



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO  
DI INGEGNERIA  
DELL'INFORMAZIONE

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE**

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**FENOMENI DI DISPERCEZIONE IN SOGGETTI PROTESIZZATI  
IN SEGUITO AD AMPUTAZIONE DELL'ARTO SUPERIORE:  
UNA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA**

**Relatore: Prof. Augusto Ferrante**

**Laureando: Nicolò Cengiarotti**

**Correlatore: Prof. Alessandro Picelli**

**Dott. Nicola Valè**

**ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022**

**Data di laurea 21/09/22**



# INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>SOMMARIO</b> .....	5
<b>INTRODUZIONE</b> .....	7
Amputazione dell'arto superiore.....	7
Livelli di amputazione.....	7
Cause di amputazione.....	8
Disordini percettivi post amputazione.....	9
Trattamento post amputazione .....	11
Tipi di protesi .....	12
<b>RAZIONALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO</b> .....	17
<b>MATERIALI E METODI</b> .....	19
Quesito di ricerca .....	19
Strategie di ricerca e selezione degli studi .....	19
Estrazione dei dati .....	20
Valutazione qualità metodologica.....	20
<b>RISULTATI</b> .....	21
Selezione degli studi e caratteristiche degli studi inclusi.....	21
Caratteristiche degli studi.....	22
Rischio di distorsione sistematica (Cochrane Risk of bias) .....	30
<b>DISCUSSIONE</b> .....	33
<b>CONCLUSIONI</b> .....	37
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	39
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	43



## SOMMARIO

*Background:* L'amputazione è la perdita di una parte del corpo o di tessuto a seguito di un trauma fisico o di un intervento chirurgico. La conseguenza di questi eventi è una riduzione anche drastica della qualità di vita per i soggetti, accompagnata spesso da frequenti sensazioni di dolore e, nel caso di amputazione degli arti, dall'insorgenza della cosiddetta sindrome dell'arto fantasma. L'uso della protesi offre agli amputati la possibilità di tornare a vivere una vita quanto più simile a quella precedente, vicariando le funzioni dell'arto amputato. Tuttavia, il loro effetto sul dolore e sui fenomeni dispercettivi non è ancora chiaro. L'obiettivo di questo studio è dunque quello di revisionare la letteratura scientifica riguardo gli effetti della protesizzazione all'arto superiore, sul dolore da arto fantasma e sulla qualità della vita di individui amputati.

*Metodi:* Abbiamo eseguito una revisione sistematica della letteratura ricercando studi che valutassero gli effetti della protesizzazione sui fenomeni di dolore, arto fantasma, schema corporeo e qualità della vita a seguito di un'amputazione dell'arto superiore. La ricerca è stata effettuata attraverso i motori di ricerca Pubmed, Pedro, Scopus e Cochrane, fino al 30 giugno 2022.

*Risultati:* Abbiamo identificato 9 studi che includono pazienti con amputazioni dell'arto superiore, sottoposti a test o questionari sulla loro qualità di vita e su aspetti percettivi (riguardanti dolore, arto fantasma), prima e dopo la protesizzazione, oppure con o senza protesi. I dati ottenuti sono contrastanti, con una leggera prevalenza, per quanto riguarda le migliori condizioni di vita, riscontrate da coloro che indossavano un dispositivo protesico.

*Conclusioni:* La letteratura su questi argomenti è ancora insufficiente per arrivare a stabilire con certezza gli effetti della protesi sui soggetti con amputazione di arto superiore. Una causa di questa lacuna è sicuramente la scarsa collaborazione/comunicazione tra il settore ingegneristico e quello riabilitativo.



# INTRODUZIONE

## **Amputazione dell'arto superiore**

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) (Markatos et al., 2019).

Attualmente, in Italia, il 76% delle amputazioni è di causa patologica (principalmente individui della fascia di età 61-70 anni), il 21% è di causa traumatica (principalmente individui nella fascia di età 21-30 anni) ed il 3% è dovuto a correzione di malformazioni congenite (Rotta, 2014). Per quanto riguarda l'arto superiore, secondo quanto riportato dall'Istituto Superiore di Sanità, un'amputazione è presente in circa 3 milioni di persone nel mondo, mentre in Italia, ogni anno, si stima un numero di 3600 amputazioni di arto superiore, di cui l'80% riguardano solamente la mano. L'amputato nel nostro Paese è quindi mediamente una persona di età superiore ai 65 anni, ed affetta da patologia cronica invalidante (prettamente con complicanze di tipo vascolare).

La principale conseguenza di questi traumi è una grave riduzione della qualità di vita delle persone colpite, a causa della loro incapacità o difficoltà nello svolgere facilmente le attività della vita quotidiana (Agashe et al., 2016). È comune per gli amputati provare dolore, depressione e ansia dopo un'amputazione chirurgica o un evento traumatico. Queste persone hanno la necessità e il diritto di tornare a vivere una vita quanto più simile a quella precedente.

## **Livelli di amputazione**

Le amputazioni degli arti superiori si distinguono in base al livello al quale vengono praticate:

- spalla;
- interscapolotoracica;
- braccio;
- gomito;
- avambraccio;
- polso;
- mano;
- dita.

A seguito dell'amputazione è necessario occuparsi con estrema attenzione del moncone, ovvero il residuo di un arto parzialmente amputato, per permettere all'amputato, un domani, di indossare le protesi senza disagio, riprendendo per quanto possibile lo svolgimento delle proprie abitudini giornaliere. A tal proposito, per ottenere risultati migliori a livello protesico, il sito di

amputazione dovrà essere al centro di un osso lungo, con la conservazione del maggior numero possibile di articolazioni prossimali (Watve et al., 2010). Il moncone "ideale" dovrebbe infatti avere un buon trofismo muscolare, mantenere un'efficiente circolazione sanguigna e non risultare dolente (Markatos et al., 2019). Per quanto riguarda la pelle invece, una copertura durevole in tessuto molle con tessuto cicatriziale minimo e una cicatrice che non si trova direttamente sopra una prominenza ossea, porterà ad un minor numero di problemi. La pelle normale intatta ha anche il grande vantaggio di un feedback sensoriale quando non viene indossata una protesi, mentre la conservazione del muscolo è rilevante per l'uso di protesi elettroniche che utilizzano elettrodi posizionati sulla pelle sopra il muscolo. Per evitare la possibilità che possano verificarsi sintomi di dolore e ulcerazioni cutanee è invece importante che le estremità ossee vengano adeguatamente smussate. Infine, un approccio chirurgico innovativo in fase di sviluppo, è quello dell'osteointegrazione, che utilizza impianti in titanio, il quale si integra nell'osso e nella pelle fornendo una fissazione stabile per una protesi (Watve et al., 2010). In seguito all'intervento di amputazione sono presenti anche possibili complicazioni, come ad esempio neuromi, oppure processi infettivi ed emorragici.

### **Cause di amputazione**

Le cause di amputazione possono essere:

- patologie vascolari (causa di un'amputazione su cinque),
- traumatismi,
- tumori alle ossa (giovani),
- metastasi alle ossa (anziani),
- congelamenti,
- infezioni,
- malformazioni congenite.

Da un punto di vista generale, l'amputazione viene praticata per trattare condizioni patologiche che assumono una gravità tale da compromettere la vascolarizzazione nell'arto interessato, che non possono essere gestite con altri approcci o che minacciano la sopravvivenza del paziente.

### Amputazione Chirurgica

L'amputazione chirurgica è un intervento eseguito fin dall'antichità; nel tempo, le tecniche utilizzate per asportare la parte dell'arto affetta da patologia sono andate incontro ad un'evoluzione in senso conservativo, cioè si tende a limitare, per quanto possibile, l'ampiezza dell'amputazione. L'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 questi interventi è praticata per gestire le complicanze vascolari periferiche, correlate soprattutto al diabete,



all'arteriosclerosi e alle cancrene di origine arteriosa. L'amputazione può essere utilizzata anche per prevenire particolari processi patologici, come, ad esempio, per impedire l'estensione di un tumore maligno particolarmente aggressivo o per limitare danni in presenza di processi necrotizzanti (Erstad et al., 2018).

### Amputazione Spontanea

L'amputazione spontanea si verifica prevalentemente negli arti affetti da cancrena. In tale situazione, è possibile osservare che la parte sana delimita nettamente quella ammalata, finché quest'ultima si stacca spontaneamente. La cancrena è una tipologia di necrosi tissutale provocata, generalmente, da un carente apporto sanguigno nella parte interessata. Tale condizione può risultare da gravi lesioni traumatiche, congelamento, infezioni e da altre situazioni nelle quali il processo necrotico (cioè la morte dei tessuti) è irreversibile (Heyns et al., 2021).

### Amputazione Traumatica

L'amputazione da trauma fisico è un'evenienza che si osserva prevalentemente in caso di incidenti stradali (automobili, motocicli, biciclette ecc.) e di infortuni sul lavoro (motoseghe, presse, attrezzature per processare la carne o per tagliare il legno ecc.). Nell'amputazione traumatica, la perdita dell'arto può essere la conseguenza diretta dell'evento, cioè avviene immediatamente durante l'incidente, qualche volta invece l'amputazione si verifica alcuni giorni dopo, a causa delle complicazioni mediche. L'amputazione traumatica di un arto, parziale o totale, crea il pericolo immediato di morte per la copiosa perdita di sangue (Heyns et al., 2021).

### Amputazione Congenita

L'amputazione congenita è un'evenienza piuttosto rara che si verifica quando il nascituro è ancora nell'utero. Questa particolare forma risulta quasi sempre dalla presenza di una briglia della membrana amniotica, che agisce come una banda costrittiva direttamente su di un arto del feto, determinandone l'amputazione (Heyns et al., 2021).

### **Disordini percettivi post amputazione**

L'amputazione ha un impatto molto grave nella vita del paziente sia per l'intervento chirurgico in sé che per le sue conseguenze a medio e lungo termine. La perdita di un arto provoca non solo cambiamenti morfologici, ma porta anche a cambiamenti negli stimoli propriocettivi e visivi. Le modifiche a questi stimoli possono alterare di conseguenza i processi di controllo del movimento del sistema nervoso centrale a diversi livelli portando ad alterazioni dello schema e dell'immagine corporea. Lo schema corporeo è una rappresentazione centrale delle caratteristiche spaziali del corpo, che includono la lunghezza dei segmenti corporei, la loro struttura e configurazione gerarchica e la forma delle superfici del corpo. L'immagine corporea è invece

la rappresentazione visiva consapevole di come vediamo i nostri corpi dall'esterno e non è strettamente correlata al controllo del movimento (Mayer et al., 2008).

La disabilità fisica può portare ad alterazioni del tono dell'umore, depressione, nervosismo, ansia, perdita di autostima, stigma, isolamento e riconoscimento della debolezza (Roşca et al., 2021). Oltre a questi fattori, uno dei principali disordini percettivi post-amputazione è sicuramente il dolore dell'arto fantasma (PLP). Si tratta di una sensazione di dolore ad un arto, organo o altro tessuto, dopo l'amputazione e/o la lesione del nervo (Kaur & Guan, 2018). In altre parole, in questi casi i pazienti sono consapevoli del fatto che i loro arti sono stati persi; tuttavia, li percepiranno come se non lo fossero. Il PLP si verifica fino all'80% delle persone che si sottopongono alla procedura di amputazione. L'esperienza del PLP è altamente eterogenea nella sua qualità, intensità, frequenza e gravità. Le sensazioni di PLP sono spesso riportate come dolori acuti, simili a scosse elettriche, lancinanti, palpitanti, brucianti e/o crampiformi, originate dall'arto mancante. Nonostante le numerose teorie su ciò che causa tale disturbo, non c'è ancora un chiaro consenso sui meccanismi sottostanti o gli approcci terapeutici. Alterazioni nella rappresentazione corporea all'interno del sistema nervoso centrale sembrano essere un fattore determinante del dolore agli arti fantasma; tuttavia, fattori periferici e psicologici possono contribuire ad esso (Flor, 2002). Il modo in cui il dolore viene vissuto è modulato da molteplici fattori dinamici unici per ogni individuo, come la genetica, fattori psicologici (stress, ansia e attenzione, solo per citarne alcuni), cognizioni correlate al dolore (ad es., controllo percepito sul dolore), fattori socio-ambientali (es. sostegno sociale) e anche circostanze culturali.

In secondo luogo, il PLP ha una fenomenologia complessa e raramente si manifesta senza altre sensazioni legate all'amputazione (p. es., dolore agli arti residui (RLP), sensazioni fantasma non dolorose) che possono o non possono essere rilevanti per la prevalenza del PLP. Il PLP non è solo eterogeneo nella natura dell'esperienza (qualità, intensità, frequenza, tempo di insorgenza, ecc.) ma anche nelle diverse cause dell'amputazione (traumatica, infezione, cancro) e parte del corpo amputata (estremità e livello di amputazione).

Attualmente, studi in letteratura utilizzano una varietà di misure per quantificare il PLP, come scale di misura (p. es., Numerical Rating Scale; Universal Pain Score; Visual Analogue Scale (VAS); FACES Rating Scale; Patient Reported Outcomes Measurement Information System, per una revisione su scale del dolore), diari del dolore e questionari (p. es., McGill Pain Questionnaire (MPQ); 36-Item Short Form Survey (SF-36); West Haven-Yale Multidimensional Pain Inventory; Groningen Questionnaire Problems after Leg/arm Amputation; Chronic Pain Grade).

Il fattore più comune associato positivamente al PLP è dolore residuo agli arti (Schone et al., 2022). Con esso si intende il dolore percepito come originato dalla porzione rimanente dell'arto dopo l'amputazione, il più delle volte vicino al sito dell'amputazione.

Nei primi mesi dopo l'amputazione, il dolore all'arto residuo tende a diminuire, molto probabilmente a causa della risoluzione del dolore della ferita chirurgica postoperatoria, mentre il PLP può perdurare. Il dolore pre-amputativo è il secondo fattore più comune associato al PLP: gli individui che riportano dolore intenso all'arto prima di subire un'amputazione hanno anche maggiori probabilità di segnalare un'intensa PLP post amputazione (Schone et al., 2022). Le sensazioni fantasma non dolorose costituiscono invece il terzo fattore più comune associato positivamente al PLP (Schone et al., 2022). Circa l'80% degli amputati riferisce di aver sperimentato una qualche forma di queste sensazioni fantasma non dolorose, che vanno da cinetica (percezione del movimento fantasma passivo o attivo), cinestesica (consapevolezza della dimensione, forma, posizione del fantasma) a esterocettiva (tattile, pressione, temperatura, ecc). La maggior parte delle persone descrive le sensazioni fantasma come la sensazione che l'arto mancante sia ancora presente e include sensazioni di formicolio, prurito, parestesie o persino una sensazione di intorpidimento, come se l'arto fosse addormentato (Schone et al., 2022).

### **Trattamento post amputazione**

L'uso della protesi dell'arto superiore (ULP) offre agli amputati una nuova opportunità di vivere una vita di qualità. Una protesi è un utile dispositivo medico artificiale che sostituisce una parte del corpo mancante. Affinchè il dispositivo abbia successo, il suo design deve soddisfare le aspettative e le esigenze degli utenti (Brack & Amalu, 2021).

Dopo l'intervento di amputazione, è imperativo ottimizzare le capacità fisiche residue dell'amputato attraverso processi riabilitativi, inclusa la riabilitazione postoperatoria, la desensibilizzazione e l'applicazione continua di medicazioni morbide o rigide per la riduzione del dolore e la modellatura del moncone. A seconda della situazione, una protesi può essere indossata nella fase iniziale del recupero, oppure può essere applicata una protesi postoperatoria immediata per promuovere la maturazione del moncone. Successivamente, per mantenere il range di movimento del moncone e per prevenire la deformazione, la porzione rimanente dell'arto deve essere posizionata in modo da prevenire la contrattura. Dovrebbero essere eseguiti anche esercizi continui per migliorare la forza muscolare, per garantire che l'amputato sia in grado di svolgere le attività della vita quotidiana in modo indipendente. Inoltre, è necessaria una gestione pulita della ferita o dell'edema del moncone, per prevenire problemi associati all'uso della protesi (Choo et al., 2022).

Esistono però diversi casi di disuso e abbandono della protesi derivanti da problemi relativi a funzionalità, affidabilità, aspetto e comfort: alcuni dispositivi protesici hanno uno scarso controllo motorio mentre altri non sono abbastanza durevoli. In molti scenari, i pazienti non sono totalmente soddisfatti dell'aspetto e alcuni tipi di dispositivi non hanno la funzione touch sensoriale, oltre ad essere eccessivamente pesanti. Altre qualità desiderabili che si trovano carenti negli attuali dispositivi protesici includono la mancanza di calore e la mancanza di umanità (Brack & Amalu, 2021).

### **Tipi di protesi**

La struttura di una protesi di arto superiore può essere schematizzata in 3 elementi:

- organo di presa
- parti di collegamento con eventuali articolazioni
- invasatura

Le protesi possono essere classificate in tre categorie principali: protesi passive, attive e ibride (Brack & Amalu, 2021).

### Protesi passive (PPD)



**Fig. 1:** protesi passiva

*Fonte:* Brack & Amalu, 2021

I dispositivi protesici passivi (PPD) vengono utilizzati quando l'aspetto fisico e il comfort sono la massima priorità. I dispositivi passivi rimangono una scelta popolare per gli utenti nonostante i loro limiti funzionali; infatti, sono relativamente economici e hanno un aspetto esteticamente gradevole. La funzionalità di PPD è limitata ad azioni primitive come spingere, tirare e trasportare oggetti; tuttavia, sono comunemente indossati in situazioni sociali in quanto aumentano la fiducia dell'utente. Il dispositivo è generalmente consigliato per i pazienti che hanno subito di recente un'amputazione. Dopo aver familiarizzato con esso, gli utenti in genere avanzano nell'utilizzo di protesi attive (Brack & Amalu, 2021).

### Protesi attive

La distinzione principale tra dispositivi protesici attivi e passivi è che i dispositivi attivi possono generare energia. Le protesi attive possono essere ulteriormente classificate in dispositivi body powered e mioelettrici (Brack & Amalu, 2021).

### Dispositivi alimentati dal corpo (Body powered)



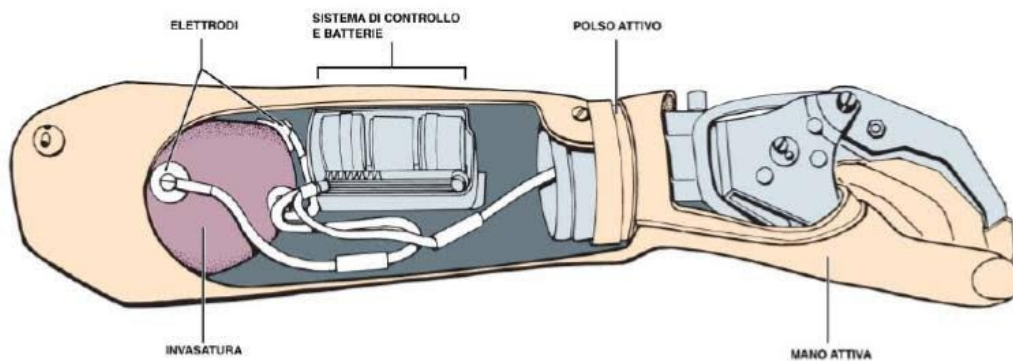
**Fig. 2:** protesi body-powered

*Fonte:* <https://ortopediasomp.com/79-protesi-arto-superiore>

Le protesi dell'estremità superiore alimentate dal corpo sono controllate mediante un'imbracatura collegata tramite un cavo ad altre parti del corpo del paziente. Una protesi standard motorizzata per l'arto superiore è dotata di presa, polso, cavo di controllo, imbracatura e un dispositivo terminale. Sono adatte per attività estensive e pesanti, rispetto alle protesi mioelettriche, perchè sono meno suscettibili ai danni in condizioni volatili come ambienti corrosivi e umidi, ciò è dovuto alla loro esclusione delle batterie o di una fonte di alimentazione alternativa. In aggiunta a questo, i dispositivi alimentati dal corpo offrono 'il controllo intuitivo del dispositivo

protesico e il ritorno di forza tramite il tensionamento del cavo'. Un altro aspetto vantaggioso è che il costo per l'utente è relativamente basso rispetto ai dispositivi mioelettrici. Nonostante questi aspetti positivi, i dispositivi alimentati dal corpo presentano diversi problemi: le forze di attivazione richieste sono spesso grandi e possono essere fisicamente opprimenti per alcuni utenti, causando problemi come affaticamento e disagio (Brack & Amalu, 2021).

### Protesi mioelettriche



**Fig. 3:** protesi mioelettrica

Fonte: <https://tech4future.info/dallrfid-una-risposta-per-migliorare-la-protesi-dellarto/>

Le protesi mioelettriche dell'arto superiore sono alimentate tramite l'uso di motori elettrici con una fonte di alimentazione esterna. Il movimento dell'articolazione è controllato attraverso l'attività muscolare dell'arto rimanente. I segnali elettromiografici (EMG) dal moncone dell'arto vengono rilevati da elettrodi di superficie, amplificati e quindi elaborati da un controller per azionare motori alimentati a batteria che muovono la mano, il polso o il gomito. Una protesi mioelettrica dell'arto superiore mira a migliorare la cosmesi del dispositivo. Un altro vantaggio dei dispositivi mioelettrici è che funzionano in modo fisiologicamente naturale: quando si utilizza una protesi transradiale, i muscoli utilizzati per aprire e chiudere la mano mioelettrica sono identici ai muscoli utilizzati nella mano naturale. Inoltre, la forza di presa del dispositivo mioelettrico, è tipicamente diverse volte maggiore di quella di una protesi motorizzata, ciò si ottiene praticamente senza alcuna forza aggiuntiva richiesta poichè sono necessarie solo piccole contrazioni muscolari per ottenere la massima forza di presa. Il costo dei dispositivi mioelettrici è una barriera che limita l'accesso degli utenti, soprattutto nei paesi senza un solido sistema sanitario. Un altro aspetto negativo dei dispositivi mioelettrici è che la loro batteria deve essere ricaricata quotidianamente (Brack & Amalu, 2021).

### Protesi ibride

Un dispositivo protesico ibrido per l'arto superiore combina componenti mioelettrici e alimentati dal corpo per costruire un dispositivo funzionale che incorpora i vantaggi dei singoli dispositivi (Brack & Amalu, 2021). Ad esempio, se la lunghezza del moncone transomerale e la mobilità della spalla lo permettono, si può optare per una soluzione cosiddetta “ibrida”, cioè si utilizza una mano a comando mioelettrico unitamente ad un gomito ad energia corporea o cinematico. Tali protesi hanno il vantaggio di avere un peso inferiore al caso in cui sia applicato un gomito elettromeccanico, pur assicurando una buona funzionalità.





## **RAZIONALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO**

Nonostante l'elevato numero di soggetti con amputazione e protesi di arto superiore, le evidenze sulla gestione clinica della protesizzazione legata a fenomeni dispercettivi sono ancora limitate. Inoltre, a fronte di una fiorente ricerca nell'ambito ingegneristico per la creazione di protesi sempre più all'avanguardia, si riscontra una scarsità di conoscenze in merito agli effetti delle stesse su variabili più prettamente cliniche come quelle del dolore, dell'arto fantasma e dello schema corporeo. Questo sembra indicare la necessità di una maggior comunicazione tra la disciplina ingegneristica e quella clinico-medica soprattutto nella parte riabilitativa. Nel corso degli anni tali discipline hanno cercato di comunicare costruendo protocolli che andassero a valutare fenomeni specifici presenti nei soggetti amputati portatori di protesi. Ciò che ci viene fornito dalla letteratura riguarda in particolare lavori su mirror therapy (MT) e fenomeno dell'embodiment. La MT, ha lo scopo di produrre l'illusione che la parte del corpo mancante sia in realtà presente (grazie al riflesso dell'arto esistente allo specchio). Questa illusione permetterebbe di ridurre o eliminare il fenomeno del dolore fantasma (Pirowska et al., 2014). Si ritiene, infatti, che la MT migliori la coerenza tra l'impulso motorio e il feedback sensoriale, riducendo così la deleteria riorganizzazione corticale e rimuovendo il dolore (Xie et al., 2022). Tuttavia, la prova dell'efficacia della MT sul PLP è, fino ad ora, inadeguata per raccomandarla come trattamento di prima linea nel paziente amputato. Sono ancora necessari studi randomizzati controllati per valutare più a fondo gli effetti della MT, sia sul dolore che sull'integrazione e l'uso dell'arto protesico (Barbin et al., 2016).

L'embodiment invece, è spesso descritto come un fenomeno per cui l'oggetto estraneo (cioè la protesi) diventa parte del corpo, viene cioè incluso nella percezione globale dello stesso. Questo fenomeno sembra supportare la corretta percezione, l'azione e la consapevolezza di sé nel paziente amputato (Zbinden et al., 2022). Tuttavia, nonostante l'uso frequente del termine, il concetto di embodiment viene spesso lasciato indefinito o descritto in modo incongruente. Questo, pertanto, rende difficile confrontare tra loro gli studi sull'embodiment, ostacolando di conseguenza il progresso nell'ambito della conoscenza sugli effetti delle protesi (Zbinden et al., 2022). In tal senso gli studi sugli effetti della MT e quelli indaganti il fenomeno dell'embodiment nei soggetti protesizzati hanno studiato i disturbi clinici in tali soggetti, cercando di mettere in comunicazione il "mondo" ingegneristico delle protesi con quello medico dei disturbi clinici dell'amputato. Attraverso questo studio, vorremmo quindi approfondire quanto è stato finora studiato riguardo gli effetti dell'applicazione della protesi all'arto superiore, sui fenomeni di dispercezione spesso presenti nei soggetti amputati.

L'obiettivo della presente tesi è dunque quello di condurre una revisione sistematica della letteratura per riassumere le conoscenze attuali riguardo l'influenza della protesizzazione sulla mispercezione conseguente all'amputazione di arto superiore. In particolare, ci si soffermerà sulla relazione tra dolore, arto fantasma, deficit di schema corporeo post-amputazione e l'applicazione o meno della protesi. Avere un'idea degli effetti della protesizzazione su tali fenomeni clinici potrebbe aiutare in futuro ad implementare la ricerca in questo ambito promuovendo una maggior comunicazione e collaborazione tra ingegneri e riabilitatori.

# MATERIALI E METODI

## Quesito di ricerca

Il quesito di ricerca alla base della revisione della letteratura eseguita è di seguito riportato seguendo il framework P (=population) – I (=intervention) – C (=comparators) – O (=outcomes):

- **Popolazione:** adulti con amputazione dell'arto superiore;
- **Intervento:** amputazione e/o protesizzazione dell'arto superiore;
- **Controllo:** NA (non applicabile)
- **Outcomes:** dolore, dolore da arto fantasma (PLP), immagine corporea, schema corporeo, rappresentazione corporea, qualità della vita

## Strategie di ricerca e selezione degli studi

La selezione degli studi è stata effettuata attraverso i motori di ricerca Pubmed, Pedro, Scopus e Cochrane fino al 30 giugno 2022. Per quanto riguarda il motore di ricerca Pubmed, è stata utilizzata la seguente stringa di ricerca:

((Self Concept OR Self Perception OR self esteem) OR (((pain) OR ((body Dysmorphic Disorders OR Body Image Disfunction OR Body Image disorder) OR (body AND (awareness OR image OR representation)))) OR (phantom limb) OR quality of life OR patient satisfaction OR Patient Reported Outcome Measures)) AND (((Arm OR Axilla OR Elbow OR Forearm OR Hand OR Fingers OR thumb OR Metacarpus OR Shoulder OR Wrist) OR ((upper AND (limb OR extrem\*)) OR (upper extremity OR upper limb OR forearm))) AND (((((prosthesis) OR (prosth\*)) OR (implant)) OR (arthroplasty)) AND (amputation OR amputat\*))).

Combinazioni di parole chiave quali “amputation” “upper limb” “upper extremity” è stata invece utilizzata per gli altri database.

Criteri di inclusione: studi controllati o pre-post amputazione e protesizzazione che includevano pazienti con amputazione e protesi dell'arto superiore di qualsiasi eziologia; valutazione di dolore legato all'arto fantasma, embodiment della protesi, disfunzioni dello schema corporeo, qualità della vita.

Criteri di esclusione: studi che non indagavano l'effetto della protesizzazione o del tipo di protesi su almeno una delle variabili di interesse.

Tutti i risultati della ricerca sono stati trasferiti su Rayyan, un software internazionale per la selezione degli studi da includere/escludere nelle revisioni sistematiche. Attraverso questo sistema sono stati selezionati gli studi da includere e quelli da escludere, eliminando anche i duplicati presenti. La selezione dei titoli è stata eseguita da due revisori indipendenti leggendo

i titoli e gli abstract. Eventuali discrepanze sono state discusse con un terzo revisore per raggiungere un consenso unanime.

### **Estrazione dei dati**

I dati da estrarre sono stati concordati dopo la consultazione dei membri del gruppo di ricerca. I dati degli studi inclusi erano: autore e anno, numero dei pazienti, tipo di studio, caratteristiche dell'amputazione, tipo di protesi, outcomes e risultati. Sono stati estratti da due revisori indipendenti e controllate da un terzo revisore in una tabella Excel preparata appositamente per questa revisione.

### **Valutazione qualità metodologica**

Due revisori hanno valutato il rischio di distorsione sistematica (bias) inerente alla qualità metodologica degli studi (validità interna) attraverso la “risk-of-bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)”. Non è invece stato utilizzato il ROB (Cochrane risk-of-bias tool for randomized trials) poiché dalla ricerca, come vedremo dai risultati, non è risultato utile nessuno studio RCT.

# RISULTATI

## Selezione degli studi e caratteristiche degli studi inclusi

La Fig. 1 illustra un diagramma di flusso del processo di selezione degli studi.

La ricerca nelle banche dati ha prodotto 1484 articoli, da questi sono stati esclusi: 360 duplicati, 941 articoli non idonei dopo lo screening di titolo e abstract e 59 non idonei perché revisioni sistematiche. I rimanenti 124 articoli (idonei perché trattavano di amputazioni dell'arto superiore) sono stati ulteriormente selezionati, rimuovendo tutti quelli che:

- non prevedevano un confronto tra pazienti protesizzati e non;
- non prevedevano un confronto tra prima e dopo la protesizzazione;
- non avevano gli outcomes di nostro interesse (dolore, arto fantasma, body schema)

Questa scomposizione finale ha portato ad avere 9 articoli di interesse per il proseguo dello studio.

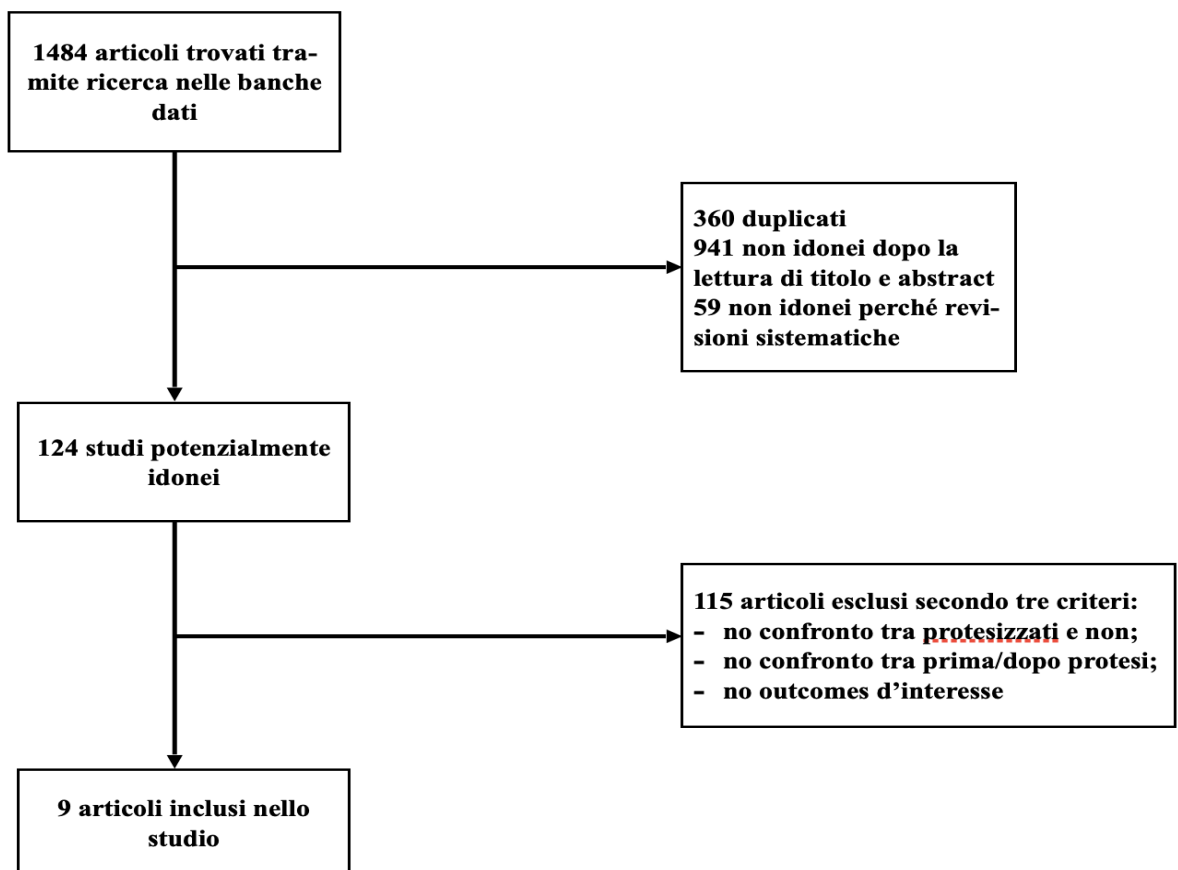


Fig.4: Flowchart della selezione degli studi

**Tabella 1**

Caratteristiche degli studi

Autore e anno	Tipo di studio	Tempo dall' amputazione	Numero di partecipanti	Caratteristiche dell' amputazione	Tipo di protesi	Outcomes	Risultati
Canzoneri (2013)	Non specificato	Da 1.5 a 42 anni	10 pazienti amputati e 29 pazienti sani	<b>Livello:</b> amputazione sotto o sopra il gomito <b>Eziologia:</b> incidente traumatico	Mioelettrica, cinematica	Valutazione dell'accuratezza della percezione della distanza tra due stimoli tattili.  P-Arm: probabilità di percepire la distanza tra due stimoli tattili maggiore sull'arto superiore rispetto alla fronte.	P-Arm era significativamente più alto quando i pazienti eseguivano il compito sull'arto colpito, senza indossare la protesi (62% +/- 5%), rispetto all'arto sano (46% +/- 4%). Questo risultato suggerisce che l'amputazione ha ridotto la lunghezza percepita della restante parte dell'arto colpito. Quando i pazienti eseguivano il compito sul moncone, indossando la protesi, P-Arm era inferiore (52% +/- 6%) rispetto alla condizione senza protesi. Questi risultati suggeriscono che l'uso della protesi ha aumentato la lunghezza percepita del moncone, rendendolo più simile alla percezione dell'arto sano.

<b>Autore e anno</b>	<b>Tipo di studio</b>	<b>Tempo dall' amputazione</b>	<b>Numero di partecipanti</b>	<b>Caratteristiche dell'amputazione</b>	<b>Tipo di protesi</b>	<b>Outcomes</b>	<b>Risultati</b>
Di Pino (2020)	Case study	30 anni	1 protesizzato 36 sani per primo task 11 sani per il secondo task	<b>Livello:</b> Transradiale <b>Eziologia:</b> Traumatica	Due protesi mioelettriche con neuro-feedback: -Protesi A: IH2 Azzurra, Prensilia s.r.l. (training 45gg) -Protesi B: RoboLimb, TouchBionics s.r.l. (antropomorfa, training 20gg)	Tempo di reazione in un task di integrazione visuotattile  Accuratezza nella determinazione di sincronia di due stimoli tattili	Non c'è differenza significativa nei tempi di reazione tra le due protesi. Entrambe le protesi mostrano segni di embodiment. La protesi A ha mostrato accuratezza simile ai soggetti sani, mentre con la protesi B la performance era significativamente peggiore, mostrando segni di effetto del training.
Guo (2017)	Non specificato	Da 1 a 37 anni per i protesizzati e da 1 a 31 anni per i non protesizzati	- Gruppo A: 11 pazienti - Gruppo B: 11 pazienti - Gruppo C: 11 pazienti	<b>Livello:</b> amputazione unilaterale degli arti superiori <b>Eziologia:</b> incidente, tumore	Mioelettrica/ cosmetica per i protesizzati	Questionario per misura della vividezza fantasma (scala 0-10) prima e dopo l'esperimento RM	Vividezza fantasma nella vita quotidiana non differiva nei gruppi A e B: - A = 4.82 +- 3.25 - B = 4.73 +- 4.05 Era però presente una differenza tra gli utilizzatori di protesi mioelettriche e cosmetiche (non significativo): - mioelettriche = 3.71 +- 3.15 - cosmetiche = 6.75 +- 2.75

Autore e anno	Tipo di studio	Tempo dall' amputazione	Numero di partecipanti	Caratteristiche dell' amputazione	Tipo di protesi	Outcomes	Risultati
Hruby (2018)	Non specificato	Non specificato	7 pazienti protesizzati	<b>Livello:</b> lesione del plesso brachiale <b>Eziologia:</b> incidente	(Ricostruzione bio-nica)	Qualità della vita tramite SF-36; Immagine corporea tramite FKB-20; Dolore tramite VAS (0-10)	<b>SF-36:</b> La scala riassuntiva delle componenti fisiche è aumentata da 30.80 +- 5.31 a 37.37 +- 8.41 e la scala riassuntiva delle componenti mentali è migliorata da 43.19 +- 8.32 a 54.76 +- 6.78 <b>FKB-20:</b> Dopo la sostituzione della mano protesica finale, la valutazione negativa del corpo è migliorata da un valore medio di 60.71 +- 12.12 a un valore medio di 53.29 +- 11.03. La dinamica del corpo vitale è invece aumentata da 38.57 +- 13.44 a 44.43 +- 16.15 <b>VAS:</b> I punteggi VAS sono migliorati da 7.8 alla valutazione iniziale a 5.6 dopo la sostituzione della mano protesica



Autore e anno	Tipo di studio	Tempo dall' amputazione	Numero di partecipanti	Caratteristiche dell' amputazione	Tipo di protesi	Outcomes	Risultati
Nayak (2016)	Caso clinico	Circa 2 anni	1 paziente	<b>Livello:</b> mano <b>Eziologia:</b> incidente	Protesi cosmetica	<p>Dolore misurato attraverso la scala VAS (0-10);</p> <p>Attività di vita quotidiana misurate attraverso il questionario DASH;</p> <p>Capacità dell'arto superiore tramite test Jebsen-Taylor Hand Function</p>	<p><b>VAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- senza protesi = 6</li> <li>- con protesi (2 giorni) = 5</li> <li>- con protesi (&gt; 90 giorni) = 2</li> </ul> <p><b>DASH:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- senza protesi = 73.33</li> <li>- con protesi (2 giorni) = 73.33</li> <li>- con protesi (&gt; 90 giorni) = 46.66</li> </ul> <p>Il dolore alla VAS è diminuito del 50% , mentre la disabilità secondo il questionario DASH è diminuita del 36%.</p> <p>Il test Jebsen-Taylor Hand Function ha invece registrato una netta diminuzione del tempo necessario per svolgere le varie attività (scrivere, voltare pagina, raccogliere oggetti...)</p>

Autore e anno	Tipo di studio	Tempo dall' amputazione	Numero di partecipanti	Caratteristiche dell' amputazione	Tipo di protesi	Outcomes	Risultati
Resnik (2020)	Non specificato	Media di 31.4 +- 18.3 anni	775 pazienti: - 392 protesizzati - 272 non protesizzati	<b>Livello:</b> quarto anteriore, spalla, sopra il gomito, gomito, transradiale, polso <b>Eziologia:</b> traumatica, neoplasica, diabete, infezione	Mioelettrica, body-powered, cosmetica	Disabilità misurata attraverso QuickDASH, Qualità della vita misurata attraverso VR-12	<p>I modelli di regressione lineare non hanno mostrato un'associazione tra il tipo di protesi utilizzata e il punteggio VR-12, ma hanno evidenziato maggiori difficoltà nelle attività, maggiore disabilità e qualità della vita inferiore da parte dei pazienti senza protesi rispetto a coloro che hanno utilizzato qualsiasi tipo di protesi attiva.</p> <p>Coloro che non utilizzano una protesi hanno maggior probabilità di aver bisogno di aiuto nelle attività della vita quotidiana rispetto a coloro che utilizzano una protesi alimentata dal corpo.</p> <p>Gli utenti di protesi estetiche hanno segnalato una maggiore difficoltà nell'esecuzione del compito rispetto agli utenti di protesi attive.</p>

<b>Autore e anno</b>	<b>Tipo di studio</b>	<b>Tempo dall' amputazione</b>	<b>Numero di partecipanti</b>	<b>Caratteristiche dell'amputazione</b>	<b>Tipo di protesi</b>	<b>Outcomes</b>	<b>Risultati</b>
Weiss (1999)	Studio comparativo pre-post protesi	Range 6-58 anni per il gruppo A (media di 10 anni), range 20-58 anni per il gruppo B (media di 15 anni)	21 pazienti protesizzati: - 9 del gruppo A - 12 del gruppo B	<b>Livello:</b> amputazione di una mano, della parte inferiore o superiore del braccio <b>Eziologia:</b> amputazioni traumatiche e dovute ad osteosarcoma	Gruppo A con protesi meccanica Sauerbruch e gruppo B con protesi estetica	Dolore attraverso scala VAS	<b>Intensità media del PLP:</b> Diminuzione del dolore solo nel gruppo A
Yamamoto (2019)	Studio trasversale	38-42 anni	174 pazienti: - 158 protesizzati - 16 non protesizzati	<b>Livello:</b> spalla, transomerale, gomito, transradiale, polso <b>Eziologia:</b> congenito, trauma, patologia	Mioelettrica, cosmetica, body-powered	Qualità della vita attraverso EQ-5D	Il punteggio medio di utilità EQ-5D degli utilizzatori di protesi era significativamente superiore rispetto a quello dei non utilizzatori (0.762 contro 0.628). Utenti con protesi cosmetica presentavano valori di EQ-5D significativamente maggiore di nonusers.

<b>Autore e anno</b>	<b>Tipo di studio</b>	<b>Tempo dall' amputazione</b>	<b>Numero di partecipanti</b>	<b>Caratteristiche dell'amputazione</b>	<b>Tipo di protesi</b>	<b>Outcomes</b>	<b>Risultati</b>
Zhang (2021)	Studio clinico descrittivo quantitativo	(I pazienti sono nella fase definitiva del processo di adattamento della protesi)	100 pazienti protesizzati, 1 paziente non protesizzato	<b>Livello:</b> dito, mano parziale, disarticolazione polso, transradiale, disarticolazione gomito, trasomerale, disarticolazione spalla, interscapolotoracico <b>Eziologia:</b> trauma, malattia, congenita	Passiva, body powered, elettrica, ibrida e/o specifica per l'attività	Qualità della vita attraverso questionario CAPROQ; Dolore attraverso una scale 11-point likert type	No differenze dolore con e senza protesi

*Significato delle abbreviazioni:*

SF-36: Short Form Healthy Survey 36; FKB-20: Body image questionnaire; VAS: visual analog scale; DASH: Disability of the Arm, Shoulder and Hand; EQ-5D: health-related quality of life of the general population; CAPROQ: Comprehensive Arm Prosthesis and Rehabilitation Outcomes Questionnaire.

Questi studi sono stati pubblicati tra il 1999 e il 2021, con un campione medio di 133 pazienti (1-775) di età principalmente adulta. Gli articoli nella tabella sono principalmente casi clinici, case study e valutazioni pre-post amputazione/protesizzazione. I pazienti selezionati presentano amputazioni dell'arto superiore a diversi livelli (spalla, transradiale, gomito, transomerale, mano, dita) e sono caratterizzati dall'uso o meno della protesi. I tempi trascorsi dalle amputazioni sono molto variabili, tutti però nell'ordine degli anni. Nell'articolo di Hruby et al. del 2018 il tempo dall'amputazione non è stato specificato, mentre in Zhang et al. del 2021 non è presente un dato preciso, ma viene solo indicato che i pazienti si trovano nella fase definitiva del processo di adattamento della protesi. In 3 studi (Canzoneri et al. 2013, Di Pino et al. 2020, Guo et al. 2017) sono stati inclusi anche soggetti sani, utili per avere un confronto nei risultati. La principale causa delle amputazioni è quella traumatica (incidenti), seguita da tumori e infezioni. Le protesi indossate dai pazienti sono principalmente tre, ovvero cosmetiche, body-powered oppure mioelettriche. Per quanto riguarda outcomes e risultati, i pazienti hanno risposto a diversi questionari prima e dopo l'amputazione, oppure con e senza protesi, riguardanti la qualità della vita e la scala del dolore provato. Nei due studi di Canzoneri et al. 2013 e di Di Pino et al. 2020, i soggetti sono stati invece sottoposti a dei test, per rilevare la loro capacità di localizzare sul corpo stimoli tattili; nello specifico sono stati valutati l'accuratezza della percezione della distanza tra due stimoli tattili (con e senza protesi) e il tempo di reazione ad essi (utilizzando due protesi diverse).

**Tabella 2**

**Rischio di distorsione sistematica (Cochrane Risk of bias)**

Risk of bias per studi non randomizzati

<b>Study</b>	<b>Bias due to confounding</b>	<b>Bias in selection of participants into the study</b>	<b>Bias in classification of interventions</b>	<b>Bias due to deviations from intended interventions</b>	<b>Bias due to missing data</b>	<b>Bias in measurement of outcomes</b>	<b>Bias in selection of the reported result</b>	<b>Overall bias</b>
Canzoneri 2013	Low	Low	NI	Low	Moderate	Moderate	Low	Moderate
Di Pino 2020	Low	NI	NI	NI	Low	Moderate	Low	Moderate
Guo 2017	Low	NI	NI	Low	Low	Moderate	Low	Moderate
Hruby 2018	Low	Low	NI	Low	Low	Moderate	Low	Moderate
Nayak 2016	Low	Low	NI	Low	Low	Moderate	Low	Moderate
Resnik 2020	Low	NI	NI	NI	Moderate	Moderate	Low	Moderate
Weiss 1999	Moderate	Low	Low	Low	Low	Moderate	Low	Moderate
Yamamoto 2019	Low	NI	NI	NI	Low	Moderate	Low	Moderate
Zhang 2021	Low	NI	NI	NI	Low	Moderate	Low	Moderate

NI: no information

Nessuno degli studi selezionati è un RCT. Nel lavoro di Weiss et al. del 1999 c'è un rischio di bias dovuto al fatto che i pazienti del gruppo A provengono da un laboratorio diverso rispetto a quelli del gruppo B. Nei lavori di Canzoneri et al. 2013 e di Resnik et al. 2020 è invece presente un rischio di bias dovuto a dati mancanti. Nel primo studio due pazienti non hanno potuto partecipare al primo esperimento, a causa del livello molto alto della loro amputazione (sopra il gomito). Nel secondo studio sono invece stati esclusi 21 partecipanti che avevano dati incompleti o contrastanti riguardo l'uso della protesi: 9 di questi sono stati esclusi per mancanza di informazioni sull'uso della protesi, 11 per informazioni mancanti sul tipo di protesi o segnalazioni che la protesi primaria fosse un dispositivo protesico e 1 a causa di una mancata corrispondenza tra protesi e tipo di dispositivo terminale. Tutti gli articoli nella tabella presentano un bias moderato nelle misurazioni dei risultati, ciò è dovuto al fatto che, coloro che valutavano i risultati erano a conoscenza dell'intervento ricevuto dai partecipanti allo studio.





## DISCUSSIONE

In questa revisione sistematica vengono analizzati i fenomeni di dispercezione in soggetti che hanno subito l'amputazione dell'arto superiore e la successiva protesizzazione. L'obiettivo principale è stato quello di confrontare la presenza e la gravità di tali fenomeni in soggetti amputati protesizzati e non. Gli articoli inclusi nel nostro studio sono principalmente casi clinici, case study e valutazioni pre-post amputazione/protesizzazione. Non è invece stato trovato nessuno studio randomizzato controllato (RCT) di nostro interesse. Gli studi sono stati effettuati in diverse parti del mondo: Europa (Canzoneri et al. 2013, Di Pino et al. 2020, Hruby et al. 2018, Weiss et al. 1999), Asia (Guo et al. 2017, Nayak et al. 2016, Yamamoto et al. 2019) e America (Resnik et al. 2020, Zhang et al. 2021). In generale i risultati degli studi sono contrastanti: Guo et al. 2017 affermano che non si sono verificate delle differenze significative tra il gruppo di protesizzati e non, per quanto riguarda la misura della vividezza della sensazione dell'arto fantasma. Tuttavia, i risultati riportano che tali differenze sono presenti tra utilizzatori di protesi mioelettriche e utilizzatori di protesi cosmetiche, con migliori risultati per i primi. Anche in Zhang et al. 2021 viene sottolineato il fatto che non ci sono evidenti discrepanze tra il dolore provato dai pazienti con o senza protesi. Nello studio Hruby et al. 2018 si è invece riscontrato un importante cambiamento nei dati forniti dai pazienti prima e dopo l'amputazione e la successiva protesizzazione. La maggior parte dei soggetti si sentiva funzionalmente limitato a causa della propria disabilità e riferiva un dolore costante e debilitante alla mano successivamente all'amputazione. Dopo la ricostruzione bionica invece, funzionamento fisico, salute generale e vitalità soggettivamente riportati risultavano notevolmente aumentati, così come anche le componenti mentali (ruolo emotivo e salute mentale). A ciò si aggiungono anche miglioramenti per quanto riguarda la valutazione dell'immagine corporea e del dolore da arto fantasma. È da sottolineare che in tale studio sono stati inclusi pazienti con una denervazione dell'arto superiore cronica da almeno un anno prima dell'intervento di amputazione e protesizzazione. Altri studi hanno confrontato gruppi di pazienti per i quali l'amputazione è stata seguita o meno da protesizzazione. In particolare, gli studi Nayak et al. 2016, Resnik et al. 2020 e Yamamoto et al. 2019 hanno evidenziato un notevole progresso negli aspetti dispercettivi da parte dei pazienti protesizzati rispetto ai pazienti privi di protesi. L'articolo di Nayak et al. 2016 infatti, riporta nello specifico una diminuzione progressiva nel tempo del dolore all'arto fantasma per i soggetti che indossavano una protesi. Inoltre vengono riportati miglioramenti anche nelle attività di vita quotidiana, con una netta riduzione del tempo impiegato dal paziente per svolgerle. Nello studio Resnik et al. 2020 si evidenzia invece come coloro che non utilizzano una protesi, abbiano maggiori probabilità di aver bisogno di aiuto nelle attività di vita quotidiana rispetto a

coloro che hanno utilizzato qualsiasi tipo di protesi attiva. Viene inoltre fatto presente che i soggetti con protesi estetiche riscontravano maggiori difficoltà nell'esecuzione dei vari compiti, rispetto a chi indossava protesi attive. Infine, anche in Yamamoto et al. 2019 si sono ottenuti risultati nettamente superiori, riguardo la qualità della vita, dai pazienti protesizzati rispetto ai non-users. Negli studi Di Pino et al. 2020 e Weiss et al. 1999 viene invece fatto un confronto tra i risultati ottenuti mediante l'utilizzo di protesi diverse sugli individui. Nel primo dei due, una paziente con amputazione transradiale viene sottoposta a dei test, indossando due protesi mioelettriche con neurofeedback: l'una per lo più aperta e flessibile per essere utilizzata in diversi esperimenti di laboratorio, l'altra progettata per utenti finali amputati, da impiegare nella loro quotidianità e durante le loro attività sociali. Dopo aver effettuato un periodo di training (45 giorni per la prima protesi, 20 giorni per la seconda). Per quanto riguarda il tempo di reazione in risposta agli stimoli tattili presentati, non vi erano differenze significative tra le due protesi, mentre nei risultati sull'accuratezza nella determinazione di sincronia di due stimoli tattili, la prima protesi mostrava dei risultati simili ai soggetti sani, a differenza della seconda dove la performance era significativamente peggiore. D'altra parte, nell'articolo Weiss et al. 1999 il confronto è stato fatto tra una protesi Sauerbruch (dispositivo meccanico collegato ad uno dei muscoli del braccio mediante cavi che azionano un'asta terminante alla sua estremità prossimale in un tunnel creato chirurgicamente nel muscolo che lo aziona) e una protesi cosmetica. Il risultato ottenuto è stata la diminuzione dell'intensità del dolore all'arto fantasma solamente per il gruppo di pazienti che indossavano la protesi meccanica Sauerbruch.

Dai dati emersi dai 9 studi, pare che l'utilizzo della protesi abbia più vantaggi rispetto alla non-protesi. La protesizzazione potrebbe dunque giovare al paziente amputato, perché garantirebbe la possibilità di tornare a vivere una vita più simile possibile a quella precedente. Tra le varie tipologie di protesi presenti, la più efficace sembra essere quella mioelettrica, perché funziona in modo fisiologicamente naturale. Infatti, i muscoli utilizzati per muovere la protesi mioelettrica, sono identici ai muscoli utilizzati nell'arto naturale. Inoltre, la forza di presa del dispositivo mioelettrico, è normalmente diverse volte superiore rispetto a quella di una protesi motorizzata: sono necessarie solo piccole contrazioni muscolari per ottenere la massima forza di presa. Queste sono supposizioni sulla base dei pochi dati presenti, ma che devono essere confermate attraverso ulteriori indagini e studi in questo ambito che risulta attualmente ancora poco studiato. I lavori inclusi inoltre presentano alcune caratteristiche che riducono la valenza dei risultati della presente revisione. Innanzitutto, molti studi inclusi presentano dei rischi di bias; il motivo principale è che gli outcome di nostro interesse spesso sono stati valutati con dei questionari compilati direttamente dal paziente, al quale non è possibile nascondere il tipo di

intervento ricevuto. Tuttavia, in questi studi (Canzoneri et al. 2013, Guo et al. 2017, Hruby et al. 2018, Nayak et al. 2016, Resnik et al. 2020, Weiss et al. 1999, Yamamoto et al. 2019, Zhang et al. 2021) non viene riportata evidenza che questo sia stato motivo di influenza dei risultati, perciò, il rischio di bias è risultato in ogni caso moderato. Inoltre, l'utilizzo di questionari, potrebbe implicare, per loro stessa natura, una ridotta oggettività rispetto al disturbo presente (vissuto soggettivo del soggetto) rendendo quindi difficile l'identificazione precisa di talune mispercezioni. Oltre a questo limite negli outcome, si aggiunge il fatto che nessuno degli articoli selezionati è un RCT, quindi la valenza metodologica degli studi è relativa. Dall'analisi descrittiva dei 9 articoli inclusi nella presente revisione, si evince quindi come gli studi mostrino molte differenze tra loro soprattutto per quanto riguarda tipo di disegno, tipo di protesi utilizzate, eziologia dei pazienti e misure di outcome utilizzate. Queste differenze rendono non confrontabili gli studi tra loro oltre a non permettere una meta-analisi dei risultati. La scarsità degli studi in letteratura validi al nostro scopo (9 studi inclusi su 1484), ci suggerisce come ancora pochi siano i dati a nostra disposizione relativi agli effetti della protesizzazione sui fenomeni di dispercezione presenti nei pazienti amputati.



## CONCLUSIONI

La seguente revisione ha evidenziato il fatto che, ad oggi, ci siano ancora pochi dati disponibili in letteratura riguardanti questi argomenti, per arrivare a definire in maniera più assodata gli effetti della protesizzazione sui fenomeni di dispercezione nei pazienti amputati. Gli studi infatti sono caratterizzati da esiti discordanti tra di loro. Sulla base dei pochi dati a disposizione, si può ipotizzare che le protesi possano avere un effetto positivo sulla vita dei pazienti amputati ed in particolare sulle variabili quali dolore, arto fantasma e schema corporeo, ma questo non può essere affermato con assoluta certezza. Tutto ciò sembra evidenziare una scarsa comunicazione e collaborazione tra coloro che si occupano di produrre le protesi (ingegneri) e coloro che si occupano della riabilitazione dei pazienti (clinici). Probabilmente, un maggior interesse e un maggior lavoro di squadra tra professionisti di diversi settori (ingegneria-riabilitazione), potrebbe giovare al settore, portando a nuovi risultati utili per il paziente amputato e la sua cura.



## BIBLIOGRAFIA

H.A. Agashe, A.Y. Paek, J.L. Contreras-Vidal, Chapter 4 - Multisession, noninvasive closed-loop neuroprosthetic control of grasping by upper limb amputees, Editor(s): Damien Coyle, Progress in Brain Research, Elsevier, Volume 228, 2016, Pages 107-128, ISSN 0079-6123, ISBN 9780128042168, <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.016>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612316300425>)

Barbin J, Seetha V, Casillas JM, Paysant J, Pérennou D. The effects of mirror therapy on pain and motor control of phantom limb in amputees: A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2016 Sep;59(4):270-5. doi: 10.1016/j.rehab.2016.04.001. Epub 2016 May 30. PMID: 27256539.

Brack R, Amalu EH. A review of technology, materials and R&D challenges of upper limb prosthesis for improved user suitability. *J Orthop*. 2020 Dec 25;23:88-96. doi: 10.1016/j.jor.2020.12.009. PMID: 33442223; PMCID: PMC7787923.

Canzoneri E, Marzolla M, Amoresano A, Verni G, Serino A. Amputation and prosthesis implantation shape body and peripersonal space representations. *Sci Rep*. 2013 Oct 3;3:2844. doi: 10.1038/srep02844. PMID: 24088746; PMCID: PMC3789144.

Choo YJ, Kim DH, Chang MC. Amputation stump management: A narrative review. *World J Clin Cases*. 2022 May 6;10(13):3981-3988. doi: 10.12998/wjcc.v10.i13.3981. PMID: 35665133; PMCID: PMC9131228.

Di Pino G, Romano D, Spaccasassi C, Mioli A, D'Alonzo M, Sacchetti R, Guglielmelli E, Zollo L, Di Lazzaro V, Denaro V, Maravita A. Sensory- and Action-Oriented Embodiment of Neurally-Interfaced Robotic Hand Prostheses. *Front Neurosci*. 2020 May 7;14:389. doi: 10.3389/fnins.2020.00389. PMID: 32477046; PMCID: PMC7232597.

Erstad DJ, Ready J, Abraham J, Ferrone ML, Bertagnolli MM, Baldini EH, Raut CP. Amputation for Extremity Sarcoma: Contemporary Indications and Outcomes. *Ann Surg Oncol*. 2018 Feb;25(2):394-403. doi: 10.1245/s10434-017-6240-5. Epub 2017 Nov 22. PMID: 29168103.

Flor H. Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment. *Lancet Neurol.* 2002 Jul;1(3):182-9. doi: 10.1016/s1474-4422(02)00074-1. PMID: 12849487.

Guo X, Lin Z, Lyu Y, Bekrater-Bodmann R, Flor H, Tong S. The Effect of Prosthesis Use on Hand Mental Rotation After Unilateral Upper-Limb Amputation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2017 Nov;25(11):2046-2053. doi: 10.1109/TNSRE.2017.2702117. Epub 2017 May 8. PMID: 28489541.

Heyns A, Jacobs S, Negrini S, Patrini M, Rauch A, Kiekens C. Systematic Review of Clinical Practice Guidelines for Individuals With Amputation: Identification of Best Evidence for Rehabilitation to Develop the WHO's Package of Interventions for Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2021 Jun;102(6):1191-1197. doi: 10.1016/j.apmr.2020.11.019. Epub 2021 Jan 4. PMID: 33412108.

Hruby LA, Pittermann A, Sturma A, Aszmann OC. The Vienna psychosocial assessment procedure for bionic reconstruction in patients with global brachial plexus injuries. *PLoS One.* 2018 Jan 3;13(1):e0189592. doi: 10.1371/journal.pone.0189592. PMID: 29298304; PMCID: PMC5751989.

Kaur A, Guan Y. Phantom limb pain: A literature review. *Chin J Traumatol.* 2018 Dec;21(6):366-368. doi: 10.1016/j.cjtee.2018.04.006. Epub 2018 Dec 4. PMID: 30583983; PMCID: PMC6354174.

Markatos K, Karamanou M, Saranteas T, Mavrogenis AF. Hallmarks of amputation surgery. *Int Orthop.* 2019 Feb;43(2):493-499. doi: 10.1007/s00264-018-4024-6. Epub 2018 Jun 12. PMID: 29948012.

Rotta M, 2013/2014, Analisi numerica delle pressioni all'interfaccia tra il moncone di un amputato transfemorale e tre differenti tipologie di invasatura durante la calzata ed il cammino; tesi di laurea Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, Politecnico di Milano.



Mayer A, Kudar K, Bretz K, Tihanyi J. Body schema and body awareness of amputees. *Prosthet Orthot Int*. 2008 Sep;32(3):363-82. doi: 10.1080/03093640802024971. PMID: 18677671.

Nayak S, Lenka PK, Equebal A, Biswas A. Custom-made silicone hand prosthesis: A case study. *Hand Surg Rehabil*. 2016 Sep;35(4):299-303. doi: 10.1016/j.hansur.2016.05.004. Epub 2016 Jul 21. PMID: 27781997.

Pirowska A, Wloch T, Nowobilski R, Plaszewski M, Hocini A, Ménager D. Phantom phenomena and body scheme after limb amputation: a literature review. *Neurol Neurochir Pol*. 2014 Jan-Feb;48(1):52-9. doi: 10.1016/j.pjnns.2013.03.002. Epub 2014 Jan 23. PMID: 24636771.

Resnik L, Borgia M, Clark M. Function and Quality of Life of Unilateral Major Upper Limb Amputees: Effect of Prosthesis Use and Type. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020 Aug;101(8):1396-1406. doi: 10.1016/j.apmr.2020.04.003. Epub 2020 May 11. PMID: 32437692.

Roşca AC, Baciuc CC, Burtăverde V, Mateizer A. Psychological Consequences in Patients With Amputation of a Limb. An Interpretative-Phenomenological Analysis. *Front Psychol*. 2021 May 26;12:537493. doi: 10.3389/fpsyg.2021.537493. PMID: 34122200; PMCID: PMC8189153.

Schone HR, Baker CI, Katz J, Nikolajsen L, Limakatso K, Flor H, Makin TR. Making sense of phantom limb pain. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2022 May 24;93(8):833–43. doi: 10.1136/jnnp-2021-328428. Epub ahead of print. PMID: 35609964; PMCID: PMC9304093.

Watve S, Dodd G, MacDonald R, Stoppard E. Upper limb prosthetic rehabilitation, *Orthopaedics and Trauma*, Volume 25, Issue 2, 2011, Pages 135-142, ISSN 1877-1327, <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2010.10.003>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877132710001338>)

Weiss T, Miltner WH, Adler T, Brückner L, Taub E. Decrease in phantom limb pain associated with prosthesis-induced increased use of an amputation stump in humans. *Neurosci Lett*. 1999 Sep 10;272(2):131-4. doi: 10.1016/s0304-3940(99)00595-9. PMID: 10507559.

Xie HM, Zhang KX, Wang S, Wang N, Wang N, Li X, Huang LP. Effectiveness of Mirror Therapy for Phantom Limb Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022 May;103(5):988-997. doi: 10.1016/j.apmr.2021.07.810. Epub 2021 Aug 28. PMID: 34461084.

Yamamoto M, Chung KC, Sterbenz J, Shauver MJ, Tanaka H, Nakamura T, Oba J, Chin T, Hirata H. Cross-sectional International Multicenter Study on Quality of Life and Reasons for Abandonment of Upper Limb Prostheses. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019 May 24;7(5):e2205. doi: 10.1097/GOX.0000000000002205. PMID: 31333938; PMCID: PMC6571339.

Zbinden J, Lendaro E, Ortiz-Catalan M. Prosthetic embodiment: systematic review on definitions, measures, and experimental paradigms. *J Neuroeng Rehabil.* 2022 Mar 28;19(1):37. doi: 10.1186/s12984-022-01006-6. PMID: 35346251; PMCID: PMC8962549.

Zhang X, Baun KS, Trent L, Miguelez JM, Kontson KL. Factors influencing perceived function in the upper limb prosthesis user population. *PM R.* 2021 Aug 18. doi: 10.1002/pmrj.12697. Epub ahead of print. PMID: 34409777.

## RINGRAZIAMENTI

Volevo inizialmente ringraziare il Professor Augusto Ferrante per aver accettato la richiesta di essere il mio relatore e per la disponibilità e gentilezza mostrata durante tutto il lavoro.

Ringrazio la Dottoressa Valentina Varalta, il Professor Alessandro Picelli e il Dottor Nicola Valè per l'opportunità che mi è stata offerta di lavorare insieme a loro; ho trovato delle persone molto professionali, sempre disponibili e di grande aiuto per la realizzazione della mia tesi, con la speranza di poter collaborare nuovamente anche in futuro.

Voglio poi ringraziare Alessandra, Lucrezia e Nicholas, compagni di università e amici con cui ho trascorso questo cammino intenso di 3 anni: senza il vostro aiuto e i vostri consigli sarebbe stato sicuramente tutto più complicato.

Infine, non posso non ringraziare i miei genitori e tutti i miei amici che mi hanno sempre supportato e sopportato, anche nei momenti più difficili, durante questo percorso importante della mia vita.