilaterale (età media =  $32,0 \pm 10,2$  anni, altezza =  $1,80 \pm 0,07$  m, massa =  $82,3 \pm 13,0$  kg; vedere Tabella 1) e otto soggetti di controllo maschi sani (età media =  $29,0 \pm 6,9$  anni, altezza =  $1,84 \pm 0,05$  m, massa =  $79,3 \pm 7,9$  kg) hanno partecipato allo studio.

Lo scopo dello studio “Three-Dimensional Takeoff Step Kinetics of Long Jumpers with and without a Transtibial Amputation” [11] è quello di quantificare la cinematica del passo di decollo in 3D per atleti con e senza amputazione sopra il ginocchio (BKA) durante salti in lungo massimali.

Dieci atleti maschi hanno partecipato allo studio: tre partecipanti avevano un BKA e sette partecipanti erano atleti non amputati.

Nello studio “Running-specific prostheses reduce lower-limb muscle activity compared to daily-use prostheses in people with unilateral transtibial amputations” [12] vengono studiate le differenze nell'attività muscolare tra persone con e senza amputazione transtibiale unilaterale (effetto dell'amputazione) e tra i diversi tipi di protesi (DUP vs. RSP, effetto del tipo di protesi) per le persone con amputazione transtibiale unilaterale. Sono stati quantificati l'attività muscolare e il timing del picco di attivazione nei muscoli degli arti inferiori durante la fase di appoggio della corsa in persone con e senza amputazione transtibiale unilaterale e in persone con amputazione transtibiale unilaterale che indossavano DUP e RSP.

Sei persone con amputazione transtibiale e sei persone senza amputazione transtibiale hanno fornito il consenso informato per il protocollo sperimentale approvato dal comitato etico istituzionale.

Lo studio “Exercise training program in children with lower-limb amputation” [13] propone di fornire informazioni riguardo all'efficacia di un intervento di esercizio riabilitativo alternativo sulla capacità di camminare e sulle funzioni meccaniche e neuromuscolari di due bambini con amputazione agli arti inferiori. Entrambi i bambini erano camminatori esperti che utilizzavano le loro protesi ogni giorno da più di 4 anni. Il Caso 1 era un ragazzo (età: 8 anni, altezza: 131

cm, peso: 31 kg), con un'amputazione sotto il ginocchio, il Caso 2 era una ragazza con amputazione bilaterale (età: 9 anni, altezza: 139 cm, peso: 33 kg).

I due bambini hanno partecipato a un programma di allenamento settimanale per 20 settimane, della durata di 2 ore ciascuna. Il programma includeva esercizi di potenziamento muscolare e coordinazione, divisi in due parti.

Nella prima parte, dedicata all'allenamento della core (CT), i bambini hanno iniziato con un set di sei esercizi, progredendo fino a 3 set di 10 esercizi. La seconda parte si concentrava su esercizi di coordinazione e potenziamento degli arti inferiori, aumentando progressivamente il numero di set.

Gli esercizi includevano plank, squat, superamento di mini-ostacoli e abduzione della gamba. Le sessioni sono state progettate e supervisionate da un esperto di riabilitazione.

L'abilità nel camminare e la velocità di camminata sono state valutate attraverso L-test per la mobilità funzionale e il test di camminata di 10 metri (10MWT). Le funzioni muscolari meccaniche e neuromuscolari sono state analizzate tramite la tensiomiografia (TMG), un metodo non invasivo che misura lo spostamento radiale della pancia muscolare del bicipite femorale (BF) e del retto femorale (RF) negli arti inferiori di entrambi i bambini.

Lo studio “Strategies for Gait Retraining in a Collegiate Runner with Transfemoral Amputation: A Case Report” [14] ha lo scopo di descrivere l'uso di strategie di riaddestramento della corsa per affrontare il dolore fantasma in un atleta universitario con amputazione transfemorale. A causa della scarsità di letteratura su questo argomento, quando si è presentata l'opportunità di fornire formazione sul passo a un tale atleta universitario sprinter con amputazione transfemorale, è stato necessario sviluppare un programma innovativo utilizzando un approccio multidisciplinare. Un'atleta femmina di 20 anni, appartenente alla National Collegiate Athletic Association (NCAA) Division III, si è presentata al suo allenatore atletico certificato con dolore fantasma al ginocchio. La sua storia medica includeva un'amputazione transfemorale destra avvenuta quattro anni prima a causa di un osteosarcoma tibiale.

Il programma di intervento ha incluso esercizi di rafforzamento per il core e l'anca, mirati alla stabilità pelvica. Sono state introdotte esercitazioni dinamiche e di equilibrio, iniziando con la protesi per la camminata e progredendo verso quella per la corsa.

L'articolo “Individualized preventive program in paralympic athletics athletes. Article in Physical Therapy in Sport” [15] ha come obiettivo quello di valutare la prevalenza delle lesioni

negli atleti di atletica paralimpica prima e dopo l'applicazione di un programma preventivo personalizzato.

Il campione è composto da 10 atleti (9 uomini e 1 donna) che hanno risposto al Questionario sulla Morbilità Segnalata e al Questionario Nordico sui Disturbi Muscoloscheletrici. Sono stati sottoposti a un programma personalizzato di esercizi preventivi e sono stati valutati nuovamente dopo tre mesi di intervento. Il programma preventivo si basava sull'attivazione dei muscoli profondi tramite esercizi di stabilità (allenamento della core stability). Inoltre, sono stati eseguiti esercizi specifici per attivare i muscoli maggiormente soggetti a infortuni in ciascuna disciplina atletica prima dell'allenamento regolare.

Nello studio “Short-term effect of physiotherapy rehabilitation on functional performance of lower limb amputees” [16] l'obiettivo è quello di valutare l'efficacia di un programma di fisioterapia breve e intensivo rispetto alla cura abituale, che consisteva principalmente nella camminata. Cinquantotto uomini con amputazione unilaterale agli arti inferiori sono stati randomizzati in due gruppi: cura intensiva (N=29) e cura abituale (N=29). Gli amputati del gruppo sperimentale hanno ricevuto un programma di tre giorni incentrato su 7 esercizi specifici (potenziamento degli arti inferiori, esercizi di carico, compiti di coordinazione, camminata corretta, gestione degli ostacoli, allenamento funzionale), della durata complessiva di circa un'ora.

### **3.3 Risultati dei singoli studi**

*W Lee Childers [7]*

Da questo studio, attraverso l'analisi di dati biomeccanici, emergono diversi fattori che possono interessare gli aspetti più riabilitativi.

Il ciclo del pedale si divide in diverse fasi, ognuna con specifiche attività muscolari.

1. Fase superiore del pedale: i muscoli come il Retto femorale e il Grande gluteo sono attivi per generare forza e prepararsi alla fase di potenza. L'applicazione efficace della forza è cruciale per la transizione.
2. Fase di potenza: il Grande gluteo e i Vasti generano la maggior parte della forza. Gli estensori della caviglia stabilizzano l'articolazione per trasferire energia ai muscoli più prossimali.
3. Fase inferiore del pedale: in questa fase, i muscoli come gli Hamstring e il Gastrocnemio sono attivi. Il Tibiale anteriore stabilizza la caviglia, mentre il Gastrocnemio, ora un

flessore del ginocchio, aiuta a dirigere le forze. In caso di amputazione, l'assenza di una caviglia attiva complica il movimento.

4. Fase di recupero: quando il pedale risale verso la parte alta, i muscoli come il Tibiale anteriore e l'Ileoasoas sono più attivi. Questa fase è importante per la stabilizzazione e la preparazione al ciclo successivo. In caso di amputazione, il movimento di dorsiflessione non è possibile, richiedendo flessione maggiore di anca e ginocchio.

I modelli di attivazione muscolare rispecchiano il loro ruolo nel controllo del movimento, e la perdita di un arto inferiore influisce su queste funzioni. Dopo un'amputazione transtibiale, il muscolo gastrocnemio (GAS) diventa un flessore del ginocchio a un fulcro, mentre i muscoli più prossimali continuano a mantenere la loro funzionalità.

L'attivazione del GAS si sposta verso fasi più avanzate del ciclo di pedalata, adattandosi al nuovo ruolo. Inoltre, è stata osservata una maggiore variabilità nei modelli di attivazione dei muscoli a due fulcri e un prolungamento dell'attivazione del GAS nel lato sano, il che contribuisce a generare più forza durante la pedalata.

Questi cambiamenti possono riflettere difficoltà nella gestione dell'energia e nell'integrazione delle informazioni sensomotorie.

Alcuni aspetti che emergono da questo studio, come la perdita della stabilità derivante dalla caviglia, la richiesta di maggior flessione di anca e ginocchio, e i cambiamenti nell'attivazione muscolare, sono da considerare per ottenere una riabilitazione più efficace.

#### *Mihail Bragaru [8]*

Questa revisione della letteratura analizza le caratteristiche biomeccaniche, la funzione cardiopolmonare, il benessere psicologico, la partecipazione sportiva e le problematiche legate all'infortunio per individui con amputazioni agli arti superiori e/o inferiori.

Ciò che interessa di più tra questi risultati sono gli ultimi due aspetti ovvero la partecipazione sportiva e le problematiche legati agli infortuni.

Dai documenti inclusi, sembra che tra l'11% e il 61% degli individui con amputazioni agli arti inferiori partecipi a sport e/o attività fisiche. Gli sport preferiti includevano pesca, nuoto, golf, camminata e ciclismo. Un breve ma intenso programma di allenamento fisico ha migliorato la distanza e la velocità di camminata degli individui con amputazioni traumatiche degli arti inferiori.

Quattro studi hanno analizzato gli infortuni sportivi subiti da individui con amputazioni agli arti. Sono stati utilizzati questionari per valutare il tasso di infortuni e fenomeni correlati agli infortuni, come dolore o limitazione dell'attività.

Le lesioni fisiche si sono rivelate minori rispetto ai benefici emotivi indotti dallo sport. Il 52% delle persone con amputazioni non ha mai subito infortuni mentre giocava a calcio. Il modello di lesioni tra individui con amputazioni era simile a quello degli atleti senza disabilità. L'osteoartrite del ginocchio controlaterale era significativamente più comune tra le persone con amputazioni rispetto ai controlli ( $p < 0,05$ ). Non è stata osservata alcuna differenza nella prevalenza dell'osteoartrite del ginocchio controlaterale tra coloro che praticavano pallavolo e quelli che non lo facevano.

Il 75% delle persone con amputazioni ha mostrato dolore muscoloscheletrico ricorrente (SRMP). Gli individui con amputazioni sono più propensi a presentare SRMP rispetto a qualsiasi altro gruppo di disabili. La presenza di SRMP era associata a un indice di massa corporea (BMI) compreso tra 24,6 e 30,9 e a più di 7 ore di allenamento a settimana.

*Marlene Schoeman [9]*

Questo studio ha indagato l'asimmetria nei meccanismi utilizzati per assorbire il carico sugli arti inferiori durante un atterraggio massimale in verticale (VJ) in persone con amputazione transtibiale unilaterale (TTA), per esplorare se questo movimento potesse promuovere la salute muscoloscheletrica o causare infortuni in individui attivi nel tempo libero.

L'aumento implicito nel tasso di carico potrebbe contribuire a danni cutanei se il salto avviene ripetutamente e dovrebbe essere preso in considerazione dai professionisti della salute quando consigliano le persone con amputazione a partecipare a sport ricreativi.

In generale, i partecipanti con TTA erano per lo più simmetrici negli angoli di ginocchio e anca al momento del TD (contatto con il suolo), mentre quelli che presentavano la maggiore flessione plantare al TD atterravano con il ginocchio del moncone più esteso, probabilmente nel tentativo di mantenere stabilità in quella articolazione e controllo posturale mantenendo il centro di massa sopra la base di supporto. Tuttavia, questa strategia potrebbe esporli a infortuni al legamento crociato anteriore, poiché i muscoli ischiocrurali sono meno capaci di prevenire la traslazione tibiale con il ginocchio più vicino all'estensione. Se la presa protesica limitasse la traslazione anteriore della tibia prossimale, potrebbe verificarsi un danneggiamento della pelle del moncone a causa delle pressioni esercitate dalla presa.

*Brian S [10]*

Questo studio ha mirato a migliorare la comprensione dei momenti articolari nelle estremità inferiori durante il ciclo di andatura per individui che corrono con protesi sportive (RSP) sotto diverse restrizioni di velocità.

Le articolazioni del ginocchio e dell'anca dell'arto intatto hanno generato momenti di picco maggiori rispetto all'arto protesico in tutti e tre i piani di movimento, suggerendo una maggiore dipendenza dall'arto intatto durante la corsa. Tuttavia, ad eccezione dei momenti di rotazione interna dell'anca, l'arto intatto ha generato valori di momento di picco simili a quelli degli arti di controllo, il che indica che non è sovraccaricato quando gli individui con amputazione agli arti inferiori corrono con protesi sportive.

Invece, sono risultati più elevati i momenti di flessione dell'anca in appoggio, indicando una maggiore dipendenza dalla muscolatura dei flessori dell'anca a velocità di corsa più elevate. Di conseguenza, il rafforzamento dei flessori dell'anca potrebbe essere un componente importante dell'allenamento alla corsa per la popolazione amputata.

#### *Johannes Funken [11]*

Questo articolo ha analizzato e confrontato le forze di reazione al suolo (GRF) 3D e i carichi articolari per atleti con e senza amputazione sotto al ginocchio (BKA) durante il passo di decollo nel salto in lungo. I picchi di GRF sono risultati per lo più simili tra i gruppi, ma i carichi delle articolazioni del ginocchio e dell'anca erano inferiori per gli atleti con BKA rispetto agli atleti non amputati. Inoltre, il passo di decollo nel salto in lungo degli atleti con BKA è stato dominato da movimenti nel piano sagittale, mentre il passo di decollo degli atleti non amputati coinvolge movimenti aggiuntivi nel piano frontale.

I protocolli di allenamento e i processi di riabilitazione dovrebbero essere adattati alle situazioni di carico uniche degli atleti con o senza BKA. Allenatori e clinici dovrebbero focalizzarsi sul rafforzamento dei muscoli responsabili dell'estensione dell'anca e del ginocchio, nonché della stabilizzazione nel piano frontale, prima che questi atleti praticano il decollo del salto in lungo con pieno impegno. I dati presentati permettono anche ai clinici di diagnosticare in modo più differenziato le potenziali cause di dolore o infortuni nelle articolazioni degli arti inferiori in entrambi i gruppi di atleti.

#### *Lauren A Sepp [12]*

Il testo analizza come la presenza di un'amputazione influenzi l'attivazione muscolare e il funzionamento degli arti durante la corsa. Si osserva che, rispetto all'arto sano, l'attivazione del BFLH (muscolo bicipite femorale lungo) nell'arto amputato avviene prima, indipendentemente dal tipo di protesi utilizzata. L'uso di protesi rigide (DUP) aumenta l'attività muscolare rispetto alle protesi più flessibili (RSP), ritardando l'attivazione del muscolo vasto laterale (VL) e del retto femorale (RF).

Questa attivazione anticipata del BFLH nell'arto amputato è correlata a un maggiore lavoro positivo dell'anca, aumentando il rischio di infortuni ai muscoli posteriori della coscia, che sono già vulnerabili nei corridori con amputazione. Le protesi RSP, mentre riducono l'attività muscolare complessiva, possono migliorare la simmetria muscolare, riducendo il rischio di infortuni a lungo termine.

Si evidenzia che la riduzione dell'attività muscolare durante l'uso delle RSP è probabilmente dovuta alla loro capacità di immagazzinare e restituire energia, favorendo una corsa più efficiente. Inoltre, il studio suggerisce che l'analisi combinata di dati EMG, cinetici e cinematici è cruciale per comprendere il controllo del movimento negli atleti con amputazione.

*Óscar García* [13]

Lo studio ha analizzato l'efficacia di un programma di allenamento per il potenziamento e la coordinazione in due bambini con amputazione agli arti inferiori. Nonostante il programma fosse fattibile, gli effetti sulla capacità e velocità di camminata sono stati modesti. Si è notato che il training di coordinazione (CT) non ha migliorato l'equilibrio nei bambini, contrariamente alle aspettative. Un trend positivo è stato osservato nel ragazzo, mentre non ci sono stati cambiamenti nella ragazza, suggerendo che le strategie di riabilitazione potrebbero dover variare in base al livello di amputazione.

Dopo l'intervento, è stata registrata una diminuzione del tono muscolare nell'arto amputato nel primo caso, mentre nel secondo caso questo effetto era limitato. È stato anche notato un aumento della variabile  $V_{rd}$  (velocità di spostamento radiale ovvero lo spostamento radiale durante il periodo  $T_c$ ) considerato un effetto positivo. Tuttavia, non si è osservato un miglioramento significativo nel parametro  $T_c$  (tempo misurato in ms), che in studi precedenti era correlato alla velocità di corsa.

In conclusione, un programma di allenamento multidisciplinare eseguito una volta alla settimana per 5 mesi si è dimostrato fattibile per due bambini con amputazione agli arti inferiori. Tuttavia, l'impatto sulla velocità di camminata, sulla capacità di camminata e sulla funzione neuromuscolare è stato minimo.

*Jillian Santer* [14]

Un atleta con amputazione ha partecipato a un programma di riabilitazione mirato a migliorare la forza muscolare, la coordinazione e la postura durante la corsa.

All'inizio della valutazione, l'atleta ha riferito un aumento del dolore fantasma al ginocchio durante la corsa, nell'esecuzione delle scale e nella camminata in salita, durato due settimane.

Ha segnalato di aver notato il dolore per la prima volta un anno fa, ma ora era diventato più persistente, nonostante non ci fossero nuove lesioni o cambiamenti significativi nell'allenamento. Il dolore iniziava dopo pochi minuti di corsa e continuava per tutta la durata dell'allenamento e anche dopo. Oltre al dolore, ha espresso preoccupazione riguardo all'efficienza del suo passo durante la corsa.

L'analisi iniziale ha rivelato deficit di forza nell'estensione dell'anca e problemi di stabilità del tronco, con schemi di corsa scorretti come la circonduzione della gamba protesica e un eccessivo sollevamento sul lato sano.

Il programma di intervento ha incluso esercizi di rafforzamento per la core e l'anca, mirati alla stabilità pelvica. Sono state introdotte esercitazioni dinamiche e di equilibrio, iniziando con la protesi per la camminata e progredendo verso quella per la corsa. L'esercizio "fast feet" (veloce trasferimento di peso una gamba all'altra) ha aiutato l'atleta a migliorare la confidenza e la capacità di carico sulla protesi.

Nel corso della riabilitazione, l'atleta ha mostrato significativi miglioramenti nella funzione e nella sintomatologia, incluso il dolore dell'arto fantasma, che è scomparso dopo otto settimane. L'analisi video ha mostrato miglioramenti nel pattern di corsa, nella lunghezza del passo e nella stabilità. Alla fine del programma, l'atleta ha raggiunto un miglioramento nella velocità di corsa, registrando un tempo personale di 14.64 secondi nella corsa di 60 metri. I punteggi hanno evidenziato miglioramenti significativi in diverse aree, tra cui la funzione fisica e l'interferenza del dolore.

#### *Júlia Ribeiro Lemos [15]*

In una prima valutazione 8 atleti hanno segnalato infortuni e il 50% ha riportato dolore o sintomi muscoloscheletrici. Dopo 3 mesi di intervento, solo 1 atleta ha riportato infortuni sportivi e 2 partecipanti hanno segnalato dolore o sintomi. Alcuni atleti presentavano disturbi funzionali nella prima valutazione, come il valgismo dinamico del ginocchio e la discinesia scapolare. Tuttavia, non ci sono state grandi variazioni nella seconda valutazione.

Questi risultati suggeriscono che l'implementazione di un Programma Preventivo Individualizzato può contribuire a ridurre la prevalenza degli infortuni sportivi negli atleti paralimpici. Risultano però necessari ulteriori studi con un maggiore controllo e un numero più elevato di partecipanti per chiarire ulteriormente queste questioni.

*B. Rau* [16]

Il gruppo sperimentale ha seguito un programma di allenamento intensivo individualizzato standardizzato, composto da sette esercizi della durata di circa un'ora (il massimo tempo possibile considerando il carico di lavoro quotidiano e l'insegnamento). Questo allenamento specifico includeva esercizi di potenziamento degli arti inferiori (ad esempio, utilizzando scatole e scale), esercizi di carico, compiti di coordinazione, camminata corretta, gestione degli ostacoli (ad esempio, camminare su terreno irregolare) e allenamento funzionale (come trasportare acqua). Gli amputati del gruppo di controllo ricevevano cure abituali, che consistevano principalmente nel camminare sotto supervisione.

Il gruppo sperimentale ha ottenuto risultati significativamente migliori rispetto al gruppo di controllo in tre dei cinque test eseguiti, inclusi il test di camminata di 2 minuti e il PCI (Indice di Costo Fisiologico è un metro che valuta il dispendio energetico associato al cammino, deriva dalla relazione tra frequenza cardiaca e velocità di camminata). Nel test del cammino, i soggetti sperimentali hanno migliorato la distanza percorsa di 20,15 m ( $p=0,024$ ), mentre il gruppo di controllo ha mostrato un miglioramento di 8,93 m. La velocità di camminata è aumentata significativamente nei controlli e il PCI ha mostrato un miglioramento medio di 0,77 battiti/m nel gruppo sperimentale. Non sono emerse differenze significative nell'aumento del peso sostenuto su due piedi, ma vi è stata una differenza significativa nel peso massimo sul piede protesico (3,7 kg per il gruppo sperimentale vs 1,06 kg per il gruppo di controllo). I risultati del questionario LCI ('Indice di Capacità Locomotoria, Valuta fattori come la capacità di camminare, l'equilibrio e l'esecuzione di attività quotidiane) e i test TUG (time up and go test) non hanno mostrato differenze significative tra i gruppi ( $p=0,93$  e  $p=0,25$ , rispettivamente).

Questo studio dimostra che un breve e intensivo programma di fisioterapia migliora significativamente la velocità di camminata negli amputati traumatici, confermando essere il metodo corretto per ottenere i giusti risultati. Tale formazione si è rivelata più efficace rispetto alla cura standard, che si concentra principalmente sulla pratica del cammino.

### **3.4 Sintesi dei risultati**

Per ciascun articolo sono stati analizzati i risultati degli outcome prefissati, cercando di estrapolare gli aspetti più rilevanti per la sfera riabilitativa. Gli studi inclusi in questa ricerca riguardano principalmente sport come la corsa, il ciclismo e il salto in lungo, che risultano essere i più adattabili per pazienti amputati e protesizzati.

Una parte di questi studi si è concentrata sull'analisi dei dati biomeccanici per individuare come cambiano le forze che agiscono sul corpo di questi atleti e, di conseguenza, come varia

l'attivazione muscolare. Ad esempio, durante la corsa, i muscoli flessori dell'arto inferiore rivestono un ruolo fondamentale, poiché viene richiesta una maggiore flessione di anca e ginocchio. Questo indica anche che tali muscoli possono essere soggetti a infortuni se non allenati in modo adeguato.

Dati simili sono stati osservati negli atterraggi da salti verticali: un utilizzo scorretto dei flessori del ginocchio può compromettere l'ammortizzazione del salto, aumentando il rischio di rottura del legamento crociato anteriore.

Per gli atleti che praticano il salto in lungo, è cruciale focalizzarsi sul rinforzo dei muscoli estensori del ginocchio e dell'anca e, più in generale, sulla stabilizzazione nel piano frontale. Nel ciclismo, è stata evidenziata l'importanza del muscolo gastrocnemio sia nell'arto amputato che in quello sano.

Tutti questi dati sono fondamentali per impostare una riabilitazione corretta, personalizzata per ogni sport e individualizzata. Un'altra parte degli studi inclusi si è invece concentrata sulla proposta di programmi di allenamento che prevedono esercizi di potenziamento, coordinazione, rinforzo e stabilità, dimostrando i miglioramenti ottenuti attraverso test specifici.

Questi programmi vengono impostati sulla base di valutazioni cliniche e biomeccaniche eseguite in precedenza da professionisti come fisioterapisti e medici. Questi esperti pongono particolare enfasi su alcuni aspetti nella progettazione degli esercizi, specialmente per quanto riguarda la corsa. Tra i punti fondamentali ci sono: l'atterraggio sul forefoot (avampiede) la riduzione della lunghezza del passo durante la corsa, la giusta spinta con l'arto sano per atterrare rapidamente sulla gamba protesica e l'implementazione della flessione dell'anca per facilitare la transizione alla flessione del ginocchio.

Gli esercizi proposti non sono specifici esclusivamente per i pazienti che hanno subito un'amputazione, ma sono esercizi comuni che vengono adattati a ciascun atleta in base alle caratteristiche cliniche, fisiche e biomeccaniche.

**Tabella 1. Sinossi degli studi**

STUDIO	SCOPO	PARTECIPANTI/ METODO DELLO STUDIO	INTERVENTO	OUTCOME/ELEMENTI DI INTERESSE PER LO STUDIO
<p>W Lee Childers et al, <i>The biomechanics of cycling with a transtibial amputation: Recommendations for prosthetic design and direction for future research</i>, [7]</p>	<p>Fornire una panoramica delle dinamiche del ciclismo per ciclisti integri e usare queste informazioni per comprendere le difficoltà incontrate dai ciclisti con amputazioni transtibiali.</p>	<p>/</p>	<p>/</p>	<p>Il muscolo gastrocnemio (GAS) diventa un flessore del ginocchio a un fulcro, mentre i muscoli più prossimali continuano a mantenere la loro funzionalità. È stata notata maggiore variabilità nei modelli di attivazione dei muscoli a due fulcri e un prolungamento dell'attivazione del GAS nel lato sano, il che contribuisce a generare più forza durante la pedalata. Questi cambiamenti possono comportare difficoltà nella gestione dell'energia e nell'integrazione di informazioni sensomotorie.</p>

<p>Mihail Bragaru et al, <i>Amputees and Sports</i> [8]</p>	<p>Esaminare in modo sistematico la letteratura sulla partecipazione a sport e/o attività fisica tra individui con amputazioni agli arti superiori e/o inferiori.</p>	<p>Sono state consultate quattro banche dati. La ricerca è stata suddivisa in due parti: una parte riguardava articoli relativi alle amputazioni, mentre l'altra si focalizzava su articoli relativi agli sport e all'attività fisica. Sono stati inclusi 47 studi dei 3689 identificati.</p>	<p>Identificare le caratteristiche biomeccaniche, la funzionalità cardiopolmonare, il benessere psicologico, la partecipazione sportiva, nonché le caratteristiche di funzionamento fisico e di infortunio.</p>	<p>Tra l'11% e il 61% delle persone con amputazioni agli arti inferiori partecipa a sport, come pesca, nuoto, golf, camminata e ciclismo. Un programma di allenamento breve ma intenso ha migliorato la loro velocità e distanza di camminata. Quattro studi hanno mostrato che le lesioni sportive sono meno frequenti rispetto ai benefici emotivi dello sport; il 52% non ha mai subito infortuni giocando a calcio. L'osteoartrite del ginocchio controlaterale è più comune tra chi ha amputazioni. Inoltre, il 75% riporta dolore muscoloscheletrico ricorrente, spesso associato a un BMI tra 24,6 e 30,9 e a più di 7 ore di allenamento settimanali</p>
-------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Marlene Schoeman <i>Asymmetrical loading demands associated with vertical jump landings in people with unilateral transtibial amputation</i> [9]</p>	<p>Valutare la natura asimmetrica dell'accettazione del carico tra gli arti intatti e protesici di persone attive con amputazione transtibiale (TTA) durante le atterraggi da salti verticali (VJ).</p>	<p>6 individui con amputazione transtibiale (5 maschi e 1 femmina) e 10 partecipanti senza disabilità (9 maschi e 1 femmina).</p>	<p>È stata analizzata l'entità dell'asimmetria risultante dall'amputazione attraverso l'indice di simmetria (SI) e analisi statistiche. Inoltre, poiché i partecipanti con amputazione transtibiale indossavano protesi diverse, sono state valutate le differenze bilaterali locali per misure specifiche attraverso il calcolo dei valori SI individuali.</p>	<p>Partecipanti con TTA che presentavano la maggiore flessione plantare al TD (contatto con il suolo) atterravano con il ginocchio del moncone più esteso, questa strategia potrebbe esporli a infortuni al legamento crociato anteriore, poiché i muscoli ischiocrurali sono meno capaci di prevenire la traslazione tibiale con il ginocchio più vicino all'estensione.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>.Brian S Baum <i>Amputee locomotion: joint moment adaptations to running speed using running-specific prostheses after unilateral transtibial amputation</i> [10]</p>	<p>Indagare le differenze nei momenti articolari 3D degli arti inferiori e come la velocità influenzi queste differenze in individui con amputazioni agli arti inferiori che utilizzano protesi specifiche per la corsa.</p>	<p>8 soggetti maschi con amputazione transtibiale unilaterale e 8 soggetti maschi di controllo sani .</p>	<p>/</p>	<p>L'arto intatto ha generato valori di momento di picco simili a quelli degli arti di controllo, il che indica che non è sovraccaricato quando gli individui con amputazione agli arti inferiori corrono con protesi sportive. Invece, sono risultati più elevati i momenti di flessione dell'anca in appoggio, indicando una maggiore dipendenza dalla muscolatura dei flessori dell'anca a velocità di corsa più elevate. Di conseguenza, il rafforzamento dei flessori dell'anca potrebbe essere un componente importante dell'allenamento alla corsa per la popolazione amputata.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Johannes Funken <i>Three-Dimensional Takeoff Step Kinetics of Long Jumpers with and without a Transtibial Amputation</i> [11]</p>	<p>Analizzare e confrontare le forze di reazione al suolo (GRF) 3D e i carichi articolari per atleti con e senza amputazione sotto al ginocchio (BKA) durante il passo di decollo nel salto in lungo.</p>	<p>10 atleti maschi hanno partecipato allo studio: 3 partecipanti avevano un BKA e 7 partecipanti erano atleti non amputati.</p>	<p>/</p>	<p>Allenatori e clinici dovrebbero focalizzarsi sul rafforzamento dei muscoli responsabili dell'estensione dell'anca e del ginocchio, nonché della stabilizzazione nel piano frontale. I dati presentati permettono di diagnosticare in modo più differenziato le potenziali cause di dolore o infortuni nelle articolazioni degli arti inferiori in entrambi i gruppi di atleti.</p>
<p>Lauren A Sepp <i>Running-specific prostheses reduce lower-limb muscle activity compared to daily-use prostheses in people with</i></p>	<p>Analizzare come la presenza di un'amputazione influenzi l'attivazione muscolare e il funzionamento degli arti durante la corsa.</p>	<p>6 persone con amputazione transtibiale e 6 persone senza amputazione transtibiale.</p>	<p>È stata quantificata l'attività muscolare e il timing del picco di attivazione nei muscoli degli arti inferiori durante la fase di appoggio della corsa in persone con e senza amputazione transtibiale unilaterale e in</p>	<p>L'attivazione del BFLH (muscolo bicipite femorale lungo) nell'arto amputato avviene prima, indipendentemente dal tipo di protesi utilizzata. L'uso di protesi rigide (DUP) aumenta l'attività muscolare rispetto alle protesi più flessibili (RSP), ritardando</p>

<p><i>unilateral transtibial amputations</i> [12]</p>			<p>persone con amputazione transtibiale unilaterale che indossavano DUP e RSP.</p>	<p>l'attivazione del muscolo vasto laterale (VL) e del retto femorale (RF). Questa attivazione anticipata del BFLH nell'arto amputato è correlata a un maggiore lavoro positivo dell'anca, aumentando il rischio di infortuni ai muscoli posteriori della coscia. Le protesi RSP, mentre riducono l'attività muscolare complessiva, possono migliorare la simmetria muscolare, riducendo il rischio di infortuni a lungo termine.</p>
<p>Óscar García <i>Exercise training program in children with lower-limb amputation</i> [13]</p>	<p>Analizzare l'efficacia di un programma di allenamento per il potenziamento e la coordinazione in due bambini con amputazione agli arti inferiori.</p>	<p>2 partecipanti: il Caso 1 era un ragazzo (età: 8 anni, altezza: 131 cm, peso: 31 kg), con un'amputazione sotto il ginocchio, il Caso 2 era una ragazza con</p>	<p>Programma di allenamento: settimanale per 20 settimane, della durata di 2 ore ciascuna. Il programma includeva esercizi di potenziamento muscolare e coordinazione, divisi in due parti.</p>	<p>Gli effetti sulla capacità e velocità di camminata/corsa sono stati modesti. Il training di coordinazione (CT) non ha migliorato l'equilibrio. Un trend positivo è stato osservato nel ragazzo con amputazione sotto il ginocchio, mentre non ci sono</p>

		amputazione bilaterale (età: 9 anni, altezza: 139 cm, peso: 33 kg).	Nella prima parte, dedicata all'allenamento La seconda parte si concentrava su esercizi di coordinazione e potenziamento degli arti inferiori.	stati cambiamenti nella ragazza con amputazione transtibiale, suggerendo che le strategie di riabilitazione potrebbero dover variare in base al livello di amputazione.
Jillian Santer <i>Strategies for Gait Retraining in a Collegiate Runner with Transfemoral Amputation: A Case Report</i> [14]	Analizzare l'efficacia di un programma di riabilitazione mirato a migliorare la forza muscolare, la coordinazione e la postura durante la corsa.	1 partecipante	Il programma di intervento ha incluso esercizi di rafforzamento della core e l'anca, mirati alla stabilità pelvica. Sono state introdotte esercitazioni dinamiche e di equilibrio, iniziando con la protesi per la camminata e progredendo verso quella per la corsa.	L'atleta ha raggiunto un miglioramento nella velocità di corsa, registrando un tempo personale di 14.64 secondi nella corsa di 60 metri. I punteggi hanno evidenziato miglioramenti significativi in diverse aree, tra cui la funzione fisica e l'interferenza del dolore.
Júlia Ribeiro Lemos <i>Individualized preventive program in paralympic</i>	Valutare la prevalenza delle lesioni negli atleti di atletica paralimpica prima e dopo	10 atleti di cui 9 uomini e 1 donna	Programma preventivo: attivazione dei muscoli profondi tramite esercizi di stabilità (allenamento	Dopo 3 mesi di intervento, solo 1 atleta ha riportato infortuni sportivi e 2 partecipanti hanno segnalato dolore o sintomi; disturbi funzionali

<p><i>athletics athletes.</i> <i>Article in Physical Therapy in Sport</i> [15]</p>	<p>l'applicazione di un programma preventivo personalizzato.</p>		<p>CORE). Inoltre, sono stati eseguiti esercizi specifici per attivare i muscoli maggiormente soggetti a infortuni in ciascuna disciplina atletica prima dell'allenamento regolare.</p>	<p>come valgismo dinamico di ginocchio e discinesia scapolare, non hanno subito variazioni. Un Programma Preventivo Individualizzato può contribuire a ridurre la prevalenza degli infortuni sportivi negli atleti paralimpici.</p>
<p>B. Rau Short-term effect of physiotherapy rehabilitation on functional performance of lower limb amputees [16]</p>	<p>Valutare l'efficacia di un programma di fisioterapia breve e intensivo rispetto alla cura abituale, che consisteva principalmente nella camminata.</p>	<p>58 uomini con amputazione unilaterale agli arti inferiori sono stati randomizzati in due gruppi: cura intensiva (N=29) e cura abituale (N=29).</p>	<p>Gruppo sperimentale: sette esercizi della durata di circa un'ora che includevano esercizi di potenziamento degli arti inferiori, esercizi di carico, compiti di coordinazione, camminata corretta, gestione degli ostacoli e allenamento funzionale. Gruppo di controllo: cammino con supervisione.</p>	<p>Un breve e intensivo programma di fisioterapia migliora significativamente la velocità di camminata negli amputati traumatici. Tale formazione si è rivelata più efficace rispetto alla cura standard, che si concentra principalmente sulla pratica del cammino.</p>

## CAPITOLO 4: DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa *Scoping review*, come detto in precedenza, è identificare gli aspetti principali su cui impostare un trattamento riabilitativo in pazienti amputati di arto inferiore che praticano un'attività sportiva e valutare l'efficacia di adeguati programmi riabilitativi.

Negli studi selezionati è stato visto quanto, nei programmi riabilitativi per pazienti amputati, sia fondamentale considerare diversi aspetti che variano a seconda dello sport praticato, poiché le esigenze biomeccaniche (sia del paziente che della protesi utilizzata) e le abilità richieste sono specifiche per ciascuna disciplina. L'analisi biomeccanica consente di adattare gli allenamenti in modo mirato, ottimizzando il recupero e migliorando le prestazioni.

Programmi di allenamento intensivi che includono rinforzo degli arti inferiori e della core, esercizi di coordinazione ed esercizi funzionali, hanno dimostrato di migliorare significativamente gli esiti clinici sia per atleti professionisti sia per quelli più amatoriali, non solo per quanto riguarda il dolore e la prestazione fisica, ma anche per il benessere psicologico dei pazienti.

### 4.1 Limiti dello studio

Questa *Scoping Review* presenta dei limiti. Il processo di ricerca, la selezione degli studi e dei rispettivi dati, l'analisi dei risultati è stato svolto da un operatore, senza ulteriori revisioni, comportando un'inaffidabilità intra – operatore e inter – operatore. Non è stato redatto e registrato un protocollo. È assente la valutazione critica degli studi selezionati come enunciato nella *checklist* della *PRISMA Extension per le Scoping Review* [5].

Un altro limite è dato dal ridotto quantitativo di articoli inclusi per lo studio, a causa della limitata presenza nelle banche dati che rispettino i criteri di eleggibilità imposti.

Diversi studi selezionati hanno un campione di pazienti ridotto, limitando la possibilità di generalizzazione dei risultati.

Gli articoli scelti hanno utilizzato sia scale di valutazione uguali tra loro, sia scale diverse, rendendo difficile un'analisi accurata dei risultati.

Inoltre, le tipologie dei disegni di studio selezionate sono eterogenee tra loro, essendo di diverso livello di evidenza.

## 4.2 Conclusioni

La riabilitazione di pazienti con amputazione di arto inferiore che desiderano praticare sport rappresenta un aspetto fondamentale per il loro recupero fisico e psicologico.

La riabilitazione sportiva per pazienti amputati deve essere personalizzata e mirata a soddisfare le esigenze specifiche di ogni individuo.

La scelta dello sport è cruciale: discipline come la corsa, il ciclismo e il salto in lungo sono spesso adattabili e offrono opportunità significative per il miglioramento delle capacità fisiche e della mobilità.

Un'attenzione particolare deve essere rivolta agli aspetti biomeccanici del movimento [7][9][10][11][12]. È essenziale analizzare come le forze agiscono sul corpo durante l'attività fisica. Ad esempio, nella corsa, l'attivazione dei muscoli flessori dell'arto inferiore è fondamentale per gestire la flessione di anca e ginocchio. Tuttavia, è importante anche considerare il rischio di infortuni, specialmente se i muscoli non vengono allenati in modo adeguato.

I programmi di allenamento devono includere esercizi di potenziamento e coordinazione, con un focus specifico sul rinforzo dei muscoli estensori del ginocchio e dell'anca [8][13][14][15][16]. Questo approccio non solo migliora le prestazioni atletiche, ma contribuisce anche a stabilizzare il corpo e a prevenire lesioni. L'utilizzo di protesi specifiche per lo sport è un altro elemento chiave per massimizzare le performance. In sintesi, la riabilitazione di pazienti amputati di arto inferiore attraverso lo sport richiede una pianificazione attenta, un approccio personalizzato e un'analisi dettagliata delle esigenze biomeccaniche di ciascun individuo. Con il giusto supporto, questi atleti possono non solo migliorare le loro capacità fisiche, ma anche ritrovare una nuova dimensione di vita e indipendenza.

## INDICE DEGLI ACRONIMI

<b>BF</b>	=	Bicipite femorale
<b>BFLH</b>	=	Bicipite femorale lungo
<b>BKA</b>	=	Amputazione sopra al ginocchio
<b>BMI</b>	=	Indice di massa corporea
<b>CT</b>	=	Training di coordinazione
<b>DUP</b>	=	Protesi rigide
<b>EMG</b>	=	Elettromiografia
<b>GAS</b>	=	Gastrocnemio
<b>GRF</b>	=	Forza di reazione al suolo
<b>LCI</b>	=	Indice di capacità locomotoria
<b>PCI</b>	=	Indice di costo fisiologico
<b>RF</b>	=	Retto femorale
<b>RSP</b>	=	Protesi specifiche per la corsa
<b>SRMP</b>	=	Dolore muscoloscheletrico ricorrente
<b>TC</b>	=	Tempo misurato in ms
<b>TD</b>	=	Contatto con il suolo
<b>TMG</b>	=	Tensiomiografia
<b>TTA</b>	=	Amputazione transtibiale unilaterale
<b>TUG</b>	=	Time up and go test
<b>VL</b>	=	Vasto laterale
<b>VJ</b>	=	Atterraggio massimale in verticale
<b>VRD</b>	=	Velocità di spostamento radiale
<b>10MWT</b>	=	Test di camminata di 10 metri

## BIBLIOGRAFIA

1. La presa in carico fisioterapica post-protetica del paziente amputato agli arti inferiori. Scalzotto Sara, Corso di Laurea in Fisioterapia, Università degli Studi di Padova, anno accademico 2022-2023.
2. Vedi sitografia
3. Analisi strutturale e biomeccanica di protesi da corsa transtibiali e transfemorali. Nicola Pazzagli, Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, anno accademico 2015-2016.
4. Analisi numerica delle pressioni all'interfaccia tra il moncone di un amputato transfemorale e tre differenti tipologie di invasatura durante la calzatura ed il cammino. Matteo Domenico Rotta, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Biomedica, Politecnico di Milano, anno accademico 2013-2014
5. Tricco, AC, Lillie, E, Zarin, W, O'Brien, KK, Colquhoun, H, Levac, D, Moher, D, Peters, MD, Horsley, T, Weeks, L, Hempel, S et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Ann Intern Med.* 2018,169(7):467-473. doi: 10.7326/M18-0850”
6. PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases, registers and other sources
7. The biomechanics of cycling with a transtibial amputation: Recommendations for prosthetic design and direction for future research. W Lee Childers, Robert S Kistenberg, Robert J Gregor. PMID: 19658015, DOI: 10.1080/03093640903067234
8. Amputees and Sports. A Systematic Review. Mihail Bragaru, Rienk Dekker, Jan H.B. Geertzen and Pieter U. Dijkstra
9. Asymmetrical loading demands associated with vertical jump landings in people with unilateral transtibial amputation. Marlene Schoeman, Ceri E Diss, Siobhan C Strike. PMID: 24699978, DOI: 10.1682/JRRD.2012.10.0199
10. Amputee Locomotion: Joint Moment Adaptations to Running Speed Using Running-Specific Prostheses after Unilateral Transtibial Amputation. Brian S Baum, Hiroaki Hobara, Kyung Koh, Hyun Joon Kwon, Ross H Miller, Jae Kun Shim. PMID: 29406403, PMCID: PMC6077106, DOI: 10.1097/PHM.0000000000000905
11. Three-Dimensional Takeoff Step Kinetics of Long Jumpers with and without a Transtibial Amputation. Johannes Funken, Steffen Willwacher, Kai Heinrich, Ralf

- MÜLLER, Hiroaki Hobara, Alena M Grabowski, Wolfgang Pothast. PMID: 30489495, DOI: 10.1249/MSS.0000000000001853
12. Running-specific prostheses reduce lower-limb muscle activity compared to daily-use prostheses in people with unilateral transtibial amputations. Lauren A Sepp, Erika Nelson-Wong, Brian S Baum, Anne K Silverman. PMID: 33091790, DOI: 10.1016/j.jelekin.2020.102462
  13. Exercise training program in children with lower-limb amputation. Óscar García-García, Sofia Mosteiro, David Suárez-Iglesias, Carlos Ayán. PMID: 34406253, DOI: 10.1590/1806-9282.67.02.20200723
  14. Strategies for Gait Retraining in a Collegiate Runner with Transfemoral Amputation: A Case Report. Jillian Santer, Stephanie MacDonald, Katherine Rizzone, Shawn Biehler, Tanya Beiswenger. PMID: 34123538, PMCID: PMC8169020, DOI: 10.26603/001c.23671
  15. Individualized preventive program in paralympic athletics athletes. Article in Physical Therapy in Sport. Júlia Ribeiro Lemos, Fabio Fonseca. March 2016 DOI: 10.1016/j.ptsp.2015.11.016
  16. Short-term effect of physiotherapy rehabilitation on functional performance of lower limb amputees. B. RAU, F. BONVIN1, & R. DE BIE. International Committee of the Red Cross, Geneva, Switzerland, and Department of Epidemiology CAPHRI Research Institute, Maastricht University, Netherlands

## **SITOGRAFIA**

2. <https://www.riabilitazioneamputati.it/blog-riabilitazione/>