

I Piedi Protesici



Regiohotel Manfredi, Manfredonia (FG) – 15/17 novembre 2010

*II SESSIONE
PROTESI DI ARTO INFERIORE*

I piedi protesici

Giuseppe Tombolini

Il Piede Umano

Il piede umano è un capolavoro di ingegneria e un'opera d'arte

Leonardo Da Vinci



33 Articolazioni complesse
26 Ossa
107 Legamenti
Più di 20 Muscoli



Storia dei Piedi Protesici



Questo piede protesico è stato ritrovato in Egitto, indossato da una mummia, datato fra il 1064-724 a.C.

Gli studiosi dell'Istituto di Egittologia Biomedica dell'Università di Manchester stanno esaminando il reperto per capire la sua esatta funzione (protesi o corredo funerario?)

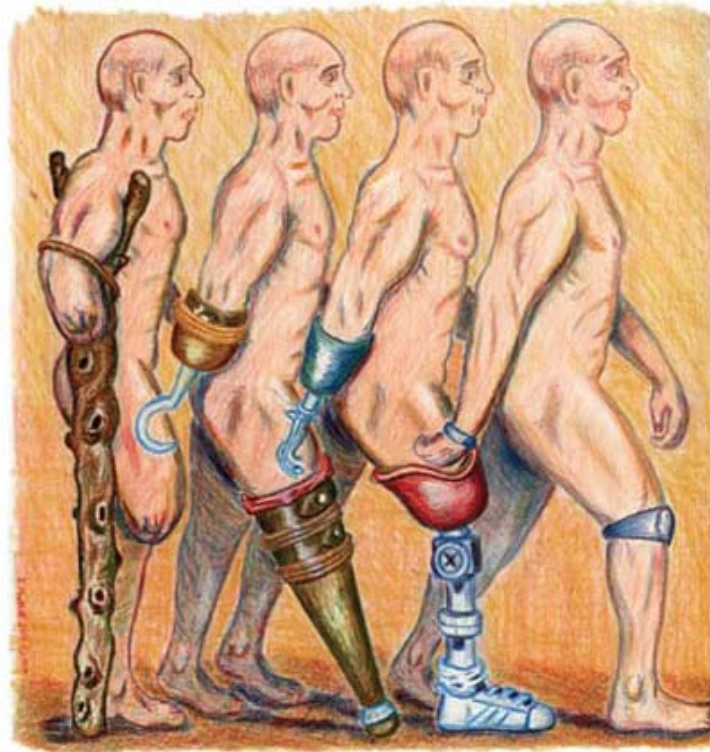
Altre e più certe testimonianze, di interesse protesico, sono state ritrovate a Capua, in epoca romana (300 a.C.)



Storia dei Piedi Protesici

Nella storia recente, e per tanti anni, il piede protesico è stato rappresentato da un “tampone” a termine del pilone d’appoggio della protesi.

Nel tempo si è passati alla realizzazione di un vero e proprio piede, costruito dapprima in legno e successivamente abbinato a polimeri plastici (es. piede SACH)



Il Ciclo del Passo

Per analizzare il comportamento di un piede protesico bisogna innanzitutto comprendere il “ciclo del passo” che rappresenta l’unità funzionale e periodica nella biomeccanica del cammino. Esso è definito dall’intervallo di tempo tra due contatti iniziali successivi dello stesso piede.



Il Ciclo del Passo

Nella definizione di J.Perry troviamo la suddivisione del ciclo del passo in due periodi principali: il periodo di appoggio o **Stance (St)** e il periodo di oscillazione o **Swing (Sw)**. Il primo rappresenta l'intervallo di tempo durante il quale il piede rimane a contatto con il terreno (60% del ciclo). Il secondo rappresenta l'intervallo di tempo durante il quale l'arto è sospeso e si produce la progressione in avanti (40% del ciclo).



Il Ciclo del Passo

I due periodi precedentemente descritti si possono suddividere in tre distinte fasi (il carico del peso; supporto su un solo arto; avanzamento dell'arto) e successivamente individuare ulteriori **otto sottofasi** a cui si possono sommare studi biomeccanici di Cinematica e Cinetica dei segmenti e delle articolazioni dell'arto inferiore.



Biomeccanica

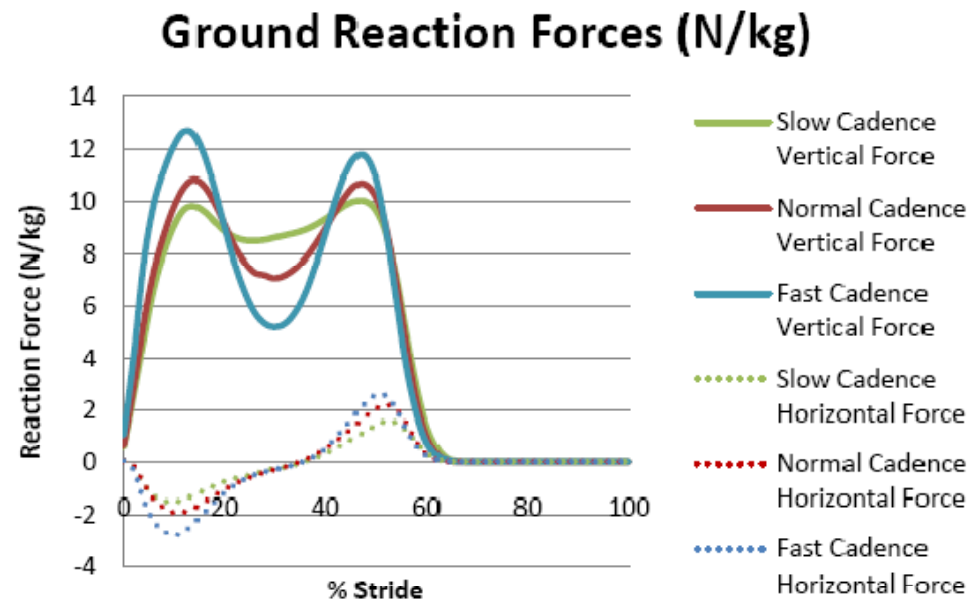
Durante il ciclo del passo possiamo individuare due forze che agiscono nell'interazione fra il centro di pressione del carico con il terreno.

FORZE ORIZZONTALI: Le forze orizzontali si dividono in una componente antero-posteriore e una latero-laterale.

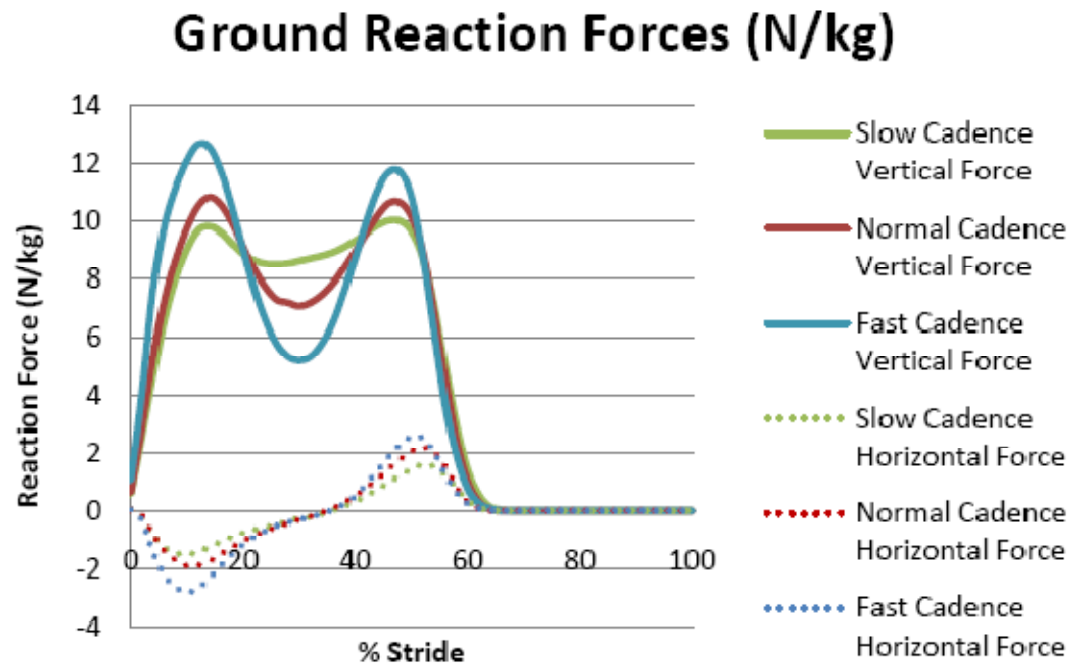
la **componente A-P** è negativa nella prima fase (decelerazione) e agisce in direzione posteriore; nella fase di mid-stance (propulsione) questa componente diventa positiva agendo così in direzione anteriore.

La **componente L-L** è associata alla stabilità del piede.

Queste due forze rappresentano circa il 15% delle forze di reazione al suolo.



Biomeccanica



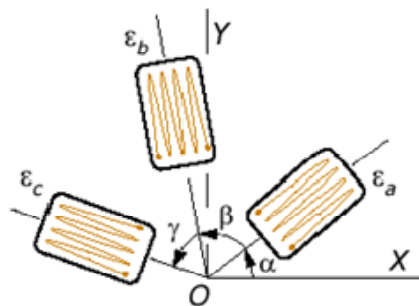
FORZE VERTICALI: Il grafico, chiamato a “doppia gobba”, rappresenta due picchi di accelerazione della massa corporea verso l’alto: il primo contatto e la fase di uscita dal periodo di swing. È sempre positiva e rappresenta circa l’85% delle forze di reazione



Biomeccanica

Per la corretta progettazione di un piede protesico è necessario indagare l'entità di queste forze, i punti di applicazione, le energie, le interazioni con le altre strutture anatomiche (tendinee e muscolari) valide anche nell'amputato e così individuare punti di criticità nella componente protesica.

Per fare ciò si utilizzano complesse procedure matematiche e strumenti di misura sensibili alle variazioni di forma come gli estensimetri (strain gages) monoassiali, in grado di restituirci uno studio puntuale delle deformazioni nello spazio.



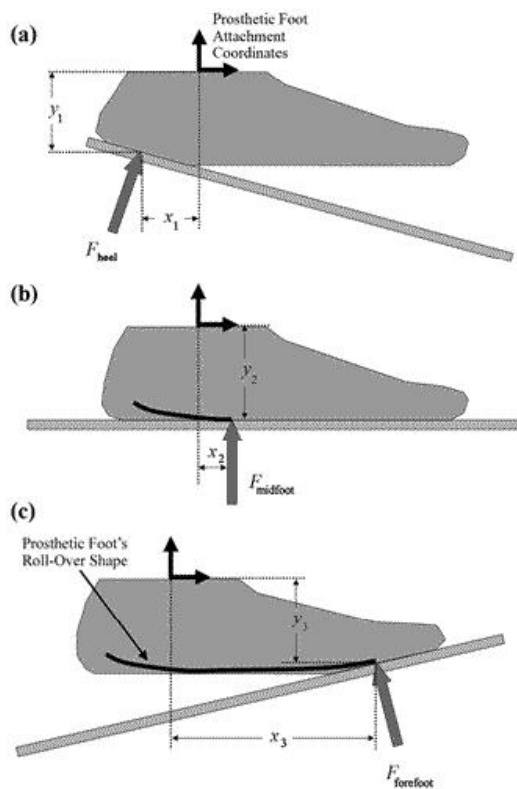
$$\varepsilon_a = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2\alpha + \varepsilon_{xy} \sin 2\alpha$$

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2(\alpha + \beta) + \varepsilon_{xy} \sin 2(\alpha + \beta)$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2(\alpha + \beta + \gamma) + \varepsilon_{xy} \sin 2(\alpha + \beta + \gamma)$$

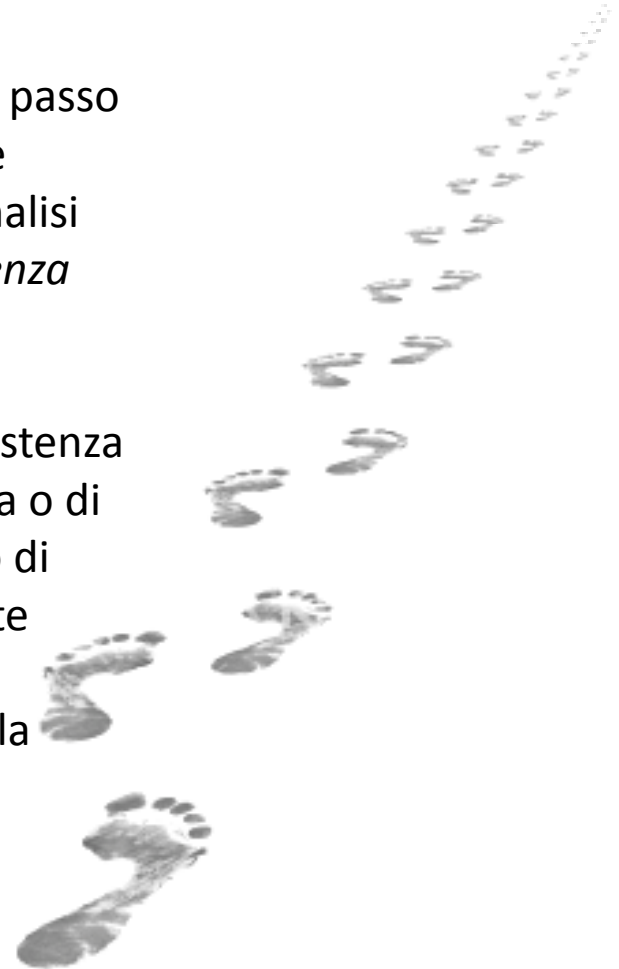


I Piedi Protesici



Data la complessità biomeccanica del passo molti sono i fattori che devono essere considerati per la progettazione e l'analisi di un piede protesico, come la *Resistenza alla Fatica*, la *Rigidità* e *Duttilità*.

Resistenza alla fatica: descrive la resistenza di un oggetto ai cambiamenti di forma o di proprietà del materiale su un periodo di carichi ciclici. I carichi applicati durante questo periodo possono essere fissi o variabili per meglio simulare l'uso nella realtà

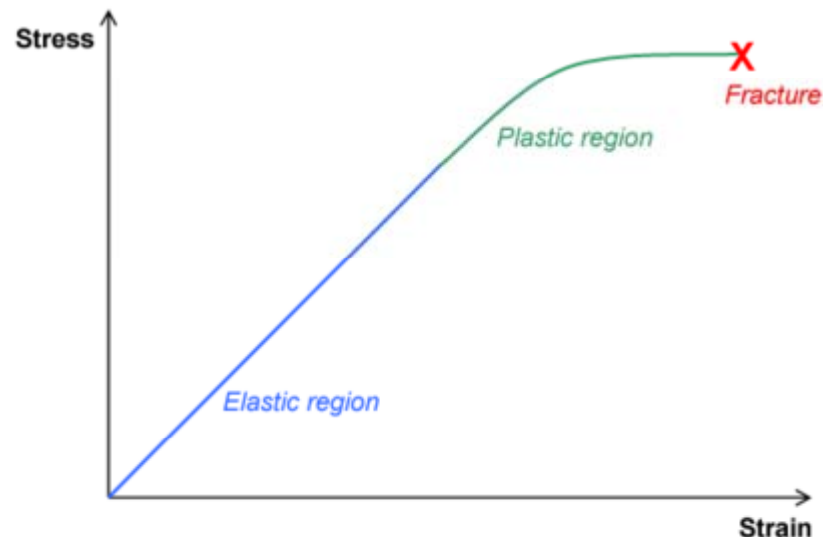


I Piedi Protesici

Rigidità-Duttilità: descrive la resistenza alle deformazioni provocate dall'applicazione di una forza.

Tutti i materiali e quindi anche i piedi protesici presentano delle caratteristiche plastiche e delle caratteristiche elastiche che vanno indagate.

Un piede protesico subisce una deformazione elastica quando questa scompare al cessare della sollecitazione, altrimenti si ha una deformazione plastica o permanente.



ISO Standards

La progettazione e realizzazione di un piede protesico (presidio medico di categoria I, soggetto ad obbligatoria autocertificazione) è governata da due fondamentali **standards ISO**:

ISO 10328 – “Structural testing of lower-limb prostheses”

Questa norma definisce la “Protesi” e indica i metodi di prova e le condizioni di carico che la componente (ginocchio, tubo, piede) deve poter sopportare.

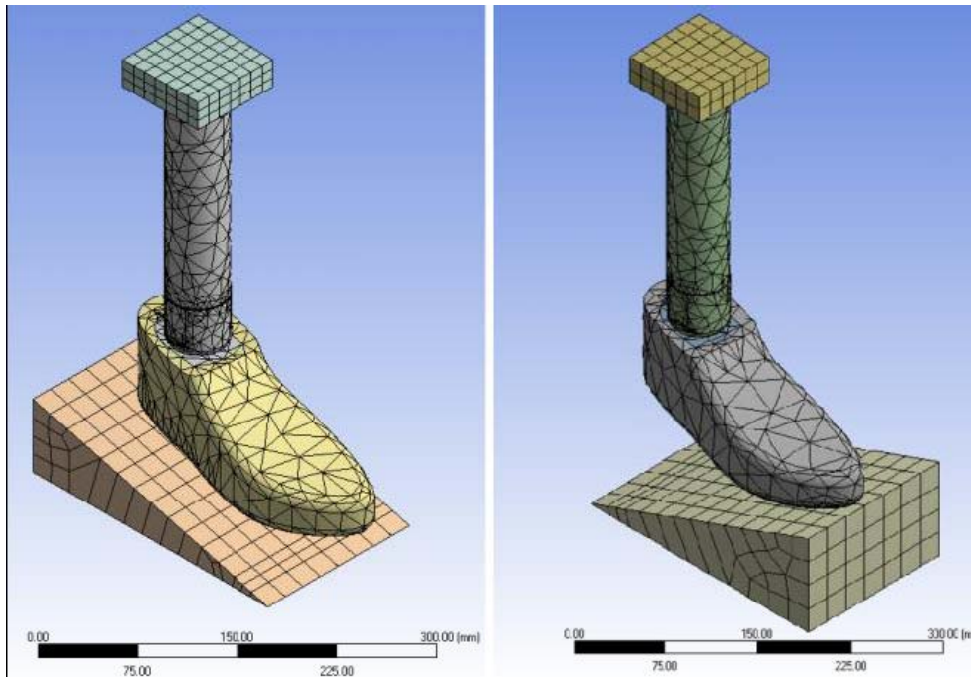
ISO 22675 – “Testing of ankle-foot devices and foot units”

Questa norma definisce più dettagliatamente i test e le procedure a carico delle componenti caviglia-piede includendo prove statiche e dinamiche in riferimento al ciclo del passo.

ISO Standards

Per eseguire le prove indicate nelle due ISO precedentemente descritte sono necessari laboratori, software e macchinari dedicati.

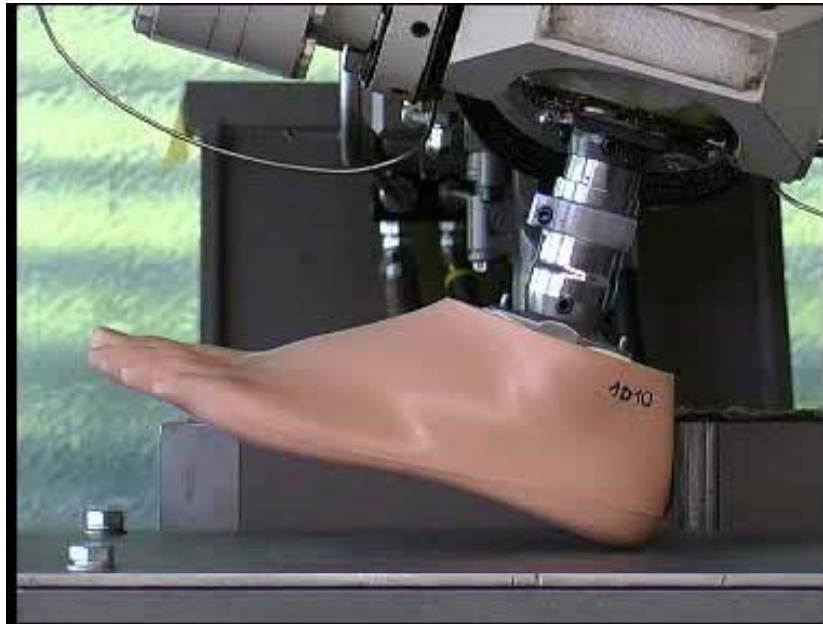
Es. modellazione Cad, analisi agli elementi finiti e test fisici (allineamento, compressione, formazione, ecc...)



ISO Standards

Per eseguire le prove indicate nelle due ISO precedentemente descritte sono necessari laboratori, software e macchinari dedicati.

Es. modellazione Cad, analisi agli elementi finiti e test fisici (allineamento, compressione, formazione, ecc...)



I Piedi Protesici

Un piede protesico deve:

Nella fase statica:

Garantire la sicurezza del paziente e facilitare la ricerca dell'equilibrio



Nella fase dinamica:

L'armonia dei movimenti e la facilità di rotolamento del passo.



Spesa energetica nell'amputato

In un amputato di arto inferiore, si è riscontrato che vi è un drastico aumento della spesa energetica per la deambulazione. Molti autori hanno descritto questo fenomeno.

I motivi, in sintesi, sono:

Eccessivo spostamento verticale delle pelvi

Diminuzione della coordinazione e propriocezione

Sovraccarico dei muscoli superstiti

Perdita dell'energia potenziale di un arto normale

*“L'amputato di arto inferiore: recenti acquisizioni cliniche e tecnologiche”
Dott. Marco Traballesi*



Spesa energetica nell'amputato

La spesa energetica si è stimata in:

Negli amputati **transtibiali TT** abbiamo un aumento della spesa energetica che varia tra il *15%* e il *55%*

Negli amputati **transfemorali TF** abbiamo un aumento della spesa energetica che varia tra il *55%* e il *65%*

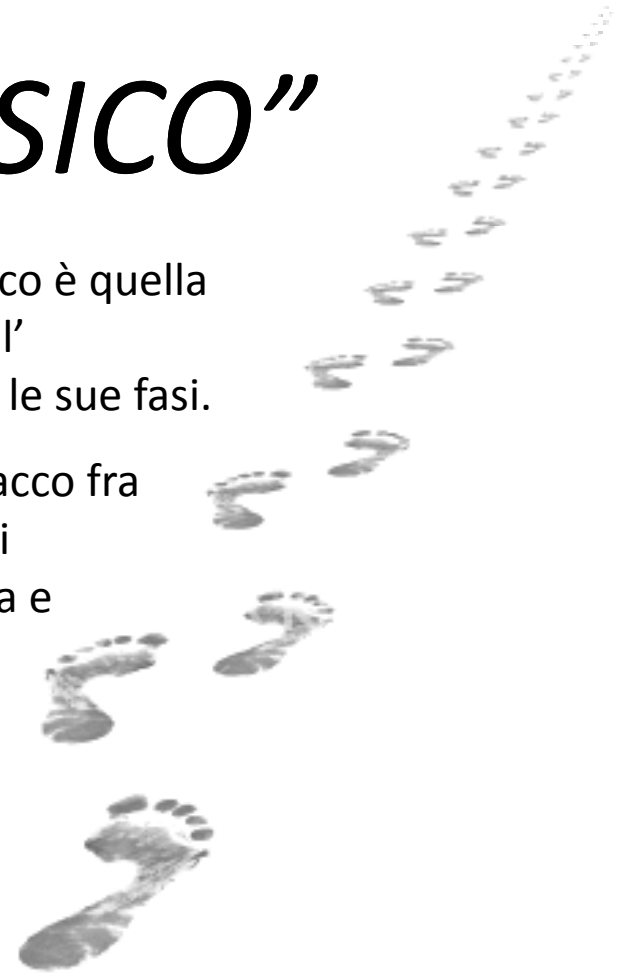


I Piedi Protesici

“IL PIEDE PROTESICO”

La finalità principale di un piede protesico è quella di raggiungere una escursione idonea all' esecuzione completa del passo, in tutte le sue fasi.

Particolare attenzione è dedicata all'attacco fra gamba e piede (caviglia) per riprodurre i movimenti dell'articolazione tibio tarsica e all'articolarietà dell'avampiede

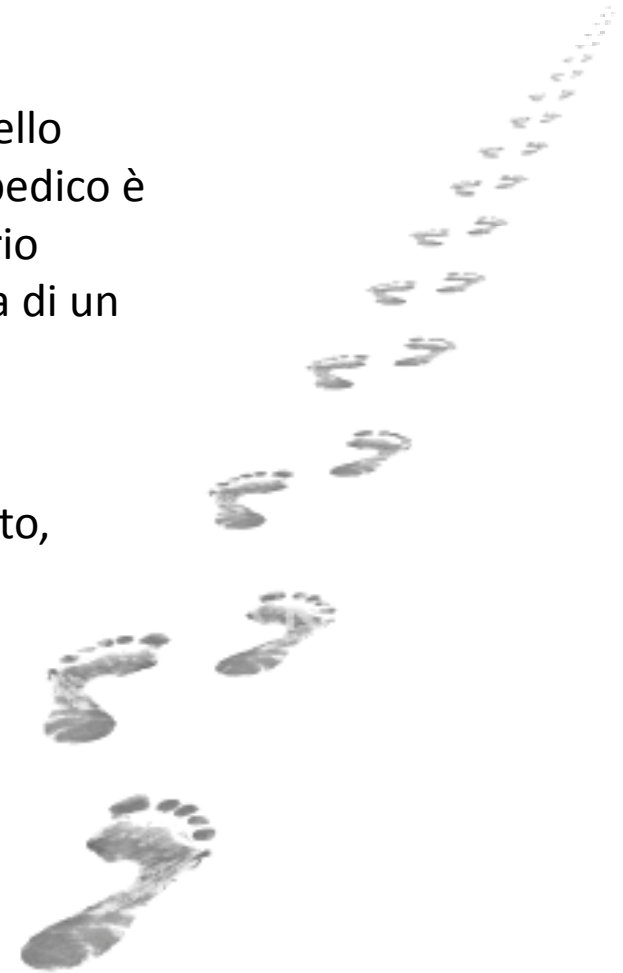


Il Tecnico Ortopedico



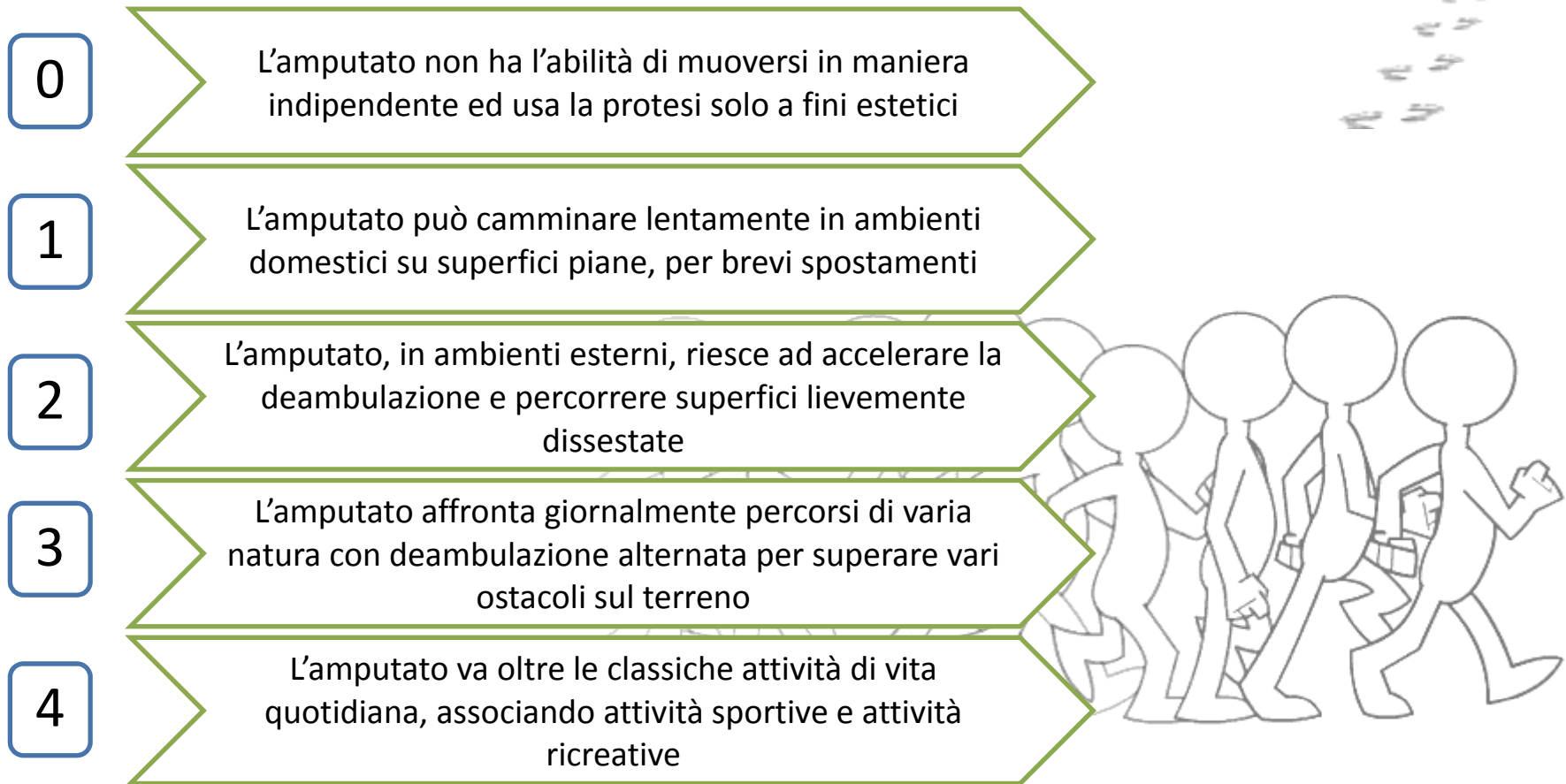
Nella fase progettuale, il ruolo dello Specialista e del Protesista Ortopedico è fondamentale perché è necessario valutare molti aspetti nella scelta di un piede protesico, come:

- la tipologia di protesi,
- il grado di mobilità dell'amputato,
- le condizioni fisiche,
- le dimensioni e il peso,
- Il tenore di vita
- l'habitat del paziente



Grado di Mobilità

CLINICAL UM GUIDELINE by American Medical Association **Lower Limb Prosthesis - Functional Levels:**



I Piedi Protesici

Le opzioni sulla scelta di un piede protesico, negli ultimi anni, sono andate ad aumentare sempre più perché progettati in maniera specifica per ogni tipo di attività utilizzando un ventaglio di materiali molto ampio.

Strutturalmente, i piedi protesici possono essere divisi in due grandi gruppi: **rigidi** e **articolati**



I Piedi Protesici

Nel panorama dei Piedi Protesici troviamo:



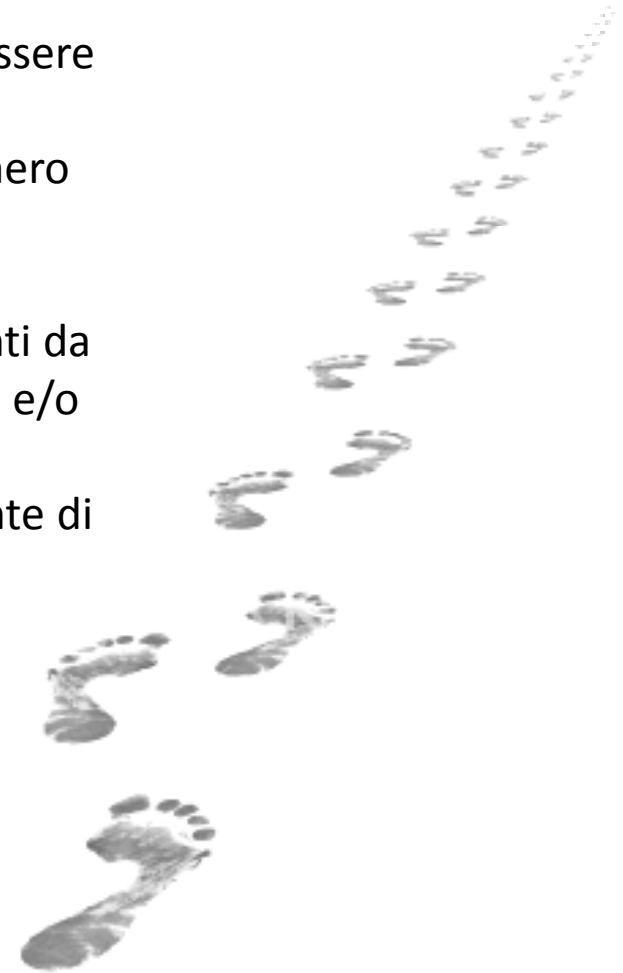
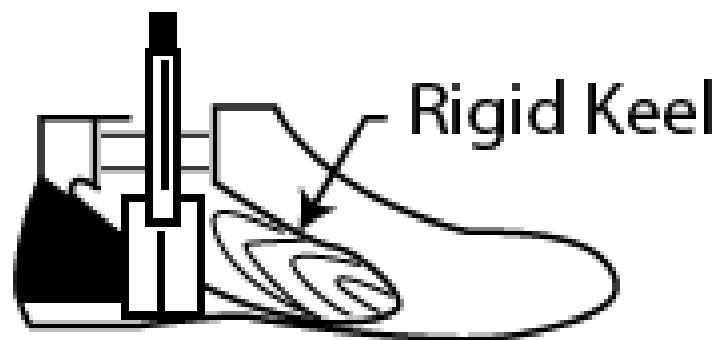
I Piedi Rigidi

I piedi protesici più elementari sono quelli rigidi e possono essere di due tipi: **SACH** e **Dinamici**.

Il progetto del piede protesico rigido è costituito da un polimero plastico stampato su una chiglia interna rigida e sagomato al modello umano.

Questi piedi sono poco costosi, durevoli e praticamente esenti da manutenzione; indicati in pazienti con bassi livelli di mobilità e/o nelle protesi temporanee.

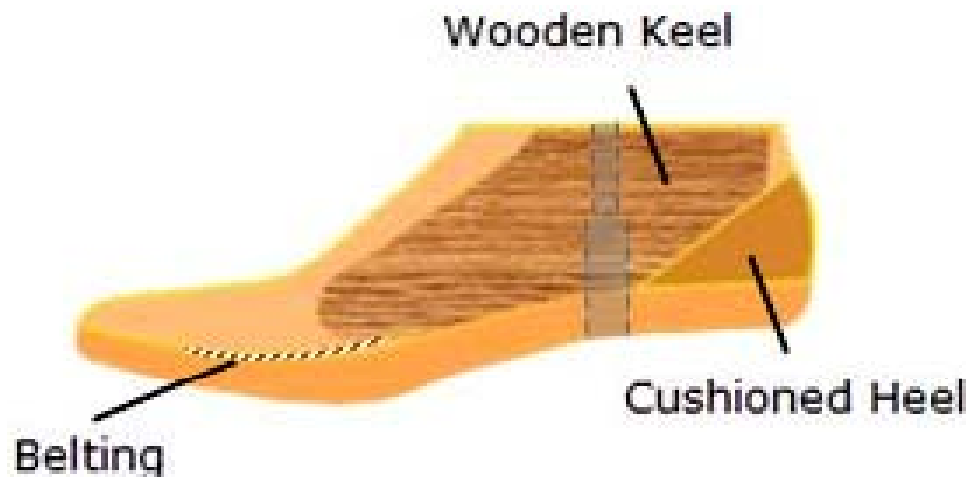
Nella biomeccanica del piede rigido troviamo una componente di assorbimento di energia e una trascurabile componente di restituzione.



Il Piede SACH

Sinonimo del piede rigido è il piede tipo “**SACH**” (acronimo di **Solid Ankle - Cushion Heel**) fu progettato nel 1958 da Eberhart and Radcliffe.

Il piede è costituito da una chiglia in legno, a rappresentare la componente interna, ricoperta da polimeri plastici a diversa densità che hanno la funzione di ammortizzante l'appoggio calcaneare (*Cushion Heel*) e di favorire la fase di rotolamento nell'avampiede, pur mantenendo la rigidità della caviglia (*Solid Ankle*).



Il Piede SACH - indicazione

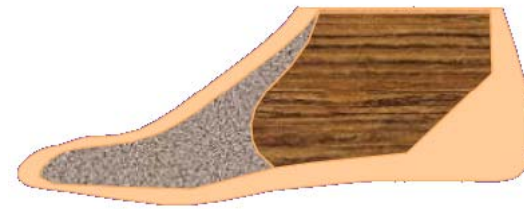
INDICAZIONE

- Grado di mobilità 1 o superiore
- Deambulazione poco dinamica
- Paziente geriatrico
- Utilizzatore di protesi tradizionale



Il Piede Dinamico

Il piede rigido dinamico è rappresentato da una struttura simile al piede SACH ma è costituito da grandi segmenti elastici di diversa densità che permettono una flessibilità maggiore, aumentando il confort della protesi e facilitando il paziente nell'affrontare terreni non piani.



Il Piede Dinamico - indicazione

INDICAZIONE

- Grado di mobilità 2 o superiore
- Deambulazione moderata
- Paziente mediamente attivo
- Terreni scoscesi

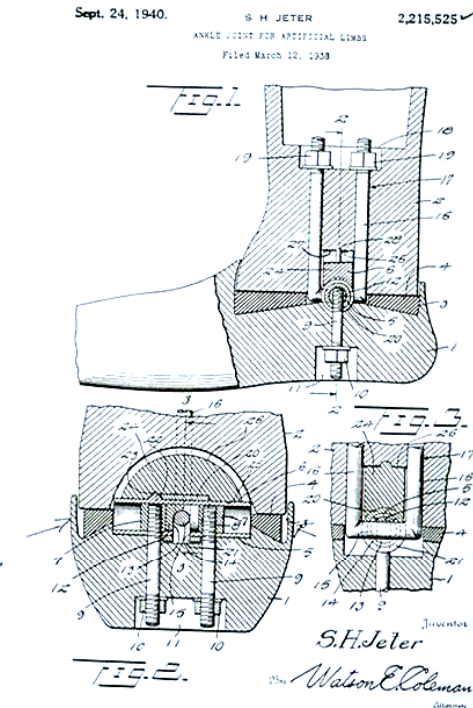
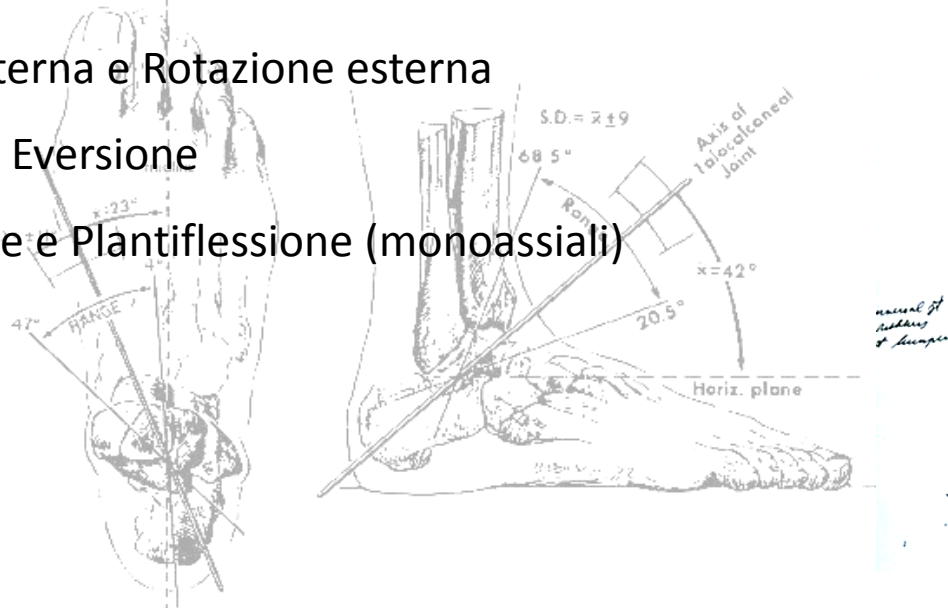


I Piedi Articolati

I Piedi Articolati si distinguono dai Piedi Rigidi perché hanno articularità della caviglia che può realizzarsi su un solo piano (**monoassiali**) oppure sui tre piani dello spazio (**pluriassiali**) facilitando la deambulazione con la riproduzione del fisiologico passo umano.

L'espressione dell'articularità si ha in:

- Rotazione interna e Rotazione esterna
- Inversioni ed Eversione
- Dorsiflessione e Plantiflessione (monoassiali)

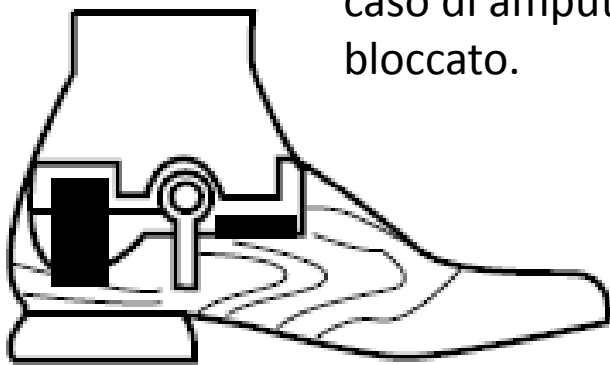


Il Piede Monoassiale

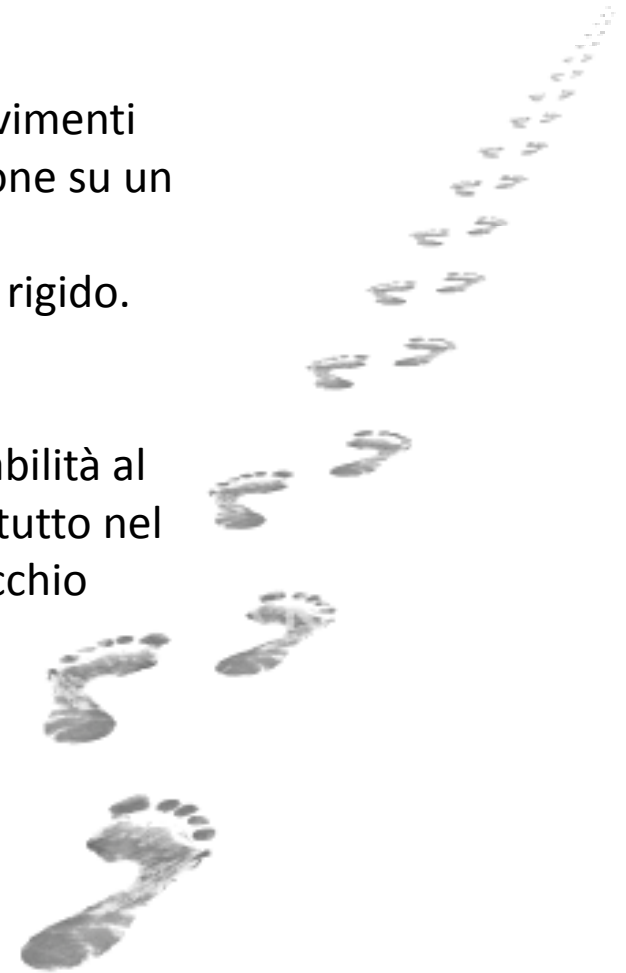
I piedi articolati monoassiali permettono movimenti sul piano sagittale perché dotati di articolazione su un asse rotativo “malleolare”.

- La flessione dorsale è limitata da un arresto rigido.
- La flessione plantare viene regolata da un ammortizzatore in gomma

Usati principalmente perché conferiscono stabilità al paziente con un passo più armonioso, soprattutto nel caso di amputazione transfemorale con ginocchio bloccato.



Single Axis



Il Piede Monoassiale - indicazione

INDICAZIONE

- Grado di mobilità 1 o superiore
- Mobilità bassa o limitata
- Paziente transfemorale
- Necessità di stabilità del ginocchio



Il Piede Pluriassiale

Il Piede Pluriassiale, anche se simile al monoassiale in termini di peso, durata e costo, è più rispondente alle esigenze di deambulazione fisiologica.

Oltre al movimento di flessione estensione sul piano sagittale, il piede pluriassiale esprime la sua articolarietà anche sul piano frontale e su quello orizzontale. Il piede articolato pluriassiale è la scelta dei pazienti che hanno un livello di attività elevato.



Il Piede Pluriassiale - indicazione

INDICAZIONE

- Grado di mobilità 2 o superiore
- Mobilità elevata
- Paziente dinamico
- Perfetta adattabilità al terreno



Il Piede Pluriassiale

I movimenti del piede Pluriassiale:



Rotazione interna



planti-dorsiflessione



Rotazione esterna



Eversione

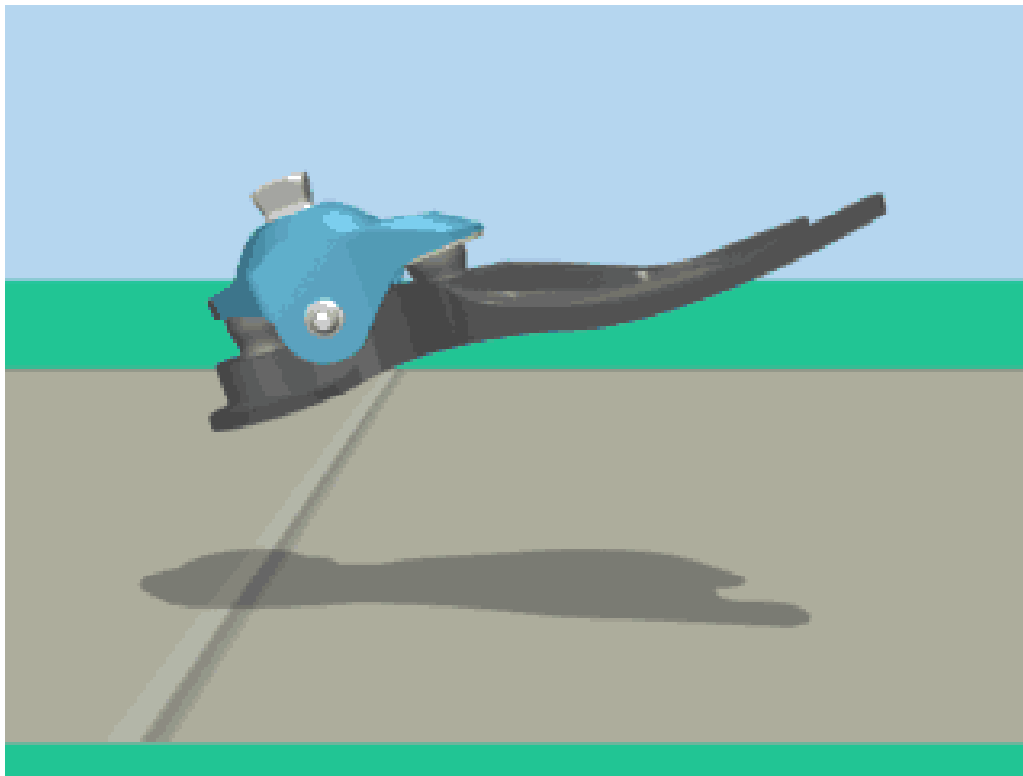


Inversione



Il Piede Pluriassiale

I movimenti del piede Pluriassiale: ***PLANTI-DORSIFLESSIONE***



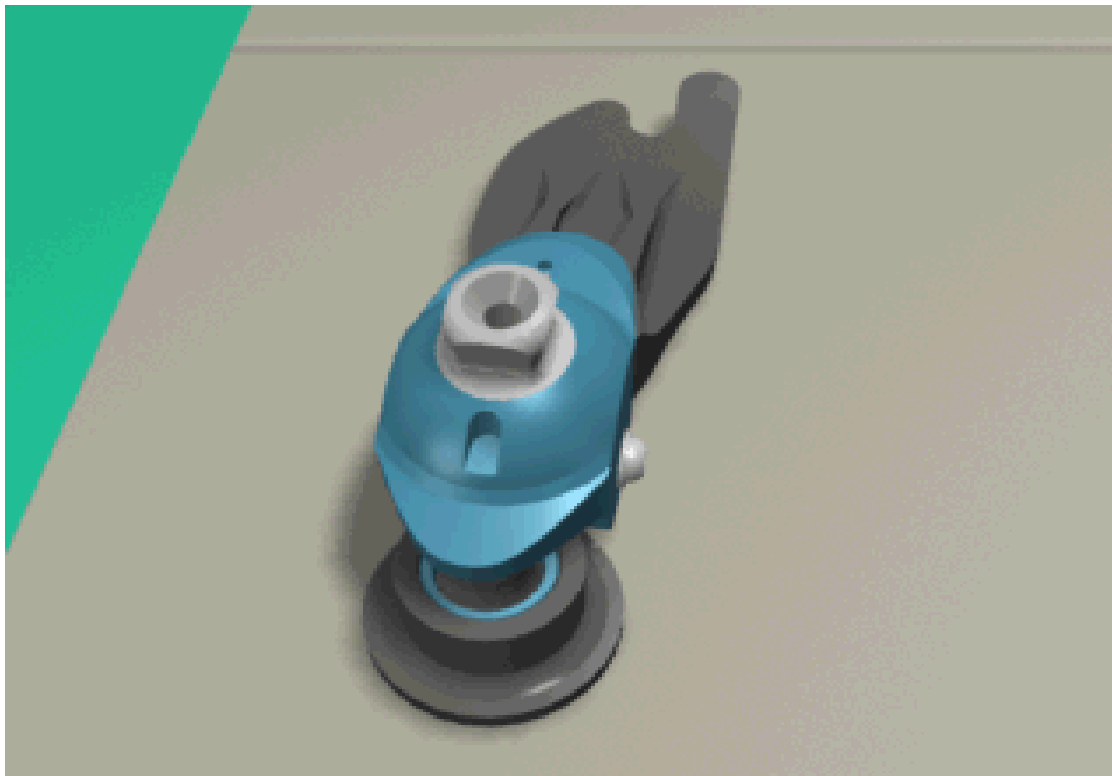
Il Piede Pluriassiale

I movimenti del piede Pluriassiale: ***EVERSIONE - INVERSIONE***



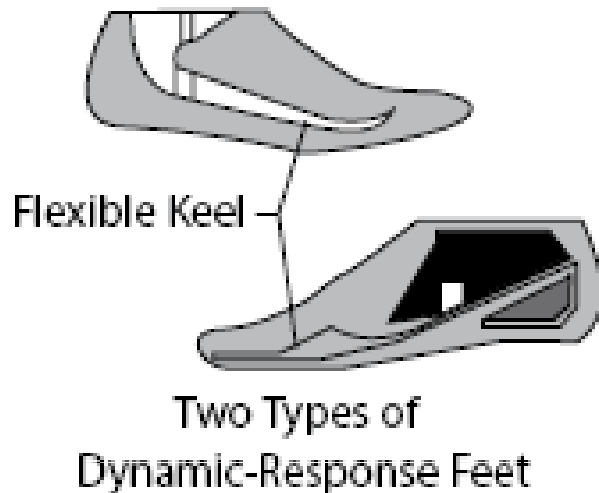
Il Piede Pluriassiale

I movimenti del piede Pluriassiale: **ROTAZIONE INTERNA - ESTERNA**

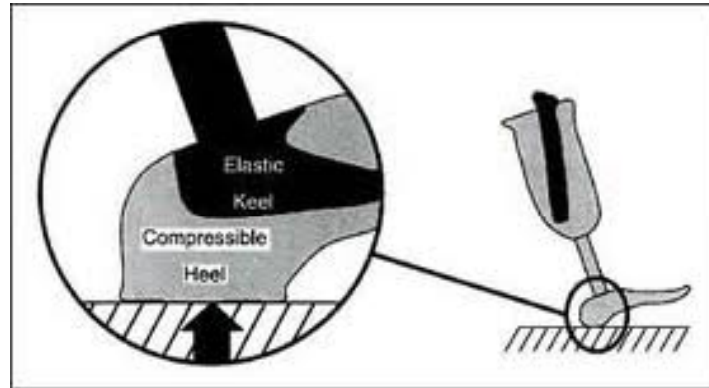


I Piedi a Restituzione di Energia

I pazienti che hanno un grado di mobilità elevato generalmente preferiscono questo tipo di piedi. I piedi a restituzione di energia infatti soddisfano esigenze quali: passo svelto, repentini cambi di direzione e lunghi tratti conferendo un ottimo confort al paziente.



I Piedi a Restituzione di Energia



Questo piede accumula energia durante la fase di carico e la restituisce nella fase di spinta (toe-off) fornendo così all'amputato:

- una gamma fisiologica di movimenti e una maggiore simmetria del passo.
- Il comfort e la reattività.
- riduzione dell'impatto traumatico sul tallone superstite controlaterale.



I Piedi a Restituzione di Energia

Prevalentemente costruiti in CARBONIO

La “**RESTITUZIONE DI ENERGIA**” è chiaramente un argomento molto indagato e altrettanto chiacchierato. Questa tipologia di piede accumula energia nella prima parte dello stance per poi rilasciarla nella seconda parte attraverso una deformazione elastica del carbonio, esattamente come un piede umano tramite il Tendine d’Achille e l’Arcata Plantare. La differenza sta nella planti-dorsiflessione evocata che è presente in un piede umano ma non in un piede protesico.



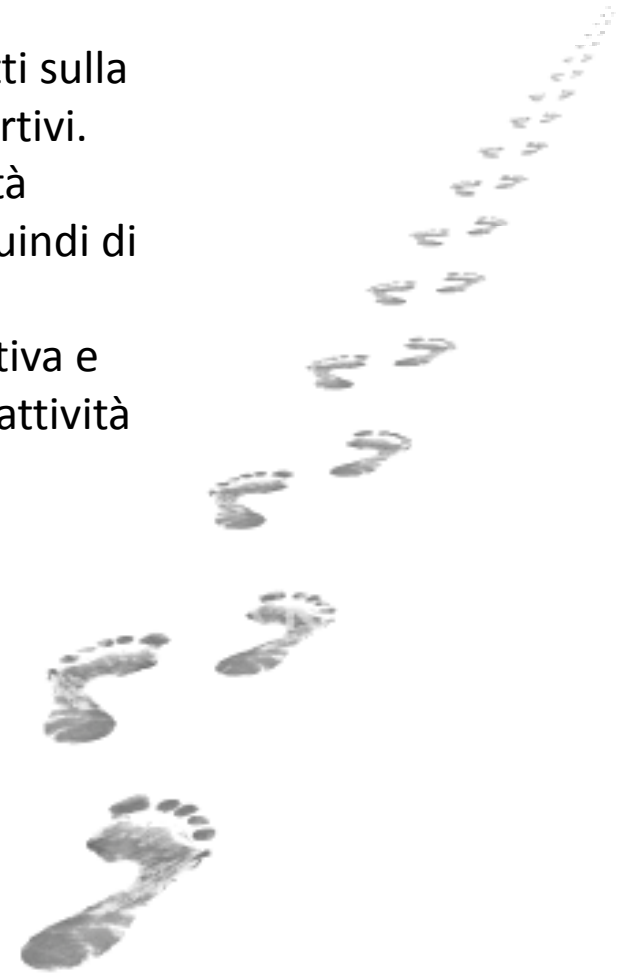
I Piedi a Restituzione di Energia

I grandi studiosi della Biomeccanica (*Buckley, Czerniecky, Gailey, Geil*) hanno analizzato questo comportamento affermando che un piede protesico a “restituzione di energia” restituisce fra l’**80%** e il **90%** dell’energia accumulata (un piede SACH circa il 30%), un piede umano invece si aggira intorno al **240%**.



I Piedi Sportivi

Obiettivo principe degli studi appena descritti sulla “restituzione di energia” riguarda i piedi sportivi. Questi piedi sono dedicati a chi svolge attività sportiva, agonistica e non, e che necessita quindi di un’elevato ritorno di energia. Questi piedi sono esclusivi per l’attività sportiva e non possono essere utilizzati per le normali attività quotidiane.

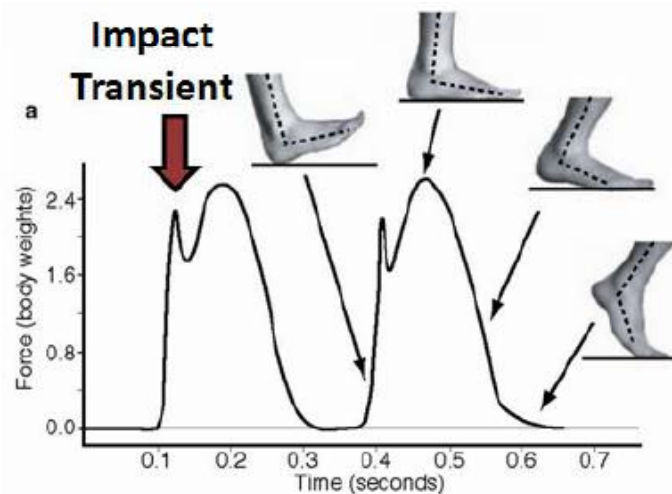


Caviglia Elettronica

Principio biomeccanico della caviglia elettronica

Da qualche anno, in virtù delle analisi biomeccaniche svolte, si è posta attenzione alla planti-dorsiflessione della caviglia e soprattutto alla capacità umana, finito lo stance, di “preparare” il piede, durante la fase di swing, per il ciclo successivo.

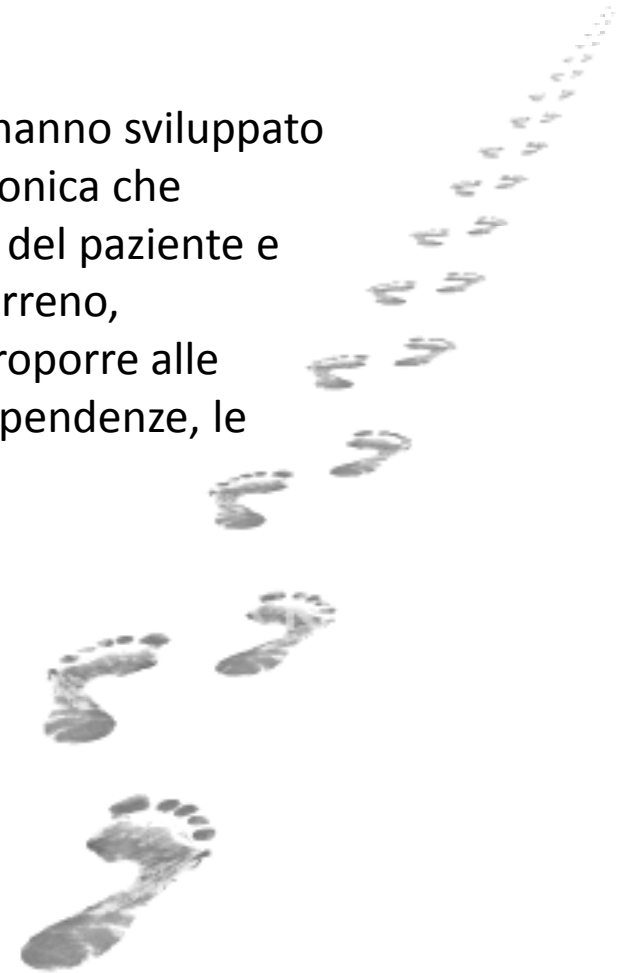
Questa articularità della caviglia (in realtà con l’abbinamento di altre strutture che interessano l’avampiede) permette, come già anticipato, un recupero dell’energia accumulata, durante la corsa, pari al 240%



Caviglia Elettronica



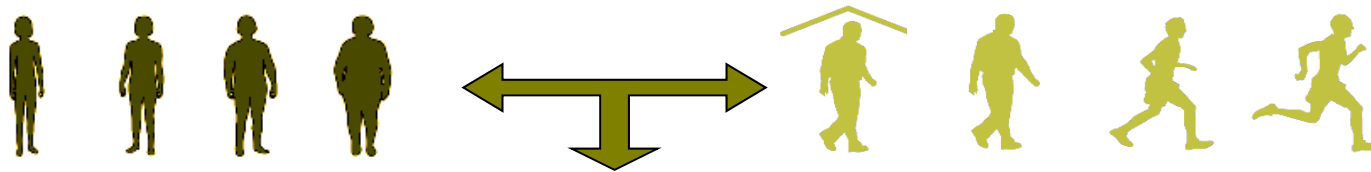
Diversi centri di ricerca hanno sviluppato modelli di caviglia elettronica che registra le fasi del passo del paziente e risponde al cambio di terreno, riconoscendo, senza riproporre alle strutture sovrastanti, le pendenze, le scale e gli ostacoli.



Conclusioni - *scelte*



La scelta del piede protesico è frutto di un'attenta valutazione tecnica che tiene conto principalmente del grado di mobilità e del peso dell'amputato ma che prende in considerazione anche la coesistenza di "altri" stati fisici, dei fattori ambientali in cui si muove l'assistito, dei fattori estetici e della volontà stessa del paziente.



Conclusioni - *limiti*

Il nostro Nomenclatore Tariffario delle Protesi prevede solo la possibilità di avere:

- ✓ Piede rigido (di base)
- ✓ Piede articolato (aggiuntivo di euro **84,34**)
- ✓ Piede articolato pluriassiale (aggiuntivo di euro **132,37**)

Quindi???



...quindi la tecnologia disponibile e le professionalità in campo si scontrano spesso con la POSSIBILITÀ di fornire all'amputato un piede confacente alle sue esigenze; fatta eccezione per qualche prodotto definibile "borderline".



Conclusioni

Non esiste la protesi ideale in assoluto ma può esistere una protesi ideata, progettata e realizzata da una equipe di professionisti sanitari per il singolo paziente, in relazione ad un'attenta valutazione della sua patologia, del suo contesto socio – ambientale e soprattutto delle reali possibilità che essa venga poi effettivamente utilizzata

