

POSTURA

L'uomo tra struttura, funzione e ambiente

— ENCICLOPEDIA SISTEMICA IN TRE VOLUMI —

*Dalla matrice extracellulare al piede,
dal sistema nervoso al movimento, dall'appoggio al suolo al benessere globale*

VOLUME I POSTURA E BENESSERE

*Comprendere la postura
per migliorare la qualità
della vita*

VOLUME II DALLA MEC ALLA POSTURA

*La matrice extracellulare,
la tensegrità e la biomeccanica
nel sistema posturale*

VOLUME III PIEDE E POSTURA

*Il legame inscindibile
tra appoggio, movimento
e sistema posturale*



VOLUME I
Postura e Benessere
Controllo posturale, sistema nervoso,
valutazione, ergonomia, stile di vita,
attività fisica e prevenzione.



VOLUME II
Dalla MEC alla Postura
Matrice extracellulare, fascia, cellule,
tensegrità, biomeccanica e catene
cinematiche.



VOLUME III
Piede e Postura
Anatomia funzionale del piede,
biomeccanica, appoggio al suolo,
disfunzioni e riabilitazione.

GIOVANNI CHETTA

EDIZIONE ENCICLOPEDICA RIVEDUTA E AGGIORNATA 2026

2007

EDIZIONE ORIGINALE

2010

EDIZIONE ORIGINALE

2011

EDIZIONE ORIGINALE

2026

EDIZIONE RIVEDUTA
E AGGIORNATA

© Giovanni Chetta 2007, 2010, 2011

© Giovanni Chetta 2026 – Edizione enciclopedia riveduta e aggiornata

Tutti i diritti riservati – Riproduzione anche parziale vietata

POSTURA

L'uomo tra struttura, funzione e ambiente

Enciclopedia sistemica in tre volumi

Giovanni Chetta

Edizione enciclopedica riveduta e aggiornata 2026

Copyright

Edizione 2026 integrale: tutti i temi e tutte le immagini dei PDF originali 2007, 2010 e 2011 sono preservati e affiancati dagli aggiornamenti scientifici e iconografici 2026.

© Giovanni Chetta 2007, 2010, 2011

© Giovanni Chetta 2026 – Edizione enciclopedica riveduta e aggiornata

Le edizioni originali dei tre lavori conservano le rispettive date di prima pubblicazione. La presente edizione riunisce i tre volumi in una struttura enciclopedica unitaria e comprende revisioni, integrazioni scientifiche, ampliamenti testuali, nuovi rimandi interni e nuovi apparati iconografici.

Volume I – Postura e Benessere: edizione originale 2007; edizione riveduta e aggiornata 2026.

Volume II – Dalla MEC alla Postura: edizione originale 2010; edizione riveduta e aggiornata 2026.

Volume III – Piede e Postura: edizione originale 2011; edizione ampliata, riveduta e aggiornata 2026.

Tutti i diritti riservati. La riproduzione, anche parziale, è vietata salvo autorizzazione dell'autore.

Nota editoriale 2026 sulla completezza. Questa edizione mantiene la struttura enciclopedica aggiornata e, per evitare omissioni, reintegra nei capitoli pertinenti tutti gli argomenti delle edizioni originali 2007, 2010 e 2011. Le immagini originali sono ricollocate accanto ai contenuti cui appartengono; le nuove figure 2026 sono aggiunte solo quando servono a chiarire gli aggiornamenti scientifici o gli strumenti di valutazione.

Sommario

Copyright	3
Introduzione generale.....	6
Guida alla lettura.....	8
VOLUME I – POSTURA E BENESSERE	10
Premessa	11
1. Posturologia: studio della postura	12
2. Terreno piano e postura	17
3. Piede e postura	26
4. Problemi muscolo-scheletrici di origine posturale	36
5. Disfunzioni organiche di origine posturale	50
6. Esame e rieducazione posturale	58
Conclusione del Volume I.....	70
Video correlati.....	72
Bibliografia del Volume I	73
VOLUME II – DALLA MEC ALLA POSTURA	78
Premessa	79
1. Matrice extracellulare (MEC)	80
2. Tessuto connettivo e fascia.....	95
3. Postura e tensegrità	111
4. Rieducazione alla salute	127
Conclusione del Volume II.....	132
Casi clinici	134
Bibliografia del Volume II	149
VOLUME III – PIEDE E POSTURA.....	155
Premessa	156
1. Il piede nel sistema posturale	157
2. Dal piede prensile al piede antigravitario	158

3. Anatomia funzionale del piede	159
4. Il piede come elica a passo variabile	162
5. Il complesso peri-astragalico.....	163
6. Muscoli, fascia plantare e foot core.....	165
7. Il piede come organo sensoriale	166
8. Dall'elica alla leva e all'organo	167
9. La deambulazione	168
10. Dal piede al ginocchio, all'anca e al rachide	172
11. Terreno, gravità e calzature	174
12. Patomeccanica del piede	175
13. Valutazione funzionale del piede	177
14. Rieducazione e prevenzione	179
Conclusione del Volume III.....	183
Bibliografia del Volume III	184
Conclusione generale	186
L'Autore.....	188

Introduzione generale

L'enciclopedia riunisce tre lavori nati in momenti diversi lungo lo stesso percorso: Postura e Benessere, pubblicato nel 2007; Dalla MEC alla Postura, pubblicato nel 2010; Piede e Postura, pubblicato nel 2011. La sequenza editoriale coincide anche con l'evoluzione del modo di osservare l'essere umano: dalla postura al sistema connettivo e alla matrice extracellulare, per tornare infine al piede, interfaccia concreta fra organismo, gravità e ambiente.

L'edizione enciclopedica del 2026 conserva l'identità dei tre volumi e li collega in un percorso unitario. Il Volume I affronta la postura come processo di adattamento e relazione con l'ambiente; il Volume II approfondisce matrice extracellulare, fascia, meccano-trasduzione, tensegrità e biomeccanica del movimento; il Volume III considera il piede come struttura meccanica, organo sensoriale e componente della locomozione. Ogni volume può essere letto autonomamente ma la lettura d'insieme rende più evidente il legame tra i diversi livelli del sistema.

La revisione del 2026 non cancella le formulazioni originarie. Molte intuizioni dei lavori precedenti conservano un valore concettuale e storico, mentre altre richiedono una lettura più prudente alla luce delle conoscenze maturate negli anni successivi. Il testo distingue perciò i dati sostenuti dalle evidenze attuali dai modelli interpretativi e dalle ipotesi che mantengono soprattutto un valore euristico.

In quest'opera la postura è considerata un processo dinamico che nasce dall'interazione tra sistema nervoso, sistemi sensoriali, apparato muscolo-scheletrico, fascia e matrice extracellulare, caratteristiche individuali, compito motorio e ambiente. Nessun singolo elemento spiega il comportamento dell'intero organismo. Anche il rapporto tra postura e dolore va letto in modo non lineare: una determinata organizzazione può contribuire al rischio o al mantenimento di un disturbo senza rappresentarne necessariamente la causa unica.

Questa impostazione cambia anche il significato della valutazione e della rieducazione. Non si cerca di ricondurre ogni individuo a una geometria ideale; si valuta piuttosto se il sistema dispone di mobilità, stabilità, variabilità e capacità di adattamento sufficienti per le richieste della vita quotidiana. Un intervento acquista valore quando migliora una funzione, riduce limiti clinicamente rilevanti e amplia la capacità della persona di muoversi e interagire con l'ambiente.

Il filo conduttore dell'opera resta l'ergonomia nel suo significato più ampio: migliorare il rapporto tra essere umano e ambiente, senza pretendere che il corpo si adatti passivamente a condizioni sfavorevoli. Terreno, calzature, carico, sedentarietà, lavoro, movimento e strumenti

terapeutici rientrano nella stessa domanda: come favorire un sistema capace di adattarsi senza perdere efficienza?

La trilogia non propone una teoria unica della postura. L'intento è mettere in dialogo anatomia, biomeccanica, neurofisiologia, biologia dei tessuti, clinica ed ergonomia, mantenendo distinti i concetti consolidati, i modelli storici, gli aggiornamenti critici e le questioni ancora aperte. Questa pluralità non è un difetto dell'opera: riflette la natura di un tema che attraversa più livelli dell'organizzazione biologica.

Guida alla lettura

L'opera può essere letta in sequenza oppure consultata per temi. La lettura sequenziale segue il percorso storico e concettuale della trilogia: il Volume I definisce il problema posturale e il rapporto con l'ambiente; il Volume II approfondisce i tessuti e i meccanismi di trasmissione delle forze e dei segnali; il Volume III ritorna alla locomozione e all'appoggio podalico. La ricomparsa di alcuni concetti nei tre volumi corrisponde quindi a livelli di approfondimento differenti e non a una semplice ripetizione.

Il sommario generale, i sommari specifici e l'indice analitico finale consentono anche una consultazione tematica. Quando un argomento riceve una trattazione estesa in un altro volume, il testo usa rimandi concettuali e limita le ripetizioni. Il capitolo sul piede del Volume I, a esempio, introduce i principi necessari alla comprensione del sistema posturale, mentre il Volume III ne sviluppa l'anatomia e la biomeccanica in modo specialistico.

Le parti originarie del 2007, 2010 e 2011 sono state rivedute senza perdere il nucleo dell'impostazione iniziale. Le formulazioni superate, troppo categoriche o non sufficientemente sostenute dalle evidenze sono state corrette, contestualizzate oppure mantenute come ipotesi. Le sezioni aggiunte nel 2026 approfondiscono soprattutto controllo motorio, meccanotrasduzione, fascia, biomeccanica del piede, valutazione strumentale e principi attuali della rieducazione funzionale.

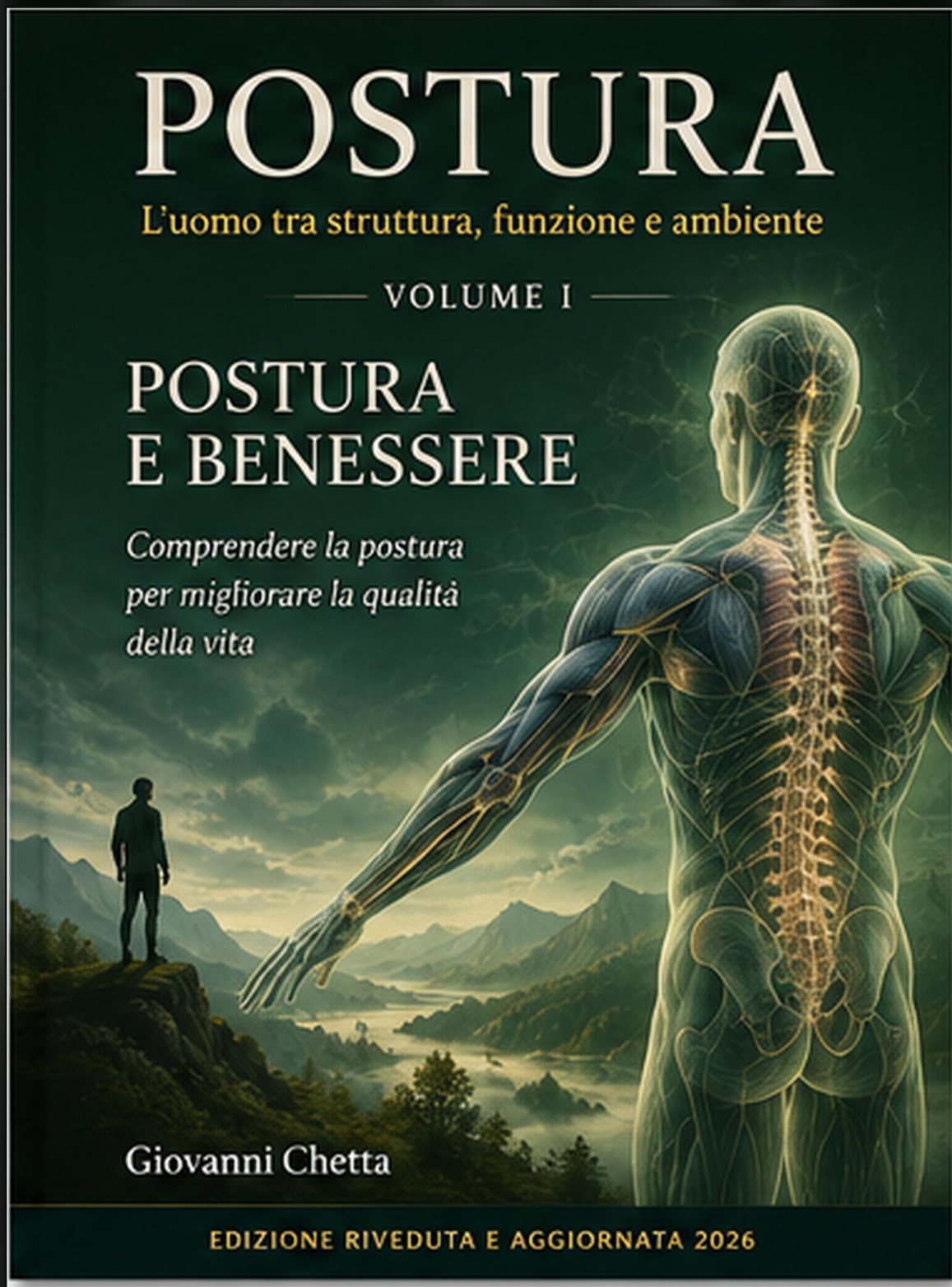
Le immagini delle edizioni originali 2007, 2010 e 2011 sono state conservate e ricollocate accanto ai contenuti di riferimento, fatta eccezione per gli elementi grafici di intestazione ripetuti identici in ogni pagina. Le figure nuove o rielaborate nel 2026 intervengono soltanto quando un aggiornamento scientifico, un meccanismo o uno strumento di valutazione richiedono un supporto visivo ulteriore.

Le bibliografie dei tre volumi conservano le fonti originarie e aggiungono una sezione di aggiornamento scientifico. Il lettore può così distinguere le basi culturali delle prime edizioni dalla letteratura utilizzata per la revisione del 2026. I riferimenti storici restano nel testo non perché ogni dettaglio sia ancora attuale ma perché documentano il percorso dal quale l'opera si è sviluppata.

I casi clinici del Volume II sono presentati come documentazione storica di osservazioni individuali. Descrivono risultati ottenuti nella pratica ma non hanno la forza dimostrativa di studi controllati. Servono soprattutto a mostrare il ragionamento clinico e l'evoluzione di un metodo; non possono, da soli, dimostrare l'efficacia generale di un trattamento.

Occorre infine distinguere la descrizione scientifica dall'applicazione clinica individuale. Un reperto posturale, una misura baropodometrica o una caratteristica anatomica acquistano significato soltanto nel contesto della persona, dei sintomi e della funzione. La regola di lettura dell'intera trilogia è semplice: misurare quando serve, interpretare con prudenza e intervenire quando esiste un obiettivo clinico o funzionale riconoscibile.

VOLUME I – POSTURA E BENESSERE



Premessa

Postura e Benessere nasce da un percorso di ricerca fisiologica, osservazione clinica e confronto interdisciplinare iniziato circa vent'anni prima della prima edizione del 2007. Fin dall'origine il lavoro ha unito conoscenze scientifiche, esperienza professionale e collaborazione con specialisti di discipline differenti.

Nel 2007 l'obiettivo era richiamare l'attenzione sul ruolo della postura nella salute e nel benessere e favorire il confronto tra professionisti che osservano il corpo umano da prospettive diverse. L'obiettivo conserva validità ma le conoscenze maturate negli anni successivi impongono alcune precisazioni importanti.

La postura non può essere ridotta a una configurazione geometrica ideale alla quale ogni individuo dovrebbe conformarsi. Il corpo umano presenta una notevole variabilità interindividuale e modifica continuamente la propria organizzazione in relazione al compito, all'ambiente, alle caratteristiche anatomiche, allo stato funzionale e alle informazioni sensoriali disponibili. Le evidenze attuali non sostengono l'esistenza di un solo modello di allineamento statico fisiologico per tutti.

L'edizione riveduta conserva l'impostazione sistemica originaria e la integra con le conoscenze maturate sul controllo motorio, sulla biomeccanica, sulla fascia e sulla matrice extracellulare, sull'integrazione multisensoriale e sull'adattamento neuromotorio. Le interpretazioni del 2007 vengono mantenute, aggiornate o ridimensionate in base alla solidità delle evidenze successive.

Il problema non è proporre una postura ideale; è comprendere come l'organismo organizza il proprio equilibrio dinamico e come questa organizzazione possa adattarsi, compensare o, in determinate condizioni, contribuire alla comparsa e al mantenimento di una disfunzione.

Edizione originale 2007 – contenuti della Premessa

Segue il testo dell'edizione originale 2007; va letto alla luce dell'aggiornamento scientifico 2026 appena presentato.

Questa relazione scaturisce da un lavoro di "ricerca fisiologica" partito circa 20 anni fa. In essa vengono riportati concetti basati sia sull'evidenza scientifica sia sulla pratica clinica quotidiana personale e in collaborazione con vari specialisti, con cui ho avuto e ho tuttora l'onore di poter lavorare traendone da ciò un enorme insegnamento. Tale lavoro si propone l'obiettivo, da un lato di diffondere il più possibile l'importanza di una buona postura per la salute psico-fisica dell'individuo, dall'altro di stimolare riflessioni e confronti fra gli "addetti ai lavori".

1. Posturologia: studio della postura

La postura come adattamento dinamico

La postura rappresenta l'organizzazione che l'individuo assume e modifica continuamente nel rapporto con l'ambiente e con la forza di gravità. Essa dipende dalle caratteristiche anatomiche e biomeccaniche del soggetto, dalle informazioni sensoriali disponibili, dal compito motorio, dalle esperienze precedenti e anche dallo stato cognitivo ed emotivo.

La definizione proposta nella prima edizione, secondo la quale la postura costituisce un adattamento personalizzato dell'individuo all'ambiente fisico, psichico ed emozionale, conserva la propria validità concettuale. Possiamo però descrivere tale adattamento in termini più precisi: il controllo posturale costituisce un processo sensorimotorio dinamico attraverso il quale il sistema nervoso integra continuamente le informazioni disponibili e produce risposte motorie adeguate alle condizioni interne ed esterne.

La postura non coincide pertanto con l'immobilità. Anche durante la stazione eretta apparentemente statica il corpo oscilla continuamente e il sistema nervoso corregge, anticipa e adatta l'attività muscolare. La stabilità rappresenta il risultato di un equilibrio dinamico e non l'assenza di movimento.

Informazione sensoriale e controllo posturale

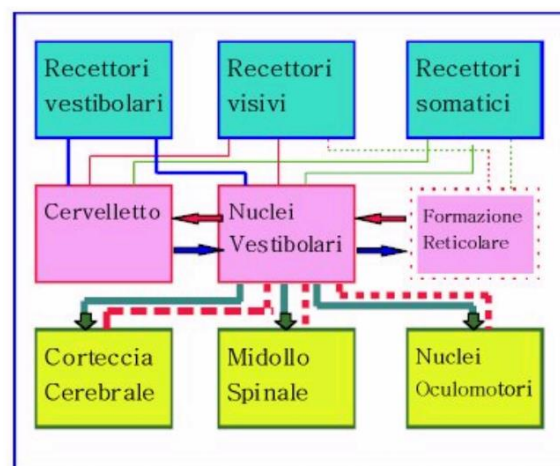


Immagine originale – edizione 2007, p. 1. Schema originale del sistema di controllo posturale e delle principali afferenze sensoriali.

Il controllo dell'equilibrio utilizza principalmente tre grandi fonti di informazione: sistema visivo, sistema vestibolare e sistema somatosensoriale. Quest'ultimo comprende sia la proprioccezione proveniente da muscoli, tendini e articolazioni sia le informazioni cutanee, tra le quali assumono

particolare importanza quelle provenienti dalla superficie plantare durante la stazione eretta e la locomozione.

Questi sistemi non operano separatamente. Il sistema nervoso centrale confronta e integra continuamente le informazioni ricevute e ne modifica l'importanza relativa in funzione della loro affidabilità. Questo processo viene definito *sensory reweighting*, cioè riponderazione sensoriale. Se, a esempio, il terreno diventa instabile e le informazioni somatosensoriali provenienti dal piede risultano meno affidabili, il sistema può aumentare il peso attribuito alla vista e al sistema vestibolare.

Anche l'udito può fornire informazioni spaziali e temporali utili alla postura e alla locomozione, soprattutto in determinate condizioni ambientali, sebbene il suo ruolo non sia generalmente paragonabile a quello dei tre sistemi sensoriali principali.

Nella versione del 2007 veniva inoltre ipotizzato un ruolo dei barocettori renali nel sistema dell'equilibrio. Non manterrei questa affermazione in questi termini. I sistemi baroriflessi cardiovascolari sono certamente fondamentali per mantenere una perfusione adeguata durante i cambiamenti posturali, soprattutto nel passaggio alla posizione eretta ma non vengono considerati una delle principali sorgenti sensoriali del controllo dell'equilibrio. Occorre quindi distinguere il controllo emodinamico dell'ortostatismo dal controllo sensorimotorio della postura.

Dal segnale sensoriale alla risposta motoria

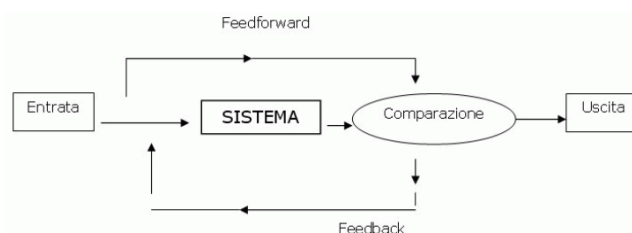


Immagine originale – edizione 2007, p. 3. Schema originale feed-forward/feedback utilizzato nell'edizione 2007.

Le informazioni sensoriali vengono elaborate attraverso una rete distribuita che coinvolge midollo spinale, tronco encefalico, cervelletto e strutture corticali. Il risultato non è una semplice risposta riflessa: il sistema utilizza sia meccanismi reattivi sia meccanismi anticipatori.

Il feedback interviene in seguito alla rilevazione di una variazione o di una perturbazione; il feed-forward permette invece di predisporre in anticipo l'organizzazione motoria quando il sistema prevede le conseguenze di un movimento. Camminare, sollevare un peso, salire un gradino

oppure raggiungere un oggetto richiedono infatti aggiustamenti posturali che precedono e accompagnano il movimento volontario.

La ripetizione e l'esperienza modificano progressivamente questi schemi. Il concetto di engramma motorio, utilizzato nella prima edizione, esprimeva correttamente l'idea che l'esperienza motoria lasci una memoria capace di influenzare le risposte successive. È preferibile inserirlo nel quadro più ampio dell'apprendimento motorio e della neuroplasticità: l'esperienza può modificare l'efficacia delle reti neurali e rendere alcune strategie motorie più facilmente reclutabili.

La vecchia spiegazione secondo cui tali memorie diventerebbero anatomiche attraverso veri e propri contatti neuronali mediante gap junctions viene invece superata, perché non corrisponde alle attuali conoscenze sui meccanismi della memoria motoria.

Adattamento e compenso

Quando una perturbazione modifica l'organizzazione di un segmento corporeo, il sistema può reagire attraverso aggiustamenti locali o più estesi. Le relazioni biomeccaniche tra segmenti, la continuità muscolo-fasciale e l'integrazione neuromotoria permettono infatti che una variazione in una regione influenzi il comportamento di altre regioni.

L'interdipendenza tra segmenti, già centrale nell'impostazione originaria del volume, conserva importanza. Ciò non significa che ogni alterazione locale debba propagarsi all'intero organismo o produrre una patologia. Il corpo possiede ampie possibilità di compenso e molte asimmetrie sono adattamenti compatibili con una normale funzione.

Postura e patologia: associazione non significa causalità

La prima edizione affermava che anche modesti errori posturali potessero, con il passare del tempo, determinare numerose patologie muscolo-scheletriche e organiche. Questa formulazione richiede una revisione sostanziale.

Una determinata organizzazione posturale può modificare carichi, momenti articolari, richieste muscolari e strategie motorie e può rappresentare uno dei fattori coinvolti nella comparsa o nel mantenimento di alcuni disturbi. Tuttavia la relazione tra postura e dolore non è lineare né deterministica. Il dolore muscolo-scheletrico è generalmente multifattoriale e può dipendere dall'interazione tra fattori biomeccanici, biologici, metabolici, neurologici, psicologici, comportamentali e ambientali.

Le revisioni sistematiche più recenti sul dolore lombare hanno rilevato alcune differenze posturali tra persone con e senza lombalgia ma la grande eterogeneità degli studi non consente di stabilire conclusioni causali solide; lordosi lombare e cifosi toracica non permettono, da sole, di distinguere in modo affidabile una condizione patologica da una condizione asintomatica.

Per questo motivo asimmetria non significa necessariamente disfunzione e disfunzione non significa necessariamente dolore. Analogamente, l'assenza di un'evidente alterazione posturale non garantisce l'assenza di una problematica funzionale.

Il significato moderno della valutazione posturale

La valutazione posturale non ha il compito di ricondurre ogni persona a un modello geometrico prestabilito. Le attuali evidenze mettono in discussione l'esistenza di una singola postura standard valida per tutti e mostrano una fisiologica variabilità legata anche all'età e alle caratteristiche individuali.

La valutazione dovrebbe invece considerare stabilità, mobilità, coordinazione, strategie sensoriali, capacità di adattamento, distribuzione dei carichi, sintomi, compito motorio e contesto ambientale. Quando emerge una disfunzione significativa, l'intervento dovrebbe essere individualizzato e orientato alla funzione, alla capacità di movimento e alla qualità dell'adattamento.

La multidisciplinarietà conserva pertanto un ruolo fondamentale. La postura rappresenta infatti il risultato dell'interazione tra sistema nervoso, apparato muscolo-scheletrico, sistemi sensoriali e ambiente; nei casi complessi, comprenderla richiede inevitabilmente prospettive differenti.

Edizione originale 2007 – approfondimenti di Posturologia

Da qui riprende il testo del 2007. Le formulazioni storiche sono conservate e vanno interpretate insieme alla revisione scientifica 2026 che precede.

In fisiatria, ortopedia, odontoiatria, gnatologia, oculistica, angiologia ecc. si parla ormai costantemente di postura. In effetti, gli studi della postura, grazie alle innovazioni tecnologiche, hanno compiuto negli ultimi anni grossi passi avanti. Sempre più la postura risulta implicata, come vedremo in seguito, in molte problematiche muscolo-scheletriche e organiche. La postura è l'adattamento personalizzato di ogni individuo all'ambiente fisico, psichico ed emozionale; in altre parole è il modo con cui reagiamo alla forza di gravità e comunichiamo. La posturologia si trova così, per forza di cose, a essere una scienza multidisciplinare che abbraccia numerose branche della medicina e della tecnica.

L'equilibrio è garantito da importanti meccanismi fisiologici ai quali contribuiscono principalmente, oltre alla corteccia cerebrale, le funzioni vestibolari (labirinto), del cervelletto, della formazione reticolare, dei recettori visivi e, in minor misura, uditivi, degli esterocettori di tatto e pressione (della pianta dei piedi in particolare) e dei propriocettori di capsule articolari, tendini, muscoli e visceri (enterocettori). Inoltre studi recenti sembrano confermare che un ruolo importante possano averlo anche i barocettori renali. Qualunque causa in grado di modificare l'equilibrio, dovunque posta lungo l'asse cefalo-podalico, avrà riflessi immediati, trasmessi per via ascendente o discendente lungo le catene muscolari, su tutti gli altri segmenti corporei, modificandoli con rotazioni e/o traslazioni di compenso. È evidente che qualsiasi forza (di spinta, trazione, rotazione ecc.) agisca sul sistema cibernetico "uomo", avrà in risposta un atteggiamento di compenso che si spalmerà in senso centrifugo, dal punto di applicazione della forza verso i distretti corporei circostanti, fino a interessare l'intero organismo. Tale risposta, durante il suo percorso, dividendosi in una serie di sistemi e sottosistemi di compenso, lascerà il segno, positivo o meno, della propria azione nelle varie regioni corporee. Avviene così una riprogrammazione del sistema posturale e dell'equilibrio che comporta modifiche delle principali vie afferenti, sia fisiologiche sia, dopo un certo periodo di tempo, perfino anatomiche. Nel tempo, tutto ciò influisce sulla propriocezione con significative influenze sull'equilibrio e quindi sulla postura. Tali "alterazioni", infatti, vengono fissate a livello corticale, a vari livelli, tramite memorie biochimiche corpuscolari (acetilcolina, noradrenalina, apomorfina, ioni calcio e potassio ecc.) che poi divengono anatomiche per vero e proprio contatto tra neuroni (gap-junctions), sia a livello del sistema nervoso centrale sia a livello periferico; quindi, la funzione governa la struttura. Questo fenomeno viene definito engramma motorio e rappresenta l'insieme delle esperienze motorie memorizzate dall'individuo come programmazione attivante il sistema feed-forward

(anticipatorio) responsabile dell'attivazione neuro-motoria diretta. Quanto più ripeteremo, in maniera cosciente o inconscia, tali gesti motori programmati, tanto più rinforzeremo, al pari di un condizionamento neuroassociativo, quell'engramma motorio. In base alla forza scatenante, la dinamica motoria risultante potrà essere in ambito fisiologico o fuori di esso. In quest'ultimo caso, là dove il sistema non è in grado di ammortizzare la spinta compensatoria, può nel tempo insorgere o annidarsi la patologia. Errori posturali quindi, anche modesti, col passare del tempo sono in grado di causare prima disagi e poi patologie: sovraccarichi con conseguente degenerazione articolare (artrosi, meniscopatie ecc.), irrigidimenti e degenerazioni dei tessuti elastici (tendinopatie, miopatie ecc.), intrappolamento dei nervi, blocchi respiratori, disturbi digestivi, cattiva circolazione, problemi di equilibrio ecc. Compito della posturologia è il ripristino dei corretti gesti motori, in statica e in deambulazione, riprogrammando il sistema tonico posturale in un ambito fisiologico, tramite necessariamente un intervento e un programma personalizzato multidisciplinare.

2. Terreno piano e postura

«Il terreno piano è un'invenzione degli architetti.» — Friedensreich Hundertwasser, 1991

Dal terreno naturale all'ambiente costruito



Immagine originale – edizione 2007, p. 3. Immagine originale relativa alla locomozione su terreno naturale.

La prima edizione di questo volume attribuiva al passaggio dal terreno naturale, irregolare e variabile, alle superfici artificiali piane un ruolo centrale nella genesi di numerosi adattamenti posturali. Il concetto di fondo conserva un interesse ergonomico: il sistema locomotore umano non interagisce con un ambiente astratto bensì con superfici che modificano continuamente attrito, rigidità, inclinazione, stabilità e distribuzione delle pressioni plantari. La formulazione originaria richiede però una precisazione importante. Le conoscenze attuali non consentono di

considerare il terreno piano, di per sé, una causa generale di alterazione posturale o di patologia.

Le superfici regolari hanno rappresentato un enorme vantaggio per sicurezza, accessibilità, trasporto e vita quotidiana. Esse riducono la complessità del compito locomotorio e rendono più prevedibile l'appoggio. Il terreno naturale introduce invece una maggiore variabilità meccanica e sensoriale: ogni passo può richiedere modificazioni della lunghezza del passo, del tempo di appoggio, della posizione del piede, dell'attività muscolare e delle strategie di equilibrio. Gli studi sperimentali sul cammino su terreno irregolare mostrano infatti un aumento della variabilità cinematica e una maggiore richiesta di adattamento rispetto al cammino su superficie uniforme.

Non è utile dividere le superfici in universalmente "buone" o "cattive". È più utile chiedersi quanto il sistema posturale sappia adattarsi a compiti differenti. Una vita motoria estremamente uniforme può ridurre la varietà degli stimoli, mentre un'esposizione adeguata e progressiva a superfici diverse può offrire uno stimolo sensorimotorio utile. In questo modo si conserva l'intuizione ergonomica originaria senza trasformare il pavimento piano in una causa semplice di malattia.

Variabilità sensoriale e informazione plantare

Il piede costituisce una delle principali interfacce tra organismo e ambiente. I recettori cutanei della pianta, insieme ai propriocettori muscolari e articolari, forniscono informazioni sulla distribuzione del carico, sullo spostamento del corpo e sulle caratteristiche della superficie di appoggio. La letteratura contemporanea conferma il ruolo funzionale dell'informazione plantare nel controllo posturale e nella deambulazione; una riduzione della sensibilità plantare, come può avvenire con l'età o in alcune neuropatie, si associa frequentemente a un controllo dell'equilibrio meno efficace.

La variabilità della superficie modifica la distribuzione delle pressioni e può modificare anche il flusso di informazioni provenienti dalla pianta del piede. Una revisione sistematica del 2025 ha mostrato che la stimolazione sensoriale plantare può influenzare le risposte neuromuscolari, con evidenze più consistenti durante il cammino che durante la semplice stazione eretta; gli effetti dipendono però dalla popolazione studiata, dalla sede dello stimolo e dalla difficoltà del compito. La stimolazione plantare non deve dunque essere interpretata come una terapia universale ma come uno dei possibili strumenti attraverso cui il sistema nervoso riceve informazioni dall'ambiente.

Una superficie irregolare può essere, nello stesso tempo, uno stimolo utile e una difficoltà. In un soggetto sano e adeguatamente allenato, la variabilità può favorire strategie di adattamento; in una persona anziana, fragile o affetta da deficit neurologici, la stessa irregolarità può aumentare il rischio di inciampo e caduta. L'ergonomia deve sempre mettere in relazione le caratteristiche dell'ambiente con le capacità individuali.

Lo sviluppo del controllo posturale

Nell'edizione del 2007 lo sviluppo posturale veniva descritto attraverso alcune soglie cronologiche precise: stabilizzazione delle curve vertebrali intorno ai cinque-sei anni, maturazione del sistema tonico posturale verso gli undici anni e successiva stabilità fino a circa sessantacinque anni. Questa rappresentazione risulta eccessivamente rigida. Lo sviluppo del controllo posturale è progressivo e dipende dalla maturazione del sistema nervoso, dalla crescita corporea, dall'esperienza motoria e dalla capacità di integrare informazioni visive, vestibolari e somatosensoriali.

Le ricerche più recenti mostrano che la ponderazione delle diverse informazioni sensoriali e le strategie biomeccaniche cambiano durante l'infanzia e l'adolescenza. Non esiste quindi un'età unica nella quale il sistema posturale possa essere considerato definitivamente "completo". Allo stesso modo, l'invecchiamento non determina una brusca perdita di funzione a una determinata età ma modifica progressivamente forza, sensibilità, tempi di risposta, capacità vestibolare, vista e strategie motorie. Il controllo posturale rimane plastico per tutta la vita e può essere influenzato sia dall'attività sia dall'inattività.

L'esperienza ambientale continua però a contribuire alla costruzione del repertorio motorio. Il bambino impara a mantenere l'equilibrio, camminare, correre, salire, scendere e superare ostacoli attraverso l'interazione continua tra maturazione biologica ed esperienza. Un ambiente motorio ricco di compiti differenti può favorire strategie più varie, mentre una riduzione cronica delle esperienze motorie limita le occasioni di adattamento.

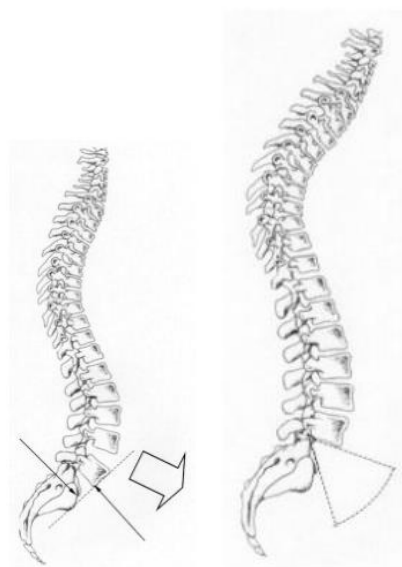
Il terreno piano come riduzione della variabilità, non come "inquinamento"

La prima edizione definiva il terreno piano un "inquinamento ambientale" e lo collegava direttamente a una maggiore frequenza di alterazioni posturali. Questa formulazione viene sostituita. Il terreno piano non è un agente patogeno: rappresenta una superficie prevedibile che richiede, in molte condizioni, una minore variabilità della risposta locomotoria. Il problema può emergere quando l'intera vita motoria diventa povera di variazioni, soprattutto se alla monotonia delle superfici si associano sedentarietà, permanenza prolungata nelle stesse posizioni, scarso movimento del piede, ridotta forza muscolare e bassa esposizione a compiti motori diversi.

La distinzione è sostanziale. Non possiamo affermare che camminare quotidianamente su un pavimento piano produca necessariamente un "errore posturale". Possiamo invece affermare che il sistema motorio umano è capace di adattarsi a superfici diverse e che la variabilità del compito costituisce uno stimolo rilevante per l'apprendimento e il controllo sensorimotorio. Le superfici irregolari vengono infatti utilizzate anche in diversi programmi di esercizio propriocettivo e sensorimotorio, nei quali la difficoltà viene graduata in relazione alle capacità del soggetto.

Anche le osservazioni antropologiche richiedono prudenza. Le differenze nella prevalenza di dolore muscolo-scheletrico tra popolazioni non possono essere attribuite soltanto al terreno o all'uso delle calzature, perché cambiano contemporaneamente attività fisica, composizione corporea, abitudini lavorative, età media, accesso alle cure, esposizioni occupazionali e numerosi altri fattori. Tali osservazioni rimangono interessanti per formulare ipotesi ma non dimostrano da sole una relazione causale.

Iperlordosi lombare: da causa unica a variabile individuale



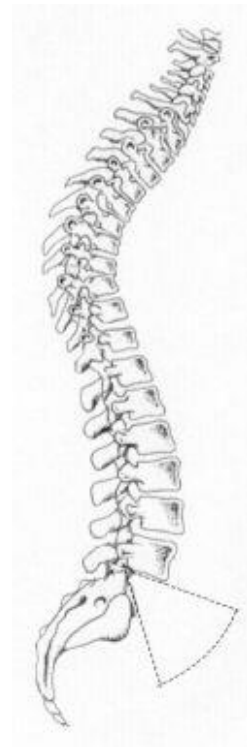
Immagini originali – edizione 2007, p. 4. (a) Modello posturale originale A dell'edizione 2007. (b) Modello posturale originale B dell'edizione 2007.

Nella formulazione del 2007 il terreno piano veniva indicato come causa di un'iperlordosi lombare primaria presente nella quasi totalità della popolazione. Venivano inoltre descritti due modelli di compenso e veniva ripresa l'affermazione secondo cui "l'iperlordosi lombare è sempre primaria". Questa impostazione non è sostenuta dalle evidenze attuali e viene quindi riformulata.

La lordosi lombare è una caratteristica fisiologica della colonna e presenta un'ampia variabilità interindividuale. La sua geometria dipende dalla morfologia pelvica, dall'orientamento del sacro, dall'età, dal sesso, dalla posizione assunta e dal compito motorio. Un aumento o una riduzione della lordosi può essere presente in soggetti asintomatici; allo stesso tempo, il dolore lombare non può essere spiegato soltanto attraverso l'angolo lordotico. Una revisione sistematica con meta-analisi pubblicata nel 2025 ha rilevato differenze modeste di alcuni parametri lombo-pelvici tra persone con e senza lombalgia, mentre le differenze della lordosi lombare non risultavano statisticamente significative e l'eterogeneità tra gli studi era elevata.

Gli schemi descritti nell'edizione originale possono comunque essere mantenuti come modelli osservativi di possibili organizzazioni sagittali. Essi non devono però essere interpretati come la conseguenza obbligatoria del terreno piano né come una sequenza universale di compensi

ascendenti. La postura sagittale deriva dall'interazione tra struttura, controllo motorio, abitudini, richiesta del compito e variabilità individuale.



Il ruolo dello psoas



Immagine originale – edizione 2007, p. 4. Rappresentazione anatomica originale del muscolo ileo-psoas.

Anche il ruolo attribuito allo psoas richiede una maggiore precisione. Il muscolo ileopsoas partecipa principalmente alla flessione dell'anca e contribuisce, in funzione della posizione e del compito, alla stabilizzazione e al controllo del complesso lombo-pelvico. La sua azione sulla colonna non può essere ricondotta a un unico effetto lordosizzante: la risultante dipende dalla

geometria articolare, dal punto fisso, dalla posizione del bacino e dalla cooperazione con gli altri muscoli del tronco e dell'anca.

L'edizione originale individuava nello psoas l'“attore principale” del meccanismo compensatorio. Nell'attuale interpretazione sistemica questa espressione viene superata. Lo psoas rimane un elemento biomeccanicamente importante ma la postura lombo-pelvica emerge dall'azione coordinata di molte strutture muscolari, fasciali e articolari e dal controllo del sistema nervoso.

Tacchi alti: modificazioni biomeccaniche senza una relazione semplice con la lordosi

La prima edizione affermava che l'altezza del tacco aumentasse la lordosi lombare in modo direttamente proporzionale. Gli studi successivi hanno mostrato un quadro più complesso e questa affermazione viene pertanto corretta. Il tacco alto modifica certamente la biomeccanica del cammino: sposta anteriormente la distribuzione delle pressioni plantari, modifica i parametri spazio-temporali, aumenta alcune richieste a livello di piede e ginocchio e peggiora diversi indicatori di equilibrio statico e dinamico. Una meta-analisi del 2023, comprendente 81 studi e 1501 partecipanti, ha confermato modificazioni rilevanti soprattutto nel complesso piede-caviglia e nel ginocchio e un peggioramento dell'equilibrio.

La relazione con la lordosi lombare non è però lineare. Uno studio tridimensionale sul cammino con tacchi bassi e alti ha osservato, al contrario dell'ipotesi tradizionale, una riduzione degli angoli di curvatura lombare durante il cammino con tacco alto rispetto alla condizione a piedi nudi. Altri studi non hanno rilevato differenze significative dell'allineamento spinopelvico tra differenti altezze di tacco. Di conseguenza, gli eventuali disturbi lombari associati all'uso prolungato di tacchi alti non possono essere attribuiti automaticamente a un aumento della lordosi.

L'uso abituale di calzature molto alte e strette può comunque modificare la funzione del piede e del passo. La scelta della calzatura va valutata in base alla durata d'uso, al compito, alla tolleranza individuale e alla presenza di eventuali disturbi. Il rapporto tra calzature, piede e postura verrà sviluppato più estesamente nel Volume III.

Verso un'ergonomia della variabilità

Il concetto più utile che emerge dalla revisione di questo capitolo non è la contrapposizione tra terreno naturale e terreno artificiale bensì il valore della variabilità. Il sistema posturale deve poter rispondere a situazioni differenti: superficie stabile o irregolare, salita o discesa, velocità diverse, ostacoli, cambi di direzione, attività a piedi nudi o con differenti calzature. La capacità di modulare la risposta rappresenta una proprietà funzionale più importante dell'adesione a un unico assetto posturale.

In termini ergonomici, l'ambiente ideale non è necessariamente quello più irregolare e neppure quello più uniforme. È quello che offre sicurezza e accessibilità senza eliminare, quando le condizioni individuali lo consentono, ogni occasione di movimento e adattamento. Per una persona sana, camminare anche su superfici naturali, praticare attività che richiedano equilibrio e utilizzare il piede in compiti diversi può arricchire l'esperienza motoria; per una persona con elevato rischio di caduta, la priorità rimane invece la sicurezza e la difficoltà deve essere introdotta in modo controllato.

Questa riformulazione conserva il nucleo dell'impostazione del 2007: la postura nasce dalla relazione tra uomo e ambiente. L'aggiornamento del 2026 aggiunge però un principio essenziale: l'ambiente non determina da solo la postura. È l'interazione tra caratteristiche individuali, compito, esperienza, superficie e controllo sensorimotorio a produrre, momento per momento, la soluzione motoria adottata dall'organismo.

Il capitolo successivo introduce il piede come interfaccia sensoriale e biomeccanica con il suolo. La trattazione specialistica completa del piede, della sua biomeccanica e delle relazioni ascendenti viene sviluppata nel Volume III – Piede e Postura.

Edizione originale 2007 – approfondimenti su terreno piano e postura

Il passaggio seguente riproduce i contenuti del 2007, mantenuti per continuità storica e accompagnati dall'aggiornamento scientifico 2026.

"Il terreno piano è un'invenzione degli architetti. È adatto per le macchine, non per i bisogni umani (...) Se l'uomo moderno è costretto a camminare sulla superficie piatta dell'asfalto e dei pavimenti (...) viene alienato dal suo contatto naturale e primordiale con la terra. Una parte cruciale del suo essere si atrofizza e le conseguenze sono catastrofiche per la sua psiche, per il suo equilibrio e per il benessere della sua intera persona" Friedensreich Hundertwasser (architetto, pittore e filosofo viennese), 1991.

L'uomo è l'unico mammifero ad aver conquistato il bipodalismo; condizione questa che gli ha permesso il primato fra gli esseri viventi: la migrazione infatti dei muscoli masticatori in direzione caudale, ha reso possibile l'espansione cranica (non più imbrigliata dalla muscolatura masticatoria) e quindi lo sviluppo della corteccia cerebrale. Il lattante, grazie allo sviluppo muscolare estensorio, assume la posizione assisa e successivamente quella eretta a 4 mesi. A circa dodici mesi di vita si ha il passaggio graduale al bipodalismo. La formazione e l'accrescimento del sistema muscolo-scheletrico sono perlopiù il risultato della complessa e personale azione antigravitazionale dell'individuo. A differenza di tutti gli altri mammiferi quadrupedi, che stanno in piedi e camminano in modo corretto poco tempo dopo la nascita, l'uomo deve attendere circa 6 anni per ottenere una postura stabile. All'età di 5-6 anni, infatti, si formano e stabilizzano le curve vertebrali e ciò avviene grazie alla maturazione estero-proprioceettiva del piede che è quindi il primo responsabile delle modificazioni delle curve vertebrali in posizione eretta. La fisiologica lordosi lombare si forma e si stabilizza a partire dalla formazione di una fisiologica e stabile volta plantare che libera il tronco cefalico da uno stato di ipertonicità, determinando così anche la cifosi dorsale e la lordosi cervicale. Il completo sviluppo della funzione posturale (sistema tonico posturale) avviene invece abitualmente verso gli undici anni e resta poi stabile sino a circa 65 anni.

Il nostro apparato muscolo-scheletrico e il nostro sistema di controllo posturale si sono evoluti, in milioni di anni, per consentirci di adattarci al meglio al terreno naturale, che è sconnesso. Gli esterocettori cutanei e i proprioceettori del piede, quale unico punto fisso di relazione del nostro sistema dell'equilibrio con l'ambiente esterno, rivestono un'enorme importanza nella determinazione della postura e quindi dello nostro sviluppo muscolo-scheletrico. Dai moderni studi filogenetici risulta che l'uomo mal si adatta al terreno piano. Data l'enorme complessità, il nostro organismo funziona come un sistema cibernetico ovvero un sistema in grado di autoregolarsi, autoadattarsi e autoprogrammarsi. Egli, in base alle informazioni ricevute istante per istante dall'ambiente esterno e interno, cerca costantemente di perseguire al meglio

l'obiettivo dell'omeostasi (condizione di equilibrio dinamico dell'organismo). Nonostante esso rappresenti il sistema cibernetico per eccellenza va incontro, come tutti i sistemi di questo tipo, a un errore di regolazione/programmazione tendente all'infinito quanto più le variabili di ingresso sono tendenti a zero e viceversa. In altre parole, più le informazioni ambientali che il nostro organismo riceve sono numerose e diverse, più riesce a perseguire una regolazione fine e corretta del proprio funzionamento. È facile rendersi conto che le variabili di input sul terreno piano sono nettamente inferiori a quelle che si ricevono vivendo sul terreno naturale. Di conseguenza l'errore posturale sul terreno piano sarà molto maggiore rispetto a quello compiuto sul terreno sconnesso. Possiamo quindi considerare il terreno piano come un enorme inquinamento ambientale; le sue influenze negative sulla nostra salute sono infatti notevoli. È un dato di fatto che fra i popoli che ancora vivono in condizioni naturali (scalzi su terreni sconnessi), come alcune popolazioni africane o del Messico, il mal di schiena e il mal di collo sono sconosciuti e la dentatura è di norma ben allineata.

Quello che la geniale fisioterapista francese Francoise Mezieres aveva intuito, prima dell'avvento delle analisi posturali con specifici e moderni dispositivi elettronici, è stato da questi ultimi pienamente confermato: "L'iperlordosi lombare è sempre primaria". Gli studi dimostrano infatti che il nostro organismo, il nostro sistema posturale e dell'equilibrio, reagisce al terreno piano creando una iperlordosi lombare ovvero con un eccessivo inarcamento nella regione inferiore della schiena. Questa iperlordosi lombare è presente nella quasi totalità della popolazione e si manifesta principalmente secondo due modelli:

- **Modello A:** classico caso di iperlordosi lombare. L'eccessivo inarcamento è lungo tutto il tratto lombare a cui corrisponde, di conseguenza, un eccessivo e ampio inarcamento opposto a livello dorsale (ipercifosi dorsale) e una rettilinizzazione del tratto cervicale (quest'ultima si forma come reazione all'iperlordosi cervicale, che sarebbe consequenziale alle prime due curve ma che non consentirebbe di guardare all'orizzonte, fattore primario per l'organismo).
- **Modello B:** "scomparsa della lordosi lombare".

L'iperlordosi è in realtà concentrata tra le vertebre L5 e S1 (ultima lombare e prima sacrale) a cui corrisponde, di conseguenza, un acuto ed eccessivo inarcamento opposto a livello dorsale (ipercifosi dorsale) e, anche qui, una rettilinizzazione del tratto cervicale. In entrambi i casi si avrà, di norma, una posteriorizzazione del baricentro (centro di gravità) generale corporeo rispetto alla posizione ideale (anteriore alla terza vertebra lombare) e la risultante dei momenti di forza che gravano a livello delle ultime vertebre lombari presenterà verso prevalentemente anteriore. Attore principale di questo meccanismo è il potente e profondo muscolo psoas. Questo potente

flessore degli arti inferiori (origina sui processi trasversi, sui corpi vertebrali e sui dischi dell'ultima vertebra toracica e delle vertebre lombari, passa sotto il legamento inguinale e, riunendosi col muscolo iliaco, che origina su tutta la faccia interna dell'ala iliaca, si inserisce sul piccolo trocantere femorale), in base alla prevalenza di sue fibre reclutate potrà comportare: aumento dell'iperlordosi lombare (prevalenza fibre inferiori), flessione anteriore del tronco (prevalenze fibre superiori), flessione laterale e rotazione del tronco e del bacino (prevalenza di uno psoas rispetto al controlaterale)..

Il tacco aumenta l'iperlordosi lombare in maniera direttamente proporzionale alla sua altezza, determinando così un peggioramento posturale. Inoltre, il prolungato utilizzo di tacco alto è in grado di accorciare, retraendolo, il tendine di Achille e ciò rende poi difficile la tolleranza di scarpe senza tacco. Non esiste alcun studio che dimostra che un tacco di 2-3 cm sia salutare (d'altronde, se così fosse, è logico pensare che ci avrebbe pensato la natura a riprodurlo direttamente sul calcagno). Scarpe con tacco alto e a punta (che imprigiona in maniera innaturale l'avampiede che invece dovrebbe essere libero per svolgere correttamente la sua funzione) contribuiscono notevolmente a generare e incrementare svariate problematiche a base posturale.

L'iperlordosi lombare, che abbiamo visto essere primaria nelle alterazioni posturali, viene poi compensata in diversi modi, in base a vari parametri fra cui sicuramente il corredo genetico, in tutto il corpo. Queste compensazioni altro non sono che "forzature" che il nostro cervello, tramite il sistema tonico posturale, è costretto a chiedere a muscoli, tendini, legamenti, capsule articolari, articolazioni, nervi, organi ecc., al fine di ottenere una postura il più possibile stabile su un terreno a noi non congeniale.

Nel prossimo capitolo verrà approfondito l'argomento "piede", aspetto fondamentale per comprendere come dal terreno possano insorgere alterazioni in tutto il nostro organismo.

3. Piede e postura

*«La verità del moto specifico dell'uomo è nascosta tra le spire di un'elica.» — R. Paparella
Treccia*

Il piede come interfaccia tra corpo e ambiente

Il piede rappresenta l'interfaccia attraverso la quale il corpo scambia forze e informazioni con il suolo durante la stazione eretta e la locomozione. Nella fase di appoggio esso sostiene e redistribuisce il carico, si adatta alla superficie, contribuisce all'assorbimento degli urti e prepara la successiva propulsione. Nello stesso tempo la pianta del piede fornisce al sistema nervoso informazioni continue sulla pressione, sul contatto e sulle variazioni dell'appoggio.

L'impostazione originaria del 2007 definiva il piede contemporaneamente come effetto e recettore. Questo concetto rimane valido e costituisce uno dei punti centrali dell'intera opera. Il piede agisce infatti attraverso muscoli, articolazioni, strutture capsulo-legamentose e fascia plantare ma riceve anche informazioni attraverso i recettori cutanei e propriocettivi. Il sistema nervoso integra tali segnali con quelli visivi e vestibolari e modifica di conseguenza il controllo dell'equilibrio e del movimento.

Le informazioni provenienti dalla pianta non costituiscono l'unico riferimento del sistema posturale, come poteva suggerire la formulazione originaria ma hanno un ruolo particolarmente importante quando il piede è in contatto con il terreno. La sensibilità plantare partecipa sia al controllo della stazione eretta sia alla regolazione del passo e la sua importanza relativa varia in funzione del compito, della superficie e dell'affidabilità delle altre informazioni sensoriali.

Dalla deformabilità alla rigidità funzionale

Una delle caratteristiche più importanti del piede umano è la capacità di modificare la propria rigidità durante il ciclo del passo. Nella fase di accettazione del carico il piede deve possedere una sufficiente deformabilità per adattarsi alla superficie e distribuire le forze; nelle fasi successive deve invece aumentare progressivamente la propria rigidità per diventare una base efficace per la propulsione.

L'edizione originale descriveva questo comportamento attraverso il modello dell'elica a passo variabile di Paparella Treccia. Il modello conserva un notevole valore biomeccanico perché richiama la natura tridimensionale e torsionale del piede e il rapporto funzionale tra retropiede e avampiede. Il piede non funziona infatti come una struttura rigida che si muove soltanto su un piano bensì come un sistema articolato nel quale rotazioni, traslazioni e deformazioni si combinano continuamente.

La conoscenza attuale richiede però una precisazione importante. Nella versione del 2007 la disposizione ad arco veniva considerata sostanzialmente apparente e veniva interpretata come espressione del grado di avvolgimento dell'elica podalica. Oggi sappiamo che gli archi longitudinali e l'arco trasverso possiedono anche una reale funzione meccanica. In particolare, la curvatura trasversa del piede contribuisce in modo sostanziale alla sua rigidità longitudinale. Il modello elicoidale e quello degli archi non devono essere contrapposti: descrivono aspetti complementari della stessa struttura tridimensionale.

Elica, leva e meccanismo dell'organo

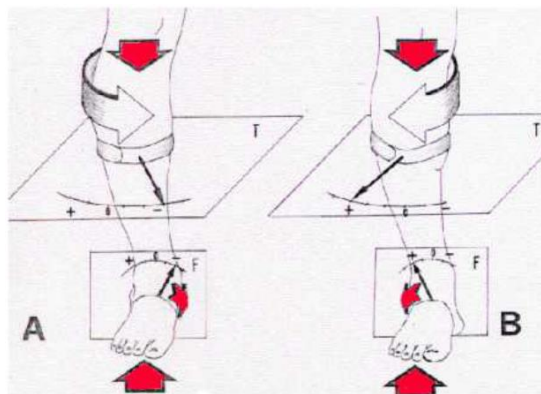


Immagine originale – edizione 2007, p. 7. Schema originale del rapporto torsionale astragalo-calcaneare e dell'elica podalica.

Durante il passo il piede passa da una configurazione relativamente cedevole a una configurazione progressivamente più rigida. La deformazione delle strutture elastiche permette di immagazzinare parte dell'energia meccanica, mentre il successivo irrigidimento favorisce la trasmissione delle forze nella fase propulsiva. La fascia plantare, i legamenti, i muscoli intrinseci e quelli estrinseci partecipano insieme a questa regolazione.

La dorsiflessione delle dita, soprattutto dell'alluce, tende la fascia plantare attorno alle teste metatarsali e contribuisce ad aumentare la rigidità del piede nella fase finale dell'appoggio. Questo processo viene comunemente descritto come meccanismo dell'organo, o windlass mechanism. La sequenza concettuale elica → leva → organo, già presente nella formulazione originaria, rimane quindi utile purché venga interpretata come parte di un sistema biomeccanico più ampio nel quale strutture passive e controllo muscolare interagiscono continuamente.

Anche la muscolatura intrinseca del piede merita oggi maggiore attenzione rispetto alla prima edizione. Questi muscoli non svolgono soltanto una funzione accessoria ma contribuiscono al controllo dell'arco, alla stabilità e alla modulazione della rigidità durante compiti statici e dinamici. Il concetto moderno di foot core descrive proprio l'integrazione tra componenti passive, attive e neurali che consente al piede di adattarsi e, nello stesso tempo, di sostenere il movimento.

Dal piede all'arto inferiore

I movimenti del piede sono collegati a quelli della caviglia e dei segmenti sovrastanti. Durante la catena cinetica chiusa, le rotazioni del retropiede possono associarsi a rotazioni della tibia e del femore e possono modificare la cinematica del ginocchio e dell'anca. Questa continuità

biomeccanica spiega perché il piede debba essere valutato nel contesto dell'intero arto inferiore e non come una struttura isolata.

L'edizione del 2007 estendeva però tali relazioni fino a considerare quasi inevitabili le ripercussioni ascendenti sul bacino, sul rachide, sul cingolo scapolare e sull'articolazione temporomandibolare. L'attuale revisione mantiene il principio della continuità funzionale ma elimina ogni interpretazione deterministica. Una variazione dell'appoggio può influenzare i segmenti sovrastanti ma l'entità e il significato di tale influenza dipendono dalla mobilità articolare, dal controllo neuromotorio, dalla velocità, dal compito, dall'anatomia individuale e dalle strategie di compenso.

La postura del piede non permette quindi, da sola, di prevedere il comportamento dell'intero corpo. Le associazioni tra una determinata morfologia podalica e le patologie dell'arto inferiore risultano generalmente modeste e devono essere considerate all'interno di una valutazione multifattoriale.

Piede piatto, piede cavo e variabilità individuale

Nella prima edizione il piede piatto e il piede cavo venivano interpretati principalmente come espressioni opposte di un difetto di avvolgimento o di rilasciamento dell'elica podalica. Il modello rimane utile per descrivere alcune differenze funzionali ma la classificazione moderna richiede di distinguere con maggiore precisione morfologia, mobilità, funzione e sintomi.

Un piede con arco longitudinale basso non è automaticamente patologico, così come un piede con arco alto non è necessariamente disfunzionale. La rilevanza clinica dipende dalla presenza di dolore, rigidità, instabilità, alterazioni della funzione, limitazioni del movimento e capacità di tollerare i carichi richiesti. Anche l'alluce valgo è una condizione multifattoriale nella quale interagiscono predisposizione anatomica e genetica, caratteristiche biomeccaniche, età e calzature; non può essere ricondotto a un'unica causa posturale.

Ne deriva una distinzione clinica essenziale: forma del piede, funzione del piede e patologia non sono sinonimi. La valutazione deve considerare la persona nel suo insieme e osservare sia la struttura sia il comportamento del piede durante il compito reale.

Baropodometria: misurare non significa diagnosticare

La baropodometria conserva un ruolo importante perché permette di misurare la distribuzione delle pressioni plantari e di osservare il comportamento dell'appoggio in statica e durante il cammino. Essa può fornire informazioni utili sulla simmetria, sul trasferimento del carico, sulle aree di maggiore pressione e sull'andamento del centro di pressione.

La misurazione strumentale non va confusa con una diagnosi posturale autonoma. Un tracciato baropodometrico descrive ciò che avviene in determinate condizioni di prova ma acquista significato soltanto quando viene integrato con anamnesi, sintomi, esame clinico, mobilità, forza, controllo neuromotorio e osservazione dinamica. Il Volume III riprenderà questa impostazione e approfondirà anche stabilometria, gait analysis e principali test funzionali del piede.

Il piede all'interno della trilogia

In questo primo volume il piede viene quindi presentato soprattutto come elemento necessario per comprendere la relazione tra postura, ambiente e movimento. La trattazione rimane volutamente sintetica per evitare la duplicazione del materiale e per conservare una chiara identità ai tre volumi.

Il Volume III – Piede e Postura sviluppa in modo specialistico l'anatomia funzionale, il complesso peri-astragalo, il modello dell'elica, gli archi longitudinali e trasverso, il meccanismo dell'argano, la muscolatura intrinseca ed estrinseca, la sensibilità plantare, la deambulazione, le relazioni con ginocchio, anca e bacino, la patomeccanica, la baropodometria e la rieducazione. In quella sede vengono inoltre integrate le conoscenze derivate dal testo originale del 2011, dalla precedente produzione dell'autore sul piede e dalla letteratura scientifica successiva; lo schema biomeccanico del retropiede presente nell'edizione 2007 viene conservato in quel volume, dove può essere discusso nel contesto completo della meccanica podalica.

Edizione originale 2007 – approfondimenti su piede e postura

Nella sezione che segue è conservato il testo originario del 2007; la revisione 2026 precedente ne definisce il contesto scientifico attuale.

Il piede rappresenta il punto fisso al suolo su cui grava l'intero peso del corpo. Esso si trova alla base del sistema di controllo antigravitario (sistema tonico posturale) che consente all'uomo di assumere la postura eretta e di spostarsi nello spazio. Il piede è sia un effettore sia un ricettore ossia riceve ed esegue dei comandi (risposta motoria), tramite i muscoli, e, nel contempo, interagisce col resto del corpo fornendo costanti informazioni provenienti dagli esterocettori cutanei presenti sulla sua pianta e dai propriocettori dei suoi muscoli, tendini e articolazioni. Gli esterocettori cutanei del piede sono ad alta sensibilità (0,3 g) e rappresentano l'interfaccia costante tra l'ambiente e il sistema dell'equilibrio. Le informazioni plantari infatti sono le uniche a derivare da un recettore fisso a diretto contatto col suolo.

Il piede, nel corso dell'evoluzione che dura da circa 350 milioni di anni, per le esigenze sorte nell'assunzione della stazione eretta e della deambulazione bipodale, ha acquisito, quale

caratteristica umana peculiare e differenziale, l'attitudine all'irrigidimento ovvero alla coesione intersegmentale. Tale coesione podalica è realizzata dalle formazioni capsulolegamentose e aponeurotiche a cui si aggiungono le formazioni muscolari con funzioni di "legamenti attivi" e posturali. All'afferramento prensile si sostituisce l'aggrappamento antigravitario. Il piede è il dispositivo di gran lungo più valido che l'uomo possiede per il controllo dell'ambiente sottoposto alle legge di gravità. L'informazione genetica conferisce alla struttura podalica la modellatura di fondo. L'informazione ambientale confluisce nella genetica che la memorizza gradualmente, nel corso delle generazioni, potenziando la genesi delle prerogative antigravitarie. Il fattore culturale però interferisce su tale sviluppo alterando l'informazione ambientale (a esempio creando terreni e scarpe inadeguati) causando così un ritardo evolutivo.

“La verità del moto specifico dell’uomo è nascosta tra le spire di un’elica”. R. Paparella Treccia Il piede è un diaframma interposto tra forze esterne (ambientali) e forze interne (muscolari), che in esso si incontrano, si contrastano e infine si fondono per l'affermazione della condizione di equilibrio. Il piede è una struttura "spaziale" ossia atta ad assorbire e smistare le forze, relativamente agli infiniti piani dello spazio. La struttura del piede è un capolavoro unico di architettura, o meglio di biomeccanica, con le sue 26 ossa, 33 articolazioni e 20 muscoli. Funzionalmente e strutturalmente, è possibile suddividere il piede in:

- retropiede formato da astragalo e calcagno, dispositivo centrale" del controllo biomeccanico della gravità;
- avampiede formato da scafoide, cuboide, 3 cuneiformi (definiti anche mesopiede; il mesopiede più il retropiede forma il tarso), 5 raggi metatarsali (metatarso) e le falangi delle 5 dita; funge da "adattatore e reattore".

Il piede, nel suo ruolo di "base antigravitaria", in un primo tempo prende contatto con la superficie di appoggio adattandosi a essa rilasciandosi, successivamente si irrigidisce, divenendo una leva per "respingere" la superficie stessa. Il piede deve quindi alternare la condizione di rilasciamento con la condizione di irrigidimento. L'alternanza di lassità-rigidità giustifica l'analogia con l'elica a passo variabile. Retropiede e avampiede si dispongono infatti in piani che si intersecano in modo variabile. Nella condizione ideale, il retropiede è disposto verticalmente e l'avampiede orizzontalmente (su una superficie di appoggio orizzontale). A piede sotto carico la torsione tra retropiede e avampiede si attenua nel rilassamento (il piede diviene una piattaforma modellabile) e si accentua nell'irrigidimento (il piede diviene una leva). La disposizione ad arco è in realtà apparente essendo espressione del grado di avvolgimento dell'elica podalica. Il piede quindi non ha il significato di un arco o volta reale ma apparente, che si alza durante l'avvolgimento e si

abbassa durante lo svolgimento dell'elica. L'avvolgimento dell'elica, con la conseguente accentuazione dell'apparente disposizione ad arco, corrisponde al suo irrigidimento. Lo svolgimento dell'elica, con conseguente attenuazione dell'arco apparente, è il rilasciamento. La torsione dell'elica podalica è connessa alla rotazione esterna dei segmenti sovrapodalici (gamba e femore). L'astragalo ruotando all'esterno solidalmente con le ossa della gamba, sale sul calcagno chiudendo in tal modo l'articolazione medio-tarsica; il retropiede si verticalizza. L'avampiede aderente tenacemente al suolo reagisce alle forze torcenti applicate sul retropiede; il piede è quindi irrigidito.

L'astragalo è un osso con cui non prende rapporto diretto nessun muscolo (non presenta inserzioni muscolari), si muove a seguito delle forze trasmesse dalle ossa adiacenti. L'astragalo è un osso del piede in quanto è solidarizzato al calcagno e allo scafoide nelle rotazioni sul piano sagittale (flesso-estensione) ed è osso della gamba in quanto è solidarizzato con la tibia e al perone, tramite la pinza bimalleolare, nelle rotazioni dei segmenti sovrapodalici sul piano trasverso (intra-extrarotazioni).

Il corpo umano è un sistema di equilibrio instabile; l'altezza del centro di gravità (idealmente anteriore alla terza vertebra lombare) rispetto a una base ristretta e la struttura composta da una successione di segmenti articolati, sono fattori di instabilità. Solo un vigile controllo (sistema tonico posturale) riesce, in tale condizione, a ricercare l'equilibrio dinamico stabile nella stazione eretta e l'equilibrio dinamico instabile durante la locomozione (che consente la trasformazione dell'energia potenziale in energia cinetica). Ciò avviene soprattutto grazie a un servizio informativo (esterocettori cutanei e propriocettori) talmente preciso e tempestivo da consentire risposte validissime con interventi energeticamente economici (non rilevabili elettromiograficamente) da parte di muscoli con prevalenza di fibre rosse. Si tratta della manifestazione informativa più importante in quanto fornisce all'uomo il privilegio di adattarsi alle più svariate condizioni ambientali. La deambulazione bipodale dell'uomo è così condizionata dal sollevamento del centro di gravità e dalla esiguità della base di appoggio, rispetto al quadrupedismo. È un atto complesso risultante dalle interazioni fra forza interne ed esterne dirette da un mirabile sistema di controllo posturale e dell'equilibrio, che regola attimo per attimo, tramite i muscoli, i rapporti fra le forze. La maggior parte dei gruppi muscolari degli arti inferiori sono attivi durante la deambulazione (l'arto inferiore possiede ben 29 gradi di libertà di movimento a cui corrispondono 48 muscoli). La locomozione umana è una combinazione di ritmica propulsione in avanti ed elevazione del corpo in alto. Il baricentro corporeo in deambulazione ha un andamento sinusoidale sul piano sagittale raggiungendo il punto più basso nell'appoggio doppio (bipodalico) e la massima altezza in appoggio monopodalico, con

un'escursione di 4-5 cm. Dal punto di vista strettamente meccanico, la progressione del corpo nello spazio è il risultato della combinazione di rotazioni articolari. Esattamente come i movimenti circolari delle ruote si traducono nel movimento in avanti del veicolo, movimenti rotatori (cerchi parziali) degli arti o di parti di essi si traducono nel movimento in avanti di tutto il corpo. Grazie al posizionamento alto del baricentro corporeo, l'accelerazione del nostro corpo è sostanzialmente di genesi gravitaria (energia potenziale che si trasforma in energia cinetica). Solo in misura modesta entrano in gioco contrazioni muscolari acceleranti ed è questa la ragione del fatto che l'uomo può prostrarre il suo cammino molto a lungo. Si può infatti affermare che nella deambulazione il lavoro muscolare è richiesto solo nella risalita periodica del centro di gravità.

Il ciclo della deambulazione è compreso fra i due appoggi calcaneari dello stesso piede ed è costituito da una fase portante e una fase oscillante. Fase portante

A. Appoggio calcaneare (ricezione)

Al contatto del calcagno con la superficie di appoggio (ricezione), l'elica si rilascia per consentire la lassità del piede atta ad ammortizzare il peso del corpo e ad adattarsi alla superficie stessa. A tal fine l'arto inferiore ruota internamente, l'astragalo, a esso solidale, ruota quindi anch'esso internamente (supinando), il calcagno pronando, ruotando esternamente. L'assunzione del peso da parte del piede è graduale ed è massima nel momento in cui la linea gravitaria cade nel centro della superficie podalica.

B. Appoggio totale (contatto)

Quando tutta la superficie plantare è a contatto con la superficie, la rotazione interna dell'arto si trasforma bruscamente in rotazione esterna. Ciò fa scattare il meccanismo che ha come sede l'articolazione sotto-astragalica. Seguendo la rotazione dell'arto, l'astragalo ruota sul piano trasverso esternamente (per ca. 12° mediamente) pronando e risalendo al di sopra del calcagno (allontanandosi dal legamento calcaneo-scafoideo-plantare). A sua volta il calcagno ruota internamente, supinando attorno all'asse di compromesso (asse "momentaneo" attorno al quale avviene il processo di prono-supinazione dell'a: il retropiede si verticalizza tramite l'avvitamento reciproco astragalo-calcaneare. Il cuboide, tenacemente collegato al calcagno, migra plantarmente assumendo "sulle sue spalle" la serie dei cuneiformi. L'avampiede si dispone in contrasto rotatorio con il retropiede per la reazione al suolo. Si ha così l'avvolgimento dell'elica podalica e il conseguente "inarcamento" del piede: l'articolazione medio-tarsica è bloccata e si ha il contemporaneo passaggio del peso sul IV e V metatarso per eversione dell'avampiede non ancora rigido. Il muscolo peroniero lungo (lungo peroneo) richiama a contatto col suolo la testa del I metatarso eseguendo un lavoro di stabilizzazione facendo sì che il peso sia ora distribuito su

tutte le teste metatarsali (ventaglio metatarsale); il piede si trasforma da elica in rigida "barra di leva".

C. Appoggio digitale (propulsione)

Il calcagno si solleva dal terreno. Le dita dopo essersi adattate tenacemente alla superficie di appoggio si flettono dorsalmente. Ciò fa sì che la aponeurosi plantare si accorcia tendendosi di ca. 1 cm (le digitazioni dell'aponeurosi plantare raggiungono le falangi basali corrispondenti, connettendosi al periostio, nei segmenti adiacenti alle articolazioni) innescando il meccanismo dell'organo che completa la coesione intrapodalica.

Il centro di gravità del corpo migra ventralmente e il corpo si avvia a cadere in avanti. L'intervento del controllo muscolare, in particolare del muscolo tricipite surale, formato da gastrocnemio e soleo (oltre al tibiale anteriore, tibiale posteriore, peroneo lungo e flessori dorsali) e il tempestivo contatto controlaterale, esercitano azione da freno. Nella fase propulsiva le forze agenti sul piede sono pari a 3-4 volte il peso del corpo. In situazione di corretta fisiologia il piede si comporta a elica in modo tale che la proiezione a terra del baricentro corporeo resti perlopiù centrata ossia passi lungo il proprio asse, che corrisponde all'incirca all'asse podalico, asse passante centralmente al retropiede e al centro tra II e III dito.

Fase oscillante La fase oscillante rappresenta la provvidenziale preparazione per la fase portante. La rotazione interna dell'arto, attorno all'asse meccanico, che inizia in questa fase, è indispensabile premessa per la successiva rotazione esterna. È grazie a questa alternanza di rotazioni che l'energia potenziale si trasforma nel corpo umano in energia cinetica. Le fasi oscillanti e portanti sono pertanto legate relativamente alla continuità della progressione. Il pendolo podalico è in realtà un pendolo portante. Il complesso neuro-muscolare vigila su questo reciproco passaggio di consegne stabilizzandolo, modulandolo e caratterizzandolo quale espressione tipica dell'individualità.

Alla nascita sono già presenti i circuiti nervosi predisposti alla deambulazione, essi però, al fine di consentire l'adeguato e indispensabile sviluppo muscolo-scheletrico, sono temporaneamente inibiti dai centri superiori. La postura quale atto volontario diviene così un fenomeno maturativo e di apprendimento. A circa un anno inizia la deambulazione dapprima appresa e in seguito automatizzata. Solo a circa due anni di età, a seguito dello sviluppo delle strutture relative, il controllo automatico è efficiente.

È quindi nel piano trasverso che la moderna biomeccanica ha individuato l'elemento spaziale prioritario nella statica e nella dinamica dell'uomo. Difatti è dalla rotazione nel piano trasverso che scatta il meccanismo antigravitario, il quale consente la migrazione del baricentro verso l'alto.

L'altezza del baricentro carica il sistema di energia potenziale, ovvero di instabilità che però, come abbia detto, si trasforma in indispensabile energia cinetica nella dinamica, consentendo così la progressione nello spazio con un modesto consumo di energia muscolare. Le articolazioni in cui si compie il movimento nel piano trasverso sono, a catena cinetica chiusa, la coxofemorale e la sottoastraglica. In particolare, l'articolazione coxofemorale e l'articolazione astragalo-scafoidea sono analogicamente strutturate e corrispondentemente disposte. I movimenti essenziali nella meccanica antigravitaria dell'anca sono l'estensione e la concomitante rotazione esterna. Nel trasferimento dalla flessione all'estensione quindi il femore ruota verso l'esterno riflettendosi nel meccanismo di rilasciamento-irrigidimento podalico. È questa quindi una condizione anatomo-funzionale che favorisce la nostra antigravitarietà. L'analisi delle caratteristiche morfologiche e funzionali dell'arto inferiore relativamente al piano trasverso apre un grosso capitolo di patologia strutturale che contempla le anomalie di rotazione femoro-tibiale e le ripercussioni sulla funzionalità podalica e viceversa. Si getta in tal modo un robusto ponte che connette sempre più il piede ai segmenti corporei soprastanti, in particolare, col cingolo pelvico, col cingolo scapolo-omeroale, con la cerniera cervicooccipitale fino all'articolazione temporomandibolare, nel contesto della biomeccanica e della pato-meccanica.

Nella patologia podomeccanica l'assimilazione piede-elica costituisce sempre il riferimento di base ai fini di un'adeguata elaborazione diagnostica e programmazione terapeutica. Nel prendere contatto con la superficie di appoggio, infatti, il piede acquisisce il significato di dispositivo ammortizzante, in grado di assorbire e neutralizzare le forze e i momenti di forza applicati istantaneamente sotto forma di urto, al fine di tutelare la propria integrità. Il piede riesce a realizzare ciò grazie al suo svolgimento elicoidale graduale; mentre avvolgendosi realizza l'azione antigravitaria. Si tratta di interventi che impegnano al massimo il piede, prova ne è la frequenza delle manifestazioni podo-patologiche da ipersollecitazione (metatarsalgia, neuroma di Morton, spina calcaneare, callosità a esempio), per gradi anche modesti di alterazione posturale che rendono il piede inadatto a regolare il rapporto fra forze interne ed esterne. Quanto più è rapido l'impatto tanto più è probabile il danno alla struttura podalica. Rivolgendo l'attenzione alle superfici (terreni piani) e agli involucri (scarpe) con cui il piede viene a contatto, fin dai primi passi e per tutta la vita, spesso inadatti ma che la civiltà e la moda ci impongono, il rapporto fra informazione genetica, rivelata dalla morfostrutture originarie, e l'informazione ambientale, invece di un armonico incontro assume gli aspetti di una disputa alla quale, nelle età successive, si risale attraverso i segni lasciati nel piede e nella postura. L'insufficienza gravitaria primaria scaturisce da anomalie dell'integrazione informativa genetica-ambientale e si esprime usualmente come inattitudine dell'elica podalica a fungere in maniera fisiologica. Il piede piatto risulta abitualmente da un difetto di irrigidimento, causato da una carenza di rotazione dei

segmenti anteriori all'astragalo (l'elica podalica si avvolge in maniera insufficiente), che da luogo, in successione cronologica, a cedevolezza nel piede infantile, piede valgo-piatto nell'adolescenza e piede piatto artrosico nell'adulto. Al contrario, nel piede cavo avremo un eccesso di rotazione (pronazione) dei segmenti anteriori all'astragalo (e quindi un difetto di rilasciamento e un'eccessiva elicatura podalica). Occorre considerare che l'organismo reagisce di norma sul terreno piano cercando di aggrapparsi a esso cavizzando il piede (lo stesso motivo favorisce l'alterazione in dita a martello o a griffe o ad artiglio). Data la comune asimmetria posturale, si riscontrano di frequente atteggiamenti diversi dei due piedi. La baropodometria, in statica e in deambulazione, risulta uno strumento di estrema importanza per la corretta diagnosi del piede piatto/cavo. Ulteriore frequente patologia podalica è l'alluce valgo, che è accompagnata da lussazione dei relativi ossi sesamoidi ed esostosi laterale della I testa metatarsale (ricoperta da callosità per il continuo sfregamento con la calzatura). Le cause dell'alluce valgo sono da ricercarsi nei carichi squilibrati sul piede, in modo particolare sull'avampiede durante la fase propulsiva del passo, a cui si aggiunge il contributo di scarpe inadeguate (tacchi alti, punta stretta) e della predisposizione genetica. Non va trascurato il fatto che il piede è anche un organo di senso, ossia porta di ingresso degli stimoli ambientali. Di conseguenza, le anomalie strutturali del piede non solo rendono precaria la risposta motoria (ovvero l'avvolgimento dell'elica) ma sono anche ragione di ostacolo alla ricezione corretta della stimolazione ambientale. La ricettività dei recettori gravitari, presenti in gran numero nei muscoli e nelle formazioni articolari e aponeurotiche del piede, risulta alterata essendo anomali la disposizione e la condizione circolatoria dei tessuti che li ospitano. I legamenti e le formazioni muscolo-tendinee, infatti, sono sollecitati da tensioni abnormi. Come conseguenza di ciò, il circuito di controllo della gravità risulta almeno parzialmente occluso. Risulta chiaro che un appoggio non corretto può far sentire le conseguenze a caviglia, ginocchio, anca, tutta la colonna vertebrale, fino a interessare il posizionamento della testa. In realtà, come vedremo nei prossimi due capitoli, tali effetti si ripercuotono sull'intero organismo. Normalizzando la ricezione dell'informazione ambientale, ne risulterà potenziata l'integrazione informativa genetica-ambientale favorendo così l'iter evolutivo nonché il benessere dell'intera persona. È così evidente l'importanza della progettazione e dell'utilizzo di sistemi ergonomici in grado da fungere da ideale interfaccia suolo-piede.

4. Problemi muscolo-scheletrici di origine posturale

Dal paradigma causale al modello multifattoriale

Il titolo di questo capitolo viene mantenuto per continuità con l'edizione originale del 2007 ma il significato dell'espressione "di origine posturale" richiede oggi una precisazione sostanziale. Una

determinata organizzazione posturale può modificare la distribuzione dei carichi, i momenti articolari, il reclutamento muscolare e le strategie di movimento; essa può contribuire alla comparsa o al mantenimento di alcuni disturbi muscolo-scheletrici. Nella maggior parte dei casi tuttavia non rappresenta una causa unica né sufficiente.

Il dolore e la degenerazione muscolo-scheletrica derivano generalmente dall'interazione tra molte variabili: caratteristiche anatomiche individuali, età, capacità dei tessuti di tollerare il carico, attività lavorativa e sportiva, storia di traumi, quantità e qualità del movimento, sonno e recupero, stato metabolico, infiammazione, fattori psicologici e sociali. La postura entra in questa rete come uno dei possibili fattori biomeccanici, il cui peso cambia da persona a persona e da compito a compito.

Questa revisione non annulla quindi il principio originario secondo cui il corpo reagisce alle sollecitazioni attraverso adattamenti e compensi. Lo rende però meno deterministico: un compenso non è necessariamente patologico e un'asimmetria non deve essere corretta soltanto perché è visibile. Il problema clinico emerge quando una strategia riduce la capacità di movimento, concentra il carico su tessuti poco tolleranti, provoca sintomi oppure limita le attività della persona.

Carico meccanico, capacità tissutale e adattamento

Muscoli, tendini, legamenti, cartilagine e osso sono tessuti biologici capaci di adattarsi agli stimoli meccanici. Un carico adeguato favorisce il mantenimento della funzione e della capacità strutturale, mentre un carico eccessivo, troppo rapido o non adeguatamente recuperato può superare la capacità del tessuto e contribuire a dolore o lesione. Anche una marcata riduzione del carico può essere sfavorevole, perché determina decondizionamento e riduce progressivamente la tolleranza allo sforzo.

L'edizione del 2007 collegava direttamente il "carico non fisiologico" ad artrosi precoce, osteofiti, tendiniti e numerose altre patologie. È più corretto distinguere tra contributo meccanico e causalità. La meccanica articolare conta, soprattutto quando le sollecitazioni sono elevate o ripetute ma artrosi e tendinopatie sono condizioni multifattoriali nelle quali intervengono anche età, genetica, composizione corporea, metabolismo, infiammazione, storia di trauma e livello di attività. Analogamente, l'osteoporosi è una patologia sistemica della resistenza ossea e non può essere ricondotta semplicemente a una zona "scaricata" da una postura asimmetrica.

La valutazione funzionale dovrebbe quindi chiedersi non soltanto "come è allineato il corpo?" ma soprattutto "come distribuisce il carico, quanto varia le proprie strategie e quale capacità

possiedono i tessuti di tollerare quel carico?”. Questa prospettiva collega biomeccanica, allenamento e riabilitazione in modo più coerente con le conoscenze attuali.

Rachide: dolore, degenerazione e reperti strumentali

Il rachide rappresenta uno dei distretti nei quali il rapporto tra struttura, postura e sintomi viene più facilmente semplificato. Una determinata posizione del tronco o della testa può modificare il lavoro muscolare e i carichi intervertebrali e può diventare rilevante quando viene mantenuta a lungo o associata a ridotta variabilità. Tuttavia la presenza di dolore cervicale o lombare non consente di dedurre automaticamente l'esistenza di un “disallineamento” responsabile dei sintomi.

Anche le immagini radiologiche richiedono prudenza. Degenerazione discale, protrusioni, bulging, fissurazioni anulari e altre modificazioni aumentano con l'età e sono molto frequenti anche in persone asintomatiche. Questi reperti possono essere clinicamente importanti quando concordano con anamnesi, esame neurologico e distribuzione dei sintomi ma non devono essere interpretati isolatamente come prova della causa del dolore.

La stessa distinzione vale per il restringimento foraminale e per le radicolopatie. La riduzione dello spazio disponibile per una radice nervosa può contribuire a dolore, parestesie o deficit neurologici ma la diagnosi richiede la correlazione tra sintomi, esame clinico e imaging.

L'edizione originale attribuiva a questo meccanismo molte diagnosi ritenute “errate”, comprese ernia del disco, epicondilalgia e sindrome del tunnel carpale; oggi una simile estensione non è sostenibile. Le diverse patologie devono essere differenziate con criteri specifici e possono anche coesistere.

Spondilolisi e spondilolistesi

La spondilolistesi indica lo scivolamento di una vertebra rispetto a quella adiacente ma non identifica un unico meccanismo. Nella forma istmica può essere presente un difetto della pars interarticularis, mentre nella forma degenerativa intervengono soprattutto modificazioni del disco, delle faccette articolari e della stabilità segmentaria associate all'età. Morfologia delle faccette, incidenza pelvica, sesso, fattori ormonali e stress meccanici possono contribuire al quadro.

Il carico e l'organizzazione sagittale del rachide possono influenzare le forze agenti sul segmento ma non è corretto affermare che la spondilolistesi derivi semplicemente da un atteggiamento posturale da “annullare”. Anche la contrazione paravertebrale persistente può rappresentare una strategia di protezione o un fenomeno associato al dolore, non necessariamente la causa

primaria. La gestione deve essere individualizzata e può comprendere educazione, attività fisica progressiva, rinforzo, controllo motorio, trattamento dei sintomi e, nei casi appropriati, valutazione specialistica chirurgica.

Scoliosi: dalla postura alla deformità tridimensionale

La prima edizione collegava frequentemente la scoliosi a rotazioni del bacino e all'adattamento al terreno piano e interpretava la curva come il miglior compromesso realizzato dal sistema posturale. Questa lettura può descrivere alcuni atteggiamenti scoliotici non strutturali, nei quali la curva varia con la posizione o con la correzione di una causa funzionale ma non spiega la scoliosi idiopatica dell'adolescente.

La scoliosi idiopatica è una deformità tridimensionale della colonna e del tronco con eziologia multifattoriale. La componente posturale e il controllo neuromotorio possono partecipare al comportamento funzionale del soggetto ma non esistono evidenze che consentano di indicare il terreno piano, l'iperlordosi lombare o una singola alterazione dell'appoggio come causa generale della scoliosi strutturale.

Anche il giudizio sui corsetti deve essere aggiornato. L'edizione del 2007 ne descriveva un frequente fallimento; gli studi successivi, in particolare lo studio BrAIST e le revisioni più recenti, hanno invece dimostrato che il trattamento con brace, quando correttamente indicato e seguito con adeguata aderenza, riduce il rischio di progressione delle curve nell'adolescenza. La risposta dipende dall'entità della curva, dalla maturità scheletrica, dalla correzione ottenuta nel corsetto, dal tempo effettivo di utilizzo e da altri fattori individuali. Gli esercizi specifici possono integrare il trattamento ma non sostituiscono automaticamente il brace quando quest'ultimo è indicato.

La rieducazione posturale mantiene quindi un ruolo soprattutto funzionale: può migliorare controllo, mobilità, forza, respirazione, percezione corporea e capacità di gestire il movimento. Non deve però essere presentata come sostituto universale dei trattamenti ortopedici basati sul rischio di progressione.

Cervicale, testa e cingolo scapolare

La posizione della testa modifica i momenti di forza sul rachide cervicale e può aumentare il lavoro richiesto ai muscoli estensori quando viene mantenuta a lungo. Una postura protratta del capo può associarsi a cervicalgia e limitazione funzionale in alcuni soggetti ma la relazione non è inevitabile. Esistono persone con evidente anteriorizzazione della testa prive di dolore e persone con cervicalgia senza particolari alterazioni statiche.

Per il cingolo scapolare vale una logica analoga. Orientamento della scapola, mobilità toracica, forza della cuffia dei rotatori e controllo neuromuscolare interagiscono durante il movimento dell'arto superiore. Alcune configurazioni possono aumentare la richiesta su determinati tessuti ma conflitto subacromiale e tendinopatie della cuffia non derivano da una singola postura delle spalle. La valutazione deve osservare il comportamento dinamico e la capacità di carico, non soltanto la posizione a riposo.

La cosiddetta “gobba del bisonte” richiede una correzione ancora più netta rispetto al testo originale. Un accumulo adiposo dorsocervicale non viene oggi considerato una conseguenza diretta delle tensioni cervico-dorsali. Esso può essere associato a obesità, uso prolungato di glucocorticoidi, ipercortisolismo e alcune condizioni di lipodistrofia; una cifosi può modificarne l'aspetto ma non rappresenta, da sola, la causa dell'accumulo di grasso.

Postura cranio-cervicale, occlusione e apparato stomatognatico

Il rapporto tra postura cranio-cervicale e apparato stomatognatico rimane un tema di interesse interdisciplinare. Lingua, mandibola, muscoli masticatori, rachide cervicale e respirazione partecipano a funzioni coordinate e possono influenzarsi reciprocamente durante attività specifiche. Tuttavia gli studi disponibili mostrano relazioni eterogenee e non dimostrano una catena causale semplice nella quale una malocclusione determini necessariamente una disfunzione posturale globale oppure una postura corporea alterata produca necessariamente una patologia occlusale.

Ne consegue che un trattamento odontoiatrico non dovrebbe essere utilizzato con il solo obiettivo di “raddrizzare” la postura generale se mancano indicazioni stomatognatiche specifiche. Allo stesso modo, una rieducazione motoria non sostituisce la diagnosi odontoiatrica quando è presente una reale problematica dell'occlusione o dell'articolazione temporomandibolare. Nei casi complessi, il confronto tra odontoiatra, fisiatra, fisioterapista e altri professionisti può essere utile proprio perché permette di distinguere le associazioni clinicamente rilevanti dalle semplici coincidenze.

Bacino, anca e falsa dismetria

Il bacino costituisce una regione di trasferimento delle forze tra tronco e arti inferiori. Differenze nell'antiversione o retroversione dei due emibacini, rotazioni del bacino e strategie asimmetriche di appoggio possono modificare temporaneamente la posizione relativa delle creste iliache e simulare una dismetria degli arti inferiori. Questa “dismetria funzionale” deve essere distinta da una reale differenza anatomica di lunghezza, che richiede misurazioni appropriate.

Durante l'appoggio monopodalico, gli abduttori dell'anca, in particolare medio e piccolo gluteo, contribuiscono a controllare la pelvi e a bilanciare il momento prodotto dal peso corporeo. Il dato biomeccanico, già illustrato nell'edizione del 2007, conserva validità. Non va però trasformato nell'idea che una posizione pelvica non ideale implichi necessariamente un reclutamento insufficiente dei glutei e un vicariamento obbligatorio da parte di piriforme e tensore della fascia lata. Il sistema neuromuscolare dispone di molte strategie e la loro efficacia va valutata durante il compito.

Frattura dell'anca: biomeccanica, fragilità ossea e cadute

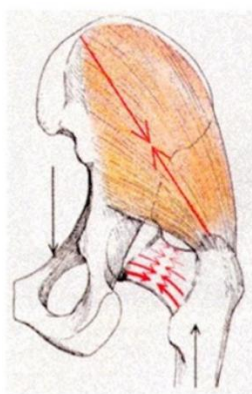


Immagine originale – edizione 2007, p. 12. Schema originale della biomeccanica degli abduttori dell'anca.



Immagine originale – edizione 2007, p. 12. Immagine originale della struttura del collo femorale.

L'edizione originale indicava la postura come "prima e vera causa" della frattura del femore nell'anziano. Questa affermazione viene eliminata. Le fratture dell'anca sono eventi multifattoriali nei quali interagiscono fragilità ossea, età, storia di fratture, farmaci e malattie che riducono la qualità dell'osso, forza muscolare, equilibrio, condizioni ambientali e soprattutto rischio di caduta.

La biomeccanica dell'anca rimane comunque importante. Durante il passo e l'appoggio monopodalico, il collo femorale è sottoposto a combinazioni di compressione, flessione e taglio; i muscoli abduttori contribuiscono alla stabilità della pelvi e modificano le forze articolari. Una buona forza degli arti inferiori e un controllo efficace dell'equilibrio possono ridurre il rischio di

caduta e migliorare la capacità di recuperare una perturbazione ma non rendono irrilevante la resistenza ossea.

Le evidenze più recenti mostrano inoltre che una storia di cadute aumenta il rischio di frattura anche indipendentemente dalla densità minerale ossea. La prevenzione deve integrare valutazione della fragilità scheletrica, attività fisica, forza, equilibrio, vista, farmaci, ambiente domestico e altri fattori individuali. In questo contesto la postura rappresenta una parte del controllo motorio e dell'equilibrio, non la causa primaria della frattura.

Piriforme, dolore sciatico e diagnosi differenziale

La sindrome del piriforme, oggi spesso inclusa nel più ampio concetto di deep gluteal syndrome, può provocare dolore gluteo e sintomi sciatici quando il nervo sciatico viene irritato o compresso nel passaggio profondo della regione glutea. L'anatomia del nervo rispetto al piriforme è variabile e la diagnosi può essere difficile perché i sintomi possono assomigliare a quelli di una radicolopatia lombare.

Il testo originale collegava la sindrome del piriforme a un vicariamento muscolare prodotto dal malposizionamento del bacino e suggeriva che potesse condurre frequentemente a una diagnosi erronea di ernia discale. È più corretto considerare il piriforme tra le possibili cause extra-spinali di sciatalgia, senza attribuirgli una relazione obbligatoria con la postura. Anamnesi, esame neurologico e ortopedico e, quando necessario, imaging o ulteriori indagini permettono di distinguere le diverse condizioni.

Ginocchio, asse dell'arto e sindrome della zampa d'oca

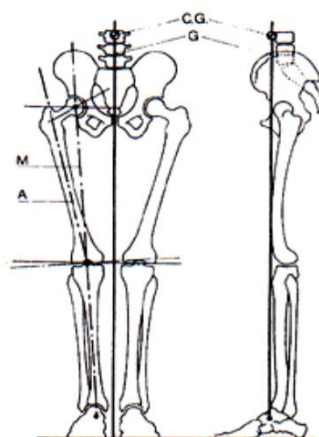


Immagine originale – edizione 2007, p. 13. Schema originale di asse di gravità, asse anatomico e asse meccanico dell'arto inferiore.

Le relazioni tra anca, ginocchio, caviglia e piede sono particolarmente evidenti durante i compiti in catena cinetica chiusa. Rotazioni femorali, controllo del bacino, movimento della tibia e

comportamento del piede possono modificare la direzione delle forze al ginocchio. Valgismo e varismo rappresentano però caratteristiche strutturali o dinamiche che devono essere interpretate in relazione alla persona, al compito e ai sintomi.

La gonartrosi, le meniscopatie e il dolore femoro-rotuleo non derivano automaticamente da un singolo allineamento. Obesità, precedenti traumi, forza, volume di attività, morfologia articolare, età e altri fattori possono avere un peso maggiore. La valutazione dinamica durante squat, salita e discesa, corsa o cammino può fornire informazioni più utili della sola osservazione statica.

Anche la cosiddetta sindrome della zampa d'oca richiede una lettura meno lineare. Dolore e sensibilità nella regione anserina possono associarsi a gonartrosi, sovrappeso, diabete e altri fattori. Un ginocchio valgo o una particolare strategia muscolare possono modificare il carico locale ma non esiste una sequenza obbligatoria nella quale il vasto mediale venga sostituito dai muscoli della zampa d'oca fino a provocare la sindrome.

Postura e cellulite: una correzione necessaria

Nell'edizione del 2007 la cellulite veniva interpretata in larga misura come conseguenza di un vicariamento del tensore della fascia lata e della formazione locale di una riserva di ossigeno ed energia. Questa spiegazione non è supportata dalle conoscenze attuali e viene quindi rimossa.

La cellulite è una condizione complessa del tessuto sottocutaneo, particolarmente frequente nel sesso femminile. La sua comparsa dipende dall'architettura dei setti fibrosi, dalla distribuzione del tessuto adiposo, dalle caratteristiche del derma, da fattori ormonali e genetici e probabilmente da componenti microcircolatorie. Attività fisica, composizione corporea e tono muscolare possono modificare l'aspetto delle regioni interessate ma non esistono prove che una specifica postura o l'iperattività del tensore della fascia lata costituiscano la causa della cellulite.

Una considerazione più generale conserva invece validità: movimento regolare, forza muscolare, composizione corporea adeguata e salute vascolare contribuiscono al benessere dei tessuti e possono migliorare l'aspetto corporeo. Questo beneficio non va confuso con la dimostrazione di una causalità posturale.

Dalla “correzione” alla rieducazione funzionale

La conclusione dell'edizione originale indicava nella rieducazione posturale la soluzione terapeutica e preventiva principale per un ampio insieme di condizioni. L'edizione 2026 mantiene l'importanza della rieducazione ma ne amplia il significato. L'obiettivo è migliorare la

capacità della persona di gestire i carichi e di muoversi con sufficiente variabilità, forza, mobilità, coordinazione e fiducia, non ricondurre il corpo a un allineamento ideale.

Un programma efficace può includere esercizio di forza, lavoro aerobico, mobilità, allenamento dell'equilibrio e del controllo motorio, esposizione graduale ai compiti che provocano difficoltà, educazione ergonomica e modifica temporanea dei carichi. Tecniche manuali e terapie fisiche possono essere utili come strumenti complementari quando favoriscono il movimento o riducono i sintomi ma il loro effetto deve essere inserito in una strategia complessiva orientata alla funzione.

Il principio sistemico rimane quindi centrale ma assume una formulazione più precisa: la postura può modificare il modo in cui le forze vengono gestite e può diventare clinicamente importante quando interagisce con vulnerabilità tissutali e altri fattori. La rieducazione non cerca una geometria perfetta; cerca un organismo più capace di adattarsi.

Edizione originale 2007 – approfondimenti sui problemi muscolo-scheletrici

Segue la sezione del 2007, mantenuta come documento dell'impostazione originaria. L'aggiornamento scientifico 2026 precedente ne chiarisce i limiti e gli elementi ancora validi.

Nei precedenti capitoli abbiamo illustrato le ragioni per cui il terreno piano risulta una causa primaria delle nostre alterazioni posturali. Abbiamo visto inoltre che il nostro sistema posturale reagisce al terreno piano creando una iperlordosi lombare che deve essere compensata, prima di tutto, a livello dorsale con una ipercifosi dorsale e poi con una rettilinizzazione del tratto cervicale. Ma non finisce naturalmente qui, perché questo disallineamento vertebrale comporterà un adattamento, tramite possibili rotazioni su tutti i piani, di tutti e quattro gli arti, del tronco e della testa (con conseguente alterazione dell'apparato stomatognatico). Ognuno di noi compenserà in diversi modi, in base a numerosi fattori (patrimonio genetico, ambiente, attività ecc.), e avrà la sua personale postura (che, di norma, tenderà a peggiorare col tempo, a meno che non venga effettuata un'appropriata prevenzione). Tutto ciò naturalmente tramite inizialmente ipertonicità, ipotonicità, retrazioni e poi fibrosi muscolari con possibili riflessi, come descritto in seguito, in tutto il nostro corpo.

Le alterazioni posturali comportano tensioni e carichi non fisiologici a danno di muscoli, tendini, legamenti, capsule articolari, articolazioni, nervi, periostio ecc. Le articolazioni sottoposte al carico gravitazionale in maniera non equilibrata presenteranno zone che subiranno un sovraccarico, andando così incontro ad artrosi precoce e formazione di osteofiti, e zone sottoposte a un difetto di carico, che comporterà un'osteoporosi precoce. Stress da ipersollecitazioni a carico di tendini e articolazioni inoltre favoriranno l'insorgenza di tendiniti, tenosinoviti, artrosinoviti, borsiti, legamentopatie, neuropatie, calcificazioni, cisti sinoviali, lipomi ecc.

Un allineamento non consono della testa implica, dato il suo peso (oltre 4 kg in un adulto) e la sua posizione, compensazioni di tutto il corpo innescando così potenzialmente un circolo vizioso di effetti perturbanti ascendente-discendente. Oltre a ciò, lateralizzazioni, rotazioni e ante-repulsioni anomale della testa comportano un disallineamento strutturale e funzionale compensatorio sul piano oclusale e quindi sull'apparato stomatognatico. La dentatura che il bimbo forma, a partire dal primo anno di età, si forma in funzione della sua postura, che man mano va assumendo, e dell'utilizzo della lingua che, assieme al piede, risulta essere il più importante conformatore organo-funzionale; la lingua infatti influenza direttamente la crescita mandibolare, mascellare e la morfogenesi delle arcate dentarie. La funzionalità dei muscoli masticatori dovrà, per forza di cose, assecondare la disarmonia presente con riflessi sulle più importanti catene muscolari. In ogni caso, se la postura del cranio (e quindi di tutto il corpo) non

è allineata anche il piano oclusale, di conseguenza, non sarà allineato ma sarà, per quanto possibile, funzionale a quella determinata e unica situazione. Un raddrizzamento ideale del piano oclusale non accompagnato dall'opportuno programma di rieducazione posturale, rischia così di risultare un intervento con ottimi risultati estetici, a livello della bocca ma con risvolti negativi del rachide e quindi della postura in generale. Al contrario, l'intervento odontoiatrico, nell'ambito di un lavoro d'equipè di rieducazione posturale, risulta spesso di preziosa e decisiva utilità.

Quasi sempre il nostro adattamento al terreno piano associa all'iperlordosi lombare una rotazione del bacino: da ciò nasce, a livello del rachide, la comunissima scoliosi funzionale che nei casi più gravi causa, in modo particolare durante la crescita e in età avanzata, deformità vertebrali (scoliosi strutturale). La scoliosi, nella maggioranza dei casi, rimane comunque il miglior atteggiamento possibile che il sistema dell'equilibrio, in un determinato soggetto, riesce a ottenere su un terreno a lui poco congeniale quale è quello piano. Questo spiega il frequente fallimento dei busti correttivi i quali, al prezzo di grossi sacrifici di chi li indossa, una volta tolti, di norma, non riescono a garantire altro che un brevissimo periodo di riallineamento della colonna vertebrale (il tempo sufficiente al sistema posturale per realizzare che la strutturazione più funzionale per quel determinato soggetto in quella determinata situazione prevede una scoliosi vertebrale).

In determinate zone critiche della colonna vertebrale (ultime vertebre inferiori cervicali e lombari) il disallineamento comporta la creazione di momenti di forza in grado, col tempo, di provocare veri e propri scivolamenti in avanti o dietro, listesi o spondilolistesi, di una vertebra rispetto all'adiacente che, nei casi più gravi, si accompagnano a rottura, lisi, di un determinato frammento, istmo vertebrale, della vertebra slittata (spondilolisi). La spondilolistesi ha come prima conseguenza una forte contrazione, praticamente costante, dei muscoli interessati a impedire in ogni modo lo scivolamento vertebrale (muscoli delle docce paravertebrali); non c'è, in questo caso, massaggio, stretching, mobilizzazione articolare che possa risolvere tale situazione. La soluzione sarà modificare permanentemente l'atteggiamento posturale in modo da annullare quei momenti di forza agenti sulla vertebra la cui risultante è una forza che sposta la vertebra dalla sua sede originale. Dopodichè si potrà intervenire efficacemente con la fisioterapia.

Il disallineamento, lo scivolamento e la rotazione delle vertebre sono la causa del restringimento, oltre ai processi degenerativi osteofitici dovuti al sovraccarico, del foro di coniugazione o intervertebrale che spesso accade, in particolare, nelle zone inferiori del tratto lombare e cervicale, dove sono presenti, rispettivamente, gli importanti plessi nervosi brachiale e sacrale. Questo restringimento, solitamente associato a forti contratture dei muscoli paravertebrali profondi, è in grado di irritare il nervo spinale che lo attraversa che proietterà così dolore (neuropatie da fibrosi della radice nervosa), parestesie, disfunzioni ecc., nella regione del corpo

da lui innervata. È questa spesso la vera ragione delle diagnosi errate (e quindi del fallimento dei relativi interventi chirurgici) di ernie del disco, periartriti scapolo-omerali, epicondiliti, epitrocleiti, sindrome del tunnel carpale. Oltre a simulare ma spesso anche essere concomitante a tali sindromi, il meccanismo sopracitato è in grado di provocare, a esempio, cervicalgia, brachialgia, dorsalgia, lombalgia, lombo-sciatalgia, sciatalgia e ulteriori problemi organici descritti nel prossimo capitolo.

Sempre a livello del rachide, disallineamenti, tensioni e sovraccarichi rappresentano un terreno fertile per discopatie, protrusioni ed ernie discali, spesso a carico dei dischi intervertebrali delle ultime vertebre cervicali e lombari. Le tensioni e i processi infiammatori derivanti dalla cerniera cervico-dorsale si manifestano in, taluni casi, come accumulo di tessuto adiposo definito “gobba del bisonte”.

Tensioni e posture non fisiologiche del cingolo scapolo-omeroale sfociano spesso, col passare del tempo, in conflitti sub-acromiali e patologie a carico della cuffia dei rotatori.

Il malposizionamento del bacino porta, come conseguenza, rotazioni anomale dei colli femorali. Ciò creerà tensioni nell'articolazione coxofemorale a livello della capsula articolare, dei legamenti, dei tendini dei muscoli interessati con possibili conseguenze quali coxalgia e pubalgia (per infiammazione del legamento inguinale) oltre ad artrosi precoce articolare (coxartrosi) a causa dello squilibrio ponderale. Inoltre, un'asimmetria a livello del bacino (un emibacino più antiverso o retroverso rispetto all'altro) è in grado di simulare una falsa dismetria degli arti inferiori.

Relativamente alla comune e temuta frattura del femore in età avanzata, solitamente la causa viene attribuita all'osteoporosi avanzata. In realtà la prima e vera causa è di origine posturale. Durante la locomozione, quando l'arto inferiore, nella fase monopodolica, sopporta il peso del corpo, l'articolazione coxofemorale trasmette la sollecitazione al collo del femore che agisce come trave a sbalzo, ancorata a un estremo alla diafisi femorale (struttura di sostegno) e sottoposta, all'altro estremo, al peso del corpo. In stazione monopodolica, il centro di gravità si sposta verso il lato opposto a quello d'appoggio (aumentando il braccio di leva di circa 3 volte) e il momento della forza peso derivante fa sì che i muscoli abduttori debbano esercitare una forza 3 volte maggiore di quella del peso del corpo per mantenere la pelvi orizzontale; il peso che agisce sull'articolazione coxofemorale, dal lato in appoggio, è quindi circa 4 volte il peso del corpo. Grazie al loro decorso parallelo al collo femorale, quando il bacino è in posizione corretta, gli abduttori, in particolare i muscoli piccolo e medio gluteo, contraendosi spingono longitudinalmente il collo femorale dentro la cavità acetabolare. Tale compressione si sovrappone alla spinta di flessione del collo femorale dovuta alla forza peso. In condizione fisiologiche si crea sul collo femorale un

gradiente di sollecitazione in cui la compressione è minima sulla parte superiore e massima sulla parte inferiore. Per tale ragione, infatti, la base del collo femore umano presenta un robusto strato di osso compatto molto resistente alla compressione (meno alla flessione), mentre il resto è formato da osso poroso. L'azione fisiologica degli abduttori consente quindi a un osso apparentemente fragile (ed esso in realtà lo è nei riguardi della flessione) di far fronte a un grosso carico. Purtroppo, quando il bacino non è posizionato correttamente, il sistema tonico posturale durante l'appoggio monopodalico recluta solo parzialmente i muscoli piccolo e medio gluteo ed è costretto a vicariare, in buona parte, con altri muscoli, tra cui i più significativi sono il breve e tenace muscolo piriforme (che origina sulla superficie anteriore del sacro, tra S2 e S4, e si inserisce sul margine superiore del grande trocantere) e il lungo e nastriforme muscolo tensore della fascia lata (che ha origine sulla spina iliaca anteriore superiore e su parte del labbro esterno della cresta iliaca e si inserisce, tramite il tratto ileo-tibiale, sul condilo laterale tibiale laterale). Ciò comporta varie conseguenze. La più importante è che viene comunque a mancare la fisiologica compressione del femore che gli consentirebbe di ben tollerare le forze di flessione derivanti dal peso del corpo esponendolo, col passare degli anni e l'aumento dell'osteoporosi, al rischio di frattura. In secondo luogo, l'ipersollecitazione del muscolo piriforme favorisce la temuta sindrome del piriforme in cui la sua alterazione strutturale (aumento volume e rigidità) irrita il nervo sciatico (che, a seconda dei casi, passa inferiormente, superiormente o attraverso il muscolo piriforme) irradiando così dolore e parestesie nella zona glutea e dell'arto inferiore (sciatalgia) inducendo talvolta a una errata diagnosi di ernia del disco lombare. Infine vi è un riflesso negativo di tipo estetico-fisiologico ossia glutei poco sodi e cellulite. È risaputo che, a riguardo, diete, creme, terapie farmacologiche (a esempio mesoterapia) ecc. possono ben poco e comunque non sono in grado di procurare miglioramenti duraturi. D'altronde non sono poche le ragazze anoressiche che presentano, nonostante la loro estrema magrezza, accumuli di grasso e cellulite sulle cosce. Il motivo di ciò è che in realtà si tratta di una problematica perlopiù posturale. Infatti, il reclutamento del muscolo tensore della fascia lata in appoggio monopodalico, per le motivazioni precedentemente descritte, fa sì che l'organismo, per supportare l'accresciuto dispendio energetico di questo sottile e lungo muscolo situato sulla parte laterale della coscia, crei intorno a esso un magazzino di riserva di ossigeno ed energia supplementare: la cellulite. Ulteriori contributi alla formazione di cellulite deriveranno naturalmente anche da altri fattori quali: cattive circolazioni (che, come vedremo nel prossimo capitolo, è spesso di origine posturale), sedentarietà, abitudini alimentari scorrette, stress, inquinamento ambientale, predisposizione genetica ecc. Così, le conseguenze di una postura scorretta possono anche essere glutei poco sodi (per difetto di utilizzo dei muscoli piccolo e medio gluteo) e cellulite (per eccesso di utilizzo del muscolo tensore della fascia lata). Lo snellimento di cosce e fianchi e il

rassodamento dei muscoli glutei e addominali, ottenuti dopo una rieducazione posturale, non fa altro che confermare che salute e bellezza vanno di pari passo.

Ulteriore problematica scaturita da un vicariamento muscolare, sempre a causa di un'alterazione posturale con posizionamento non fisiologico del bacino, è la sindrome della zampa d'oca. In particolare, in presenza di ginocchio valgo, il nostro sistema di equilibrio ritiene più conveniente che, buona parte del lavoro di stabilizzazione dell'arto inferiore durante la deambulazione svolto fisiologicamente dal muscolo vasto mediale, venga effettuato tramite il complesso dei muscoli della zampa d'oca (sartorio che extraruota, semitendinoso che intraruota e gracile che stabilizza il lavoro dei primi due). In tal modo il sovraccarico di lavoro non fisiologico a cui questi muscoli sono sottoposti favorisce l'insorgenza di tendinopatia a livello della loro inserzione comune (superficie mediale della parte superiore della tibia). Oltre all'algia, tale sindrome presuppone naturalmente problematiche evolutive da carico C.G. = centro di gravità squilibrato a danno di tutto l'arto inferiore e, in modo G = asse di gravità particolare, del ginocchio. A = asse anatomico M = asse meccanico Alterazioni della posizione delle anche, intra o extrarotazione femorali, accompagnate di conseguenza da adduzioni o abduzioni del femore, si riflettono, a loro volta, inevitabilmente sul ginocchio. Anche qui saranno quindi possibili tensioni e carichi alterati di tutti i componenti dell'articolazione. Gonalgia, alterazioni strutturali delle ginocchia in valgismo o in varismo, meniscopatie e gonartrosi ne sono le manifestazioni più evidenti.

Procedendo verso il basso avremo possibili problematiche all'articolazione tibio-tarsica che potrà anch'essa avere un atteggiamento in valgo o in varo nonché tensioni e usure precoci ai suoi componenti strutturali, e infine al piede, di cui abbiamo parlato nel precedente capitolo.

Postumi di eventi traumatici e cattive abitudini di vita (cicatrici importanti, respirazione scorretta, disfunzioni miofunzionali, stress, alimentazione poco appropriata ecc.) potranno naturalmente velocizzare i processi degenerativi e limitare i miglioramenti nel ripristino posturale.

Risulta evidente che la soluzione terapeutica nonché preventiva a tutte queste problematiche non può essere che un personalizzato e professionale programma di rieducazione posturale. L'importanza di ciò risulta ancora più evidente se si pensa che spesso alle problematiche sopra descritte si accompagnano problematiche organiche di origine posturale, trattate nel prossimo capitolo.

5. Disfunzioni organiche di origine posturale

Dal concetto di “origine posturale” alle relazioni sistemiche



Immagine originale – edizione 2007, p. 14. Rappresentazione posturale originale introduttiva alle relazioni sistemiche.

Il titolo di questo capitolo viene mantenuto per continuità con l'edizione originale del 2007 ma la sua interpretazione deve essere aggiornata. Nel testo originario numerose problematiche urologiche, ginecologiche, viscerali, circolatorie, vestibolari e cognitive venivano ricondotte, direttamente o indirettamente, ad alterazioni della postura. Le conoscenze attuali non consentono di sostenere una relazione causale così generale. La postura può influenzare alcune funzioni attraverso la meccanica respiratoria, la gestione delle pressioni, il movimento, l'attività muscolare e l'integrazione sensoriale ma una malattia organica possiede di norma un'eziologia multifattoriale che richiede una diagnosi specifica.

L'impostazione sistemica conserva comunque un valore importante quando viene formulata in termini bidirezionali. Respirazione, dolore viscerale, funzione vestibolare, stato cardiovascolare, stanchezza, stress e molte patologie neurologiche possono modificare il modo in cui una persona sta in piedi e si muove; nello stesso tempo, movimento, posizione del corpo e attività muscolare possono modulare temporaneamente alcune funzioni fisiologiche. Il punto essenziale consiste quindi nel distinguere tra relazione fisiologica, associazione clinica e causalità patologica.

Fascia e matrice extracellulare: continuità sì, causalità automatica no

La prima edizione introduceva la fascia come una rete connettivale ubiquitaria capace di collegare le diverse regioni corporee. Questo concetto anatomico rimane valido e oggi può essere descritto con maggiore precisione. Il sistema fasciale comprende tessuti connettivi continui che avvolgono e separano muscoli, nervi, vasi e organi; esso partecipa alla trasmissione

delle forze, contiene una ricca innervazione sensoriale e risponde agli stimoli meccanici attraverso processi di rimodellamento cellulare e della matrice extracellulare.

La continuità anatomica non dimostra però che una tensione fasciale in un distretto produca necessariamente una disfunzione di un organo lontano. La meccanotrasduzione e il rimodellamento fasciale costituiscono campi di ricerca in rapida evoluzione e alcune ipotesi sistemiche sono biologicamente plausibili ma i passaggi causali devono essere dimostrati caso per caso. Il Volume II approfondisce in modo specifico matrice extracellulare, fascia, meccanotrasduzione e tensegrità.



Figura 6 – Dalla rappresentazione sistemica dell'edizione 2007 al modello 2026. Le relazioni tra postura, movimento e funzioni organiche sono considerate bidirezionali e specifiche; la continuità anatomica non implica una causalità patologica automatica.

Bacino, pavimento pelvico, continenza e parto

Nel testo del 2007 venivano attribuiti a un posizionamento non corretto del bacino fenomeni quali stasi urinaria, uretriti e incontinenza dovute a una presunta alterazione della posizione della vescica. Queste affermazioni non vengono mantenute. L'incontinenza urinaria è una condizione multifattoriale nella quale possono intervenire gravidanza e parto, età, stato ormonale, obesità, patologie neurologiche, chirurgia, pressione intra-addominale e funzione del pavimento pelvico. L'allenamento specifico della muscolatura del pavimento pelvico possiede un'efficacia documentata in numerosi contesti ma la sola geometria posturale del bacino non permette di spiegare la continenza.

Esiste invece una reale coordinazione tra pavimento pelvico, diaframma, parete addominale e muscoli del tronco durante respirazione, sollevamento di carichi, tosse e movimento. La posizione del corpo può modificare le richieste meccaniche e la distribuzione delle pressioni e può essere utilizzata come una delle variabili della riabilitazione. Questa relazione funzionale

non equivale però a dimostrare che una singola antiversione, retroversione o iperlordosi sia causa di una disfunzione urologica o ginecologica.

Anche il passaggio dedicato al parto richiede una revisione. L'edizione originale suggeriva che una marcata iperlordosi potesse ostacolare meccanicamente la fuoriuscita del bambino contro la sinfisi pubica. Le evidenze attuali sostengono piuttosto che la posizione materna durante il travaglio possa modificare comfort, mobilità del bacino, durata delle fasi del parto e alcuni esiti ostetrici. Posizioni erette, laterali o comunque libere possono risultare vantaggiose in determinate condizioni ma il meccanismo non può essere ridotto alla semplice eliminazione dell'iperlordosi e la scelta deve sempre inserirsi nella gestione ostetrica individuale.

Collo, cefalea e circolazione vertebro-basilare

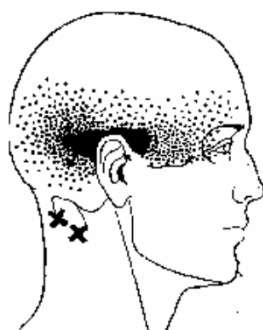


Immagine originale – edizione 2007, p. 15. Schema originale del distretto cervicale e delle aree di possibile irritazione.

Il distretto cervicale può contribuire ad alcuni tipi di cefalea. La cefalea cervicogenica è riconosciuta come una forma nella quale strutture cervicali possono generare dolore riferito alla testa; inoltre, le connessioni anatomiche tra muscoli suboccipitali, membrane atlanto-occipitali e dura madre, descritte come myodural bridge, sono state documentate anatomicamente. Il significato clinico di queste connessioni deve però essere interpretato con prudenza e non consente di attribuire genericamente cefalea, nausea, disturbi oculari, acufeni o problemi di equilibrio a una "tensione posturale" del collo.

La prima edizione collegava inoltre contratture cervicali e restringimenti foraminali a problemi della circolazione vertebrale, cali della vista, difficoltà di memoria e invecchiamento cerebrale precoce. Questa catena causale viene eliminata. Le revisioni emodinamiche mostrano che nella maggior parte delle persone sane i comuni movimenti del capo non determinano variazioni clinicamente rilevanti del flusso cerebrale, anche se posizioni estreme possono modificare il flusso nell'arteria vertebrale. Sintomi neurologici, visivi, vestibolari o vascolari nuovi o importanti richiedono pertanto una valutazione medica e non devono essere interpretati come semplici manifestazioni posturali.

Respirazione e diaframma: una relazione realmente bidirezionale

Il rapporto tra respirazione e controllo posturale rappresenta uno dei collegamenti fisiologici più solidi trattati in questo capitolo. Il diaframma non svolge soltanto una funzione ventilatoria; partecipa anche alla regolazione della pressione intra-addominale e al controllo del tronco. Durante alcuni movimenti degli arti la sua attività viene modulata in anticipo, mentre un aumento della richiesta respiratoria può interferire con le strategie di stabilizzazione. Una revisione sistematica del 2024 conferma che un incremento acuto della domanda respiratoria può modificare il controllo posturale.

La configurazione del torace, la mobilità costale, la forza dei muscoli respiratori e la posizione del tronco possono influenzare la meccanica della respirazione; nello stesso tempo, dispnea e aumento del lavoro ventilatorio possono modificare postura e movimento. Non viene invece mantenuta l'idea secondo cui un "diaframma retratto" provochi in modo generale alterazioni circolatorie o viscerali. La funzione respiratoria deve essere valutata in termini di mobilità, coordinazione, tolleranza allo sforzo e presenza di eventuali patologie respiratorie o cardiache.

Piede, caviglia, polpaccio e ritorno venoso

L'edizione originale descriveva correttamente l'importanza del movimento del piede e del polpaccio nel ritorno venoso degli arti inferiori. Durante la deambulazione la compressione delle vene plantari, il movimento della caviglia e la contrazione dei muscoli del polpaccio collaborano con le valvole venose per favorire la progressione del sangue verso il cuore. La pompa muscolare del polpaccio rappresenta uno dei principali meccanismi del ritorno venoso e la sua ridotta efficacia si associa alla gravità della malattia venosa cronica.

Va però corretta la sequenza secondo cui uno squilibrio posturale del piede comprimerebbe un "nodo vascolare" mediale producendo edema, varici, linfedema o flebite. Queste condizioni possiedono cause vascolari e linfatiche specifiche e non devono essere ricondotte automaticamente alla postura. Mobilità della caviglia, forza del polpaccio, quantità di cammino e qualità della deambulazione possono influenzare l'efficienza della pompa venosa; quando sono presenti edema persistente, dolore, alterazioni cutanee o sospetto trombotico è necessaria una valutazione medica vascolare.

Stress, emozioni, propriocezione e postura

L'intuizione originaria secondo cui stato emotivo e postura possano influenzarsi reciprocamente rimane pertinente ma richiede una formulazione meno assoluta. Stress, paura e altri stimoli emotivi possono modificare tono muscolare, respirazione, velocità dei movimenti e strategie di equilibrio. Le revisioni posturografiche recenti mostrano che gli stimoli emotivi possono modificare le oscillazioni del centro di pressione ma i risultati variano molto tra studi e persone.

Anche la propriocezione contribuisce alla rappresentazione del corpo e dello spazio e partecipa alla costruzione del senso di posizione e di movimento. Tuttavia non è corretto dedurre che la

modifica della postura permetta di controllare direttamente pensieri ed emozioni oppure che una rieducazione posturale costituisca di per sé un trattamento dei disturbi psicologici. Nei soggetti nei quali stress, ansia, disturbi del sonno o altre componenti psicologiche contribuiscono ai sintomi, il percorso più efficace integra intervento motorio, educazione e, quando indicato, supporto psicologico o medico.

Quando la disfunzione organica viene prima della postura

Un passaggio dell'edizione del 2007 conserva un'importanza particolare: numerose patologie primarie possono modificare secondariamente la postura. Disturbi visivi o vestibolari, malattie neurologiche, patologie respiratorie e cardiocircolatorie, dolore viscerale, alterazioni del pavimento pelvico, malattie reumatologiche, cicatrici importanti e molte altre condizioni possono cambiare il modo in cui una persona mantiene l'equilibrio o organizza il movimento.

In questi casi la valutazione posturale non deve diventare una scorciatoia diagnostica. Il professionista deve riconoscere quando il quadro richiede un approfondimento specialistico e deve dare priorità alla diagnosi e al trattamento della condizione primaria. La rieducazione motoria potrà successivamente affiancare il percorso medico quando può migliorare forza, equilibrio, respirazione, tolleranza allo sforzo, mobilità o gestione dei sintomi.

Il principio clinico: integrare senza sovrainterpretare

Il corpo funziona come un sistema integrato e le diverse funzioni non possono essere realmente isolate le une dalle altre. Questa impostazione, centrale fin dalla prima edizione, rimane il filo conduttore dell'opera. L'aggiornamento scientifico introduce però una regola indispensabile: l'esistenza di una connessione anatomica o fisiologica non dimostra automaticamente che una variazione posturale sia la causa di una malattia organica.

La valutazione deve integrare postura e movimento con anamnesi, segni clinici, sintomi, capacità funzionale e, quando necessari, esami medici specifici. Il valore della posturologia non risiede nella possibilità di spiegare ogni disturbo attraverso un unico schema ma nella capacità di osservare come più sistemi interagiscono nella persona reale e di riconoscere quali relazioni siano effettivamente rilevanti in quel caso.

Edizione originale 2007 – approfondimenti sulle relazioni organiche

I contenuti del 2007 sono riportati nel punto tematico a cui appartengono. Per la loro lettura scientifica vale la revisione 2026 appena esposta.

Per comprendere come le alterazioni della postura e quindi del sistema posturale viste nel precedente capitolo possano interessare anche gli altri organi del corpo, occorre introdurre il concetto di tessuto connettivale o fascia connettivale. Il tessuto connettivo è in realtà un vero e proprio secondo scheletro, questa volta fibroso, che connette tutte le varie parti del nostro organismo. La fascia connettivale forma una rete ubiquitaria che avvolge, sostiene e collega tutte le unità funzionali del corpo, partecipando in maniera importante al metabolismo generale. L'importanza fisiologica di questo tessuto è in realtà maggiore di quanto si supponga normalmente. Esso costituisce circa il 16% del peso corporeo e prende parte alla regolazione dell'equilibrio acidobase, del metabolismo idrosalino, dell'equilibrio elettrico e osmotico, della circolazione sanguinea (in particolare venosa) e della conduzione nervosa (riveste e forma la struttura portante dei nervi ed è sede di numerosissimi recettori sensoriali, inclusi gli esterocettori e i propriocettori nervosi), assumendo pertanto un ruolo fondamentale anche all'interno del sistema dell'equilibrio (sistema tonico posturale). Tramite la fascia connettivale i muscoli si strutturano e funzionano come catene muscolari. In conclusione, il tessuto connettivale risulta un sicuro protagonista nella determinazione della postura individuale. È facile ora immaginare come malposizioni delle varie parti del nostro corpo siano in grado di creare tensioni sia fisiche sia fisiologiche agli organi interessati.

Così, a esempio, uno scorretto posizionamento del bacino potrà comportare difficoltà a tutti gli organi in esso contenuti con conseguenti potenziali problematiche di tipo urologico, ginecologico e viscerale. A riguardo sono già state dimostrate uretriti, causate da stasi di urina in anse anomale degli ureteri, e problemi di incontinenza, derivati dal posizionamento anomalo della vescica. Non solo, un'eccessiva iperlordosi lombare può ostacolare fisicamente la fuoriuscita del bimbo durante il parto. Il bambino, infatti, in tale situazione, troverà facilmente sulla strada la sinfisi pubica, ovvero la parte scheletrica posta al centro del bacino inferiore della madre, invece della via di uscita. Sono questi, a esempio, i casi in cui il parto viene facilitato se la madre si posiziona rannicchiata su un fianco (eliminando così l'iperlordosi lombare).

Ulteriori disfunzioni possono derivare, come abbiamo visto nel precedente capitolo, dal restringimento del foro di coniugazione vertebrale (foro intervertebrale), dovuto al disallineamento vertebrale, associato a contrazione e retrazione muscolare (in particolare dei muscoli paravertebrali profondi), con conseguente danno delle fibre neurovegetative e dei nervi spinali che interessano in maniera diretta o indiretta gli organi toracici, addominali e pelvici.

Tensioni, contratture e retrazioni a livello dei muscoli cervico-dorsali e cervicali (in particolare della zona suboccipitale), spesso associate a problematiche posturali e stomatognatiche (e di stress), favoriscono l'insorgenza di cefalee, nausea, dolori oculari e cali della vista, dolori dentari, acufeni, problemi d'equilibrio, problemi di memoria, concentrazione e invecchiamento cerebrale precoce. Tali muscoli, infatti, oltre a interferire con i nervi spinali cervicali (direttamente o indirettamente tramite il disallineamento vertebrale e il conseguente restringimento del foro di coniugazione), sono in grado di creare problematiche circolatorie, in particolare a danno dell'arteria vertebrale (che attraversa le apofisi trasverse delle vertebre cervicali), e irritative. Relativamente a quest'ultime, occorre considerare che i muscoli trapezio e sternocleidomastoideo sono gli unici muscoli posturali ad avere innervazione cranica, tramite l'XI nervo cranico (nervo accessorio spinale), la cui irritazione è in grado di irradiare dolori in diversi distretti del capo. Ulteriore spina irritativa, stavolta a livello meningeo, è rappresentata dal muscolo piccolo retto inferiore (piccolo muscolo della zona suboccipitale che si inserisce tra prima vertebra cervicale e la base del cranio) che è a stretto contatto con la dura madre ed è in grado di innescare cefalee. È inoltre ormai assodato che i nuclei del V nervo cranico, trigemino (nervo principalmente sensitivo), interessano fino alla II-III vertebra cervicale. Infine, un ipertono dei muscoli massetere, sternocleidomastoideo e del ventre posteriore del digastrico è in grado di controrotare le ossa temporali e quindi gli organi vestibolari in esse contenuti causandone uno scoordinamento funzionale, contribuendo così all'insorgenza di disfunzioni labirintiche. Nonostante tutto ciò, il collo, zona cruciale per il benessere dell'intero organismo (basti pensare che è attraverso tale "strettoia" che transita il nutrimento del nostro encefalo), risulta probabilmente essere, negligenemente (e stupidamente), la parte del corpo più trascurata e maltrattata dallo stile di vita "imposto" dalla moderna società.

Una cattiva postura può comportare una respirazione poco fisiologica con conseguente alterazione dei muscoli respiratori e in particolare del muscolo diaframma, il quale essendo a stretto contatto con gli organi vitali di addome e torace ne condiziona la fisiologia. Inoltre un diaframma in retrazione favorirà problematiche circolatorie, dato il suo fondamentale ruolo come pompa per il ritorno sanguigno tramite l'azione di pressione-depressione sugli organi toracici e addominali, e l'iperlordosi lombare, date le sue inserzioni sul rachide lombare.

Riguardo i problemi circolatori dei liquidi corporei negli arti inferiori, in particolare, occorre considerare la presenza del nodo vascolare e nervoso situato a livello del malleolo mediale della caviglia. Tale nodo risulta cruciale per il ritorno venoso ma spesso, essendo sottoposto a tensioni per squilibri posturali (piede in appoggio in eversione), non riesce a svolgere fisiologicamente la sua funzione. A ciò va aggiunto che una postura scorretta comporta, come abbiamo già visto, un

non fisiologico avvolgimento-svolgimento del piede durante il passo e quindi una possibile spinta propulsiva della circolazione venosa insufficiente. Durante la deambulazione, infatti, il piede (suola venosa di Lejars), la caviglia e il polpaccio formano un'unità anatomo-funzionale che funge da "cuore periferico". Inoltre, occorre ricordare l'importanza della fascia connettivale riguardo la circolazione. Retrazioni e aderenze delle fasce risultano ostacoli circolatori. Le conseguenze di tutto ciò possono essere edemi per stasi circolatorie, senso di stanchezza e irrequietezza degli arti inferiori, vene varicose (varici), linfoedema, flebiti ecc.

In realtà, man mano che gli studi e le ricerche di posturologia procedono appaiono sempre più numerose le problematiche legate alla postura. Queste, oltre alla sfera prettamente fisica e organica, interessano, per forza di cose, anche la sfera psichica. Dopo la nascita della psiconeuroendocrinoimmunologia, ovvero di quella scienza che ha dimostrato in maniera oggettiva la stretta integrazione di tutti i sistemi del nostro corpo, mente inclusa, non si può più negare la grande influenza che una determinata postura può avere nella sfera psichica dell'individuo e viceversa.

La propriocezione, la coscienza di sé, deriva dalle informazioni dei recettori sensoriali situati nei tendini, nei muscoli, nell'articolazioni e nei visceri, nella cute, nell'apparato vestibolare e negli occhi. Da loro dipende la consapevolezza riguardo la nostra "conformazione" e posizione spaziale; in qualche misura, per rispondere alla domanda "chi sono io?", occorre anche rispondere alla domanda "dove sono io?". Azioni e movimenti hanno un ruolo centrale nei processi di rappresentazione mentale, a partire dalla fase embrionale. L'embrione, infatti, è innanzitutto un organismo motorio. Nella fase embrionale, in quella fetale e in quella della prima infanzia, l'azione precede la sensazione: vengono compiuti dei movimenti riflessi e poi se ne ha la percezione. Le funzioni motorie e il corpo, considerati in molte culture come entità inferiori e subordinata alle attività cognitive e alla mente, sono invece all'origine di quei comportamenti astratti di cui siamo fieri, compreso lo stesso linguaggio che forma la nostra mente e nostri pensieri. Perdere il controllo sul proprio corpo significa, di conseguenza, perdere il controllo sui propri pensieri ed emozioni. Nello stesso tempo, lo stress, e più precisamente lo stress negativo o distress, imperversante nel mondo "civile" porta sempre con sé, ben stratificato nel nostro inconscio, l'istinto atavico di sopravvivenza. La lotta e/o la fuga restano gli obiettivi della risposta fisiologica allo stress con le conseguenti tensioni muscolari ad arti, spalle, schiena, mandibole, quali strumenti che meglio assolvono tale compito. Tali tensioni, se protratta a lungo, come accade in situazioni di stress cronico, comportano varie conseguenze a tutto l'organismo, incluse quelle posturali. Modificare la postura significa quindi incidere anche sulla psiche e viceversa e, anche

se questo è un mondo ancora tutto da scoprire, la rieducazione posturale dovrà, per forza di cose, tenerne conto.

È bene infine ricordare l'esistenza di disfunzioni organiche primarie, ossia di origine non posturale ma in grado di comportare secondariamente alterazioni posturali (patologie di vista, udito, vestibolo, apparato stomatognatico, respiratorie, gastroenteriche, neurologiche, autoimmuni, cicatrici importanti ecc.). In questo caso, occorrerà dare la precedenza alle relative cure e trattamenti specialistici (cure farmacologiche, rieducazione vestibolare, visiva ecc.) nel protocollo di rieducazione posturale. Da qui l'importanza di un'accurata e completa diagnosi iniziale.

6. Esame e rieducazione posturale

Valutare una persona, non una fotografia

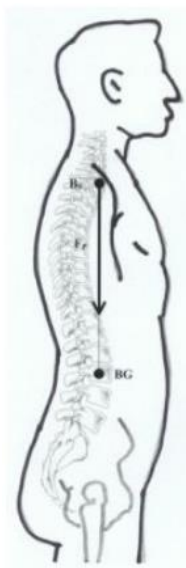


Immagine originale – edizione 2007, p. 17. Schema originale utilizzato per introdurre il riallineamento e la valutazione posturale.

Nell'edizione del 2007 l'esame posturale veniva presentato soprattutto come uno strumento per individuare alterazioni dell'allineamento e progettare un programma capace di "normalizzare" il baricentro e il sistema tonico posturale. L'impostazione attuale conserva il valore dell'osservazione globale ma modifica l'obiettivo. La valutazione non deve cercare una postura geometricamente perfetta; essa deve comprendere come la persona mantiene l'equilibrio, come si muove, quali strategie utilizza, quali compiti provocano difficoltà e quali fattori possono modificare la capacità di adattamento.

Una deviazione morfologica, una differenza tra i due lati o una variazione del centro di pressione rappresentano dati descrittivi. Questi dati acquistano significato clinico soltanto quando vengono integrati con anamnesi, sintomi, capacità funzionale, storia degli infortuni, attività

quotidiane e sportive, condizioni mediche e obiettivi della persona. La tecnologia può ridurre una parte della variabilità legata all'osservatore ma non elimina il bisogno di ragionamento clinico.

VALUTAZIONE POSTURALE INTEGRATA 2026



Figura 7 – Percorso della valutazione posturale integrata. L'esame strumentale costituisce una parte del processo e deve essere interpretato insieme a storia clinica, funzione e risposta al carico.

Anamnesi, triage e obiettivi funzionali

L'esame dovrebbe iniziare prima della misurazione. L'anamnesi deve chiarire sede, intensità e andamento dei sintomi, rapporto con il movimento e con il carico, precedenti traumi o interventi, attività lavorativa e sportiva, sonno, farmaci, eventuali patologie neurologiche, vestibolari, visive o sistemiche e obiettivi prioritari della persona. La presenza di segnali di allarme, deficit neurologici progressivi, trauma significativo, febbre, perdita di peso non spiegata, sintomi vascolari o altri elementi sospetti richiede una valutazione medica appropriata prima di attribuire il quadro a un problema posturale.

Gli obiettivi devono essere formulati in termini funzionali e verificabili. Camminare senza instabilità, restare in piedi più a lungo, recuperare un gesto sportivo, ridurre il dolore durante un'attività oppure migliorare la tolleranza a un carico rappresentano obiettivi clinicamente più utili rispetto alla semplice ricerca della simmetria.

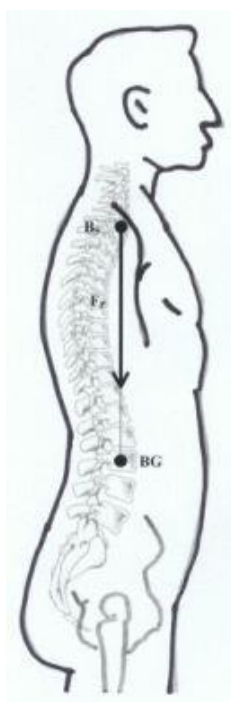
Osservazione clinica e fotogrammetria



Immagine originale – edizione 2007, p. 17. Esempio originale di biometria digitalizzata e analisi morfologica.

L'osservazione della postura in ortostasi conserva una funzione descrittiva. La posizione di capo, scapole, rachide, bacino, ginocchia e piedi può essere documentata e confrontata nel tempo quando esiste una domanda clinica precisa. La fotogrammetria digitale consente di misurare angoli e distanze a partire da punti di repere anatomici; alcuni protocolli mostrano una buona o eccellente affidabilità quando il posizionamento, la distanza della camera, i marker e le procedure vengono standardizzati.

Le misure fotografiche non possiedono però la stessa validità per ogni distretto e per ogni parametro. Una revisione sistematica con meta-analisi pubblicata nel 2026 sulle applicazioni smartphone ha rilevato un'affidabilità elevata per alcune misure, tra le quali l'angolo craniovertebrale ma ha anche evidenziato eterogeneità metodologica e limiti nella validazione di altri parametri. Il principio operativo deve essere semplice: una misura affidabile può documentare una caratteristica o un cambiamento ma non dimostra, da sola, la causa di un sintomo.



Stabilometria e posturografia: misurare il controllo dell'equilibrio

La stabilometria e la posturografia misurano il comportamento del centro di pressione e altre variabili durante compiti statici o dinamici. Le prove possono essere eseguite a occhi aperti o chiusi, su superfici differenti oppure con perturbazioni controllate. Questi strumenti consentono di quantificare l'oscillazione posturale e, con protocolli specifici, di esplorare il modo in cui il sistema utilizza informazioni visive, vestibolari e somatosensoriali.

L'interpretazione richiede però condizioni di acquisizione rigorosamente standardizzate. Una revisione sistematica e meta-analisi del 2024 ha rilevato una marcata eterogeneità tra

protocolli, parametri e valori normativi e ha mostrato che età, sesso, posizione dei piedi, caratteristiche antropometriche e attività fisica possono influenzare l'oscillazione. La posturografia è quindi utile per quantificare una prestazione e seguirne l'evoluzione ma non identifica automaticamente la struttura responsabile di un disturbo né permette di diagnosticare da sola una "alterazione posturale globale".

Baropodometria e pressioni plantari

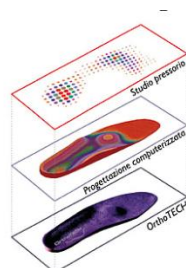


Immagine originale – edizione 2007, p. 17. Schema originale del processo baropodometrico/plantare computerizzato.

La baropodometria misura la distribuzione delle pressioni plantari, le aree di contatto, i tempi di appoggio e, a seconda del sistema, la traiettoria del centro di pressione. L'esame dinamico durante il cammino fornisce informazioni diverse e spesso più funzionali rispetto alla sola fotografia statica dell'appoggio. Questi dati possono risultare utili nella valutazione del piede, nella documentazione di specifici sovraccarichi, nella gait analysis e nella verifica dell'effetto di una calzatura o di un'ortesi.

La qualità dei dati dipende dall'hardware, dalla risoluzione dei sensori, dalla calibrazione, dal numero di passi, dalla velocità e dal protocollo. Studi recenti mostrano che alcune piattaforme possono raggiungere una buona affidabilità in condizioni standardizzate; i risultati non autorizzano però a considerare tutti i sistemi equivalenti o a derivare da una mappa pressoria una diagnosi dell'intera postura. La baropodometria misura ciò che accade all'interfaccia piede-suolo e il suo valore aumenta quando viene interpretata insieme alla clinica e alla cinematica.

Strumento	Cosa misura	Utilità principale	Limite da ricordare
Fotogrammetria	angoli e distanze	documentazione morfologica e follow-up	non dimostra causalità
Stabilometria / posturografia	oscillazione e centro di pressione	quantificazione dell'equilibrio e strategie sensoriali	forte dipendenza dal protocollo
Baropodometria	pressioni e tempi plantari	appoggio, carico, cammino, ortesi	misura locale, non diagnosi globale
Gait analysis	cinematica e/o cinetica	analisi del movimento e delle fasi del passo	richiede compito e setup standardizzati
Test clinici	prestazione funzionale	capacità reale e rischio funzionale	meno dettaglio strumentale, maggiore ecologicità

Tabella 1 – Principali strumenti di valutazione: la misura diventa clinicamente utile quando risponde a una domanda specifica e viene interpretata nel contesto della persona.

Analisi del movimento e della deambulazione

La gait analysis contemporanea può integrare osservazione clinica, video bidimensionale o tridimensionale, sistemi optoelettronici, sensori inerziali, elettromiografia e piattaforme di forza o di pressione. La scelta dello strumento dipende dalla domanda clinica. In molti casi un video standardizzato e alcuni test funzionali forniscono informazioni sufficienti; nei quadri complessi, nella ricerca o nella pianificazione di interventi specifici può essere necessario un laboratorio di analisi del movimento.

La deambulazione deve essere valutata come comportamento dinamico e non come successione di posizioni ideali. Velocità, cadenza, lunghezza del passo, simmetria, variabilità, rotazioni segmentarie e capacità di adattarsi a superfici o velocità differenti descrivono aspetti complementari. Una differenza tra i due lati non rappresenta necessariamente una patologia; il significato dipende dall'entità della differenza, dai sintomi, dalla storia clinica e dalla capacità funzionale.

Vista, vestibolo e apparato stomatognatico: quando inviare allo specialista

L'esame posturale può evidenziare una difficoltà che aumenta quando viene modificato un input sensoriale ma non deve trasformarsi in una diagnosi specialistica impropria. Disturbi visivi richiedono una valutazione oftalmologica o ortottica quando indicata; vertigini, instabilità e segni vestibolari richiedono un inquadramento otoneurologico o vestibolare; dolore e disfunzione temporomandibolare richiedono una valutazione odontoiatrica o gnatologica specifica. La collaborazione interdisciplinare è particolarmente utile quando più sistemi contribuiscono allo stesso problema funzionale.

La risposta a un test provocativo non dimostra da sola che quell'input sia la "causa" della postura osservata. Essa indica piuttosto che la prestazione cambia in una determinata condizione e suggerisce quali approfondimenti possono essere utili.

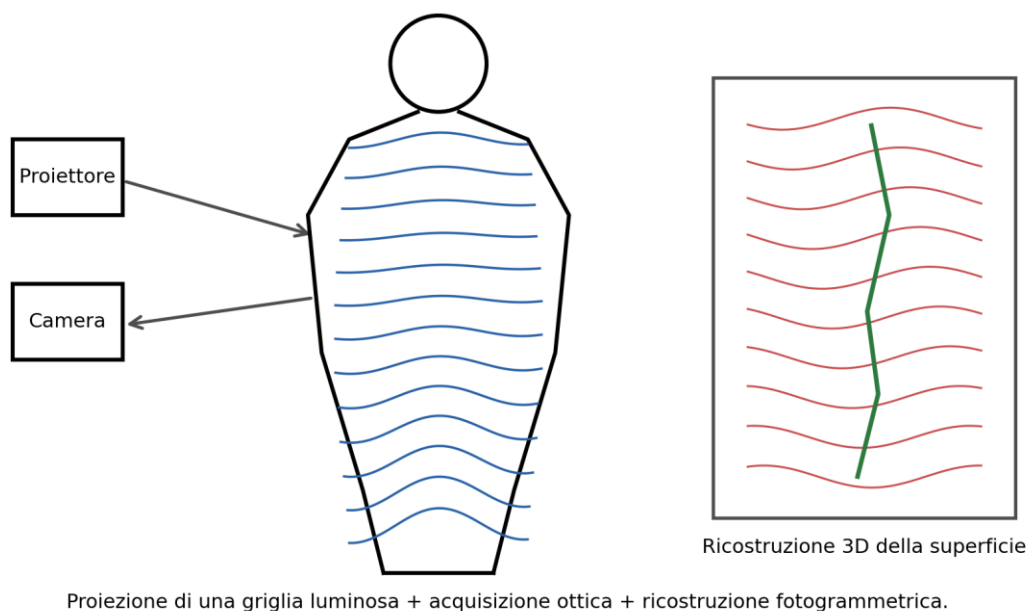
Rasterstereografia e topografia ottica 3D/4D

La rasterstereografia, o video-raster-stereography, è una tecnica ottica non ionizzante che proietta un reticolo luminoso sulla superficie del dorso e ne registra la deformazione mediante una telecamera. L'elaborazione fotogrammetrica ricostruisce la morfologia tridimensionale della superficie e consente di stimare parametri del tronco, del bacino e della geometria spinale. Un esempio clinicamente diffuso è il sistema DIERS formetric 4D, che utilizza acquisizioni seriali e una media temporale per ridurre l'effetto delle normali oscillazioni posturali.

La rasterstereografia è particolarmente utile per documentare la superficie del tronco, confrontare misure ripetute e ridurre, quando appropriato, la necessità di controlli radiografici molto frequenti. Non sostituisce però la radiografia quando occorre definire con precisione una deformità strutturale, misurare parametri ossei o assumere decisioni cliniche che richiedono

imaging radiologico. I risultati devono essere interpretati come parte di una valutazione integrata e non come diagnosi autonoma di “squilibrio posturale”.

Rasterstereografia / Video-Raster-Stereography



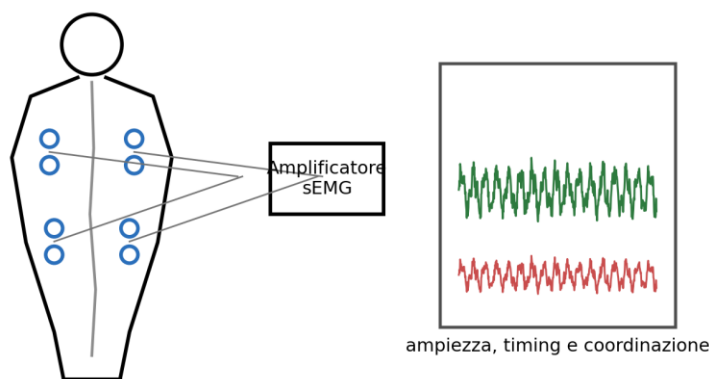
Nuova figura 2026 – Principio della rasterstereografia: proiezione del reticolo, acquisizione ottica e ricostruzione tridimensionale della superficie del dorso. DIERS formetric 4D rappresenta un esempio di sistema basato su video-raster-stereography.

Elettromiografia di superficie (sEMG)

L'elettromiografia di superficie registra in modo non invasivo l'attività elettrica prodotta dai muscoli mediante elettrodi applicati sulla cute. Nella valutazione posturale e funzionale può descrivere il timing di attivazione, l'ampiezza relativa del segnale, le strategie di co-attivazione e le modificazioni che compaiono durante stazione eretta, compiti di equilibrio, cammino, esercizio o gesti specifici.

La sEMG non misura direttamente la forza muscolare e non consente, da sola, di stabilire che un muscolo sia “contratto”, “debole” o responsabile di una determinata postura. Il segnale dipende da posizione e orientamento degli elettrodi, preparazione cutanea, crosstalk, geometria del muscolo, compito, velocità e metodo di normalizzazione. Sono fondamentali protocolli standardizzati, come quelli sviluppati nell'ambito SENIAM, e l'integrazione con esame clinico, cinematica, piattaforme di forza o altri strumenti quando il quesito lo richiede.

Elettromiografia di superficie (sEMG)



Registrazione non invasiva dell'attività elettrica muscolare; interpretazione dipendente da protocollo e normalizzazione.

Nuova figura 2026 – Elettromiografia di superficie: elettrodi cutanei, acquisizione del segnale e analisi di ampiezza, timing e coordinazione muscolare.

Dalla rieducazione posturale alla rieducazione funzionale

La prima edizione proponeva un riallineamento posturale ottenuto attraverso nuovi input, fisioterapia, supporti ergonomici e collaborazione multidisciplinare. L'edizione 2026 conserva l'idea di un programma personalizzato ma sposta il centro dell'intervento dalla correzione della forma al recupero della funzione. Il trattamento deve aumentare la capacità della persona di tollerare i carichi, muoversi con strategie differenti, mantenere l'equilibrio, recuperare forza e mobilità utili e svolgere le attività che considera importanti.

L'esercizio costituisce uno strumento centrale perché permette di allenare contemporaneamente capacità tissutale, controllo motorio, equilibrio e fiducia nel movimento. Il programma può comprendere esercizi di forza, mobilità, coordinazione, equilibrio, respirazione, cammino e compiti specifici, con una progressione basata sulla risposta individuale. Le linee guida contemporanee per condizioni muscolo-scheletriche comuni, tra le quali la lombalgia cronica primaria, sostengono approcci attivi, educazione e programmi di esercizio strutturato all'interno di una presa in carico centrata sulla persona.

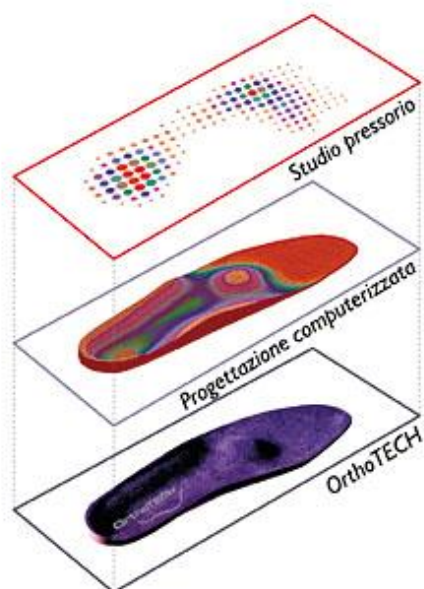
Massoterapia, tecniche manuali e alcune terapie fisiche possono essere utilizzate come strumenti complementari quando migliorano il dolore, la mobilità o la possibilità di partecipare al programma attivo. Il loro valore non dipende dall'idea di riposizionare permanentemente segmenti corporei o di "sbloccare" una postura ideale ma dalla capacità di contribuire a un percorso funzionale più ampio.

Ergonomia, calzature, plantari e bite

Immagine originale – edizione 2007, p. 18. Immagine originale di calzatura e componenti ergonomiche/plantari.

Il concetto ergonomico rappresenta uno degli elementi distintivi dell'opera originale e rimane centrale. L'ambiente, la postazione di lavoro, la superficie, le calzature e gli strumenti utilizzati ogni giorno modificano le richieste imposte al corpo. L'ergonomia moderna non cerca una posizione immobile perfetta; essa tende a migliorare la compatibilità tra persona, compito e ambiente e a favorire la variabilità delle posture e del movimento.

Plantari e calzature possono essere indicati quando esiste un obiettivo specifico, come modificare localmente una pressione, migliorare il comfort, gestire una deformità o facilitare una funzione. Il loro effetto va verificato attraverso sintomi, funzione e, quando utile, misure strumentali ripetute. Non è corretto attribuire a un plantare la capacità generale di "normalizzare" la postura dell'intero organismo in ogni soggetto. Anche il bite deve rispondere a un'indicazione odontoiatrica o gnatologica specifica e non va prescritto come correttore posturale universale.



Rivalutazione: misurare il cambiamento che conta

Un programma di rieducazione dovrebbe prevedere fin dall'inizio quali risultati verranno rivalutati. Dolore, funzione, equilibrio, velocità del cammino, tolleranza al carico, forza, mobilità e capacità di svolgere un compito possono essere monitorati con strumenti diversi. Quando viene ripetuta una misura strumentale, il protocollo deve rimanere quanto più possibile identico e il cambiamento osservato deve superare, quando conosciuti, l'errore di misura e la variabilità fisiologica.

Il miglioramento di un'immagine posturale senza un corrispondente vantaggio nella funzione o nei sintomi può avere un significato clinico limitato. Al contrario, una persona può ottenere un importante recupero funzionale pur mantenendo alcune caratteristiche morfologiche iniziali. La

rivalutazione deve verificare se il programma sta migliorando la vita reale della persona e non soltanto la geometria registrata da uno strumento.

Un modello realmente multidisciplinare

La complessità del controllo posturale rende utile la collaborazione tra discipline quando il quadro lo richiede. Fisiatra, ortopedico, fisioterapista, tecnico ortopedico, neurologo, specialista vestibolare, oculista o ortottista, odontoiatra, psicologo e altri professionisti possono contribuire secondo le rispettive competenze. La multidisciplinarietà non significa che ogni persona debba essere valutata da tutti gli specialisti; significa che il percorso deve poter coinvolgere la competenza appropriata quando anamnesi ed esame ne indicano la necessità.

La finalità della rieducazione non consiste nel costringere il corpo dentro un modello statico. La finalità consiste nel restituire al sistema una maggiore capacità di adattamento. Una buona postura, in questa prospettiva, non è una posizione da mantenere ma la possibilità di scegliere e modificare efficacemente la posizione e il movimento in relazione al compito, all'ambiente e alle esigenze della persona.

Edizione originale 2007 – approfondimenti su esame e rieducazione posturale

Qui viene ripreso il testo del 2007. Le formulazioni originarie sono conservate per ragioni storiche e vanno lette insieme alle precisazioni scientifiche del 2026.

A partire dal primo capitolo in poi, abbiamo evidenziato come le alterazioni della postura, del nostro sistema tonico posturale, siano comuni in quasi tutti noi a causa, prima di tutto, del terreno piano. La prima reazione del nostro organismo è l'iperlordosi lombare da cui si dipartono, col passare del tempo e in base alle caratteristiche proprie di ogni soggetto, anomalie e disfunzioni, sia a livello muscolo-scheletrico sia a livello organico, in tutto il corpo. Da tutto ciò scaturisce l'importanza di professionali esami e rieducazioni posturali per il benessere generale dell'organismo.

È evidente che la vera soluzione ai disturbi di origine posturale non può essere rappresentata dall'assunzione continua di farmaci o da interventi chirurgici. Essi dovranno rappresentare, rispettivamente, fasi sinergiche temporanee e rare e indispensabili eccezioni. Come affermato dal Prof. C. Villani (direttore del Dipartimento di Scienze dell'Apparato Locomotore dell'Università "La Sapienza" di Roma), in occasione del "V Congresso Internazionale di Postura e Movimento" (Roma 27-28/01/07): "L'importanza della trattazione della Sindrome Biomeccanico-Posturale è molto evidente dal momento che tali eventi disfunzionali, attraverso una serie di quadri clinici differenti, affliggono un'elevata percentuale della popolazione adulta, le cui basi spesso si pongono in età adolescenziale. Questi disturbi potrebbero essere evitati tramite piccoli accorgimenti posturali, che riguardano sia la posizione eretta sia quella seduta e che dovrebbero essere rispettati sin dall'età adolescenziale". Un corretto approccio terapeutico-riabilitativo deve

mirare innanzitutto al riallineamento posturale, ovvero alla normalizzazione del baricentro generale del corpo tramite input capaci di creare nel nostro cibernetico sistema dell'equilibrio nuove e più funzionali strategie posturali (engrammi).

La tecnologia oggi ci consente di eseguire precisi esami posturali strumentali in grado di effettuare e, in seguito, elaborare, archiviare e richiamare rilevazioni precise, istantanee, ripetibili e non invasive. Ciò consente innanzitutto di superare i limiti di “interferenza soggettiva” dell'occhio umano. Anche se la vera oggettività resterà probabilmente un obiettivo irraggiungibile, le tecniche strumentali ci consentono di avvicinarsi di molto a essa, fornendoci una metodica che ci traghetta dalle personali realtà secondarie in cui ognuno di noi vive (come ci ha insegnato lo psichiatra Americano M. H. Erickson, padre dell'ipnosi moderna) verso una realtà molto vicina a quella primaria ossia totalmente condivisa. In secondo luogo, la determinazione di opportuni indicatori antropometrici e comportamentali, faciliterà la definizione della diagnosi e del progetto di rieducazione posturale. In particolare, la biometria digitalizzata (sistema D.B.I.S., Digital Biometry Images Scanning) consta di diverse rilevazioni effettuate con specifiche procedure e protocolli:

- “indagine morfologica”, per mezzo di rilevazione, con telecamera o infrarossi, di punti di repere anatomici marcati con marker adesivi, per eseguire misure e calcoli antropometrici sui vari piani anatomici;
- “indagine baropodometrica”, eseguita su piattaforma baropodometrica ad alta sensibilità, per la rilevazione delle reazioni a terra in ortostasi (esame statico) e in deambulazione (esame dinamico);
- “indagine stabilometrica”, effettuata su piattaforma baropodometrica in funzionalità di stabilometro, per la rilevazione delle oscillazioni posturali in posizione statica (occhi aperti, chiusi, a capo retroflesso, con occhiali, in appoggio monopodalico ecc.)
- “indagine podoscopia computerizzata” per la rilevazione della morfologia podalica (immagine e misurazioni);
- “indagine cinematica del movimento”, contemporanea alle indagini baropodometriche, per rilevare variazioni angolari e bascule durante le varie fasi del passo;
- “elaborazione digitalizzata”, via software, in grado di analizzare gli indicatori principali, selezionati nelle singole rilevazioni e di rapportarli ai valori fisiologici.

Tutto ciò consente un'accurata analisi iniziale della postura in statica e dinamica e quindi la stesura di un preciso programma di rieducazione posturale, il cui andamento verrà verificato

tramite i controlli periodici. L'esame rileva possibili alterazioni delle funzioni vestibolari, visive e stomatognatiche (che andranno verificati tramite visite specialistiche ed eventualmente curate tramite specifici trattamenti).

Dal punto di vista ergonomico la biometria digitalizzata permette di progettare e/o testare, per ogni caso specifico, l'eventuale ideale interfaccia uomo-ambiente (plantare e/o calzature ergonomiche), che funge da fondamenta, e l'ideale "tetto" (bite). In particolare, il sistema ergonomico podalico potrà fungere, a seconda dei casi, da ideale "guida", ossia da tutore, per il funzionamento quanto più possibile fisiologico del piede accompagnato dalla normalizzazione posturale, o da "simulatore" del terreno naturale, così da stimolare il proprio sistema di equilibrio verso una auto-correzione posturale. In caso di contemporaneo utilizzo del "sistema ergonomico occlusale", bite, occorrerà necessariamente verificarne la sinergia con i tutori ergonomici podalici.

Naturalmente la rieducazione posturale sarà supportata da un programma fisioterapico personalizzato che potrà includere, a seconda dei casi: massoterapia, stretching e rinforzo muscolare, mobilizzazioni articolari, fisioterapia strumentale, rieducazione motoria, rieducazione respiratoria ecc. L'intervento fisioterapico agevolerà enormemente il lavoro svolto dall'eventuale tutore ergonomico plantare e stomatognatico e quindi la normalizzazione posturale.

Oltre a sconvenienti atteggiamenti fisici, andranno corretti anche quelli mentali, per i motivi descritti nel precedente capitolo, e, non ultimo, alimentari.

L'alimentazione fornisce al nostro corpo l'energia e i "mattoni" indispensabili alla vita e non solo. Oggi infatti sappiamo che vi è un collegamento stretto tra il cervello e la pancia, garantito sia dalla connessione sistema nervoso autonomo - sistema nervoso metasimpatico o enterico (nervo vago, pelvico e splancnico), sia dalla contemporanea presenza, nel cervello e nel tratto gastrointestinale, dello stesso gruppo di ormoni (somatostatina, neurotensina, oppiodi ecc.). Il cervello enterico è, a sua volta, in stretto collegamento col sistema endocrino, molto diffuso all'interno della mucosa gastrointestinale (cellule APUD), e col sistema immunitario, che presenta qui un'ampia rete linfatica. Il nostro addome si presenta quindi come un importante complesso neuroendocrinoimmunitario integrato che svolge funzioni con un largo margine di autonomia ma che, al tempo stesso, subisce pesanti influenze sia dall'esterno (cibo, input visivi ecc.) sia dall'interno (emozioni, convinzioni, abitudini ecc.). Mangiare quindi non serve solo a ricostituire le riserve energetiche e strutturali ma serve anche a influenzare i sistemi di regolazione generale dell'organismo (sistema nervoso, immunitario, endocrino), DNA incluso. L'espressione $F = G \times A$ (F = fenotipo, G = genoma, A = ambiente) diviene quindi sempre più una relazione a tre variabili

e questo, se da una parte può far apparire più complessa l'elaborazione diagnostica, dall'altro amplia enormemente le possibili strategie curative e preventive.

È chiaro che la complessità del nostro organismo richiede un approccio multidisciplinare alla posturologia. Un riassetto posturale infatti riguarda l'organismo nella sua completezza e il protocollo di rieducazione posturale quindi prevede normalmente un'equipe di specialisti in vari settori ma esperti di posturologia (fisiatra, ortopedico, fisioterapista, tecnico ortopedico, gnatologo, vestibologo, oculista, psicologo, dietologo ecc.) che collaborano sinergicamente. Solo in questo modo il programma di rieducazione posturale potrà incidere notevolmente nel miglioramento del benessere generale della persona, in maniera funzionale e duratura. Il ripristino della corretta postura infatti non avverrà in maniera forzata e perlopiù transitoria, come accadeva in passato (tramite a esempio ginnastica e busti correttivi) ma in maniera naturale, sinergica, graduale e stabile; in altre parole ergonomica. Il sistema posturale, sentendosi su un terreno a lui più funzionale e libero da blocchi superiori, inizierà immediatamente l'adeguamento posturale che sarà agevolato da opportuni esercizi fisici, corretta funzione vestibolare e oculare nonché migliorate abitudini di vita (incluse quelle mentali e alimentari).

Conclusione del Volume I

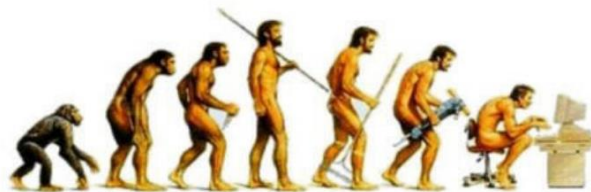


Immagine originale – edizione 2007, p. 19. Immagine conclusiva originale sull'evoluzione dell'uomo e la sedentarietà moderna.

La prima edizione di Postura e Benessere nasceva dall'idea che la postura non potesse essere separata dall'ambiente nel quale l'uomo vive, si muove e lavora. A quasi vent'anni di distanza, questa impostazione conserva valore ma richiede un cambio di prospettiva: da una visione prevalentemente correttiva a una visione adattiva. La postura non è una forma ideale da raggiungere; è il risultato momentaneo dell'interazione tra struttura corporea, controllo nervoso, informazioni sensoriali, movimento, compito e ambiente.

La revisione ha conservato alcuni principi dell'opera originaria e ne ha riconsiderati altri. Restano centrali il carattere multidisciplinare della postura, l'importanza del piede come interfaccia con il terreno, il ruolo dell'esperienza motoria, la necessità di considerare l'intero organismo e il valore dell'ergonomia. Sono invece superate le interpretazioni che attribuivano al terreno piano, all'iperlordosi o a una singola asimmetria un ruolo causale primario e quasi universale. Una caratteristica posturale può modificare carichi e strategie motorie e contribuire a un problema ma il suo significato dipende dalla persona, dalla capacità dei tessuti, dall'attività, dalla storia clinica e dai fattori biologici e psicosociali.

Cambia anche il modo di valutare. Fotogrammetria, baropodometria, stabilometria, analisi del movimento e altri strumenti rendono più precisa la descrizione di ciò che accade ma nessuna misura isolata identifica automaticamente la causa di un sintomo. L'esame è utile quando risponde a una domanda clinica, viene letto insieme all'anamnesi e alla funzione e consente di verificare nel tempo un cambiamento realmente significativo per la persona.

La rieducazione posturale diventa una rieducazione della funzione e della capacità di adattamento. Esercizio, movimento, allenamento dell'equilibrio e della forza, gestione del carico, educazione ergonomica e, quando indicati, strumenti manuali o ortesici devono concorrere a un obiettivo concreto: ampliare le possibilità del sistema invece di imporre una geometria prestabilita. Non si tratta di raddrizzare l'uomo ma di restituirgli strategie più efficaci, variabili e sostenibili.

L'ergonomia chiude naturalmente questo primo volume. L'ambiente può facilitare oppure ostacolare il movimento e può ampliare oppure ridurre la varietà delle esperienze motorie. Una postazione di lavoro, una calzatura, una superficie di appoggio o un'abitudine quotidiana non determinano da sole la salute ma partecipano al contesto nel quale il corpo deve trovare continuamente nuove soluzioni. Migliorare l'interfaccia tra uomo e ambiente significa creare condizioni che rendano l'adattamento più libero e meno costoso.

Il Volume I definisce il quadro generale. Il Volume II approfondisce matrice extracellulare, fascia, meccanotrasduzione e tensesità, cioè alcuni dei substrati biologici e biomeccanici attraverso i quali forma e funzione si influenzano reciprocamente. Il Volume III ritorna al contatto con il terreno e sviluppa anatomia funzionale, sensibilità, biomeccanica e patomeccanica del piede. Sono tre livelli dello stesso sistema: l'uomo in relazione continua con se stesso e con l'ambiente.

Edizione originale 2007 – conclusione originale

La sezione successiva appartiene all'edizione del 2007; la sua conservazione documenta il percorso dell'opera, mentre l'aggiornamento 2026 ne offre la lettura scientifica attuale.

L'ergonomia (o scienza del Fattore Umano) ha come oggetto l'attività umana in relazione alle condizioni ambientali, strumentali e organizzative in cui si svolge. Il fine è l'adattamento di tali condizioni alle esigenze dell'uomo, in rapporto alle sue caratteristiche e alle sue attività. I sistemi ergonomici sono oggetti, servizi e ambienti che perseguono l'obiettivo dell'incremento del benessere e della qualità della vita, fungendo da ideali interfacce uomo-ambiente. Sempre più l'ergonomia diviene importante all'interno di una società che spinge l'uomo in posture e stili di vita poco naturali e quindi poco fisiologici. Nella sua lunga evoluzione, durata centinaia di milioni di anni, da quadrupede a ottimo camminatore e discreto arrampicatore, oggi l'uomo sembra paradossalmente aver invertito il senso di marcia evolutivo adottando abitudini di vita che lo portano a "rannicchiarsi" sempre più su se stesso sotto il peso di stress ambientali e psichici. I risultati fin qui ottenuti avvalorano l'approccio ergonomico posturologico anche se molto resta ancora da fare e scoprire. La collaborazione professionale tra i vari specialisti, formati anche in posturologia, e l'evoluzione tecnologica saranno i cardini del progresso in questa affascinante e multiforme materia.

Video correlati

Analisi (esame) Posturale TIB

<https://www.youtube.com/watch?v=eeX7cXEtgHI&t=165s>

Esame posturale con spinometria formetric®

<https://www.youtube.com/watch?v=VUgGZCGcnMA>

Bibliografia del Volume I

La bibliografia è organizzata in due sezioni. La prima conserva le fonti dell'edizione originale 2007, con soli adeguamenti tipografici e senza ricostruire dati editoriali non verificabili con certezza. La seconda raccoglie le principali fonti aggiunte per la revisione scientifica 2026. La voce relativa al Nuovo Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa è stata verificata e aggiornata con gli autori e i dati del capitolo.

Fonti dell'edizione originale 2007

- Ader R., "Psychoneuroimmunology", Academic Press (1981)
- Aita S., "funzionali e patologie derivanti da una scorretta postura", Bibliografia Diasu, Roma (2005)
- Amann F., Lang A., "Wie bewegt sich der Fuss – barfuss auf Naturboden, mit Schuhen und mit MBT?", Orthopaedie 1/2007, 2-8
- Amann B., Amann F., "Destabilisieren, Sensibilisieren, Mobilisieren", Orthopaedie 5/2003, 50-53
- Badaracco C., Tufarelli D., "Gait Analysis in normal subjects provided by computerized baropodometry", XI International Symposium on Audiological Medicine (Padova, 2002)
- Bankoff A.D.P., P. Ciol, Zamai C.A., Schmidt A., Barros D.D., "Estudo do equilibrio corporal postural através do sistema de Baropodometria Eletrônica", Bibliografia Diasu, Roma (2005)
- Basmajian, J. V., "Grant's Method of Anatomy", Lippincott, Williams & Wilkins, (New York, 1984)
- Bettinzoli F., "Anatomia dell'Apparato Locomotore", editore Ghedimedia (2000)
- Bienfait M., "Fisiologia della terapia manuale", Editore Marrapese (1995)
- Bogduk, N., "Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum", Churchill Livingstone (Edinburgh, 1997)
- Boutillier B., Outrequin G., "Sintesi di neuroanatomia funzionale", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Bricot B., "La riprogrammazione posturale globale", Statipro (1998)
- Calais-Germain, B., "Anatomy of Movement", (Eastland Press, (Seattle, 1992)
- Caradonna D., Buzzanca P., Caradonna C., "Riprogrammazione posturale globale nei disordini cranio mandibolari", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Chetta G., "Il piede è il più importante sistema ergonomico", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Cigada M., Redana M., "Postura ed occhio", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Ciolfi P., "Plantare Dinamico Di Stabilizzazione", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- De Castro C., Saadi L., "Gait Analysis in Rehabilitation Medicine", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Deli R., Gambone G.M., Resta A., Boari A., Grippaudo C., "La pedana baropodometrica nella valutazione dei rapporti fra occlusione e postura: studio pilota", Bibliografia Diasu (2003)
- De Nicola A., "La visita del paziente con dolore". Edizione YearBook (1999).
- De Juliis E., Coli E., "Ergonomia e postura", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- DuBrut E.L., "Anatomia Orale di Sicher", Edi-ermes (1988)
- Fasciani G.C., Galasso P., Ortesi plantari per piede piatto con metodologia Physicam Machine 3D Studio anatomo-fisiologico, biomeccanico e tecnico", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Ferracane G., Pennisi M., "Asimmetria rotazionale dell'anca e lombalgia: Hip-Spine syndrome?", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Ferrante A., "Manuale pratico di terapia miofunzionale", Marrapese editore (2004)
- Ferrante A., Reed-Knight E., Bello A., Comentale P., "Variazioni posturali conseguenti a cambiamento della posizione linguale e a trattamento miofunzionale", Bibliografia Diasu (2003)
- Gagey P., Weber B., "Posturologia", Marrapese editore (2000)
- Gagnesi G. "ATM patologie articolari e muscolo-legamentose", Piccin (2001)

- Galasso P., "Introduzione alla Biometria Digitalizzata", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Galasso P., Ranieri M., Fiore P., Ianieri G., Megna M., Megna G., "Utilizzo del baropodometro elettronico in ambito riabilitativo e principi di biofeedback pressorio: rilievi preliminari", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Gallenga P.E., "Occhio e Postura", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Gallozzi C., "Le sindromi algico-posturali", C.O.N.I. - Istituto di Scienza dello Sport - Dipartimento di Fisiologia e Biomeccanica (2003)
- Gallozzi C., Angeloni G., Cacchi B., "Classificazione dei disordini posturali ed indice delle necessità di trattamento", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Gallozzi C., "Prevenzione, postura ed equilibrio corporeo dinamico", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Gimigliano, R., "Prospettive riabilitative nell'analisi del passo", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Godelieve D. – S., "Il manuale del mezierista" Vol I e II, Gallenga Ed. Marrapese (1996)
- Goyal R.K., Hirano I., "The enteric nervous system", New England Journal of Medicine (1996)
- Graziano D., Laura Lopes M., "L'importanza della BPE in ambito ortopedico e fisiatrico: nostra esperienza", Bibliografia Diasu (2003)
- Guaglio G., "Ortodonzia dinamica e ripristino delle funzioni", Euroedizioni
- Guidetti G., Marchioni D., Trani M., Daidone M., "La marcia: un miracolo dell'equilibrio", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Guidetti G., "Diagnosi e terapia dei disturbi dell'equilibrio", Editore Marrapese (1997)
- Hollinshead, W. H., "Functional Anatomy of the Limbs and Back", W. B. Saunders (London, 1969)
- Kapandji I.A., "Fisiologia articolare", Maloine Monduzzi Editore (2002)
- Konings L., Van Celst M., "La biometria" in "Trattato di medicina Fisica e Riabilitazione". Valobra G.N., Vol. I, Cap. 15, 197:208, UTET (2000)
- Lazzari E., "La postura, i fondamenti", Edizioni Martina (2006)
- Lovejoy C.O., "L'evoluzione dell'andatura bipede dell'uomo", Le Scienze, n. 245, gennaio 1989
- Mam A., "Rapporto tra cross-bite e postura nei bambini", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Mancia M., "Neurofisiologia", Ed. Cortina (1993)
- Manzari L., "Principi e prassi della riabilitazione vestibolare", Bibliografia Diasu, Roma (2005)
- Mazzucchelli C. C., "Il ruolo del sistema visivo in posturologia", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Megna G., "La postura per i movimenti automatici e volontari", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Montecorboli U., "Neurofisiologia e biomeccanica dell'apparato stomatognatico", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Myers T., "The Opinionated Psoas", Associated Bodywork and Massage Professionals magazine (2001)
- Moretti B., Patella V., Simone C., Ranieri M., Megna G., "La baropodometria elettronica: utilità clinica diagnostica, preventiva e terapeutica", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Morosini C., Pacini T., "Pratica posturologica", Ortho2000 n. 4 (luglio-agosto 2002)
- Naik R., Vernon T., Wheat J., Pettit G., "Changes in gait characteristics of a normal healthy population due to an instable shoe construction", The centre for Sports and Exercise Science Sheffield Hallam University (2004)
- Nurse M.A., Hulliger M., Wakeling J.M., Nigg B.M., Stefanyshyn D.J., "Changing the texture of footwear can alter gait patterns", J Electromyogr Kinesiol, 15/2005 (ottobre 2005)
- Okeson J.P., "Bell's orofacial pain", Quintessence Publishing (2005)
- Pacini T., "Studio della postura e indagini baropodometriche", Chimat (2000)

- Pacini T., De Julis E, Coli E., "Mal di schiena: un gioco fra lordosi lombare e ileopsoas", Centro studi S.I.R.A.O. (2002)
- Pachi F., "Quantificazione della problematiche odontostomatognatiche", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Paparella Treccia R., "Il piede dell'uomo", Verduci Editore (1978)
- Pinnington H.C., Lloyd D.G., Besier T.F., Dawson B., "Kinematic and electromyography analysis of submaximal differences compared with soft, dry sand", Eur J Appl Physiol 3/Giugno 1994, 242-253
- Radice M., "Ottimizzazione posturale statica e dinamica ascendente ottenuta attraverso la determinazione del baricentro corporeo", Bibliografia Diasu (2004)
- Rolf I.P.; "Rolfing", Edizioni Mediterranee (1996)
- Ronconi P. e S., "Il piede", Editore Timeo (2003)
- Santamato, A., "Segnale EMG di superficie nella valutazione posturale", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Selye H., "The general adaptation syndrome and the disease of adaptation", J. Clinical Endocrinology (1946: 6, 117-130)
- Serafini G., Maffei L., "Low back pain e postura", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Sherry E., "Disorders of the foot and ankle in adults", Bibliografia Diasu (2003)
- Shiffer R., "Procedura e scelta degli indicatori", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Shiffer R., "Pedane dinamometriche: posturografia", Ed. Speciale Riabilitazione (2003)
- Shiffer R., "Utilizzo clinico della baropodometria elettronica sistema clinico nel laboratorio di posturologia fisiatrico", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Souchard P., "Basi del metodo di rieducazione posturale globale", Editore Marrapese (1994)
- Souchard P., "Il diaframma", Editore Marrapese (1995)
- Talerico P., "Dental research helps resolve head, neck, facial and low back pain", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Tufarelli D., "La riabilitazione vestibolare", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Valentino Bartolomeo, "Neurofisiologia della postura e test EMG", Ed. Scientifiche Cuzzolin (1992)
- Villani C., "Appoggio podalico: piede causativo, piede adattativo", Bibliografia Diasu, Roma (2006)
- Villani C., Mantegna N., Ruio P., Chiozzi F., "L'appoggio plantare fisiologico", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Villani C., Mantegna N., Persiani P., Ruio P., "Valutazione baropodometrica delle metatarsalgie", Bibliografia Diasu, Roma (2004)
- Villani C., Mantegna N., "La Postura e le patologie della colonna vertebrale nell'età evolutiva", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Villani C., Mantegna N., Ruio P., Tardiola F., "Atteggiamento e strategia posturale nelle deformità del rachide", Bibliografia Diasu, Roma (2003)
- Zavarella P., Bianconi M., Morciano W., "Postura, ATM e deglutizione atipica", Bibliografia Diasu, Roma (2003)

Aggiornamento scientifico 2008-2026

- Álvarez Solano C., González Camacho L.A., Castaño Duque S.P., Cortés Velosa T., Vanoy Martin J.A., Chambrone L. To evaluate whether there is a relationship between occlusion and body posture as delineated by a stabilometric platform: a systematic review. Cranio. 2023;41(4):368-379. doi:10.1080/08869634.2020.1857614.
- Assländer L., Peterka R.J. Sensory reweighting dynamics in human postural control. Journal of Neurophysiology. 2014;111(9):1852-1864. doi:10.1152/jn.00669.2013.

- Brinjikji W., Luetmer P.H., Comstock B., Bresnahan B.W., Chen L.E., Deyo R.A., et al. Systematic literature review of imaging features of spinal degeneration in asymptomatic populations. *AJNR American Journal of Neuroradiology*. 2015;36(4):811-816.
- Buldt A.K., Allan J.J., Landorf K.B., Menz H.B. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: a systematic review. *Gait & Posture*. 2018;62:56-67. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.02.026.
- Chetta G., Africa A., Africa E. Approccio clinico e riabilitativo alle patologie del piede. In: Valobra G., Gatto R., Monticone M., a cura di. *Nuovo Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa*. Vol. III, cap. 98, pp. 1711-1730. Torino: UTET Scienze Mediche; 2008.
- Hartvigsen J., Hancock M.J., Kongsted A., Louw Q., Ferreira M.L., Genevay S., et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet*. 2018;391(10137):2356-2367. doi:10.1016/S0140-6736(18)30480-X.
- Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*. 2006;35(Suppl 2):ii7-ii11. doi:10.1093/ageing/afl077.
- Ivanenko Y., Gurfinkel V.S. Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*. 2018;12:171. doi:10.3389/fnins.2018.00171.
- Julienne A., Verbecque E., Besnard S. Normative data for instrumented posturography: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2024;18:1498107. doi:10.3389/fnhum.2024.1498107.
- Karbalaieimahdi M., Minoonejad H., Mousavi S.H., et al. Photogrammetry-based smartphone applications for spinal posture assessment: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2026;16:2885. doi:10.1038/s41598-025-32708-1.
- Kirkness K.B., Scarlata S. Understanding Fascial Tissue on the Molecular Level - How Its Unique Properties Enable Adaptation or Dysfunction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2026;27(1):160. doi:10.3390/ijms27010160.
- Kobata S.I., Alves C.R.P., Araújo M.G., Bittencourt F.V. Reliability of a new baropodometry platform during barefoot walking in healthy adults. *Acta Ortopedica Brasileira*. 2025;33(5):e292018. doi:10.1590/1413-785220253305e292018.
- Maher C., Underwood M., Buchbinder R. Non-specific low back pain. *The Lancet*. 2017;389(10070):736-747. doi:10.1016/S0140-6736(16)30970-9.
- McKeon P.O., Hertel J., Bramble D., Davis I. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(5):290. doi:10.1136/bjsports-2013-092690.
- Peterka R.J. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*. 2002;88(3):1097-1118. doi:10.1152/jn.2002.88.3.1097.
- Proske U., Gandevia S.C. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiological Reviews*. 2012;92(4):1651-1697. doi:10.1152/physrev.00048.2011.
- Rosário J.L.P. A review of the utilization of baropodometry in postural assessment. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2014;18(2):215-219. doi:10.1016/j.jbmt.2013.05.016.
- Sugavanam T., Sannasi R., Anand P.A., Ashwin Javia P. Postural asymmetry in low back pain - a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Disability and Rehabilitation*. 2025;47(7):1659-1676. doi:10.1080/09638288.2024.2385070.
- Vandenput L., Johansson H., McCloskey E.V., et al. A meta-analysis of previous falls and subsequent fracture risk in cohort studies. *Osteoporosis International*. 2024;35(3):469-494. doi:10.1007/s00198-023-07012-1.



Venkadesan M., Yawar A., Eng C.M., Dias M.A., Singh D.K., Tommasini S.M., et al. Stiffness of the human foot and evolution of the transverse arch. *Nature*. 2020;579:97-100. doi:10.1038/s41586-020-2053-y.

Weinstein S.L., Dolan L.A., Wright J.G., Dobbs M.B. Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. *New England Journal of Medicine*. 2013;369(16):1512-1521. doi:10.1056/NEJMoa1307337.

World Health Organization. WHO guideline for non-surgical management of chronic primary low back pain in adults in primary and community care settings. Geneva: World Health Organization; 2023. ISBN 978-92-4-008178-9.

Nuovi riferimenti per gli strumenti di analisi posturale:

1. Drerup B, Hierholzer E. Rasterstereographic measurement of scoliotic deformity. *Scoliosis*. 2014;9(Suppl 1):O4. Principi della topografia ottica e ricostruzione della superficie del dorso.
2. DIERS International GmbH. DIERS formetric 4D: light-optical 3D/4D spine and posture analysis based on video-raster-stereography. Wiesbaden: DIERS International GmbH; accesso 2026.
3. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol*. 2000;10(5):361-374.
4. Merletti R, Farina D. Surface electromyography: physiology, engineering, and applications. Hoboken: Wiley-IEEE Press; 2016.
5. Campanini I, Disselhorst-Klug C, Rymer WZ, Merletti R. Surface EMG in clinical assessment and neurorehabilitation: barriers limiting its use. *Front Neurol*. 2020;11:934.

VOLUME II – DALLA MEC ALLA POSTURA

POSTURA

L'uomo tra struttura, funzione e ambiente

— VOLUME II —

DALLA MEC ALLA POSTURA

*La matrice extracellulare,
la tensegrità e la biomeccanica
nel sistema posturale*

Giovanni Chetta

EDIZIONE RIVEDUTA E AGGIORNATA 2026



Premessa

Questo volume amplia le riflessioni sviluppate in Postura e Benessere e nel precedente lavoro Il sistema connettivo, entrambi pubblicati nel 2007. Il testo del 2010 nacque dalla pratica clinica quotidiana e dal confronto teorico ed esperienziale con specialisti di discipline differenti. In quel percorso ebbero un ruolo importante Francesco Giovanni Albergati, Melchiorre Crescente, Alfonso Manzotti, Serge Gracovetsky e Carlo Braidà. Il volume resta dedicato a Carlo Braidà, che fornì uno stimolo decisivo all'avvio del lavoro e non poté vederlo completato.

Il sottotitolo «Il sistema connettivo è il nostro vero Deus ex machina?» aveva volutamente un tono provocatorio. Serviva a superare l'idea del tessuto connettivo come semplice materiale di riempimento e a mostrare come matrice extracellulare, fascia e cellule connettivali partecipino alla struttura, alla meccanica e alla regolazione dei tessuti.

Dal 2010 la biologia della matrice extracellulare ha compiuto progressi notevoli. Le conoscenze maturate confermano il carattere dinamico della MEC e il continuo dialogo tra cellula e ambiente extracellulare, mentre permettono di separare meglio i fenomeni dimostrati dalle ipotesi formulate in modo più ampio nella prima edizione. Integrine, adesioni focali, citoscheletro, canali meccanosensibili e vie di segnalazione dirette al nucleo costituiscono oggi elementi centrali per comprendere la meccanotrasduzione.

L'edizione 2026 conserva la prospettiva sistemica originaria senza attribuire alla MEC un ruolo esclusivo. La matrice extracellulare non sostituisce sistema nervoso, sistema endocrino, sistema immunitario o metabolismo; partecipa a una rete di relazioni reciproche nella quale la struttura meccanica di un tessuto può influenzarne la funzione e l'attività cellulare può, a sua volta, modificarne la struttura.

Edizione originale 2010 – contenuti della Premessa

Segue il testo dell'edizione originale 2010; va letto alla luce dell'aggiornamento scientifico 2026 appena presentato.

Questo lavoro rappresenta il naturale ampliamento e approfondimento delle precedenti pubblicazioni, in particolare, "Postura e benessere" (2007) e "Il sistema connettivo" (2007). Come per gli altri, esso nasce dalla quotidiana pratica clinica e dall'indispensabile confronto teoricoesperienziale con altri specialisti fra i quali mi è doveroso citare: Francesco Giovanni Albergati (angiologo), Melchiorre Crescente (odontoiatra), Alfonso Manzotti (ortopedico), Serge Gracovetsky (bio-ingegnere), Carlo Braidà (fisico). A quest'ultimo, che proprio in questi giorni di due anni or sono mi fu da primario stimolo a intraprendere tale "impresa", che purtroppo non potrà vedere compiuta se non da un'auspicabile dimensione parallela, dedico di cuore tutto ciò.

1. Matrice extracellulare (MEC)

Introduzione: oltre l'impalcatura

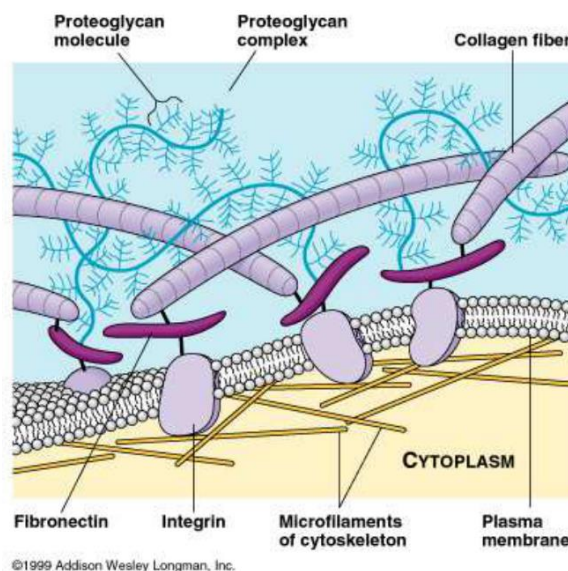


Immagine originale – edizione 2010, p. 2. Schema originale delle relazioni cellula-matrice extracellulare.

Ogni cellula di un organismo pluricellulare vive all'interno di un ambiente che non è costituito soltanto da acqua e soluti. Intorno alle cellule si trova una rete tridimensionale di proteine, glicoproteine e polisaccaridi che forma la matrice extracellulare. La composizione, la geometria e le proprietà meccaniche di questa rete variano notevolmente da un tessuto all'altro e contribuiscono a determinare ciò che quel tessuto può fare.

La MEC svolge certamente una funzione strutturale ma questa descrizione è incompleta. La matrice lega fattori di crescita, regola l'adesione e la migrazione cellulare, influenza la proliferazione e la differenziazione, partecipa alla riparazione dei tessuti e fornisce segnali meccanici. La rigidità, la tensione, la viscoelasticità, la topologia e lo stato di idratazione della matrice rappresentano informazioni biologicamente rilevanti alle quali le cellule possono rispondere.

La prima edizione coglieva un punto ancora valido: la cellula non può essere compresa isolandola dal proprio ambiente. Il concetto di reciprocità dinamica descrive bene questa relazione. La cellula percepisce la matrice, ne modifica composizione e architettura e riceve nuovi segnali dalla matrice che essa stessa ha contribuito a costruire. Il rapporto tra cellula e MEC è bidirezionale e continuamente adattativo.

Le principali componenti della MEC

La composizione della matrice extracellulare non è identica in tutti i distretti. In termini generali possiamo riconoscere tre grandi famiglie di componenti: le proteine strutturali, soprattutto collagene ed elastina; le glicoproteine e le proteine matricellulari, tra cui fibronectina, laminine, fibrilline, tenascine e altre molecole con funzioni di adesione e regolazione; i glucosaminoglicani

e i proteoglicani, che contribuiscono in maniera decisiva all'idratazione, alla resistenza alla compressione e alla segnalazione.

La biologia contemporanea utilizza anche il termine matrisoma per indicare l'insieme dei geni e delle proteine che costituiscono la MEC oppure che ne regolano l'organizzazione e il rimodellamento. Questo concetto sottolinea che non esiste una matrice extracellulare generica: ogni organo possiede una firma matriciale caratteristica e questa firma cambia durante sviluppo, attività, invecchiamento, riparazione e malattia.

Proteine strutturali: collagene ed elastina

Il collagene costituisce la famiglia proteica più abbondante nei mammiferi. Oggi vengono riconosciuti 28 tipi di collagene, organizzati in famiglie differenti in base alla struttura e al modo con cui le molecole si assemblano. I collagene fibrillari, tra cui i tipi I, II, III, V e XI, contribuiscono alla resistenza alla tensione; il collagene IV forma invece reti specializzate nelle membrane basali. Altri collagene collegano fibrille, cellule e differenti domini della matrice.

La quantità di collagene non determina da sola le proprietà di un tessuto. L'orientamento delle fibrille, il diametro, i legami crociati, l'interazione con proteoglicani e glicoproteine e il turnover contribuiscono alla risposta meccanica. Il carico può modificare nel tempo l'organizzazione della matrice perché i fibroblasti e altre cellule regolano sintesi, deposizione, allineamento e degradazione dei componenti extracellulari.

L'elastina e le microfibrille associate consentono invece a numerosi tessuti di deformarsi e di recuperare la forma iniziale. Questa proprietà assume particolare importanza nelle grandi arterie, nel polmone, nella cute e nei legamenti elastici. Collagene ed elastina non devono essere interpretati come materiali inerti: essi costituiscono elementi di un sistema meccanico che viene continuamente mantenuto e modificato dalle cellule.

La prima edizione attribuiva inoltre al collagene un ruolo di conduzione bioelettrica estremamente rapido. I tessuti ricchi di collagene possono effettivamente mostrare fenomeni piezoelettrici e l'elettromeccanica della matrice rappresenta un ambito reale di ricerca. Tuttavia le attuali evidenze non giustificano l'idea di una rete collagena che trasmetta informazioni nell'organismo con modalità paragonabili a quelle di una fibra nervosa e con velocità dell'ordine di decine di metri al secondo. Oggi la trasmissione degli stimoli meccanici viene spiegata soprattutto attraverso meccanismi cellulari di meccanotrasduzione.

Aggiornamento 2026 - Dalla piezoelettricità alla meccanotrasduzione

La deformazione di materiali biologici può generare fenomeni elettrici misurabili, ma il principale ponte oggi documentato tra forza meccanica e risposta cellulare comprende integrine, adesioni focali, citoscheletro, canali meccanosensibili come PIEZO e TRPV4, segnali intracellulari e regolazione dell'espressione genica. La proprietà elettrica del collagene non deve quindi essere trasformata in una teoria generale di conduzione dell'informazione nel corpo.

Proteine specializzate, integrine e adesioni focali

Fibronectina e laminine rappresentano due esempi fondamentali di glicoproteine della matrice. La fibronectina può legare contemporaneamente componenti extracellulari e recettori cellulari, mentre le laminine svolgono un ruolo centrale nell'organizzazione delle membrane basali. Queste molecole non operano come semplici collanti: esse partecipano all'orientamento cellulare, alla migrazione, alla differenziazione e alla risposta ai danni.

Le integrine sono recettori transmembrana che collegano fisicamente e funzionalmente la MEC al citoscheletro. Quando le integrine legano le proprie molecole extracellulari, esse possono organizzarsi in complessi multiproteici chiamati adesioni focali. All'interno di questi complessi, proteine come talina, vinculina e altre molecole adattatrici trasmettono forze e segnali tra matrice e actina.

Il concetto formulato nel 2010 secondo cui le integrine si comportano come meccanorecettori risulta sostanzialmente confermato e oggi può essere descritto con maggiore dettaglio. Le integrine partecipano sia alla trasmissione dall'esterno verso l'interno sia alla trasmissione dall'interno verso l'esterno: la matrice modifica il comportamento cellulare e la tensione generata dalla cellula modifica a sua volta l'organizzazione della matrice.

Glucosaminoglicani (GAG) e proteoglicani (PG)

I glucosaminoglicani e i proteoglicani costituiscono una componente fortemente idratata della matrice. Le loro cariche elettriche attirano ioni e acqua e contribuiscono a creare un ambiente capace di resistere alle forze compressive. Questa funzione è particolarmente evidente nella cartilagine, dove i grandi aggregati proteoglicanici permettono al tessuto di sostenere carichi ripetuti mantenendo una notevole capacità di deformazione reversibile.

L'acido ialuronico, o ialuronano, possiede caratteristiche peculiari perché non è solfatato e non è legato a un core proteico come avviene per molti altri GAG. Esso contribuisce all'idratazione, alla lubrificazione, allo scorrimento tra piani tissutali e alla regolazione di numerosi processi cellulari. La sua funzione dipende anche dal peso molecolare e dai recettori con i quali interagisce, tra cui CD44 e RHAMM.

I proteoglicani possono inoltre legare fattori di crescita, citochine ed enzimi e possono modulare la disponibilità locale di questi segnali. La sostanza fondamentale non rappresenta un gel passivo nel quale sono immerse le fibre ma un compartimento dinamico che influenza trasporto, idratazione, segnalazione e comportamento cellulare.

Il network extracellulare e il matrisoma

La matrice extracellulare può essere descritta come un network tridimensionale perché le sue componenti formano sistemi interconnessi e specifici per ciascun tessuto. Questa rete possiede continuità fisica locale ma non deve essere interpretata come un unico mezzo uniforme che trasmette indistintamente qualsiasi segnale a tutto l'organismo. Ogni tessuto organizza la propria matrice in funzione delle esigenze meccaniche, metaboliche e biologiche locali.

La nozione di matrisoma amplia ulteriormente questa prospettiva. Oltre ai componenti strutturali, il matrisoma comprende proteine associate, enzimi di rimodellamento, regolatori e molecole che modificano l'interazione cellula-matrice. Le moderne tecniche di proteomica, trascrittomica a singola cellula e analisi spaziale stanno mostrando che la composizione della MEC può cambiare in modo selettivo nei diversi microambienti di uno stesso organo.

Meccanotrasduzione: dalla forza al segnale biologico

La meccanotrasduzione rappresenta uno dei principali aggiornamenti concettuali rispetto alla prima edizione. Il termine indica l'insieme dei processi attraverso i quali una forza o una proprietà meccanica dell'ambiente viene convertita in un segnale cellulare. Tensione, compressione, taglio, flusso dei liquidi, rigidità della matrice e deformazione della membrana possono essere percepiti attraverso sistemi differenti e convergenti.

Le integrine e le adesioni focali collegano la matrice al citoscheletro, mentre canali meccanosensibili come PIEZO1, PIEZO2 e TRPV4 possono trasformare la deformazione meccanica in flussi ionici, soprattutto di calcio. Questi segnali interagiscono con vie intracellulari quali FAK/Src, RhoA/ROCK e con regolatori trascrizionali come YAP e TAZ. In questo modo un'esperienza meccanica può modificare l'attività cellulare e, se lo stimolo persiste, può contribuire a modificare l'espressione genica e il fenotipo tissutale.

Il processo è reciproco. Le cellule sviluppano tensione attraverso il sistema actomiosinico, esercitano trazione sulla matrice e ne modificano disposizione e rigidità. La MEC influenza quindi la cellula e la cellula modifica la MEC. Questo circuito di feedback aiuta a spiegare come un tessuto possa adattarsi all'esercizio, alla crescita, alla cicatrizzazione e alle variazioni di carico e come, in condizioni patologiche, possa instaurarsi un rimodellamento persistente.

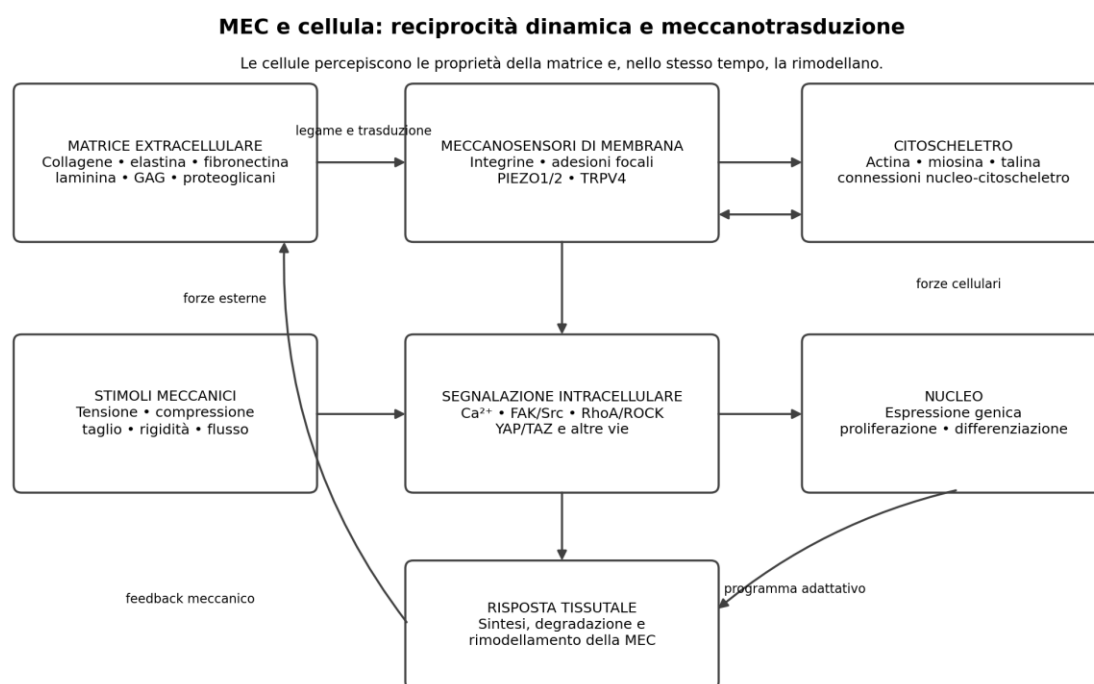


Figura 12 – MEC e cellula nell'edizione 2026: la meccanotrasduzione collega proprietà della matrice, meccanosensori di membrana, citoscheletro, segnali intracellulari, nucleo e rimodellamento tissutale.

Rimodellamento della MEC

La MEC si trova in un equilibrio dinamico tra sintesi, organizzazione e degradazione. Durante crescita, esercizio, riparazione e invecchiamento le cellule modificano continuamente la matrice per adeguarla alle esigenze del tessuto. I fibroblasti svolgono un ruolo centrale in molti distretti ma anche cellule epiteliali, endoteliali, muscolari, immunitarie e specializzate di ciascun organo partecipano al rimodellamento.

Le metalloproteasi della matrice, o MMP, costituiscono una famiglia di enzimi capaci di degradare componenti extracellulari. La loro attività viene regolata da attivazione proteolitica, localizzazione, disponibilità del substrato e inibitori specifici, tra cui i TIMP. Il rapporto tra MMP e TIMP non deve essere ridotto a un semplice interruttore tra salute e malattia: queste molecole partecipano a sviluppo, riparazione, angiogenesi e infiammazione e possono assumere ruoli differenti in funzione del tessuto e della fase biologica.

Il rimodellamento modifica anche la meccanica del tessuto. Se la matrice diventa più rigida, le cellule possono percepire tale rigidità e rispondere aumentando ulteriormente tensione e produzione di matrice. In alcune malattie questo circuito genera un feedback positivo che favorisce la progressione della fibrosi. Il concetto di rimodellamento permette di collegare biochimica e biomeccanica senza separare artificialmente le due dimensioni.

MEC, infiammazione, fibrosi e malattia

Le alterazioni della matrice extracellulare partecipano a numerose patologie ma non è corretto affermare che quasi tutte le malattie croniche inizino nella MEC. In alcuni casi la matrice costituisce un elemento iniziale della patologia; in altri casi essa viene modificata secondariamente da infiammazione, danno cellulare, mutazioni genetiche, alterazioni metaboliche o cambiamenti emodinamici. Molto spesso causa ed effetto entrano in un circuito reciproco.

La fibrosi rappresenta uno degli esempi più chiari. Quando un danno persiste, fibroblasti e miofibroblasti possono produrre quantità eccessive di collagene e di altri componenti extracellulari. L'accumulo di matrice e l'aumento della rigidità modificano progressivamente l'architettura dell'organo e possono ridurne la funzione. Meccanismi di questo tipo sono rilevanti nel fegato, nel rene, nel polmone e nel cuore e assumono caratteristiche specifiche nei diversi distretti.

Anche nel cancro la matrice può modificarsi profondamente. La rigidità, l'orientamento delle fibre, la composizione del matrisoma e l'attività dei fibroblasti associati al tumore possono influenzare migrazione cellulare, angiogenesi, risposta immunitaria e accesso ai farmaci. La MEC non rappresenta lo sfondo passivo della malattia ma una parte del microambiente con il quale le cellule tumorali interagiscono.

Lo stress ossidativo e l'infiammazione possono alterare la matrice e i sistemi enzimatici che la rimodellano. Tuttavia la precedente formulazione secondo cui una dieta dovrebbe mantenere il pH corporeo intorno a 7,4 richiede una correzione importante. Il pH del sangue viene mantenuto entro limiti molto stretti dai sistemi tampone, dai polmoni e dai reni. L'alimentazione può modificare il carico acido renale, il pH urinario e, in alcune condizioni, il bicarbonato sierico ma in una persona sana non deve essere descritta come uno strumento capace di "alcalinizzare" liberamente il sangue.

Il pH locale dei tessuti rappresenta invece un concetto differente. Ischemia, infiammazione intensa, elevato metabolismo tumorale e alterazioni della perfusione possono modificare il microambiente locale e influenzare enzimi, recettori e comportamento cellulare. La distinzione tra pH sistemico e pH tissutale locale permette di conservare il nucleo fisiologico del ragionamento evitando però interpretazioni dietetiche eccessivamente semplicistiche.

La prima edizione collegava inoltre alla MEC concetti quali "tossicosi intestinali", accumulo di tossine, estrogeni alimentari e presunte alterazioni elettromagnetiche generalizzate. Le conoscenze attuali non consentono di mantenere queste formulazioni come spiegazioni consolidate della patologia cronica. L'interazione tra microbiota, metabolismo, infiammazione, ormoni e matrice extracellulare costituisce un campo di ricerca reale e molto attivo ma richiede meccanismi specifici e verificabili anziché una teoria unica del "mare interno" alterato.

Punto chiave

La MEC è contemporaneamente struttura, microambiente biochimico e sorgente di segnali meccanici. Il suo ruolo è fondamentale proprio perché opera insieme alle cellule e agli altri sistemi di regolazione, non perché sostituisce questi sistemi.

Dalla MEC alla postura

Il collegamento con la postura nasce dal fatto che ogni movimento e ogni situazione di carico producono distribuzioni di tensione, compressione e taglio nei tessuti. Queste forze vengono assorbite, trasmesse e redistribuite attraverso ossa, muscoli, tendini, legamenti, fascia e matrice extracellulare. A scala cellulare, una parte di questa esperienza meccanica viene convertita in segnali biologici attraverso la meccanotrasduzione.

Questo passaggio non significa che una determinata postura produca automaticamente una determinata malattia. Significa invece che la struttura dei tessuti è sensibile alla storia dei carichi e che il comportamento cellulare partecipa all'adattamento meccanico. Movimento, inattività, immobilizzazione, esercizio, trauma e sovraccarico possono contribuire, insieme a molti altri fattori, al rimodellamento della MEC.

La matrice extracellulare costituisce perciò il primo livello del percorso di questo volume. Il capitolo successivo allargherà l'osservazione al tessuto connettivo e alla fascia, dove la continuità anatomica, la meccanica tissutale e la presenza di cellule meccanosensibili permettono di

collegare più direttamente la dimensione microscopica della MEC alla biomeccanica dell'organismo.

Edizione originale 2010 – approfondimenti sulla matrice extracellulare

Da qui riprende il testo del 2010. Le formulazioni storiche sono conservate e vanno interpretate insieme alla revisione scientifica 2026 che precede.

Introduzione

Una descrizione, se pur di quel poco che a oggi conosciamo, della MEC (Matrice extracellulare) risulta indispensabile per meglio comprendere l'importanza della postura nella salute. Ogni cellula, infatti, come ogni organismo vivente pluricellulare, necessita di “sentire” e interagire col proprio ambiente per poter esplicare le funzioni vitali e sopravvivere. In un organismo pluricellulare le cellule devono coordinare i diversi comportamenti come in una comunità di esseri umani. Negli organismi pluricellulari infatti le cellule adoperano centinaia di molecole extracellulari (proteine, peptidi, aminoacidi, nucleotidi, steroidi, derivati dagli acidi grassi, gas in soluzione ecc.) per inviarsi continuamente messaggi, sia ravvicinati sia a distanza. In ogni organismo pluricellulare ogni cellula si trova così esposta a centinaia di diverse molecole-segnale presenti al suo interno e al suo esterno, legate alla sua superficie e libere o legate nella MEC. Le cellule entrano in contatto col complicatissimo ambiente esterno attraverso la loro superficie, la membrana plasmatica, tramite numerose aree specializzate (da poche decine a oltre 100.000 per ogni cellula). Gli svariati recettori di membrana sono sensibili a molti segnali provenienti sia dall'interno che dalla MEC e sono soggetti a profonde variazioni durante tutto l'arco della vita cellulare. I recettori di superficie sono in grado di riconoscere e legare una molecola segnale (es. ormone peptidico, neurotrasmettitore) innescando così specifiche reazioni all'interno della cellula (es. secrezione, divisione cellulare, reazioni immunitarie). Il segnale proveniente da un recettore di superficie si trasmette all'interno della cellula attraverso una serie di componenti intracellulari capaci di produrre effetti a “cascata controllata” che variano in base alla specializzazione cellulare. In questo modo, cellule differenti possono rispondere con modalità e tempi diversi al medesimo segnale (a esempio l'esposizione all'acetilcolina della cellula miocardica ne dirada le sue contrazioni, mentre nella cellula parotidea stimola la secrezione dei componenti della saliva) – Gennis, 1989. La cellula pertanto continuamente combina, coordina, controlla, attiva e cessa numerose e differenti informazioni provenienti dal suo interno e dalla MEC processandole nel modo e momento giusto attivando la specifica reazione (vivere, morire, dividersi, muoversi, modificarsi, secernere qualcosa nella MEC o immagazzinarlo al suo interno ecc.). Le risposte che comportano un cambiamento genico possono richiedere parecchi minuti o ore (i geni devono essere trascritti e poi l'RNA messaggero deve essere tradotto in proteina), quando invece la cellula deve rispondere in pochi minuti o secondi utilizza sistemi di attivazione

enzimatica diretta. La MEC è generalmente descritta come composta da alcune grandi classi di biomolecole:

- Proteine strutturali (collageni ed elastina)
- Proteine specializzate (fibrillina, fibronectina, laminina ecc.)
- Proteoglicani (aggrecani, sindecani) e glucosaminoglicani (ialuronani, condroitinsolfati, eparansolfati ecc.)

Proteine strutturali

I collageni formano la famiglia di glicoproteine più rappresentata nel regno animale. Sono le proteine più presenti nella MEC (ma non le più importanti) e sono i costituenti fondamentali dei tessuti connettivi propriamente detti (cartilagine, osso, fasce, tendini, legamenti). Esistono almeno 16 diversi tipi di collagene di cui i tipi I, II e III sono quelli più presenti a livello delle tipiche fibrille (il tipo IV forma una specie di reticolo che rappresenta il maggior componente delle lamine basali). I collageni vengono perlopiù sintetizzati dai fibroblasti ma anche le cellule epiteliali sono in grado di sintetizzarli. Le fibre collagene interagiscono continuamente con un'enorme quantità di altre molecole della MEC costituendo un continuum biologico fondamentale per la vita della cellula. I collageni associati in fibrille occupano un ruolo predominante nella formazione e mantenimento di strutture in grado di resistere a forze di tensione essendo quasi anelastiche (i glucosaminoglicani esplicano azione di resistenza a compressioni). In qualche modo il collagene viene prodotto e rimetabolizzato in funzione del carico meccanico e le sue proprietà viscoelastiche comportano, come vedremo nel paragrafo "Viscoelasticità della fascia", un grosso impatto sulla postura dell'uomo. A ulteriore dimostrazione della capacità del collagene di modificarsi in base alle influenze ambientali, assumendo a esempio gradi variabili di rigidità, elasticità e resistenza, vi sono collageni, definiti col termine FACIT (Fibril Associated Collagen with Interrupted Triple helices) in grado di agire funzionalmente come i proteoglicani (descritti nel paragrafo "Glucosaminoglicani e proteoglicani"). Le fibre collagene grazie al loro rivestimento di PG/GAG (proteoglicani/glucosaminoglicani) possiedono proprietà di biosensori e bioconduttori: le relative cariche elettriche comportano una maggior capacità di legare acqua e scambiare ioni e quindi una maggior capacità elettrica. Sappiamo che qualunque forza meccanica in grado di generare una deformazione strutturale sollecita i legami inter-molecolari producendo un leggero flusso elettrico ossia la corrente piezoelettrica (Athenstaedt, 1969). In tali casi, le fibre collagene distribuiscono le cariche positive sulla propria superficie convessa e le negative su quella concava trasformandosi così in semiconduttori (consentono il flusso di elettroni sulla loro superficie a senso unico). Poiché l'energia piezoelettrica (così come quella piroelettrica generata da sollecitazioni termiche) viene neutralizzata dagli ioni circolanti in tempi brevissimi (ca. 10^{-7} – 10^{-10}

9 secondi), per la propagazione del segnale risulta decisiva la disposizione dei PG/GAG sulla superficie delle fibrille tale da fungere da “ripetitori” dell’impulso elettrico. In particolare, una periodicità longitudinale di ca. 64 nm (che al microscopio ottico appare come una striatura) consente una velocità di propagazione dell’impulso pari a circa di 64 m/s (corrispondente alla velocità di conduzione delle fibre nervose veloci) - Rengling, 2001. Il forte momento dipolare delle fibrille collagene e la loro capacità di risonanza (proprietà comune a tutte le strutture peptidiche) nonché la bassa costante dielettrica della MEC facilitano la trasmissione dei segnali elettromagnetici. Pertanto la tridimensionale e ubiquitaria rete di collagene possiede anche la peculiare caratteristica di condurre segnali bioelettrici nelle tre dimensioni dello spazio, in base alla disposizione relativa tra fibrille collagene e cellule, in direzione afferente (dalla MEC alle cellule) o, viceversa, efferente. Tutto ciò rappresenta un sistema di comunicazione in tempo reale MEC-cellula e tali bio-segnali elettromagnetici possono comportare importanti modifiche biochimiche, a esempio, nell’osso, gli osteoclasti non possono “digerire” osso piezoeletticamente carico (Oschman, 2000). Va infine sottolineato che la cellula, non a caso, produce continuamente e con notevole dispendio di energia (ca. il 70%) materiale che deve necessariamente estromettere tramite perlopiù lo stoccaggio esclusivo di protocollagene (precursore biologico del collagene) in specifiche vescicole (Albergati, 2004).

La stragrande maggioranza dei tessuti dei vertebrati necessita della presenza contemporanea di due caratteristiche vitali: robustezza ed elasticità. Un vero e proprio network di fibre elastiche, localizzate all'interno della MEC di questi tessuti, consente di ritornare alle condizioni iniziali dopo forti trazioni. Le fibre elastiche sono in grado di incrementare l'estensibilità di un organo o di una sua porzione di almeno cinque volte. Fibrille collagene lunghe, anelastiche, si intervallano fra le fibre elastiche col preciso compito di limitare un'eccessiva deformazione per trazione dei tessuti. L'elastina rappresenta la maggior componente delle fibre elastiche. Essa è una proteina estremamente idrofobica, della lunghezza di circa 750 aminoacidi, come il collagene ricca in prolina e glicina ma, a differenza del collagene, non è glicosata e contiene molti residui di idrossiprolina e non di idrossilisina. L'elastina si presenta come un vero e proprio network biochimico di forma irregolarmente tridimensionale composto da fibre e lamelle che permeano la MEC di tutti i tessuti connettivi. Si trova in quantità particolarmente abbondanti nei vasi sanguinei a caratteristiche elastiche (è la proteina della MEC più presente nelle arterie e rappresenta più del 50% del peso secco totale dell'aorta), nei legamenti, nel polmone e nella cute. Nel derma, contrariamente a quanto accade per il collagene, la densità e il volume dell'elastina tende ad aumentare col passare del tempo ma l'elastina vecchia appare in genere ingrossata, quasi tumefatta, spesso con aspetto frammentato e con una riduzione della componente

“amorfa” (Pasquali Rochetti et al, 2004). Cellule muscolari lisce e fibroblasti sono i maggiori produttori del suo precursore, la tropoelastina, secreta negli spazi extracellulari.

Proteine specializzate

La MEC contiene un elevato (e ancora non ben definito) numero di proteine specializzate non collagene che tipicamente presentano domini multipli provvisti di specifici siti di legame per altre molecole della MEC e per i recettori presenti sulla superficie cellulare. In questo modo ogni singolo componente di tali proteine funge da “amplificatore” di contatti, sia tra molecole analoghe sia tra molecole diverse, realizzando un infinito network biochimico in grado di generare, modulare, variare e propagare anche a distanza milioni e milioni di informazioni biochimiche (ed energetiche). Un'importante proteina specializzata della matrice extracellulare è la fibronectina, glicoproteina ad alto peso molecolare rinvenibile in tutti i vertebrati. Essa è un dimero glicoproteico composto da due larghe subunità unite da ponti disulfidrici. La fibronectina appare in grado di influenzare in diversi modi la crescita cellulare, l'adesione intercellulare e con la MEC (possiede la capacità di legarsi alle cellule e ad altre molecole della MEC, es. collagene, fibrina, eparina), la migrazione cellulare (la cellula può spostarsi fino a 5 cm al giorno - Albergati, 2004) ecc. L'isoforma più conosciuto, tipo III, si lega alle integrine. Quest'ultime sono una famiglia di proteine transmembrana che effettuano l'adesione delle cellule alla matrice extracellulare attraverso il riconoscimento della sequenza RGD. I peptidi RGD sono catene aminoacidiche di varia lunghezza a partire da semplici tripeptidi, caratterizzate dalla sequenza aminoacidica Arginina-Glicina-Acido Aspartico. Questa sequenza aminoacidica è presente ubiquitariamente nell'organismo ed è coinvolta in numerose funzioni fisiologiche. Tale sequenza RGD rappresenta una delle strutture che permettono l'adesione di particolari linee cellulari (es. le cellule infiammatorie) così che possano svolgere la loro funzione. Il legame tra integrine e RGD induce una serie di reazioni nel citoplasma che coinvolgono il citoscheletro e altre proteine che regolano l'adesione, la crescita e la migrazione cellulare. Le integrine fungono pertanto da meccanorecettori: trasducono, selettivamente e in maniera modulabile, trazioni e spinte meccaniche dalla MEC all'interno della cellula e viceversa (Hynes, 2002). Infine, appare veritiero che le fibrille di fibronectina si dispongano e si formino correttamente solo in presenza di tensione; tale stiramento è generato dalle cellule stesse (Alberts, 2002).

Glucosaminoglicani (GAGs) e proteoglicani (PGs)

Glucosaminoglicani (GAGS) e proteoglicani (PGs) formano all'interno dei tessuti connettivi una sostanza definita “fondamentale” simil-gel altamente idratata, all'interno della quale le proteine fibrillari risultano ospitate e imbricate. Tale forma di gel polissaccaridico è in grado da un lato di permettere alle MEC di resistere a notevoli forze compressive e dall'altro di consentire una rapida

e costante diffusione delle sostanze nutritizie, dei metaboliti e degli ormoni tra sangue e tessuti. I GAGs si legano di norma covalentemente a un nucleo (core) proteico dando origine ai proteoglicani (PGs). GAGs e PGs sono in grado di agire da soli o in gruppo come recettori per molecole di adesione o come catalizzatori di processi biochimici su molecole circolanti come i fattori di crescita, le citochine e gli enzimi coagulativi. I glucosaminoglicani (GAGs) sono rappresentati da catene polisaccaridiche composte da unità disaccaridiche ripetute numerose volte. Uno dei due zuccheri è sempre rappresentato da un aminozucchero (n-acetilglucosamina o n-acetilgalattosamina) quasi sempre solfato. Il secondo zucchero è di solito l'acido glucuronico o il suo isomero L iduronico. Si riconoscono 4 maggiori gruppi di GAGs: ialuronani, condroitinsolfati e dermatansolfati, eparansolfati, keratansolfati. Le catene polisaccaridiche dei glucosaminoglicani sono volumetricamente troppo rigide per ripiegarsi all'interno delle compatte strutture globulari tipiche delle catene polipeptidiche, in più esse sono altamente idrofile. Per queste ragioni (e probabilmente anche per altre a noi ignote) i GAGs tendono ad assumere conformazioni estremamente estese occupando un grande volume in rapporto alla loro massa e formando così quantità notevoli di gel anche a basse concentrazioni. L'elevata quantità di cariche negative (i GAGs rappresentano le più numerose cellule anioniche, essendo di norma solfate, prodotte dalle cellule animali) attrae numerosi cationi; tra questi un ruolo predominante lo svolge il Na⁺ che conferisce all'insieme capacità osmotiche e intrappola un'enorme quantità di acqua nella MEC. In tal modo si generano rigonfiamenti (turgori) che consentono alla MEC di opporsi a forze compressive anche importanti (grazie a ciò, a esempio, la cartilagine dell'anca può, in condizioni fisiologiche, resistere perfettamente a una pressione di diverse centinaia di atmosfere). All'interno del tessuto connettivo, i GAGs rappresentano meno del 10-12% del peso globale, essi però, grazie alle loro caratteristiche, riempiono molti degli spazi extracellulari formando dei pori di gel idratato di varie dimensioni e densità di cariche elettriche fungendo così da punti chiave selettivi o "server" attraverso i quali viene regolato il traffico di molecole e cellule all'interno della MEC, in base alle loro dimensioni, peso e carica elettrica. L'acido ialuronico (ialuronano, ialuronato) rappresenta forse il più semplice dei GAGs. Nell'uomo è costituito da circa 25.000 disaccaridi uguali non solfati e non si mostra di solito collegato ad alcun "core proteico", pertanto presenta una struttura atipica. Dati sperimentali e biologico-molecolari confermano che esso gioca un ruolo fondamentale a livello delle ossa e delle articolazioni riguardo la resistenza a notevoli pressioni. Inoltre ricopre un importantissimo compito di riempimento di spazi nella MEC durante lo sviluppo embrionale: crea spazi vuoti fra le cellule in cui le stesse, in fasi successive, migreranno (Albergati, 2004). GAGs e PGs associandosi tra loro possono dare origine a enormi complessi polimerici nella MEC. A esempio le molecole di aggregano, che rappresentano la maggioranza dei PGs a livello articolare, si combinano tramite legami non covalenti con l'acido

ialuronico dando origine ad aggregati delle dimensioni di un batterio. Non tutti i PGs sono secreti dalla MEC, alcuni sono componenti integrali delle membrane plasmatiche. Tra i PGs di membrana più conosciuti, i sindecani presentano un dominio extracellulare costituito da tre catene di GAGs mentre quello intracellulare è ritenuto in grado di reagire con l'actina del citoscheletro cellulare (Alberts, 2002).

Il network extracellulare

La MEC può quindi essere considerata come un complessissimo network in cui proteine, PGS e GAGs forniscono innumerevoli funzioni fra cui quelle di supporto strutturale e regolazione di ogni attività tissutale e organica. Occorre considerare l'omeostasi globale cellulare come un complesso di meccanismi che possono trovare origine e sviluppo all'interno della cellula o all'esterno nella MEC; in quest'ultimo caso, la cellula può rappresentare il bersaglio intermedio o finale. Le componenti extracellulari, oltre a rappresentare strutture di sostegno fisico all'impalcatura cellulare, fungono anche da vere e proprie sedi di inizio, svolgimento e termine di processi vitali riguardanti sia l'ambiente endocellulare sia organi e apparati. Siamo di fronte a un infinito network biochimico in grado di generare, modulare, variare e propagare, anche a distanza, milioni e milioni di informazioni. Ogni cellula del corpo interagisce costantemente con la MEC, sia sotto l'aspetto meccanico sia sotto quello chimico ed energetico, con effetti "drammatici" sull'architettura statica e dinamica dei tessuti. I fibroblasti, a esempio, agiscono in modo sostanziale sul collagene da loro prodotto elaborandolo continuamente così da poterlo compattare e predisporre nelle forme e quantità richieste dalla specifica sede funzionale organica. Se si pongono due piccoli frammenti di tessuto embrionale distanti fra loro ma nella medesima coltura di gel di collagene, si assiste dapprima a una formazione di fibre di neocollagene, perfettamente allineate, che interconnettono i due monconi. Successivamente i fibroblasti migrano al di fuori dei due frammenti lungo le neo-fibre collagene controllandone la deposizione e venendo a loro volta monitorati. Tale sincizio funzionale è verosimilmente presente durante i processi rigenerativi della MEC e costituisce un continuum funzionale perenne in grado di autoregolarsi fronteggiando, in condizioni fisiologiche, le costanti variazioni richieste dalle diverse vitali funzioni tissutali (Albergati, 2004). Secondo P. A. Bacci (2004) la matrice interstiziale rappresenta veramente la madre delle reazioni vitali, il luogo dove, prima di tutto, avvengono gli scambi tra materia ed energia. Tutti i tessuti sono collegati e funzionalmente integrati fra loro non in sistemi chiusi ma aperti; fra essi avvengono continui scambi, che possono attuarsi sia a livello locale che sistemico, sfruttando messaggi biochimici, biofisici ed elettromagnetici, ossia utilizzando le varie forme di energia. La composizione ionica dello spazio interstiziale extracellulare costituisce una sostanza fondamentale che non solo permette gli scambi e la vita ma che agisce anche sull'espressività genica di ogni cellula. Come afferma F. G. Albergati (2004),

la cellula e la matrice extracellulare rappresentano due mondi solo apparentemente separati che necessariamente per tutta la durata della vita a ogni istante devono interagire per poter operare in modo corretto e sinergico. Ciò richiede una straordinaria serie di segnali a cui segue un altrettanto incredibile serie di attività biologico-molecolari.

Rimodellamento della MEC

La MEC va considerata come una struttura in perenne e costante “rimodellamento” morfofunzionale, sia in condizioni fisiologiche sia in condizioni patologiche, in base alle richieste funzionali provenienti sia dal proprio interno (mediante l'azione delle metalloproteasi) sia dalle cellule (per l'azione delle numerose frazioni proteiche di adesione). Una ridotta o assente capacità di rimodellamento della MEC è letale per la cellula. Come abbiamo visto, tutte le funzioni cellulari si esprimono in virtù della corrispondente funzione delle strutture della MEC e i processi patologici possono risultare primari o secondari alle modifiche della MEC. Chiari esempi di rimodellamento della MEC sono la riparazione degli strati dermo-ipodermici (tale processo richiede precise sequenze di degradazione della matrice, migrazione di specifiche cellule in tale sede, sintesi di una matrice provvisoria composta da fibronectina, fibrine e grandi quantità di collagene tipo III, fase di rimodellamento della matrice provvisoria fondamentale per il ripristino funzionale dei suoi componenti e di conseguenza del ripristino strutturale del tessuto stesso) e la neoangiogenesi (fisiologico processo di formazione di nuovi capillari in tessuti e organi in varie situazioni patologiche, fra cui quella oncologica). La neoangiogenesi viene studiata a scopo terapeutico con l'obiettivo di ripristinare la corretta irrorazione in tessuti ischemici, a esempio nel muscolo cardiaco o nel circolo periferico, così come per inibirne il processo, a esempio in campo tumorale (Shishido et al, 2003) Le metalloproteasi (MMPs) sono una famiglia di endopeptidasi contenenti zinco e calcio che mostrano la capacità potenziale di degradare tutte le proteine e i componenti proteoglicani della MEC. Esse possiedono sequenze analoghe al collagene interstiziale e si collocano sul versante esterno della membrana cellulare in forma inattiva (attivata al bisogno). La loro attività è inibita tramite uno specifico agente definito TIMP (Tissue Inhibitors of MetalloProteases). In passato denominate collagenasi o gelatinasi per la loro caratteristica di denaturare il collagene nativo o quello denaturato (gelatina) – Birkedal-Hansen (1993). Tali enzimi sono implicati in numerosi processi fisiologici e patologici inclusi angiogenesi, embriogenesi, risposte infiammatorie, arterosclerosi e numerose patologie artroreumatiche (artrite reumatoide inclusa – Dieppe, 1995).

MEC e patologie

L'attività delle metalloproteasi (MMPs) viene regolata in maniera molto fine durante il fisiologico rimodellamento dei tessuti. Tale regolazione sembra essere persa o drammaticamente ridotta in

situazioni patologiche quali la crescita tumorale. La bilancia proteasica-antiproteasica possiede anche una sorta di controllo spaziale nel senso che i tessuti si organizzano creando una “muraglia” di inibitori che circonda l'area ove sono presenti le metalloproteasi attivate (pertanto le cellule che producono le proteasi sono differenti da quelle che producono i relativi inibitori). Tutto questo sistema è ovviamente sottoposto a numerose influenze. In particolare lo stress ossidativo è in grado di modificare profondamente la bilancia proteasi-antiproteasi tramite i radicali liberi (ROS Reactive Oxygen Species o ROTS Reactive Oxygen Toxic Species) prodotti dagli “insulti” ambientali e metabolici e capaci di determinare vari danni ubiquitari in quanto non neutralizzati dai normali sistemi di difesa (scavengers): danneggiamento del DNA (spesso per mancata riparazione da parte della DNA-polimerasi e per apoptosi), necrosi cellulare, lipoperossidazione lipidica, disgregazione della matrice e quindi perdita funzionale dei recettori (integrine), danno mitocondriale e di altri organuli cellulari, blocco della catena respiratoria e quindi della produzione energetica, morte cellulare con sostituzione di collagene ossia fibrosi (Izzo, 2001). Stress ossidativo → attivazione MMPs e blocco TIMPs (inibitori delle MMPs) → Danno matriciale globale

La MEC è una sostanza fondamentale e vitale per gli scambi metabolici cellulari, un tipo di materia composita e viva che, pur variando spesso il proprio status da sol a gel, resta pur sempre una specie di “mare interno”, ricco, molto complesso e sensibile ai fenomeni di base quali tossicosi intestinali, alterate fasi di depurazioni epaticorenale, acidificazioni e alterazioni vascolari o dei sistemi di ossidoriduzione. L'equilibrio strutturale e metabolico del compartimento extracellulare risulta fondamentale nella regolamentazione degli scambi vitali di base. È tramite l'alterazione di questi meccanismi di equilibrio dell'omeostasi fisiologica che praticamente quasi tutte le malattie croniche e degenerative iniziano nella MEC. Molte malattie genetiche sono il risultato finale di mutazioni primitive di numerose molecole della MEC (Albergati, Bacci, 2004). Numerose patologie croniche e degenerative (tipiche malattie della nostra società) presentano una tendenza all'acidosi e all'aumento dei radicali liberi, da cui l'importanza di mantenere il pH corporeo a ca. 7,4 cioè leggermente alcalino tramite, in maniera particolare, una corretta alimentazione. A tale riguardo va sottolineato che non si tratta sempre di un problema sistemico ma talvolta anche di un'acidosi e/o uno stato ossidativo locale tissutale. Mentre nei grandi vasi le alterazioni ossidative e del pH vengono facilmente tamponate, nei tessuti e nei capillari invece l'acido viene spinto immediatamente fuori dalla cellula, attraverso le specifiche pompe, alterando i delicati scambi di gas e sostanze nutritive (Worlitschek, 2002). Nel neurone, la mielina esercita una protezione dell'assone quasi completa a eccezione di brevi spaziature, nodi di Ranvier, in cui l'assone si trova a diretto contatto con la MEC. A livello dei nodi sono quasi esclusivamente presenti i canali (proteine transmembrana che consentono un rapido ma selettivo attraversamento ionico) del

Na⁺; da cui anche qui l'importanza del pH extracellulare per la salute del neurone. Quando riversati nello spazio intersinaptico, i neurotrasmettitori, es. acetilcolina, vengono legati da canali di Na⁺ o K⁺; l'idrolisi dell'acetilcolina in colina e acetato, da parte della colinesterasi, libera rapidissimamente lo spazio intersinaptico consentendo il ripristino dello stato primitivo della MEC (Bloom, 1988). La riduzione del flusso microcircolatorio inibisce la lipolisi e l'uscita di grassi liberi e glicerolo, cioè produce lipogenesi. Tramite le osservazioni ultrastrutturali risulta facile osservare la connessione strutturale e funzionale degli adipociti e dei fibroblasti con i canali precollettori linfatici. Quando è presente una lipolisi, l'adipocita diminuisce di volume e il fibroblasto può contrarsi lasciando spazio al passaggio dell'acqua di derivazione metabolica che, assieme alle macromolecole proteiche, grassi ecc., forma in tal modo la linfa che depura cellula e tessuto. In caso di lipogenesi o di alterazione metabolica tissutale, fibroblasti e relative fibrille si decontraggono e la linfocinetica viene rallentata associando così al lipoedema (caratterizzato da iperpressione tissutale per aumento di acqua legata) il linfedema (caratterizzato da iperpressione interstiziale e vasale di acqua libera e proteine, ossia di linfa, con pressioni osmotiche maggiori) (Campisi, 1997). È quindi possibile definire un "sistema linfoadiposo cellulare" che potrebbe costituire la chiave di lettura dell'iniziale etiologia di tutte le alterazioni edematose che avrebbero così origine proprio nelle alterazioni della MEC (Curri, 1990). A tutto ciò concorre l'eccesso di zuccheri introdotti con la dieta (che provoca uno stoccaggio di lipidi, lipogenesi, nel tessuto adiposo periferico), lo stile di vita e l'habitat moderni (con le sue implicazioni posturali descritte nel paragrafo "Vita artificiale") nonché l'assunzione di estrogeni tramite gli alimenti (estrogeni vengono utilizzati nell'industria alimentare e nel trattamento dei terreni) e i farmaci (a esempio con la terapia estroprogestinica molto diffusa in particolare fra le giovani donne). Gli ormoni estrogeni esogeni entrano nell'organismo come pool che non viene legato alle proteine epatiche e che non viene riconosciuto dai meccanismi di feedback ipofisario (gli estrogeni endogeni continuano quindi a essere prodotti). Essi vengono trasportati in forma libera dal sistema vascolare e di norma distribuiti a livello del tessuto adiposo periferico provocando lipogenesi e ritenzione idrica nella MEC favorendo in tal modo i lipoedemi superficiali nelle ben note zone corporee (Fain & Sheperd, 1979). A ciò sembrano aggiungersi le alterazioni disbiotico - fermentative intestinali che avvengono in particolare a livello del colon per cattiva alimentazione, che produrrebbero tossine che, attraverso il sistema vascolare, si fisserebbero nella MEC. Le tossine assorbite a livello ipodermico provocherebbero alterazioni metaboliche a causa della loro azione acidificante e di ossidazione cellulare con conseguente rallentamento degli scambi metabolici e ritenzione idrica interstiziale. Le conseguenze potenziali sono un aumento di ioni intracellulari e delle macromolecole e quindi del carico da drenare per via linfatica (Bacci, 1997). Il termine IDH (Interstitial Heart Disease) è stato coniato per evidenziare aspetti della genesi di

alcuni scompensi cardio-circolatori in cui i miociti sarebbero “innocente bystander” nei confronti di eventi emodinamici con origine nelle cellule della MEC del cuore. Gli IDH sarebbero quindi dovuti ad anomalie strutturali dell'interstizio cardiaco, che rappresenta il 40% del miocardio (Gilbert & Wotton, 1997). La MEC, e il collagene in modo particolare, giocano un ruolo vitale a carico dei reni. Le lesioni croniche tubulo-interstiziali sono direttamente correlate al declino dell'attività secretoria renale e molto spesso si accompagna a una deposizione di MEC e a una trasformazione di fibroblasti in miofibroblasti (vedi in seguito paragrafo “Miofibroblasti”). In caso di ipofertilità o sterilità maschile, in assenza di evidenti scompensi endocrino-metabolici, nel testicolo, con o senza la produzione di sperma, il diametro dei tubuli seminiferi risulta molto ridotto in quanto la parete è notevolmente ispessita e il relativo tessuto connettivo prodotto dalla MEC aumenta proporzionalmente al deterioramento della funzione testicolare (incremento di laminina, vimentina e collagene IV) – Ikesen & Erdogru (2002). Alterazioni morfo-funzionali dei collagene cartilaginei cosiddetti “minori” (III, IX, XI) avvengono durante il processo di invecchiamento e in molte patologie quali osteoartrite, discopatie, distacco di retina e glaucoma (Furth, 2001). Oggi sappiamo che molte cellule epatiche (in particolare gli epatociti deputati all'immagazzinamento dei grassi, le cellule di Kupfer e gli endotelioцитi) sono in grado di produrre “on demand” numerosi componenti della MEC. La fibrosi rappresenta a livello epatico la “via comune” di risposta a insulti epatocellulari (infezioni, disturbi della circolazione epatica, necrosi ecc.). A livello dell'apparato respiratorio, le ricerche sempre più si orientano sulla MEC. A esempio in caso di asma sono presenti modifiche strutturali di varie componenti della MEC fra cui collagene e glicoproteine (Boulet, 1999). Ogni molecola ed elettrone dell'organismo presenta una rotazione e una vibrazione fisiologica propria e tipica che viene alterata in stati patologici, in modo particolare, in quelli cronici e degenerativi. La MEC soggiace pertanto anche a leggi fisiche di tipo elettromagnetico per conservare il suo stato naturale di sol permettendo la circolazione di quell'energia che rappresenta il motore principale di tutti gli scambi cellulari e tissutali di base. Le alterazioni fisico-energetiche associandosi a quelle biochimiche innescano patologie croniche e degenerative tramite lo squilibrio funzionale delle metalloproteasi. Auspicabile è l'applicazione di terapie integrate: chimico-fisiche (nutrizionali-farmacologiche) agenti dall'interno, meccanico-energetico (terapie manuali, del movimento, strumentali) agenti dall'esterno (Pischinger, 1996).

2. Tessuto connettivo e fascia

Dal tessuto connettivo al sistema fasciale

Il tessuto connettivo non costituisce un semplice materiale di riempimento. Esso comprende cellule, fibre e matrice extracellulare organizzate in tessuti con proprietà differenti e partecipa al

sostegno, alla trasmissione delle forze, alla protezione, alla riparazione, agli scambi locali e alla regolazione dell'ambiente tissutale. La fascia rappresenta una delle espressioni più evidenti di questa organizzazione connettivale e mette in relazione strutture che, nell'anatomia descrittiva tradizionale, vengono spesso considerate separatamente.

L'idea centrale dell'edizione del 2010 conserva un valore importante: il movimento non dipende soltanto dalla contrazione muscolare e dalle articolazioni, perché le strutture connettivali partecipano alla distribuzione delle tensioni e alla trasmissione del carico. Questa intuizione può essere formulata in modo più preciso evitando di trasformare la fascia in un "organo universale" capace di spiegare da solo postura, dolore e malattia.

Il termine sistema fasciale viene utilizzato per descrivere l'insieme dei tessuti connettivi fibrosi che avvolgono, separano, collegano e penetrano muscoli, gruppi muscolari, tendini, vasi, nervi e altre strutture. La loro architettura cambia da una regione all'altra e risponde alle specifiche richieste meccaniche e biologiche del distretto.

Anatomia e nomenclatura: dal modello dei "cilindri" a una rete regionale

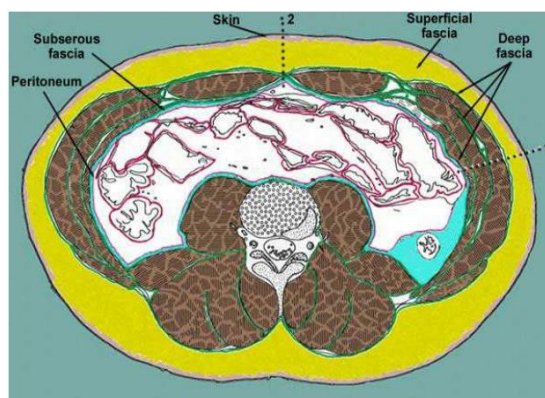


Immagine originale – edizione 2010, p. 10. Sezione anatomica originale utilizzata per illustrare gli strati fasciali.

Nell'edizione del 2010 la fascia veniva descritta attraverso un modello didattico composto da cilindri longitudinali concentrici: fascia superficiale, fascia profonda, fascia viscerale e fascia meningeale. Tale rappresentazione aveva il pregio di sottolineare la continuità anatomica del connettivo ma oggi è preferibile non interpretarla come una suddivisione anatomica rigida o come la prova dell'esistenza di un'unica guaina continua dall'esterno all'interno del corpo.

La terminologia moderna distingue infatti diversi compartimenti e sistemi connettivali. La fascia superficiale appartiene al sottocute e contiene una quota variabile di tessuto adiposo, vasi e nervi. La fascia profonda forma lamine e setti di tessuto connettivo denso che avvolgono gruppi muscolari, continuano con aponeurosi e retinacoli e possono trasmettere tensioni tra regioni vicine. All'interno del muscolo, epimisio, perimisio ed endomisio collegano le fibre contrattili alla

rete connettivale e ai tendini. I connettivi viscerali e meningei possiedono invece caratteristiche specifiche e non devono essere semplicemente assimilati alla fascia muscolo-scheletrica.

Fascia superficiale, fascia profonda e continuità miofasciale

La fascia superficiale favorisce lo scorrimento della cute sui piani profondi e rappresenta una via di passaggio per strutture vascolari e nervose. La fascia profonda possiede invece una maggiore organizzazione collagenica e può presentare più strati con orientamenti differenti delle fibre. Questa disposizione permette al tessuto di resistere a forze provenienti da direzioni diverse e di adattarsi alle deformazioni prodotte dal movimento.

La continuità tra fascia profonda, aponeurosi, setti intramuscolari, epimisio e tendini consente una trasmissione della forza che non avviene esclusivamente lungo l'asse classico muscolo-tendine-osso. Una parte della forza può essere trasferita lateralmente attraverso il connettivo intramuscolare e tra strutture adiacenti. Questa trasmissione contribuisce alla coordinazione meccanica dei segmenti corporei senza implicare che ogni tensione locale debba necessariamente propagarsi a tutto l'organismo.

La fascia toracolombare rappresenta uno degli esempi più studiati di questa integrazione. Le sue lamine si connettono con muscoli paraspinali, addominali, grande gluteo e gran dorsale e partecipano alla trasmissione del carico tra tronco, bacino e arti. La sua funzione dipende dall'interazione con l'attività muscolare, dalla geometria del rachide, dalla pressione intra-addominale e dal compito motorio.

Scorrimento fasciale, ialuronano e fasciaciti

La funzione della fascia non dipende soltanto dalla resistenza alla trazione. I diversi strati devono anche poter scorrere reciprocamente. Tra le lamine fasciali si trovano tessuti connettivi più lassi e una matrice ricca di acqua e ialuronano, che contribuisce a ridurre l'attrito e a consentire lo scorrimento tra piani.

Negli ultimi anni sono state descritte cellule specializzate, spesso indicate come fasciaciti, particolarmente associate alla produzione di ialuronano nelle fasce profonde. Il loro ruolo è ancora oggetto di studio ma queste osservazioni hanno rafforzato l'idea che la fascia sia un tessuto metabolicamente attivo e capace di modificare le proprie proprietà in relazione agli stimoli meccanici e biologici.

L'ialuronano possiede proprietà reologiche dipendenti da concentrazione, temperatura, pH locale e velocità di deformazione. Il vecchio concetto di una semplice trasformazione manuale "gel-sol" della sostanza fondamentale risulta oggi troppo riduttivo. Le modificazioni dello scorrimento

fasciale possono essere reali ma derivano dall'interazione tra matrice, acqua, ialuronano, temperatura, carico e attività cellulare.

Sistema fasciale: modello funzionale aggiornato 2026

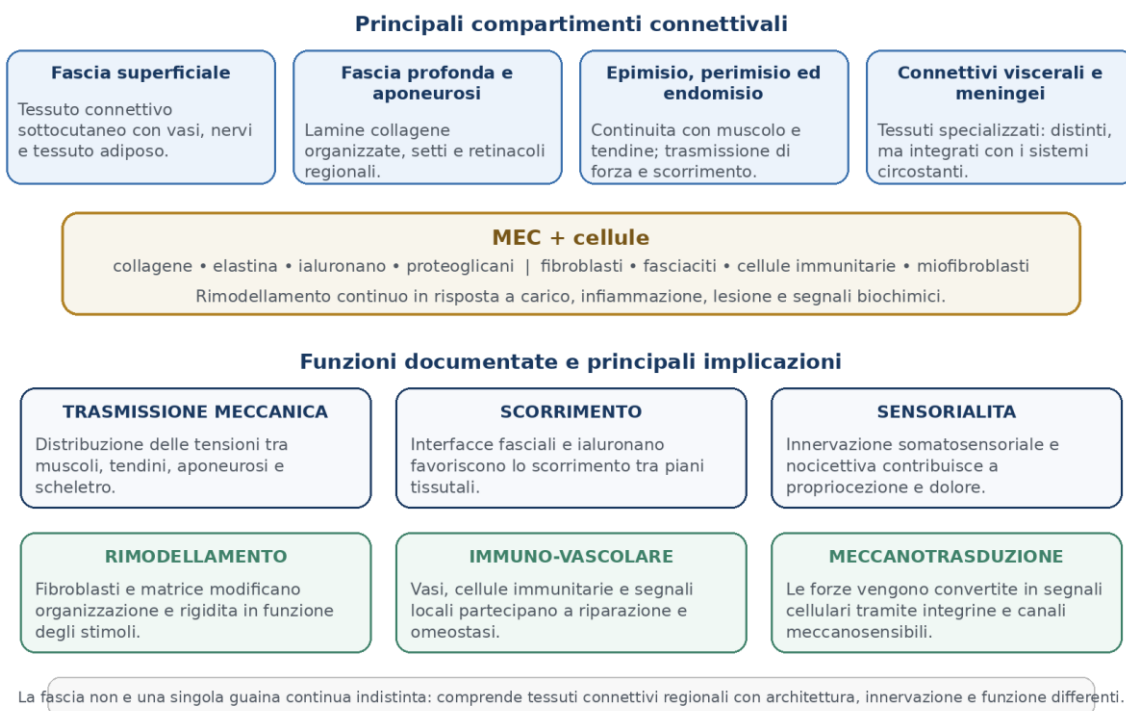


Figura 14 – Sistema fasciale nell'edizione 2026. La figura riassume i principali compartimenti connettivali e le funzioni meglio documentate: trasmissione meccanica, scorrimento, funzione sensoriale, rimodellamento, partecipazione immuno-vascolare e meccano-trasduzione.

Innervazione fasciale: meccanorecezione e nocicezione

La fascia è innervata e contiene terminazioni nervose capaci di rispondere a stimoli meccanici e nocicettivi. Gli studi anatomici mostrano che la densità e il tipo di innervazione variano tra le diverse fasce e tra i diversi strati. La fascia toracolombare e la fascia lata, a esempio, presentano una ricca innervazione, mentre altre regioni possiedono una densità minore.

L'edizione del 2010 definiva il sistema miofasciale come il più vasto organo sensoriale dell'organismo e attribuiva una quota molto elevata dell'afferenza sensitiva ai recettori interstiziali. È più corretto affermare che il connettivo fasciale rappresenta una componente importante del sistema somatosensoriale e nocicettivo, senza assegnargli un primato quantitativo non dimostrato.

Le terminazioni nervose libere possono rispondere a stimoli meccanici, chimici e infiammatori e possono contribuire al dolore miofasciale. In condizioni di infiammazione o sensibilizzazione, la soglia nocicettiva può ridursi e un carico normalmente tollerato può diventare doloroso. La relazione tra fascia e dolore deve però essere interpretata all'interno di un sistema più ampio che

comprende sistema nervoso periferico e centrale, muscoli, articolazioni, stato infiammatorio, sonno, stress e contesto individuale.

Miofibroblasti: contrazione tissutale, riparazione e fibrosi

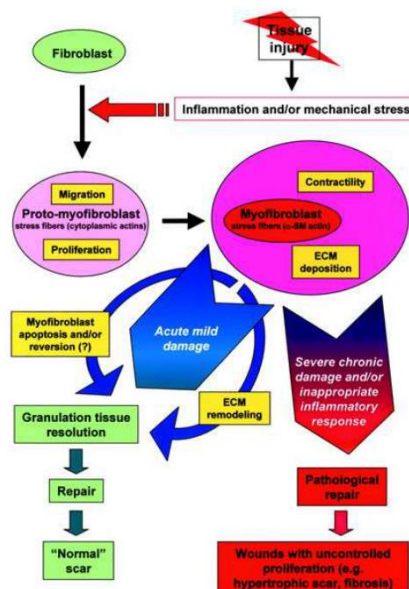


Immagine originale – edizione 2010, p. 13. Schema originale del ruolo dei miofibroblasti nel rimodellamento e nella fibrosi.

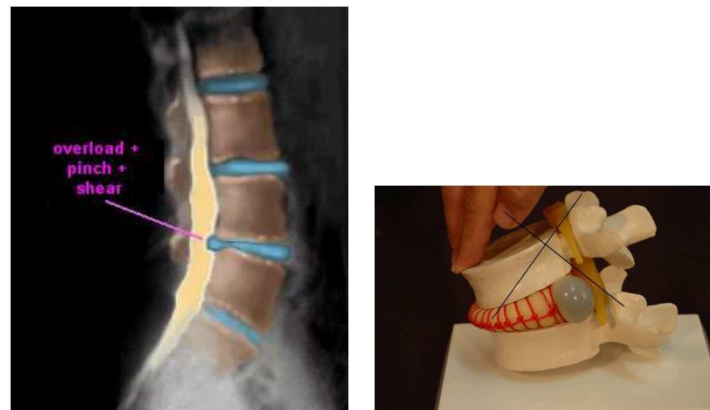
I miofibroblasti derivano in gran parte dalla differenziazione di fibroblasti e possiedono un apparato contrattile ricco di actina. Essi svolgono un ruolo fondamentale nella riparazione delle ferite: generano tensione, avvicinano i margini della lesione e producono matrice extracellulare. Quando il processo di riparazione termina, la loro attività deve ridursi; la persistenza dei miofibroblasti può invece favorire fibrosi e contratture patologiche.

Le tensioni meccaniche, la rigidità della matrice e mediatori come il TGF-beta possono favorire la differenziazione miofibroblastica. Si crea così un circuito nel quale una matrice più rigida aumenta l'attività contrattile e fibrotica e la maggiore deposizione di matrice incrementa ulteriormente la rigidità. Questo meccanismo rappresenta un esempio concreto di reciprocità tra struttura e funzione.

La presenza di miofibroblasti nelle fasce normali suggerisce inoltre che il tessuto possa modificare lentamente il proprio stato tensionale. Le forze sviluppate da queste cellule non sono però sufficienti per spiegare una stabilizzazione articolare rapida paragonabile alla contrazione muscolare. Gli effetti plausibili si manifestano soprattutto su tempi più lunghi, da minuti e ore fino a giorni o mesi, attraverso variazioni progressive della rigidità tissutale.

La precedente ipotesi che collegava direttamente la contrazione fasciale dei miofibroblasti alla fibromialgia, all'iperventilazione e a particolari livelli di serotonina non dispone oggi di evidenze sufficienti per essere mantenuta come spiegazione causale. La fibromialgia viene interpretata come una condizione complessa nella quale sono coinvolti soprattutto processi di elaborazione e modulazione del dolore, insieme a molteplici fattori periferici e sistemici.

Biomeccanica della fascia toracolombare



Immagini originali – edizione 2010, p. 13. (a) Immagine originale del modello di sovraccarico, pinch e shear del segmento lombare. (b) Modello anatomico originale di disco e strutture posteriori sottoposte a carico.

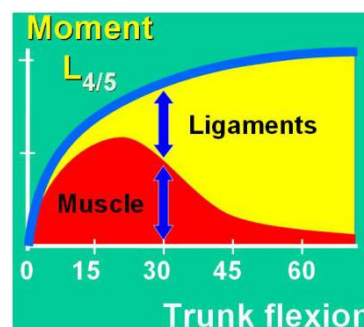


Immagine originale – edizione 2010, p. 14. Grafico originale del contributo relativo di muscoli e legamenti al momento L4-L5 durante la flessione del tronco.

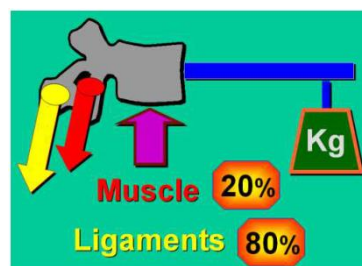


Immagine originale – edizione 2010, p. 14. Schema originale del modello di leva con contributo attribuito a muscoli e legamenti nel sollevamento.



Immagine originale – edizione 2010, p. 15. Immagine originale della tecnica di sollevamento in flessione.

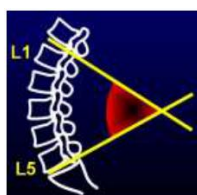


Immagine originale – edizione 2010, p. 15. Schema originale dell'angolo lombo-sacrale e della lordosi lombare.

La fascia toracolombare costituisce una struttura multilaminare che avvolge i muscoli paraspinali e crea connessioni meccaniche con parete addominale, bacino e arti. Le sue fibre possiedono orientamenti differenti e possono essere tensionate dall'attività del grande gluteo, del gran dorsale, degli erettori spinali, del trasverso dell'addome e di altri muscoli. La fascia partecipa quindi al trasferimento delle forze e alla modulazione della rigidità del tronco.

L'edizione del 2010 utilizzava il modello di Gracovetsky per attribuire alla fascia una quota molto elevata del lavoro durante il sollevamento dei carichi e riportava valori come "80% fascia e 20% muscoli". Questi numeri non devono essere interpretati come proporzioni universali. Il contributo relativo di muscoli, legamenti e fascia cambia in funzione dell'angolo del tronco, del peso, della velocità, della tecnica individuale e delle caratteristiche anatomiche.

Anche la pressione intra-addominale contribuisce alla stabilità del tronco ma non agisce attraverso un unico meccanismo. La contrazione coordinata del diaframma, dei muscoli addominali, del pavimento pelvico e dei muscoli spinali può aumentare la rigidità del sistema e modificare la distribuzione dei carichi. La fascia toracolombare partecipa a questa strategia come elemento di trasmissione meccanica e non come sostituto della funzione muscolare.

Non esiste quindi una tecnica di sollevamento universalmente migliore per ogni individuo e per ogni carico. La sicurezza dipende dalla capacità del soggetto, dalla progressione del carico, dalla fatica, dalla velocità, dalla storia clinica e dalla possibilità di variare la strategia motoria. L'obiettivo è disporre di un repertorio motorio adeguato al compito, non mantenere rigidamente una singola forma della lordosi.

Viscoelasticità: creep, stress relaxation e isteresi

Le fasce e gli altri tessuti ricchi di collagene presentano un comportamento viscoelastico. La loro deformazione dipende quindi non soltanto dall'intensità della forza ma anche dalla durata e dalla velocità con cui il carico viene applicato. Un carico mantenuto può produrre creep, cioè un aumento progressivo della deformazione; una deformazione mantenuta può produrre stress relaxation, cioè una riduzione progressiva della tensione necessaria a mantenerla.

Quando il tessuto viene caricato e successivamente scaricato, il percorso meccanico di ritorno non coincide perfettamente con quello di andata. Questa isteresi rappresenta una dissipazione di energia ed è una caratteristica normale dei tessuti biologici. Temperatura, idratazione, età, allenamento, lesioni e storia dei carichi modificano la risposta viscoelastica.

La prima edizione riportava soglie precise, come il limite dei due terzi dell'allungamento massimo, e sosteneva che un carico dovesse essere sollevato rapidamente perché un movimento lento consentirebbe di sollevare soltanto una frazione del peso. Queste formulazioni non possono essere applicate come regole generali alla fascia umana. La velocità modifica certamente la risposta meccanica dei tessuti ma la sicurezza del gesto dipende dall'intero sistema neuromuscolare e dal compito e non da una singola proprietà viscoelastica.

Terapie manuali e fascia: effetti possibili e limiti delle interpretazioni

Le tecniche manuali possono modificare temporaneamente dolore, percezione di rigidità, mobilità e tono muscolare in alcune persone. Gli effetti possono derivare da una combinazione di stimoli meccanici locali, modulazione sensoriale, cambiamenti del sistema nervoso autonomo, aspettative, contesto terapeutico e movimento successivo al trattamento.

L'edizione del 2010 attribuiva a specifiche pressioni manuali una stimolazione selettiva dei recettori di Ruffini o di Pacini con conseguente aumento del tono vagale oppure attivazione. Questa interpretazione è interessante dal punto di vista storico ma non è sufficientemente dimostrata per prevedere in modo deterministico la risposta clinica di una persona. Allo stesso modo, non è corretto descrivere la terapia manuale come capace di "rompere" una fascia normale o di riposizionare permanentemente una rete connettivale attraverso la sola pressione esterna.

Il valore clinico delle tecniche manuali risulta maggiore quando esse vengono inserite in un programma che comprende movimento, esercizio, esposizione progressiva al carico e recupero della funzione. La fascia può rappresentare uno dei bersagli biologici del trattamento ma la risposta terapeutica appartiene all'intero sistema persona.

Dalla fascia alla postura

La fascia contribuisce alla postura perché partecipa alla trasmissione delle forze, allo scorrimento tra tessuti, alla percezione somatosensoriale e al rimodellamento indotto dal carico. Essa costituisce un ponte reale tra matrice extracellulare, muscolo e movimento. Questo ponte non deve però essere trasformato in una spiegazione unica della postura.

La postura emerge dall'interazione tra sistema nervoso, apparato muscolo-scheletrico, sistema fasciale, informazioni sensoriali, gravità, compito e ambiente. Le proprietà della fascia influenzano il modo in cui il corpo distribuisce le tensioni e, nello stesso tempo, il modo in cui ci muoviamo modifica nel tempo la struttura e le proprietà del tessuto connettivo. La relazione è quindi bidirezionale.

Questa reciprocità prepara il passaggio al capitolo successivo. Il concetto di tensegrità verrà utilizzato come modello per comprendere come compressione e tensione possano cooperare nell'organizzazione del corpo umano, distinguendo però ciò che rappresenta una descrizione biomeccanica utile da ciò che rimane un'analogia o un'ipotesi non dimostrata.

Edizione originale 2010 – approfondimenti su tessuto connettivo e fascia

Il passaggio seguente riproduce i contenuti del 2010, mantenuti per continuità storica e accompagnati dall'aggiornamento scientifico 2026.

Introduzione

Il tessuto connettivo è parte integrante della MEC. Esso non presenta soluzioni di continuità: ogni tessuto e organo contiene tessuto connettivo e le loro funzioni dipendono in maniera straordinaria dalle interconnessioni anatomico-funzionali. Embriologicamente la maggior parte dei tessuti connettivi derivano dal mesoderma, alcuni tessuti connettivi del cranio derivano direttamente dal neuroectoderma. Quello che fino a poco fa era considerato un "banale" tessuto di connessione e riempimento, è in realtà un sistema o organo con innumerevoli fondamentali funzioni. Funzioni del tessuto connettivo mantenimento postura, connessione e protezione organi, equilibrio acido-base, metabolismo idrosalino, equilibrio elettrico e osmotico, circolazione sanguinea, conduzione nervosa, propriocezione, coordinazione motoria, barriera all'invasione di batteri e particelle inerti, immunitaria (leucociti, mastociti, macrofagi, plasmacellule), processi infiammatori, riparazione e riempimento zone danneggiate, riserva energetica (lipidi), di acqua

ed elettroliti, di ca. 1/3 delle proteine plasmatiche totali, migrazione cellulare, comunicazione intercellulare ed extra-intracellulare ecc. (Chetta, 2007).

Fascia connettivale

Fra i vari tipi di tessuto connettivo (tessuto connettivo propriamente detto, tessuto elastico, tessuto reticolare, tessuto mucoso, tessuto endoteliale, tessuto adiposo, tessuto cartilagineo, tessuto osseo, sangue e linfa), la fascia connettivale è il “ponte” che ci conduce dalla MEC alla postura. Prendendo spunto dalla schematizzazione proposta da

F. Willard (2007), si può considerare la fascia suddivisa all'incirca in quattro strati formanti cilindri longitudinali concentrici fra loro interconnessi.

1) Lo strato/cilindro più esterno, presente sotto il derma, rappresenta la fascia superficiale. A livello del capo questa fascia si continua nella galea capitis (o galea aponeurotica che ricopre la parte superiore del cranio connettendosi posteriormente alla protuberanza esterna dell'osso occipitale, tramite la linea nucale, e anteriormente all'osso frontale, per mezzo di un corto e stretto prolungamento), mentre si fonde con la fascia profonda a livello della pianta del piede (formando i retinacoli del talo) e del palmo della mano (retinacoli del carpo). La fascia superficiale è composta da tessuto connettivo lasso (sottocutaneo al cui interno può esserci una trama di fibre collagene e soprattutto elastiche) e adiposo (pertanto il suo spessore, oltre che dalla localizzazione, dipende dalla nostra alimentazione). Tramite fibre, tale fascia forma un continuum con derma ed epidermide verso l'esterno e, al contempo, si ancora ai tessuti e organi sottostanti. La fascia superficiale rappresenta un'importante sede di stoccaggio di acqua e grasso, protegge da deformazioni e insulti meccanici e termici (strato isolante), è una via di passaggio per nervi e vasi sanguigni e permette lo scorrimento della pelle sopra la fascia profonda. Come la fascia profonda presenta poca vascolarizzazione.

2) Sotto la fascia superficiale vi è la fascia profonda, detta anche cervico-toraco-lombare, che rappresenta uno strato cilindrico piuttosto coeso intorno al corpo (tronco e arti). Essa è costituita da tessuto connettivo denso irregolare formato da fibre collagene ondulate e da fibre elastiche (disposte secondo andamento trasversale, longitudinale e obliquo) e forma una membrana che riveste la parte esterna muscolare. Questa guaina, sviluppata intorno alla notocorda (che forma l'asse mediano embrionale), ricopre il corpo estendendosi dal cranio, a livello del margine della mascella e della base craniale con cui è fusa (e da cui si forma il cranio che però fa parte strato meningeo avendo la stessa origine embriologica), da qui si dirige verso gli arti superiori (fino a fondersi con la fascia superficiale a livello dei retinacoli del palmo della mano) e anteriormente passa sotto i muscoli pettorali, ricopre i muscoli intercostali e le coste, l'aponeurosi addominale e si connette alla pelvi. La fascia profonda gira posteriormente connettendosi ai processi trasversi

e poi alle apofisi spinose vertebrali formando quindi due comparti (destro e sinistro) contenenti i muscoli paravertebrali. A livello dell'osso sacro, tale fascia forma un "nodo" inasportabile (in quanto fuso con l'osso) in cui convergono i vari compartimenti fasciali del corpo e da cui si diparte la porzione di fascia profonda che percorre gli arti inferiori fino a fondersi con la fascia superficiale, a livello della pianta del piede nei retinacoli del talo. Caratteristica distintiva della fascia profonda è quella di formare dei comparti strutturali e funzionali ossia contenenti determinati gruppi muscolari con innervazione specifica. Il compartimento conferisce anche delle caratteristiche morfo-funzionali specifiche al muscolo: un muscolo che si contrae all'interno di una guaina sviluppa una pressione che sostiene la contrazione stessa. I muscoli transversus abdominis costituiscono la parte attiva della fascia toraco-lombare. A livello del singolo muscolo, la fascia profonda si continua, tramite i setti, le aponeurosi e i tendini (formati da fibre collagene parallele e quasi del tutto inestensibili), con la fascia muscolare costituita dall'epimisio (tessuto connettivo fibro-elastico che riveste l'intero muscolo) che si estende nel ventre muscolare costituendo il perimisio (tessuto connettivo lasso che riveste i fascicoli di fibre muscolari) e l'endomisio (delicato rivestimento della fibra muscolare).

In condizioni fisiologiche, tali setti e rivestimenti consentono lo scorrimento delle fibre muscolari nonché il loro nutrimento. Questa fascia è direttamente collegata sia anatomicamente sia funzionalmente ai fusi neuromuscolari e agli organi tendinei del Golgi (Stecco, 2002). Come la fascia superficiale, la fascia profonda è scarsamente vascolarizzata (spesso le incisioni chirurgiche vengono eseguite dove la fascia si sovrappone o si fonde in quanto la robustezza di tali zone consente ancoraggi sicuri e più facili riparazioni cicatriziali) e fornisce vie di passaggio per nervi e vasi. Come approfondito nel capitolo "Biomeccanica della fascia profonda", quest'ultima riveste un'enorme importanza dal punto di vista posturale. Il cilindro costituito dalla fascia profonda contiene due ulteriori cilindri longitudinali posti uno dietro l'altro e formanti, quello anteriore, la fascia viscerale e quello posteriore la meningeale.

3) Il cilindro posto anteriormente all'interno della fascia profonda, denominato fascia viscerale o splancnica, è una colonna fasciale che forma il mediastino, estendendosi dalla bocca all'ano tramite varie porzioni con simile struttura ed embriologia: parte dalla base del cranio, si estende giù lungo l'asse mediano (fascia endocervicale, faringea), forma il film ricoprente la pleura parietale dei polmoni (fascia endotoracica), attraversa il diaframma, circonda varie zone della cavità addominale avvolgendo la sacca peritoneale (fascia endoaddominale) e si estende fino alla pelvi (fascia endopelvica). La porzione maggiore di questa fascia si trova intorno agli organi toracici, sull'asse mediano, dove forma una colonna, il comparto mediastinico del torace. Il mediastino toracico si continua quindi con quello addominale fungendo anche da grosso condotto per i fluidi. A livello addominale la fascia endoaddominale si diparte dalla colonna assiale per

rivestire completamente gli organi sospesi tornando poi a ricongiungersi con essa (i mesenterici sono ricchi di questa fascia). In alcuni punti la fascia viscerale tende a specializzarsi (a esempio si ispessisce intorno ai reni per proteggerli). Questa fascia presenta quindi il grande vantaggio di poter creare degli scomparti ma, essendo anche un deposito di grasso, può creare problematiche di massa deformando la cavità corporea. A esempio negli obesi può avvenire un'alterazione strutturale e quindi funzionale del diaframma: se l'aumento di massa endotoracica è tale da spingere verso l'esterno le coste, ciò causa un appiattimento del diaframma così che contraendosi, invece di funzionare come muscolo verticale che si abbassa sollevando le coste, trazione i bordi costali verso l'interno trasformandosi in un muscolo espiratorio. In tale situazione sarà impossibile effettuare una fisiologica respirazione profonda e si dovrà ricorrere a respiri brevi, superficiali e frequenti con tutte le conseguenze sulla salute derivanti da ciò. Alcuni ricercatori considerano questa fascia un tutt'uno con quella profonda.

4) Il cilindro posteriore, contenuto nella fascia profonda e posto dietro la fascia viscerale, rappresenta la fascia meningeale che racchiude l'intero sistema nervoso centrale. L'osso craniale, praticamente sospeso sul materiale meningeo, presenta un'origine neuroectodermica sviluppandosi dalla base craniale per differenziazione delle cellule della cresta neurale cranica; esso fa quindi parte dello strato meningeo (e non di quello cervico-toraco-lombare che si ferma, come abbiamo visto, alla base craniale). Asportando l'osso occipitale si accede alla dura madre, punto di partenza superiore della fascia meningeale che si estende in giù fino a ca. la II vertebra sacrale tramite il sacco durale (contenente aracnoide, pia madre, midollo spinale, midollo sacrale, radici nervose spinali, nervi della cauda equina e liquor cerebrospinale). La fascia meningeale possiede funzione protettiva e nutritiva del sistema nervoso centrale.

Meccanocettori fasciali

È il tessuto miofasciale in realtà a rappresentare il più vasto organo sensorio del nostro organismo, è da esso infatti che il sistema nervoso centrale riceve in massima parte nervi afferenti (sensitivi). La presenza di meccanocettori, in grado di comportare effetti a livello locale e generale, è stata abbondantemente riscontrata nella fascia fin nei legamenti viscerali e nella dura madre cefalica e spinale (sacco durale). È noto che l'organismo riserva al sistema di feed-back una grande importanza. Spesso infatti in un nervo misto la quantità di fibre sensitive supera di gran lunga quelle motorie. Ciò che occorre considerare è che nell'innervazione muscolare tali fibre sensitive derivano solo per ca. il 25% dai ben noti recettori del Golgi, Ruffini, Pacini e Paciniformi (fibre tipo I e II) mentre tutta la restante parte ha origine dai "recettori interstiziali" (fibre tipo III e IV). Questi piccoli recettori, che perlopiù originano come terminazione nervose libere, oltre a essere i più numerosi nel nostro organismo sono ubiquitari (la loro massima concentrazione è nel periostio)

e pertanto sono presenti sia negli interstizi muscolari sia nella fascia. Circa il 90% di essi sono demielinizzati (tipo IV) mentre i restanti posseggono una sottile guaina mielinica (tipo III). I recettori “interstiziali” possiedono un’azione più lenta rispetto ai recettori tipo I e II e in passato sono stati considerati perlopiù nocicettori, termo e chemiorecettori. In realtà molti di loro risultano multimodali e in maggioranza sono meccanorecettori suddivisibili in due sottogruppi, in base alla loro soglia di attivazione tramite stimoli pressori: low-treshold (LTP) e high-treshold pressure (HTP) - Mitchell & Schmidt, 1977. L'attivazione, in determinati stati patologici di recettori interstiziali sensibili sia a stimoli dolorifici che meccanici (in maggioranza HTP) può generare sindromi dolorose in assenza delle classiche irritazioni nervose (es. compressioni radicolari) – Chaitow & DeLany, 2000. Questo network sensoriale oltre ad avere una funzione di rilevamento afferente del posizionamento e del movimento dei segmenti corporei, influenza, per mezzo di intime connessioni, il sistema nervoso autonomo riguardo funzioni, quali la regolazione della pressione sanguinea, del battito cardiaco e della respirazione, sintonizzandole, in maniera molto precisa, alle esigenze tissutali locali. L'attivazione dei meccanorecettori interstiziali agisce sul sistema nervoso autonomo inducendolo a variare la pressione locale di arteriole e capillari presenti nella fascia, influenzando così il passaggio di plasma dai vasi alla matrice extracellulare variandone quindi la viscosità locale (Kruger, 1987). Inoltre la stimolazione dei recettori interstiziali, così come quella dei recettori di Ruffini, è in grado di incrementare il tono vagale generando cambiamenti globali a livello neuromuscolare, corticale ed endocrino ed emozionale concernenti un profondo e benefico rilassamento (Schleip, 2003). Pressioni manuali profonde, eseguite in maniera statica o con lenti movimenti, oltre a favorire la trasformazione “gel to sol” della sostanza fondamentale della fascia (grazie alle sue proprietà tixotropiche), stimolano i meccanorecettori di Ruffini (specie per forze tangenziali come lo stretching laterale) e una parte degli interstiziali inducendo un incremento dell'attività vagale con i relativi effetti sulle attività autonome fra cui un rilassamento globale di tutti i muscoli oltre che mentale (van den Berg & Cabri, 1999). Risultato opposto è ottenuto tramite manualità energiche e rapide che stimolano i corpuscoli di Pacini e i Paciniformi (Eble 1960).

Miofibroblasti

Scoperti nel 1970, i miofibroblasti sono cellule del tessuto connettivo interposte alle fibre collagene fasciali con capacità contrattili simili alla muscolatura liscia (contengono actina). Esse ricoprono un riconosciuto e importante ruolo nella guarigione delle ferite, nella fibrosi dei tessuti e nelle contratture patologiche. I miofibroblasti si contraggono attivamente in situazioni infiammatorie quali morbo di Dupuytren, artrite reumatoide, cirrosi epatica. In condizioni fisiologiche si trovano nella pelle, milza, utero, ovaie, vasi circolatori, setti polmonari, legamenti periodontali (van den Berg & Cabri, 1999). La loro evoluzione è vista generalmente da normali

fibroblasti a proto-miofibroblasti, fino alla completa differenziazione in miofibroblasti e a una apoptosi terminale che è influenzata dalle tensioni meccaniche, dalle citochine e da specifiche proteine che provengono dalla matrice extracellulare.

Data anche la favorevole configurazione della distribuzione di tali cellule contrattili all'interno della fascia, il loro probabile ruolo è quello di sistema di tensione accessorio in grado di sinergizzare la contrazione muscolare fornendo un vantaggio in situazioni di pericolo per la sopravvivenza (lotta e/o fuga). È inoltre molto probabile che grazie a tali fibre muscolari lisce il sistema nervoso autonomo, tramite nervi intrafasciali, possa “pre-tensionare” la fascia indipendente dal tono muscolare (Gabbiani, 2003, 2007). La presenza di tali cellule nelle capsule di rivestimento degli organi spiegherebbe a esempio come la milza possa rimpicciolirsi fino a metà del suo volume in pochi minuti (fenomeno osservato nei cani in situazioni di sforzo strenuo in cui viene richiesta l'erogazione della scorta di sangue in essa contenuto nonostante che il rivestimento capsulare sia ricco in fibre collagene che consentono solo piccole variazioni di lunghezza (Schleip, 2003).

La contrazione delle fibre muscolari lisce è ottenuta tramite l'attivazione del sistema nervoso simpatico così come per mezzo di sostanze vasocostrittrici quali la serotonina e l'anidride carbonica (CO₂). Quest'ultima crea un ulteriore legame fra comportamento della fascia e ph corporeo. Risulta significativo che la maggior parte dei pazienti affetti da fibromialgia o stanchezza cronica presentino una cronica iperventilazione franca o borderline (con conseguente aumento di alcalinità per carenza di CO₂ nel sangue) nonché alti livelli inusuali di serotina nel liquido cerebrospinale. La serotina infine abbassa la soglia di attivazione dei nocicettori interstiziali tipo IV. Ciò indicherebbe che il dolore fibromialgico possa essere causato in parte dalla contrazione della fascia (disfunzione motoria) e ancor più dall'alterazione della sensibilità recettoriale dolorifica (disfunzione sensoriale) - Mitchell & Schmidt, 1977.

“L'anima dell'uomo, con tutte le sue sorgenti di acqua pura vivente, sembra sgorgare nella fascia del suo corpo. Quando tu vieni a patti con la fascia, tu tratti e lavori con le succursali del cervello sottoposte alle stesse leggi del quartier generale, come se lavorassi con il cervello stesso: perché dunque non trattare la fascia con lo stesso grado di rispetto?” (Still, 1899)

Biomeccanica della fascia profonda

La fascia toraco-lombare, dal punto di vista biomeccanico, riveste il fondamentale compito di minimizzare lo stress sulla colonna vertebrale e ottimizzare la locomozione. Considerando opportunamente la fascia si potranno sfatare alcune comuni Situazione a rischio solo in caso di pregresse fissurazione dell'anello convinzioni basate su ipotesi, se fibroso e iniziale erniazione del nucleo pur suggestive, in realtà mai dimostrate. Gli studi dimostrano che il disco

intervertebrale raramente viene Sovraccarico + „pizzicamento“ + sforzo danneggiato per pura compressione assiale in quanto il corpo di taglio = situazione a rischio per l'anello fibroso (rischio di ernia) vertebrale viene distrutto molto prima dell'anulus fibroso (Shirazi- Adl et al. 1984). Il piatto articolare del corpo vertebrale si rompe per un carico assiale (per pura compressione) di ca. 220 kg (Nachemson, 1970): la pressione del nucleo del disco intervertebrale causa la frattura del end-plate in cui migra parte del materiale nucleare (noduli di Schmorl) ed essendo un danno a carico dell'osso spongioso può guarire in tempi brevi. Ciò sebbene il metamero vertebrale si rompe a ca 1.200 kg (Hutton, 1982) e l'anulus fibroso, per una pura compressione assiale non inferiore a 400 kg, subisce solo un 10% di deformazione (Gracovetsky, 1988). La compressione assiale pertanto non è in grado di creare fissurazioni dell'anulus (e di creare danni alle faccette articolari) a meno di violenti impatti. Invece la compressione associata alla torsione si è dimostrata in grado di danneggiare le fibre dell'anulus e i legamenti capsulari delle faccette articolari; nei casi estremi vi è l'erniazione. Il danno è localizzato alla periferia del disco ed essendo un danno legamentoso richiede tempo per ripararsi. Un'ernia del disco, salvo rare eccezioni, è quindi scatenata in realtà da sforzi di taglio associati a compressione (Shirazi-Adl et al. 1986). Tutto ciò fa pensare che il disco intervertebrale non sia un sufficiente sistema di ammortizzazione e trasmissione di carichi ma, in realtà, un energy converter (Gracovetsky, 1986). D'altra parte però non c'è dubbio che il carico di compressione vertebrale può raggiungere 700 kg caricando grossi pesi (la forza applicata su L5-S1 sollevando un peso flessi a 45 gradi può risultare circa 12 volte il peso stesso). Negli anni 40, Bartelink propose l'idea, ancor oggi comunemente accettata, che, per sollevare un peso, i muscoli erettori spinali agiscono sulle apofisi spinose delle relative vertebre aiutati dalla pressione intra-addominale (IAP) che, a sua volta, spingerebbe sul diaframma (Bartelink, 1957). Poiché è stato verificato che la massima forza esercitabile dai muscoli erettori corrisponde a 50 kg (McNeill, 1979), tramite un semplice calcolo si dimostra che, secondo tale ipotesi, sollevando un carico di 200 kg la pressione intra-addominale dovrebbe raggiungere un valore circa 15 volte la pressione sanguigna (il valore massimo di IAP, calcolato su una superficie trasversale di 0,2 m² è di 500 mm Hg – Granhed 1987). Il modello di Bartelink assume un senso se si introduce la fascia. Durante il sollevamento del peso, flettendo la colonna col bacino in retroversione (ossia tensionando al meglio la fascia), i muscoli erettori hanno poco bisogno di attivarsi. Il sollevamento avviene soprattutto per azione dei muscoli estensori della coscia sulle anche (ischio-crurali e grandi glutei) e della fascia. Nei campioni olimpici si è verificato che lo sforzo è suddiviso in 80% fascia e 20% muscoli (Gracovetsky, 1988). È quindi il collagene che svolge gran parte del lavoro in quanto, fungendo come un cavo, non consuma praticamente energia, in più, grazie alla sue inserzioni creste iliache-apofisi spinose, si posiziona praticamente al di fuori del corpo presentando il vantaggio di essere lontano dal fulcro della leva di sollevamento (braccio di

leva maggiore). Ciò è una scelta evolutiva forzata in quanto muscoli erettori per essere in grado di sollevare più di 50 kg avrebbero dovuto incrementare la loro massa occupando così tutta la cavità addominale. I supplementi di forza (muscoli e fascia) sono stati pertanto posizionati al di fuori della cavità addominale. I muscoli erettori (multifidi) e la pressione intra-addominale, insieme ai muscoli psoas, regolano in realtà tridimensionalmente la lordosi lombare assumendo così un importante ruolo di modulatori del trasferimento delle forze tra muscoli e fascia. La pressione addominale interna infatti non comprime significativamente il diaframma essa, in realtà, agisce sulla lordosi lombare e quindi sulla trasmissione delle forze tra muscoli e fascia. La pressione intra-addominale infatti appiattisce la fascia facendo sì che i muscoli addominali trasversi (che costituiscono la parte attiva della fascia dorso-lombare in quanto alle sue fibre sono attaccati margini liberi di essa) trazionino sullo stesso piano della fascia. Quando la pressione intra-addominale è bassa tale meccanismo è disabilitato e ogni azione dei muscoli addominali (del muscolo retto in particolare) conduce a una flessione del tronco. In altre parole se la tensione dei muscoli addominali interni è alta la regione lombare va in iperlordosi estendendosi mentre se la pressione nell'addome è bassa la colonna può flettersi con il bacino in retroversione, tendendo così la fascia (retrovertere il bacino prima di iniziare il sollevamento in flessione è un atteggiamento tipico delle persone che sollevano pesi senza problemi). In quest'ultima condizione inoltre vi è una minore opposizione alla pressione sanguigna sistolica e quindi il sangue scorre meglio verso le estremità (in qualche modo il nostro sistema muscolo-scheletrico fa in modo che non vi sia un'eccessiva pressione interna addominale così da preservare la circolazione sanguinea periferica). Pertanto la fascia può fornire il suo importante contributo durante la flessione della colonna se si diminuisce la tensione addominale (Gracovetsky, 1985). Quello che è stato evidenziato in un esperimento di sollevamento di 530 N (ca 52 kg), con due diversi angoli lombosacrali (angoli lordotici) di 20 e 50 gradi, è che si ottiene un minor stress di muscoli e legamenti in massima flessione riducendo la lordosi e in posizione eretta aumentandola (lordosi maggiore). Nel range di flessione 30-50 gradi la differenza di lordosi è irrilevante (a 30 gradi flessione risulta la condizione di maggior equilibrio ottimale). Quindi la retroversione del bacino è vantaggiosa all'inizio del sollevamento mentre la fisiologica lordosi è preferibile quando si arriva in stazione eretta. Se però il peso è mantenuto a lungo risulta preferibile una flessione degli arti e una diminuzione della lordosi. Non esiste pertanto un'universale lordosi ottimale in quanto essa dipende dall'angolo di flessione e dal peso supportato (Gracovetsky, 1988). Quando l'angolo formato dalle rette tangenti al disco T12-L1 e L5-S1 è superiore a 40 gradi siamo in presenza di iperlordosi lombare (Gracovetsky, 1986).

È bene insegnare la tecnica della flessione per sollevare grossi pesi mentre essa non risulta utile in caso di pesi leggeri. Inoltre tale tecnica può comportare problemi in presenza di importanti

contratture e/o retrazione miofasciali della catena posteriore (zona lombare in modo particolare) per il rischio dello “scatenamento” del riflesso miotatico e del “blocco” muscolare potenzialmente derivante. Nel caso di un trasporto di uno zaino, variare a ogni passo la flessione del tronco genera un'alternarsi di ruolo fra muscoli e legamenti che può in tal modo comportare una maggiore resistenza (Gracovetsky, 1986). Nello stesso modo trasportando borse pesanti appese a una o entrambe le mani risulta più conveniente una leggera flessione del tronco con sue piccole oscillazioni a ogni passo piuttosto che la postura tradizionalmente consigliata (che comporta maggiore lordosi lombare e fissità del tronco). Queste metodiche tengono altresì conto di un'altra sostanziale caratteristica del tessuto connettivo ossia la sua viscoelasticità.

Viscoelasticità della fascia

Abbiamo visto che sollevare grossi pesi mettendo la fascia profonda in tensione è il modo più sicuro per farlo ma occorre altresì effettuarlo velocemente infatti lentamente è possibile sollevare solo $\frac{1}{4}$ del peso sollevabile in velocità (Gracovetsky, 1988). Ciò è dovuto alle proprietà viscoelastiche delle fibre collagene che determinano una elongazione della fascia se tenuta a lungo in tensione; quando elongate, le fibre di collagene conservano a lungo tale nuovo stato (Viidik, 1973). A causa della sua viscoelasticità però la fascia si deforma sotto carico nel giro di poco tempo, per tale ragione occorre un continuo alternarsi delle strutture sottoposte allo sforzo. Le forze in grado di elongare la fascia sono tanto maggiori quanto maggiore è lo stato di tensione già presente (più è elongata la fascia tanto più difficilmente si elongherà ulteriormente), in maniera non lineare (secondo gli studi di Kazarian, 1968, la risposta del collagene all'applicazioni di carichi presenta almeno due costanti di tempo: ca. 20 min e ca. $\frac{1}{3}$ di secondo). Il limite da non superare al fine di evitare la rottura delle fibre della fascia sono i $\frac{2}{3}$ della elongazione massima.

3. Postura e tensegrità

Equilibrio dinamico

La prima idea da conservare dell'edizione del 2010 è semplice e ancora attuale: non siamo statue. Anche quando una persona appare immobile, il corpo presenta piccole oscillazioni e continue variazioni della distribuzione dei carichi. Il controllo posturale utilizza queste variazioni per mantenere il centro di massa entro limiti compatibili con la base di appoggio e con il compito che la persona sta svolgendo.

La stabilità non coincide quindi con la rigidità. Un sistema eccessivamente rigido può risultare stabile in una situazione molto prevedibile ma meno capace di adattarsi a una perturbazione. Al contrario, un sistema efficace conserva margini di movimento, utilizza strategie differenti e

modifica rapidamente la propria risposta quando cambiano terreno, velocità, affaticamento, informazioni visive o richieste cognitive.

Il concetto di equilibrio dinamico rappresenta perciò un punto di incontro tra biomeccanica e controllo motorio. Muscoli, articolazioni, sistema fasciale e informazioni sensoriali partecipano alla risposta ma nessuna di queste componenti può essere considerata isolatamente responsabile della postura. La variabilità fisiologica non rappresenta un errore da eliminare; in molti casi rappresenta una risorsa del sistema.

Concetto chiave

La postura efficace non è la posizione più “perfetta”, bensì la capacità di mantenere o recuperare la funzione mentre cambiano carico, ambiente e compito.

Funzione e struttura

L'edizione del 2010 affermava che la funzione precede e plasma la struttura. Questa formulazione conserva un nucleo importante, purché venga interpretata come relazione bidirezionale. I tessuti si adattano agli stimoli meccanici ma la struttura anatomica condiziona a sua volta le possibilità di movimento, la distribuzione dei carichi e le strategie motorie disponibili.

Il rimodellamento della matrice extracellulare, l'adattamento osseo, le modificazioni tendinee e la plasticità neuromotoria mostrano che il corpo conserva una memoria biologica del carico. L'effetto dipende però da intensità, frequenza, durata, recupero e caratteristiche individuali. Lo stesso stimolo può essere adattativo in una persona e eccessivo in un'altra.

Il problema emerge con particolare evidenza nell'interpretazione delle immagini diagnostiche. Le alterazioni degenerative della colonna possono essere presenti anche in persone senza dolore e aumentano con l'età; una revisione sistematica ha mostrato, a esempio, che la degenerazione discale è frequente anche negli asintomatici e cresce progressivamente nelle diverse decadi di vita. Il reperto anatomico va correlato ai sintomi, alla funzione e all'esame clinico e non trasformato automaticamente nella causa del dolore.

Tensegrità: dal concetto architettonico alla biologia

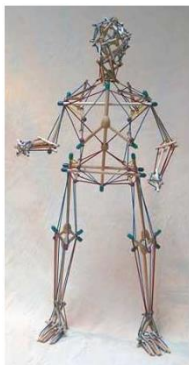


Immagine originale – edizione 2010, p. 17. Modello originale di tensegrità umana dell'edizione 2010.

Il termine tensegrità deriva dalla combinazione di tension e integrity e descrive strutture nelle quali elementi sottoposti a tensione continua cooperano con elementi che resistono alla compressione. La forma e la stabilità dipendono dal prestress, cioè da uno stato di tensione già presente prima dell'applicazione di una forza esterna, e dalla geometria dell'intero sistema.

Il modello ha acquisito grande interesse in biologia soprattutto grazie ai lavori di Donald Ingber. A livello cellulare, l'idea che citoscheletro, adesioni focali e matrice extracellulare partecipino a una rete meccanicamente integrata ha ricevuto importanti conferme sperimentali. Le forze applicate alle integrine possono infatti modificare il citoscheletro e attivare segnali intracellulari, collegando direttamente architettura e meccanotrasduzione.

Il passaggio dalla cellula all'intero organismo richiede però maggiore prudenza. Il corpo umano non è una struttura di tensegrità ideale composta da barre rigide isolate all'interno di una rete di cavi. Le ossa si articolano, i tessuti molli possiedono proprietà viscoelastiche, i muscoli producono forza attivamente e il sistema nervoso modifica continuamente il prestress. La tensegrità resta quindi un modello biomeccanico utile per ragionare sulla distribuzione delle forze, non una dimostrazione che ogni fenomeno posturale dipenda da un'unica rete tensionale.

Tensegrità: un modello di distribuzione delle forze

Edizione 2026: utile come modello, non come equivalenza anatomica letterale

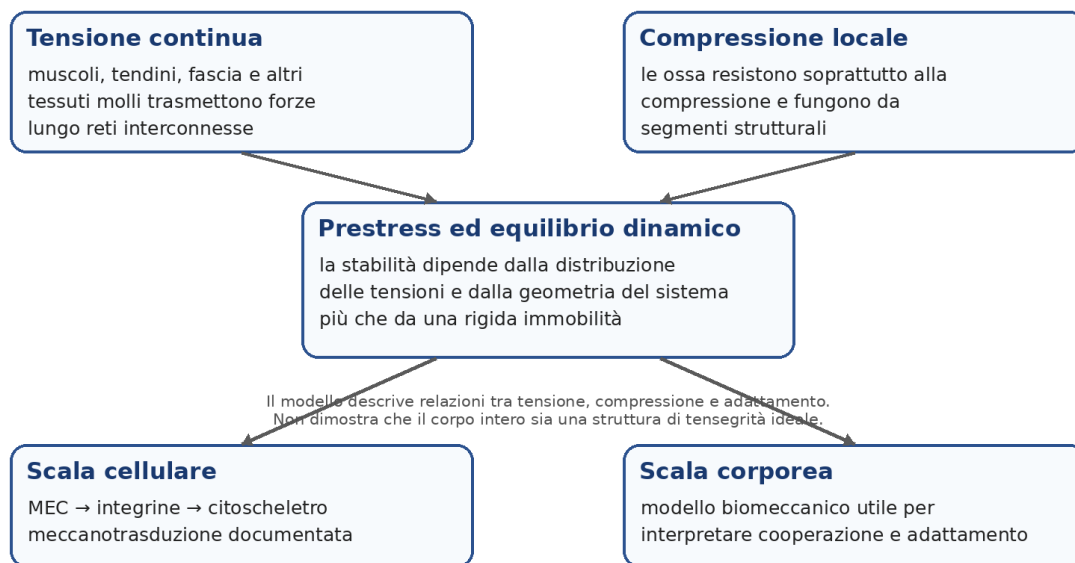


Figura 16 – Tensegrità nell'edizione 2026. Il modello conserva grande utilità concettuale a livello cellulare e biomeccanico ma non va interpretato come equivalenza anatomica letterale dell'intero organismo.

Elogio all'elica: un modello geometrico da conservare con prudenza

L'elica rappresenta uno dei concetti caratterizzanti del lavoro originario. Molte strutture biologiche presentano effettivamente geometrie spiraliformi o torsionali e numerosi movimenti umani combinano rotazioni su più piani. Il femore presenta una torsione anatomica, il collagene possiede organizzazioni elicoidali a diverse scale e il cammino utilizza rotazioni coordinate di piede, tibia, femore, bacino, torace e arti superiori.

Questi elementi rendono utile la metafora dell'elica per descrivere una biomeccanica tridimensionale. Tuttavia la presenza di forme elicoidali non dimostra che tutti i movimenti dell'organismo obbediscano a una singola legge geometrica. Nell'edizione 2010 veniva inoltre proposto un rapporto privilegiato con il numero aureo; oggi questa affermazione non dispone di evidenze sufficienti per essere presentata come principio generale della biomeccanica umana.

Il modello elicoidale viene quindi mantenuto come strumento interpretativo: esso richiama la tridimensionalità del movimento, l'accoppiamento tra rotazioni e la necessità di evitare descrizioni esclusivamente sagittali. Nel Volume III il concetto verrà approfondito soprattutto in relazione al piede, agli archi plantari e alla transizione tra adattamento e irrigidimento durante il passo.

«La verità del moto specifico dell'uomo è nascosta tra le spire di un'elica». R. Paparella Treccia

Il motore del moto specifico dell'uomo: dal "spine engine" alla coordinazione globale

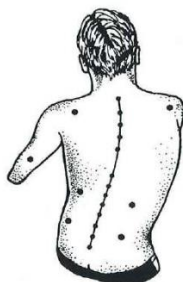
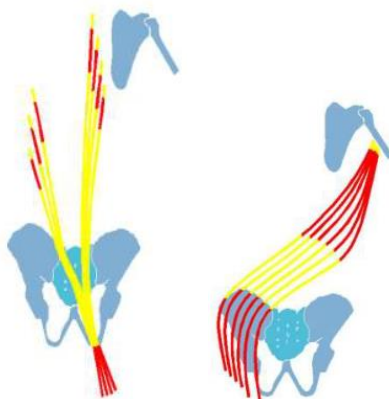


Immagine originale – edizione 2010, p. 18. Disegno originale della colonna e delle rotazioni del tronco utilizzato nella descrizione dello spine engine.



Immagine originale – edizione 2010, p. 18. Schema meccanico originale utilizzato per illustrare l'accoppiamento tra rotazione e flessione nel modello dello spine engine.



Immagini originali – edizione 2010, p. 19. (a) Secondo schema originale delle connessioni miofasciali e della trasmissione delle forze. (b) Schema originale di connessione miofasciale tra arto inferiore, bacino e colonna.

Il modello dello "spine engine", sviluppato da Serge Gracovetsky, ha rappresentato uno degli elementi più originali dell'edizione del 2010. Il modello sottolinea che la colonna vertebrale non è un semplice pilastro passivo e che rotazioni del bacino, flessioni laterali e movimenti intervertebrali partecipano attivamente alla locomozione.

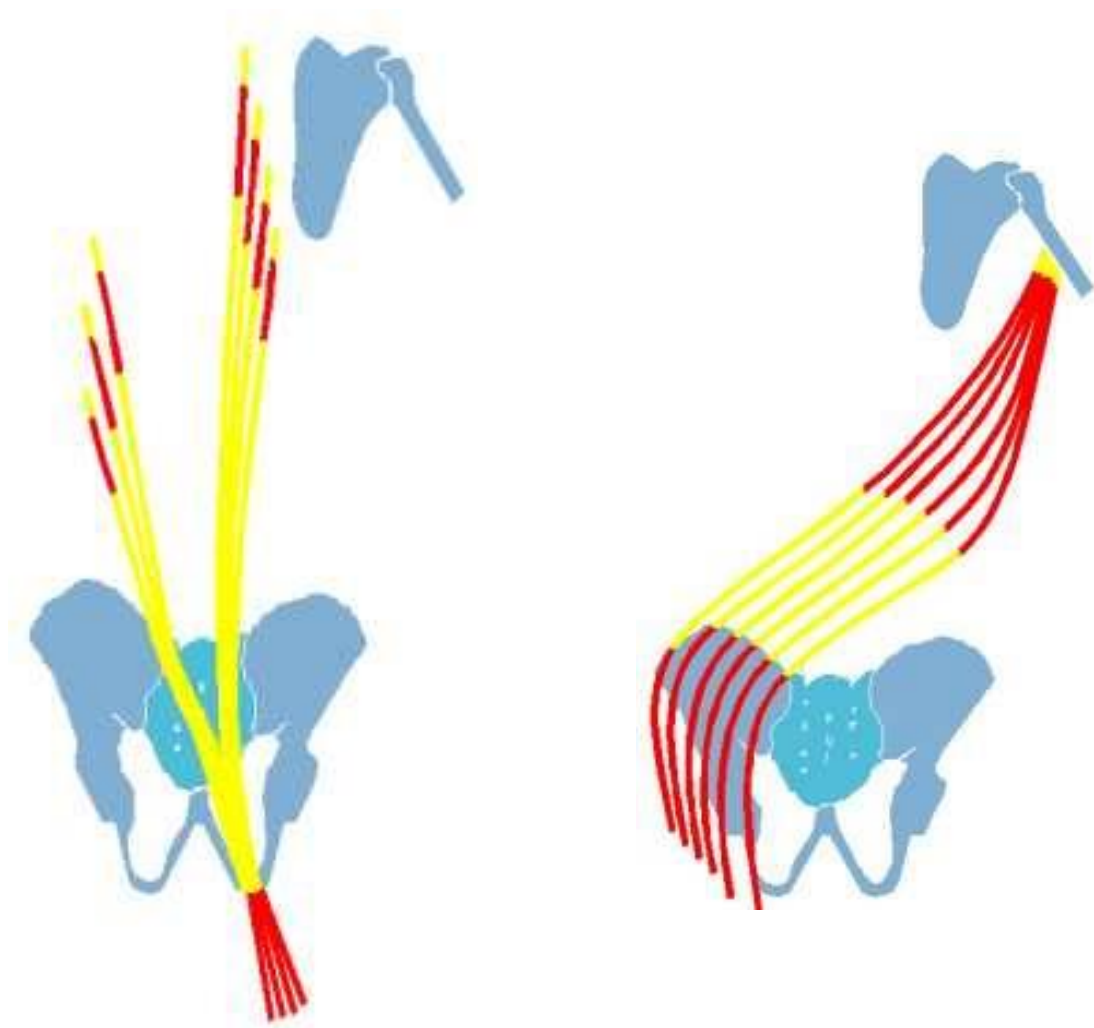
Questa intuizione rimane utile ma la deambulazione contemporanea viene descritta come un processo distribuito. Piedi, caviglie, ginocchia, anche, bacino, rachide, cingolo scapolare e arti



superiori cooperano attraverso scambi di energia, momenti articolari e sinergie muscolari. Non esiste quindi un unico “motore primario” isolabile dal resto del sistema.

Durante il cammino il bacino ruota sul piano trasverso e il torace tende a contro-ruotare, mentre gli arti superiori oscillano in modo coordinato. Queste rotazioni contribuiscono alla progressione, alla stabilità e alla gestione del momento angolare. La ricerca recente mostra inoltre che modificare artificialmente l'altezza o la rotazione del bacino può aumentare l'attivazione muscolare e il costo energetico, a conferma del fatto che la coordinazione naturale deriva da un compromesso tra numerosi gradi di libertà e non dalla massimizzazione di una singola rotazione.

La fascia toracolombare e le connessioni crociate tra grande gluteo, gran dorsale, ischiocrurali e strutture lombopelviche possono partecipare alla trasmissione della forza tra segmenti. Il loro contributo deve però essere interpretato insieme all'attività muscolare, alla dinamica articolare e al controllo neurale.



Energia del cammino e cooperazione tra strutture

Nel cammino normale il centro di massa oscilla e l'organismo scambia continuamente energia cinetica ed energia potenziale. Il modello del pendolo invertito descrive una parte importante di questa economia, mentre tendini e muscoli possono immagazzinare e restituire energia elastica. La locomozione reale combina però meccanismi diversi che cambiano con velocità, pendenza, terreno, età e strategia individuale.

L'idea dell'edizione 2010 secondo cui l'attività muscolare servirebbe quasi esclusivamente a controllare l'energia fornita dalla gravità risulta troppo riduttiva. I muscoli producono, assorbono e trasferiscono energia in fasi differenti del ciclo del passo. La grande efficienza del cammino umano deriva dalla cooperazione tra dinamica passiva, elasticità dei tessuti, lavoro muscolare e controllo neuromotorio.

Statica? Il corpo oscilla anche da fermo

La stazione eretta non è realmente statica. Il centro di pressione si sposta continuamente e il sistema utilizza piccoli movimenti di caviglia, anca e tronco per mantenere l'equilibrio. La stabilometria rende visibili queste oscillazioni e permette di quantificarne alcune caratteristiche ma nessun singolo parametro descrive da solo la qualità globale del controllo posturale.

La posizione eretta prolungata può diventare faticosa perché limita la variabilità e concentra il carico sulle stesse strutture. Da questo punto di vista, il messaggio originario "l'uomo è fatto per muoversi" conserva pienamente il proprio valore. Non è però corretto affermare in modo universale che stare in piedi sia sempre più dispendioso che camminare: il costo energetico dipende dalla velocità, dalla strategia motoria e dalle condizioni individuali.

Vita "artificiale": ambiente, sedentarietà e variabilità del movimento



Immagine originale – edizione 2010, p. 20. Immagine originale del pavimento irregolare di Hundertwasser.

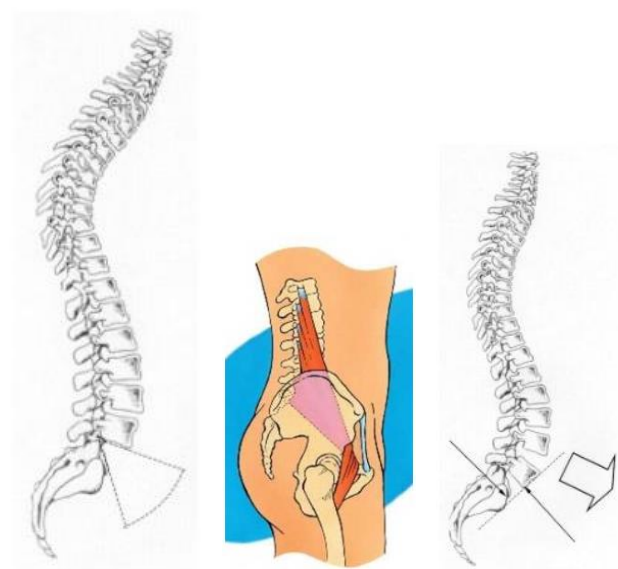
Il capitolo del 2010 attribuiva al terreno piano e agli ambienti artificiali un ruolo diretto nella produzione di alterazioni posturali. La prospettiva attuale richiede una formulazione più

sfumata. Non esiste una prova che il pavimento piano, da solo, generi una specifica deformazione universale; esistono invece solide ragioni per considerare problematici la sedentarietà, le posture mantenute a lungo, la riduzione della variabilità motoria e l'insufficiente esposizione a compiti fisici diversi.

L'ambiente costruito può favorire o ostacolare il movimento. Scale accessibili, percorsi pedonali, spazi verdi, superfici differenti e possibilità di cambiare posizione aumentano le opportunità motorie. Sedie, scrivanie, schermi e calzature diventano invece problematici soprattutto quando costringono la persona a ripetere per molte ore lo stesso schema senza pause o alternative.

Il valore dell'ergonomia sta nel ridurre i vincoli inutili e favorire la possibilità di cambiare, non nel costruire un ambiente "perfetto". La variabilità dell'esperienza sensoriale e motoria rappresenta un elemento centrale dell'adattamento.

Appoggio podalico: interfaccia con il terreno



Immagini originali – edizione 2010, p. 20. (a) Secondo schema originale della curva lombare nel modello di appoggio podalico. (b) Schema originale del bacino e della regione lombo-sacrale. (c) Schema originale della curva lombare nel modello di appoggio podalico.

Il piede costituisce il principale punto di contatto con il suolo durante la stazione eretta e la locomozione. Le informazioni cutanee plantari, la proprioccezione, la mobilità articolare e la capacità di modulare la rigidità del piede contribuiscono sia all'adattamento sia alla propulsione. Le modificazioni dell'appoggio possono influenzare le rotazioni dell'arto inferiore e modificare la strategia del bacino ma la risposta non è identica in tutti i soggetti.

Per evitare duplicazioni, questo volume mantiene soltanto il collegamento sistemico. La biomeccanica del piede, il modello dell'elica, gli archi, il windlass mechanism, il foot core, la baropodometria e la patomeccanica verranno approfonditi nel Volume III - Piede e postura.

Occlusione e apparato stomatognatico

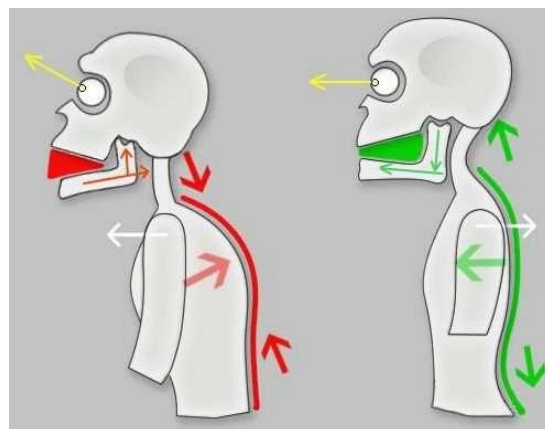
Immagini originali – edizione 2010, p. 21. (a) Immagine anatomica originale del cranio. (b) Schema originale delle relazioni cranio-cervico-mandibolari e dei compensi posturali.

L'apparato stomatognatico interagisce con il sistema cranio-cervicale attraverso articolazioni, muscoli, afferenze trigeminali e compiti funzionali come masticazione, deglutizione e fonazione. Questa integrazione rende plausibili associazioni tra disturbi temporomandibolari, posizione del capo e alcune caratteristiche posturali.

Le evidenze disponibili non giustificano però una catena causale semplice nella quale una malocclusione determini inevitabilmente un'alterazione della postura globale oppure una disfunzione podalica determini un problema occlusale. Le revisioni sistematiche mostrano risultati eterogenei e differenze metodologiche importanti. I disturbi temporomandibolari sono multifattoriali e comprendono componenti articolari, muscolari, comportamentali e psicosociali.

La lingua conserva un ruolo fondamentale nello sviluppo cranio-facciale e nella funzione orofaringea. La precedente descrizione del cosiddetto "spot linguale" come punto capace di effettuare una riprogrammazione posturale globale non dispone invece di prove sufficienti e non viene mantenuta come meccanismo fisiologico dimostrato.

Ne consegue una regola clinica importante: un bite, un trattamento ortodontico o una modifica occlusale devono essere prescritti per indicazioni odontoiatriche o gnatologiche appropriate. Eventuali cambiamenti posturali possono essere osservati e monitorati ma non dovrebbero costituire da soli la giustificazione per un trattamento irreversibile.



Dal modello alla clinica

La tensegrità, l'elica, lo spine engine e le catene miofasciali hanno avuto il merito di spostare l'attenzione dalla singola articolazione verso l'organizzazione globale del movimento.

L'aggiornamento 2026 non elimina questi modelli ma ne ridefinisce il livello di certezza. Alcuni rappresentano principi biomeccanici solidi; altri rimangono modelli interpretativi utili; altri ancora devono essere considerati ipotesi storiche.

Il punto comune rimane l'equilibrio dinamico. Il corpo non cerca una forma immobile ma una soluzione funzionale che distribuisca le forze, conservi margini di adattamento e permetta di svolgere il compito con un costo biologico compatibile. Da questa prospettiva nasce il capitolo successivo sulla rieducazione alla salute.

Edizione originale 2010 – approfondimenti su postura e tensegrità

Nella sezione che segue è conservato il testo originario del 2010; la revisione 2026 precedente ne definisce il contesto scientifico attuale.

Equilibrio dinamico

La ricerca dell'unicità della postura è un errore in quanto ignora la fondamentale proprietà del tessuto connettivo ossia la viscoelasticità. Non siamo statue. Le stabilità posturali sono assicurate, nel campo gravitazionale, dal continuo movimento, dall'impiego alternato fascia-muscoli e ossia dalla loro oscillazione funzionale. Il sistema miofasciale-scheletrico è quindi una struttura non stabile ma in continuo equilibrio dinamico. Siamo un sistema ridondante ossia variare la distribuzione interna dei pesi non implica necessariamente una modifica della postura; il controllo e l'efficienza di tutto ciò è fondamentale per il benessere della colonna vertebrale in primis. Come abbiamo visto sul periostio vi è la massima concentrazione di sensori dello stress (recettori interstiziali) che rapidamente portano le informazioni relative (e non solo quelle del dolore) al cervello. La fascia dorso-lombare è quindi più di una forza di trasmissione, senza di essa non vi sarebbe un controllo efficiente dei muscoli. Il "nemico" è pertanto la scissione della fascia dal periostio (che avviene oltrepassando i 2/3 della elongazione massima); quando la fascia è danneggiata la riabilitazione risulta molto difficile, il soggetto presenta uno squilibrio funzionale biomeccanico e di coordinazione. Nei bimbi la fascia è immatura, in quanto l'ossificazione delle vertebre è incompleta, e così gli impulsi nervosi non sono ben trasmessi. Di conseguenza essi si muovono come le persone che soffrono di mal di schiena causati da danni al collagene (costretti ad aumentare l'attività muscolare).

Funzione e struttura

La funzione precede e plasma la struttura, la coordinazione posturale è più importante della struttura. Reality Check: il 76% dei lavoratori asintomatici presenta ernia del disco (Boos et al., 1995) Il periodo di emivita delle fibre collagene in un tessuto non traumatizzato è di 300-500 gg., quello della "sostanza fondamentale" (porzione solubile della MEC costituita da PGs/GAGs e proteine specializzate) è di 1,7-7 gg (Cantu & Grodin 1992). Caratteristiche e disposizione delle nuove fibre collagene e della sostanza fondamentale dipendono anche dallo stress meccanico applicato al tessuto.

Non a caso, l'uomo è il sistema cibernetico per eccellenza: il 97% delle fibre motorie decorrenti nel midollo spinale è coinvolto nella modalità processuale cibernetica e solo il 3% è riservato all'attività intenzionale (Galzigna, 1976). La cibernetica è la scienza del feed-back, il corpo deve conoscere attimo per attimo la condizione ambientale per potersi collocare istantaneamente opportunamente al fine della realizzazione del processo. Il senso non può giammai dissociarsi dal moto: l'ambiente va ininterrottamente sentito e valutato, da cui la necessità della forza di gravità, della sinestesia, della propiocezione. "Essere e funzionare sono inscindibili" Morin (1987). Il riflesso è la via maestra. L'uomo necessita di muoversi per la propria sopravvivenza e il proprio stato di benessere. Per tale ragione la locomozione è l'attività che possiede la precedenza su tutte le altre. Nel mondo della vita al più alto livello si colloca il moto specifico dell'uomo che rappresenta la processualità naturale più complessa. L'idea tradizionale che l'uomo sia contraddistinto dalle prerogative intellettuali è da tempo superata ed è ormai stabilito che anch'esse riconoscono l'origine prima nell'acquisizione della condizione morfo-meccanica bipodale (la liberazione della mani ne è un corollario). L'attuale corpo umano è soprattutto la conseguenza del bisogno di eseguire una deambulazione di massima efficacia su due piedi nel campo gravitazionale. In accordo con tale teoria l'uomo deve potersi spostare con un minimo consumo di energia all'interno di un campo gravitazionale costante, col corollario che durante il cammino le varie strutture (muscoli, ossa, legamenti, tendini ecc.) vengano sottoposte a uno stress minimo.

Tensegrità

Il termine inglese "Tensegrity", coniato nel 1955 dall'architetto Richard Buckminster-Fuller, dalla combinazione delle parole "tensile" ed "integrity", caratterizza la capacità di un sistema di stabilizzarsi meccanicamente tramite forze di tensione e di decompressione che si ripartiscono e si equilibrano fra di loro. Compressioni e trazioni si equilibrano all'interno di un sistema vettoriale chiuso. Le strutture di tensegrità si ripartiscono in due categorie :

1) costituite da barre rigide assemblate in triangoli, in pentagoni o in esagoni;

2) costituite da barre rigide e cavi flessibili. I cavi costituiscono una configurazione continua che comprime le barre disposte in maniera discontinua in seno a essa. Le barre, a loro volta, spingono verso l'esterno i cavi. I vantaggi della struttura di tensegrità sono:

- la resistenza dell'insieme supera di molto la somma delle resistenze dei singoli componenti;
- la leggerezza: a parità di capacità resistenza meccanica, una struttura di tensegrità presenta un peso ridotto della metà rispetto a una struttura a compressione;
- la flessibilità del sistema è simile a quella di un sistema pneumatico. Ciò consente una grande capacità di adattamento reversibile ai cambiamenti di forma in equilibrio dinamico. Inoltre l'effetto di una deformazione locale, determinata da una forza esterna, viene modulato da tutta la struttura minimizzandone in tal modo l'effetto.
- l'interconnessione meccanica e funzionale di tutti gli elementi costitutivi consente una continua comunicazione bidirezionale al pari di un vero e proprio network. A partire dal citoscheletro (Ingber, 1998), l'organismo umano è caratterizzato da una struttura di tensegrità. A livello macroscopico gli assi rigidi (le barre) sono costituiti dalle ossa e le strutture flessibili (i cavi) dal sistema miofasciale (Myers, 2002). Peculiarità della "tensegrità umana" è quella di funzionare come sistema a "eliche a passo variabile" o vortici (spirali). È infatti sul piano trasverso che soprattutto si sviluppa l'antigravitarietà del sistema cibernetico uomo grazie a un sofisticato sistema di equilibrio neuro-biomeccanico. La "spirale umana" si trasferisce dal piano trasverso al piano frontale, grazie al "mortaio" astragalo-calcaneare, a livello podalico, in presenza di un congruo coefficiente di attrito (senza quest'ultimo infatti l'avvolgimento podalico risulta difficoltoso). Al contempo terreno o suole eccessivamente soffici risultano inappropriati in quanto disperdono eccessivamente l'impulso compressivo, derivante dall'impatto calcaneare durante il passo, indispensabile per l'esecuzione e la trasmissione delle forze torsionali a livello rachideo e quindi del bacino (Snel et al., 1983). Il piede pertanto non è un sistema ad archi o volte bensì anch'esso un sofisticatissimo sistema senso-motorio elicoidale (Paparella Treccia, 1978). Il piede: organo sensoriale-motorio, ponte fra sistema e ambiente, costituito da un'elica a passo variabile formata da 26 ossa, 33 articolazioni e 20 muscoli che influenza tutto il corpo.

Il rapporto fra rotazioni nel piano trasverso e frontale tende al numero d'oro della sezione aurea, così come il rapporto di lunghezza fra varie parti scheletriche (a esempio lunghezza retropiede/avampiede). "Il moto specifico dell'uomo, processo fra i più mirabili in natura, si erge sui pilastri vorticosi, depositari del numero d'oro, in se stessi e nei reciproci rapporti" (Paparella Treccia, 1988).

Elogio all'elica

La gravità, nel lungo percorso della morfogenesi, modella forme elicoidali che nel moto assumono il significato di vincolo determinando le traiettorie elicoidali. È quindi la stessa gravità che provvede nei tempi lunghi (morfogenesi) a modellare quelle forme che nel corso del moto (tempi brevi) assumono il significato di vincolo. Le traiettorie elicoidali introdotte nei moti morfogenetici del campo gravitazionale col contributo dei vincoli intratessutali convergono nella genesi delle forme (femore, tibia, astragalo ecc. fino al DNA presentano forma elicoidale). Le forme in natura altro non sono che moti vorticosi plastificati. All'elicità delle traiettorie del moto non può non far eco l'elicità delle forme il cui alto contenuto in simmetria propizia la stabilità strutturale (Paparella Treccia, 1988). L'evoluzione infatti ha scelto le configurazioni elicoidali in quanto nel moto esse si evolvono conservando la stabilità dinamica (momento angolare), l'energia (potenziale più cinetica) e l'informazione (topologia). La stabilità, intesa come resistenza alla perturbazioni, rappresenta il traguardo che la natura persegue comunque e dovunque. Le eliche sono curve che si accrescono senza cambiare forma, le loro prerogative di ripetitività e quindi di stabilità ne fanno le espressioni per eccellenza della geometria che sottende i moti naturali. “Se una figura è stata prescelta da Dio come fondamento dinamico della sua immanenza nelle forme, ebbene questa figura è l'elica” (Goethe) La forza di gravità, sia dal punto di vista funzionale sia da quello strutturale, non va quindi vista come un nemico; senza di essa l'uomo non potrebbe esistere.

Il motore del moto specifico dell'uomo

Nel 1970 Farfan propose per primo l'idea che il movimento proceda dalla pelvi alle estremità superiori ossia che le forze deambulatorie partano dalle creste iliache per andare alle estremità superiori. Negli anni '80 Bogduk precisò l'anatomia dei tessuti molli che circondano la colonna e, negli anni 90, Vleeming chiarì il legame pelvi-arti inferiori. Gracovetsky (1988) infine ha dimostrato che la colonna vertebrale rappresenta il motore primario del moto, “the spine engine”. Questo ruolo della spina dorsale è ancora evidente nei nostri “antenati” pesci e rettili ma un uomo a cui sono stati amputati completamente gli arti inferiori è in grado di camminare sulle tuberosità ischiatiche senza significative alterazioni della deambulazione ossia senza interferire sul movimento primario del bacino. Ciò dimostra fondamentalmente due cose:

1) Le faccette e i dischi intervertebrali non prevengono la rotazione ma la favoriscono; le vertebre non sono state costruite per la stabilità strutturale statica. Infatti, la lordosi lombare insieme alla flessione laterale induce meccanicamente, tramite un sistema di coppia meccanica, una torsione della colonna vertebrale.

2) Il ruolo degli arti inferiori è secondario a quello della colonna vertebrale. Essi da soli non sono in grado di ruotare la pelvi in maniera da consentire il moto ma possono amplificarne il movimento. Gli arti inferiori infatti derivano dalla necessità evolutiva di sviluppare la velocità del moto dell'uomo. La maggior potenza richiesta a tal scopo non può derivare dai muscoli del tronco, che a tal fine avrebbero dovuto sviluppare una massa improponibile dal punto di vista dell'ingombro. L'evoluzione ha quindi dovuto approntare ulteriori muscoli, posizionandoli, sia per motivi funzionali sia di spazio, al di fuori del tronco ossia sugli arti inferiori. Il primo compito degli arti inferiori è quindi fornire l'energia che ci consente alte velocità di spostamento. Grazie a essi, i movimenti intervertebrali, le rotazioni sul piano trasversale in particolare, possono usufruire dell'apporto complementare dei muscoli ischio-crurali (bicipite femorale, semitendinoso e semimembranoso) a cui la spina dorsale è connessa tramite specifiche e considerevoli catene anatomiche miofasciali: a) legamento sacrotuberoso - muscolo longissimus lumborum (situato ai lati della colonna vertebrale) b) legamento sacrotuberoso e iliocostalis thoracis (in tal modo gli ischio-crurali di destra controllano parte dei muscoli toracici di sinistra e viceversa), c) muscoli grande gluteo - gran dorsale opposto (che a sua volta controlla il movimento degli arti superiori). Tutte queste connessioni incrociate ischiocrurali-colonna vertebrale formano una piramide che assicura una forte integrità meccanica dagli arti inferiori ai superiori. La fascia è pertanto necessaria per trasmettere dalle estremità inferiori a quelle superiori tale complemento forza per il moto specifico dell'uomo. L'impulso energetico risale lungo gli arti inferiori "filtrato" da essi (caviglia, ginocchio e anca rappresentano a tal proposito dei passaggi critici) così da giungere alla colonna vertebrale nell'appropriata fase e ampiezza. In tal modo il tronco può utilizzare questa energia ruotando ogni vertebra e il bacino appropriatamente (Gracovetsky, 1987). Tuttavia, la rotazione della pelvi intorno all'asse verticale, che avviene durante il cammino, per mezzo di muscoli che la trazionano verso il basso presenta un problema di efficienza. Tale problematica viene risolta utilizzando il campo gravitazionale come temporaneo magazzino di riserva in cui viene accumulata l'energia rilasciata dagli arti inferiori a ogni passo: nell'ascesa del centro di gravità (fase di decelerazione) energia cinetica viene immagazzinata, come energia potenziale, e successivamente ritrasformata in energia cinetica per accelerare il corpo (il corpo è risollevato a spese dell'energia cinetica acquistata in caduta). Le curve relative sono pertanto in opposizione di fase: l'aumento dell'energia potenziale corrisponde a una diminuzione dell'energia cinetica e viceversa. Nella deambulazione tipo (velocità 7 km/h), l'attività muscolare è richiesta unicamente per mantenere il rapporto fra le due forme di energia nei termini consoni con la specificità del processo. In altre parole, al fattore muscolare non gli si chiede di far fronte alla risalita periodica del centro di gravità ma di controllare il contributo dell'ambiente modulando il rapporto istantaneo tra energia potenziale ed energia cinetica contenendolo nei limiti

dell'edificazione del moto specifico. Essendo tale compito deputato alle fibre muscolari rosse (aerobiche) esso risulta a basso consumo energetico (Cavagna, 1973): un soggetto del peso di 70 kg in una passeggiata in piano di 4 km sostiene una spesa energetica coperta dall'ingestione di 35 gr di zucchero (Margaria, 1975). Per tale ragione l'uomo può risultare un camminatore instancabile a differenza dei quadrupedi il cui moto ad articolazioni flesse richiede un dispendio di energie interne molto maggiore (Basmajian, 1971). Grazie al sistema miofasciale quindi l'uomo ottiene, all'interno del campo gravitazionale, un moto specifico di massima efficienza. La nostra iniziale ipotesi risulta pertanto dimostrata.

Statica?

Il moto specifico dell'uomo è definibile come l'insieme degli eventi dinamici, energetici e informativi che convergono nella deambulazione bipodale alternata (moto con progressione) e nella stazione eretta (moto senza progressione). La "statica" è in realtà un caso speciale della deambulazione, essa è caratterizzata da oscillazioni posturali, visibili e quantificabili tramite l'esame stabilometrico, corrispondenti a ritmici movimenti sui piani trasverso e frontale. Quale moto senza progressione, la stazione eretta comprende l'inibizione dello spostamento col relativo intervento muscolare supplementare decelerante. Essa pertanto risulta più difficoltosa e più dispendiosa dal punto di vista energetico rispetto alla normale locomozione: l'uomo è fatto per camminare (sul terreno naturale). La postura va quindi definita all'interno di un concetto dinamico: la postura è l'adattamento personalizzato di ogni individuo all'ambiente fisico, psichico ed emozionale. In altre parole "è il modo con cui reagiamo alla forza di gravità e comunichiamo" (Morosini, 2003).

Vita "artificiale"

Il fattore culturale può agire sulla normale fisiologia posturale alterando l'informazione ambientale interferendo così col normale processo evolutivo. Habitat e stile di vita sempre più "artificiali" comportano nell'uomo "civilizzato" alterazioni posturali che influenzano negativamente la propria salute fisico-psichica e la sua bellezza (Chetta, 2007, 2008). Abbiamo visto come il controllo della lordosi lombare, caratteristica tipica ed esclusiva del genere umano, risulta un fattore determinante: consente di minimizzare lo stress e di ottimizzare l'efficienza biomeccanica tramite una corretta ripartizione di carichi e funzioni tra fascia e muscoli. Due fattori risultano possedere una particolare influenza su di essa e quindi sull'intera postura: appoggio podalico e appoggio occlusale.

Appoggio podalico

Come aveva ben intuito l'architetto, pittore e filosofo viennese F. Hundertwasser (1991), il terreno piatto non è idoneo e salutare per l'uomo. E come aveva correttamente aggiunto la fisioterapista francese F. Mezieres, l'iperlordosi lombare è sempre primaria (Godelieve, 1995). L'uomo infatti reagisce di norma al terreno piano creando un'iperlordosi lombare tramite il forte muscolo ileo-psoas (Myers, 2001). Essa può essere di 2 tipi, come è possibile verificare analizzando le radiografie sul piano sagittale (in assenza di atteggiamenti antalgici):

- A) concentrata sulle ultime vertebre lombari col tratto superiore tendente alla rettilinizzazione;
- B) "spalmata" lungo tutto il tratto lombare (Pacini, 2000).

Tale alterazione interessa, come un'onda, tutto il corpo (occlusione inclusa) e viene compensata posturalmente in maniera del tutto personale.

"Il pavimento piatto è un'invenzione degli architetti. Esso è adatto per le macchine - non per gli esseri umani. La gente non possiede solo occhi per godere della bellezza che vede, orecchie per ascoltare le melodie e naso per odorare profumi piacevoli. Le persone hanno anche il senso del tatto nei loro mani e piedi. Se l'uomo moderno viene costretto a camminare su asfalto e pavimenti in cemento, così come vengono sconsideratamente progettati negli uffici dei designer, estraniato dalla primordiale relazione e contatto con la terra, una sua parte cruciale appassisce e muore. Ciò ha conseguenze catastrofiche per l'anima, l'equilibrio, il benessere e la salute dell'uomo. L'uomo dimentica come sperimentare cose nuove e diventa emotivamente malato. Un pavimento irregolare e animato è la riconquista dell'equilibrio mentale dell'uomo, della dignità dell'uomo, che è stata violata nel nostro "livellante", innaturale e ostile sistema di rete urbana.

Il pavimento irregolare diventa una sinfonia, una melodia per i piedi e riporta nell'uomo le naturali vibrazioni. L'architettura deve elevare e non sottomettere l'uomo. È bene camminare su pavimenti irregolari e riacquistare il nostro equilibrio umano", F. Hundertwasser (aprile 1991).

Occlusione e apparato stomatognatico

La testa, con i suoi 4-6 kg in un adulto, rappresenta l'estremità corporea più pesante. Inoltre, l'unità cranio-cervico-mandibolare non può che possedere un sistema propriocettivo di altissima efficienza e sensibilità data l'enorme importanza vitale degli organi e strutture in essa contenuti. Un suo scorretto allineamento, su qualunque piano, causato da problematiche stomatognatiche e/o extrastomatognatiche (discendenti e/o ascendenti), determina inevitabilmente compensazioni posturali meccaniche e riflessi che interessano, in vari gradi, tutto il corpo. Le due emiarcate mandibolari (destra e sinistra) costituiscono insieme alla I vertebra cervicale (atlante) il "treppiedi" su cui poggia il cranio tutte le volte che i denti entrano in contatto fra loro

(deglutizione, masticazione ecc.). È grazie a questo stabile sostegno temporaneo che il nostro sistema di equilibrio, tramite i recettori neurosensoriali e il sistema miofasciale, mantiene in sospensione la testa. La dimensione verticale occlusale risulta pertanto un parametro particolarmente critico per il corretto allineamento craniale e, di riflesso, per la salute dell'organismo in generale (Formia, 2009). Oltre a ciò va ricordato che la lingua rappresenta insieme al piede il conformatore morfo-funzionale più importante. La funzionalità linguale infatti influenza direttamente la crescita mandibolare, mascellare e la morfogenesi delle arcate dentarie. A esempio un utilizzo precoce del biberon così come un malposizionamento della testa possono alterare la funzionalità dei 17 muscoli linguali (Ferrante, 2004). Va infine segnalato l'esistenza di una piccola area (ca. 1 cmq), denominato "punto spot" o "spot linguale", situata tra la base degli incisivi centrali superiori e la prima ruga palatina, ricca di esterocettori terminali del nervo nasopalatino (ramo del nervo trigemino) coinvolti nel meccanismo dell'informazione posturale (Halata & Baumann, 1999). In condizioni fisiologiche, la lingua è adagiata sul palato in stato di riposo mentre durante l'atto deglutitorio la sua estremità anteriore si appoggia proprio sul "punto spot" effettuando così una sorta di riprogrammazione posturale (che può alterarsi in caso di deglutizione atipica). È lo stesso processo di riprogrammazione, di riconvergenza uomo-ambiente che avviene a ogni passo grazie al piede. Le disfunzioni dell'apparato stomatognatico e dell'appoggio podalico sono quindi legate a un doppio filo e condizionano in maniera importante la nostra postura e quindi la nostra intera salute.

4. Rieducazione alla salute

Dalla "correzione posturale" alla capacità di adattamento

Nell'edizione del 2010 la rieducazione posturale veniva descritta soprattutto come ripristino della funzionalità e, di conseguenza, della struttura. L'idea di fondo conserva validità ma il termine rieducazione va interpretato in modo meno geometrico: l'obiettivo è migliorare capacità, tolleranza al carico, controllo motorio e autonomia, non riportare tutte le persone verso una postura standard.

Una strategia efficace deve partire dal problema reale della persona. Il dolore, la limitazione funzionale, la paura del movimento, la riduzione di forza, la scarsa resistenza, la perdita di mobilità oppure l'instabilità possono richiedere interventi differenti anche quando l'aspetto statico appare simile.

Le linee guida contemporanee per le principali condizioni muscolo-scheletriche, compresa la lombalgia cronica primaria, privilegiano interventi centrati sulla persona, educazione, esercizio e

combinazioni di trattamenti scelte in base al quadro clinico. Il trattamento passivo isolato raramente rappresenta una soluzione sufficiente nel lungo periodo.

Rieducazione posturale 2026: un processo adattivo

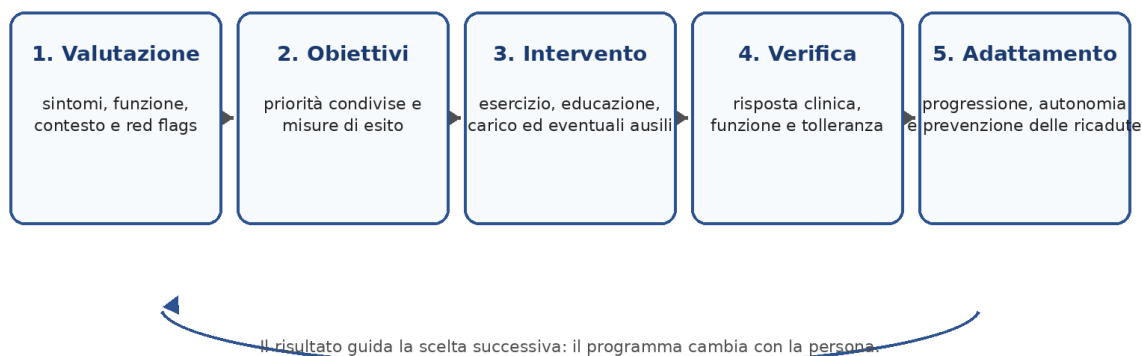


Figura 21 – Rieducazione posturale nell'edizione 2026. Il programma viene inteso come ciclo adattivo: valutazione, obiettivi, intervento, verifica e progressione.

Valutazione iniziale e definizione degli obiettivi

La valutazione deve integrare anamnesi, sintomi, esame neurologico e muscolo-scheletrico quando indicato, movimento, equilibrio, forza, resistenza, mobilità, respirazione, appoggio podalico e caratteristiche del compito. Gli strumenti tecnologici descritti nel Volume I possono aumentare la precisione di alcune misure ma i dati devono essere interpretati nel contesto clinico.

Gli obiettivi devono essere osservabili e pertinenti. Ridurre il dolore può essere importante ma spesso è altrettanto importante aumentare il tempo di cammino, tornare a correre, lavorare senza paura, sollevare un carico, dormire meglio oppure recuperare fiducia nel proprio corpo. Un programma che modifica un parametro strumentale senza migliorare funzione o qualità di vita deve essere rivalutato.

Esercizio, apprendimento motorio e progressione del carico

L'esercizio rappresenta uno degli strumenti principali della rieducazione perché permette di modificare contemporaneamente capacità muscolare, coordinazione, fiducia e tolleranza al carico. Non esiste un unico esercizio posturale universalmente corretto. La scelta dipende dalla persona, dal deficit prevalente e dall'obiettivo funzionale.

Il controllo motorio migliora attraverso pratica, feedback e variabilità. Nelle prime fasi può essere utile semplificare il compito e fornire riferimenti precisi; successivamente il sistema deve

essere esposto a condizioni più variabili affinché l'apprendimento non rimanga legato a un'unica situazione. La rieducazione deve evolvere dalla precisione alla flessibilità.

La progressione del carico è essenziale. Muscoli, tendini, ossa e tessuti connettivi si adattano quando ricevono uno stimolo sufficiente seguito da recupero. Un programma troppo prudente può mantenere decondizionamento e paura; un aumento troppo rapido può superare la capacità tissutale. La dose deve essere regolata osservando la risposta nelle ore e nei giorni successivi.

Variabilità del movimento e rapporto con l'ambiente

La salute posturale non dipende dalla capacità di mantenere per molte ore una posizione ideale. Il corpo beneficia della possibilità di cambiare. Alternare seduta, stazione eretta e cammino, modificare l'altezza del piano di lavoro, introdurre pause attive e svolgere attività diverse riduce l'esposizione continua agli stessi carichi.

Anche il terreno e le calzature possono essere utilizzati come variabili dell'allenamento. Superfici diverse aumentano le richieste sensoriali e motorie ma l'esposizione deve essere progressiva e compatibile con età, patologie, equilibrio e capacità del piede. Il principio è recuperare una varietà di esperienze, non sostituire obbligatoriamente il terreno piano con quello sconnesso.

Terapia manuale e tecniche strumentali: strumenti, non fini

Massoterapia, mobilizzazioni, manipolazioni e altre tecniche manuali possono ridurre temporaneamente dolore o rigidità e possono facilitare il movimento. Il loro valore aumenta quando il miglioramento ottenuto viene utilizzato per riprendere attività, esercizio e autonomia. La risposta individuale deve guidare la prosecuzione e non la teoria secondo cui una determinata manovra dovrebbe necessariamente "riallineare" il corpo.

Anche le tecnologie strumentali richiedono lo stesso rigore. Un trattamento fisico può essere utile in alcune indicazioni ma non dovrebbe sostituire il recupero della funzione quando quest'ultimo è possibile. L'efficacia va valutata con misure cliniche pertinenti e con un orizzonte temporale definito.

Plantari, calzature e bite

Plantari e calzature rappresentano interfacce tra corpo e ambiente. Possono modificare distribuzione delle pressioni, comfort, cinematica e richiesta muscolare; la loro utilità dipende dall'indicazione specifica. Un plantare non deve essere giudicato soltanto perché modifica una

fotografia statica o sposta un centro di pressione ma per l'effetto che produce su sintomi, funzione e tolleranza al carico.

Anche il bite può modificare temporaneamente la relazione mandibolare e l'attività dei muscoli masticatori. Il suo impiego deve essere guidato da una diagnosi odontoiatrica o gnatologica e monitorato nel tempo. Non è opportuno utilizzare un dispositivo occlusale soltanto per inseguire un ipotetico riallineamento posturale globale.

Interdisciplinarietà, stile di vita e partecipazione

La complessità non richiede che ogni persona venga valutata da molti specialisti. Richiede invece che il professionista riconosca i limiti del proprio ambito e sappia quando coinvolgere altre competenze. Fisiatria, ortopedia, fisioterapia, odontoiatria, neurologia, vestibologia, oculistica, psicologia, nutrizione e altre discipline possono diventare necessarie in quadri differenti.

Sonno, stress, attività fisica, alimentazione e condizioni lavorative influenzano la capacità di adattamento dell'organismo. Questi elementi non devono essere trasformati in spiegazioni universali del dolore ma entrano nel quadro complessivo perché modificano recupero, sensibilità, infiammazione, motivazione e disponibilità al movimento.

La persona deve partecipare alle decisioni. Un programma perfetto sulla carta ma incompatibile con lavoro, famiglia, preferenze e risorse reali avrà scarsa probabilità di essere seguito. La rieducazione diventa efficace quando il soggetto comprende il motivo delle scelte, può osservare i propri progressi e acquisisce strumenti da utilizzare senza dipendere continuamente dal terapeuta.

Monitorare gli esiti

Il monitoraggio deve distinguere tra misure di struttura, misure di funzione e risultati percepiti dalla persona. Una variazione dell'allineamento può essere interessante ma non equivale automaticamente a un miglioramento clinico. Dolore, disabilità, forza, equilibrio, velocità del cammino, capacità di svolgere un compito e qualità di vita possono fornire informazioni più direttamente collegate agli obiettivi.

Le misure strumentali hanno particolare valore quando vengono ripetute con protocolli standardizzati e quando il cambiamento supera la normale variabilità del test. Fotografare una differenza non significa dimostrare che essa sia stata la causa del problema; documentare nel tempo una risposta coerente può invece aiutare a comprendere se l'intervento sta producendo un effetto utile.

Quando la posturologia deve fermarsi

Una valutazione posturale non deve ritardare la diagnosi di una patologia che richiede un percorso specifico. Trauma importante, deficit neurologici progressivi, febbre associata a dolore, sospetta infezione, neoplasia, frattura, patologia vascolare, dolore toracico, sintomi sistemici non spiegati oppure disturbi sfinterici di nuova insorgenza richiedono un inquadramento medico prioritario.

Lo stesso criterio si applica ai disturbi vestibolari, visivi, odontoiatrici o neurologici: quando il problema appartiene principalmente a uno di questi sistemi, la rieducazione posturale può affiancare il trattamento ma non sostituirlo. Il valore di un approccio sistemico dipende anche dalla capacità di riconoscere quando una spiegazione posturale non è sufficiente.

In sintesi

La rieducazione alla salute non coincide con il riallineamento di una figura corporea. Essa mira a migliorare la relazione tra persona, compito e ambiente attraverso educazione, movimento, progressione del carico, eventuali ausili e monitoraggio. Il risultato più importante è rendere il sistema più capace di adattarsi, non produrre un corpo che appaia più simmetrico.

Questa impostazione conserva il nucleo dell'opera del 2010 e lo rende compatibile con le conoscenze attuali: struttura e funzione rimangono inseparabili ma il cambiamento clinico nasce dall'interazione tra tessuti, sistema nervoso, comportamento, ambiente e significato che il movimento assume per la persona.

Edizione originale 2010 – rieducazione alla salute

Segue la sezione del 2010, mantenuta come documento dell'impostazione originaria. L'aggiornamento scientifico 2026 precedente ne chiarisce i limiti e gli elementi ancora validi.

Lo studio della postura diviene sempre più importante all'interno di una società che spinge l'uomo a vivere in habitat e con stili di vita poco naturali e quindi poco fisiologici. Sempre più infatti la postura risulta implicata in molte problematiche muscolo-scheletriche e organiche. La posturologia si trova così, per forza di cose, a essere una scienza multidisciplinare che abbraccia numerose branche della medicina e della tecnica. La collaborazione professionale tra i vari specialisti, l'evoluzione tecnologica, l'avanzamento delle ricerche scientifiche su matrice extracellulare e tessuti connettivi, sono i cardini del progresso in questa affascinante e multiforme materia.

Conclusione del Volume II

Il percorso di questo volume parte dalla matrice extracellulare e risale verso tessuto connettivo, fascia, biomeccanica e postura. La domanda del sottotitolo originario — «Il sistema connettivo è il nostro vero Deus ex machina?» — riceve ora una risposta più precisa: nessun singolo elemento governa da solo la complessità dell'organismo, mentre matrice extracellulare e sistema connettivo costituiscono un'interfaccia fondamentale tra struttura, meccanica e biologia.

La matrice extracellulare non è un semplice materiale di riempimento. Collageni, elastina, glicoproteine, proteoglicani e ialuronano formano un ambiente tridimensionale dinamico nel quale le cellule aderiscono, migrano, ricevono segnali e modificano il tessuto che le circonda. Integrine, adesioni focali, citoscheletro, canali meccanosensibili e regolatori trascrizionali trasformano una deformazione meccanica in una risposta biologica. La meccanotrasduzione rende concreta l'idea, già centrale nel 2010, di una reciprocità continua tra cellula e ambiente extracellulare.

La fascia è una delle espressioni macroscopiche di questa continuità. Separa e collega, consente lo scorrimento tra strutture, trasmette parte delle forze e partecipa alla sensibilità e alla nocicezione. Non può però essere considerata la regolatrice esclusiva di postura, circolazione, sistema autonomo o dolore. Il comportamento dell'organismo nasce dall'interazione tra fascia, muscoli, articolazioni, sistema nervoso, apparato cardiovascolare, metabolismo e ambiente.

I modelli di tensegrità, delle catene miofasciali, dell'elica e dello spine engine sono utili soprattutto se restano ciò che sono: strumenti concettuali per osservare il movimento come

fenomeno tridimensionale e distribuito. Aiutano a superare una lettura puramente segmentaria ma non sono leggi anatomiche universali e non spiegano automaticamente ogni sintomo.

Il concetto più solido resta quello di equilibrio dinamico. La postura non è una forma da mantenere immobile; è una soluzione continuamente negoziata tra compito, ambiente, gravità, informazioni sensoriali, capacità dei tessuti e strategie motorie. Anche nel cammino l'efficienza nasce dalla cooperazione tra segmenti corporei, energia elastica, attività muscolare, controllo nervoso e scambio tra energia potenziale e cinetica.

La stessa prospettiva orienta la rieducazione. Non si cerca di riportare ogni individuo a un modello geometrico ideale; si cerca di migliorare funzione, tolleranza al carico, varietà delle strategie motorie e capacità di adattarsi alle richieste della vita reale. Esercizio, educazione, terapia manuale, tecnologie strumentali, plantari, calzature o bite possono avere un ruolo quando esiste un'indicazione specifica e il loro effetto viene verificato nel tempo.

Il volume del 2010 poneva una domanda allora ancora poco comune: quanto ciò che si trova fuori dalla cellula contribuisce al comportamento della cellula stessa e, salendo di scala, a quello dei tessuti e del movimento? La ricerca successiva ha confermato l'importanza di questo dialogo e ha mostrato nello stesso tempo che nessun modello unico basta a descriverlo. La matrice non è il Deus ex machina dell'organismo; è una componente decisiva di una rete nella quale nessun livello biologico può essere compreso completamente isolandolo dagli altri.

Il passaggio al Volume III segue naturalmente questo percorso. Dopo il sistema posturale nel suo insieme e dopo il substrato connettivale e biomeccanico, l'attenzione si sposta sul piede: l'interfaccia che, nella stazione eretta e nella locomozione, mette il corpo in relazione con il terreno, riceve informazioni e modula le forze trasmesse lungo l'arto inferiore.

Edizione originale 2010 – conclusioni originali

I contenuti del 2010 sono riportati nel punto tematico a cui appartengono. Per la loro lettura scientifica vale la revisione 2026 appena esposta.

a) Ciò che è fuori dalla cellula è importante quanto ciò che è dentro ed è da esso inscindibile. b) Siamo una “funzione strutturante”, neuro-biomeccanicamente oscillante vorticosamente, in equilibrio dinamico, tra tessuto connettivo e muscoli. c) L’alterazione funzionale e quindi la sua rieducazione è determinante. Controllo e funzionalità delle cerniere articolari e in particolare del bacino rappresentano i parametri critici. Tali parametri vanno sempre verificati (in maniera precisa e quantificabile ossia confrontabile nel tempo) a prescindere dall’approccio utilizzato nella rieducazione posturale. Considerare i risultati ottenuti solo in una specifica regione corporea (es. apparato stomatognatico o appoggio podalico) senza esaminarne gli effetti sull’intera postura, comporta il grave rischio di spostare la problematica in un’altra regione corporea.

Casi clinici

I casi che seguono appartengono all’edizione originale del 2010 e vengono conservati come documentazione storica dell’esperienza clinica dalla quale il volume è nato. Il programma indicato con il nome TIBodywork integrava, in combinazioni differenti, tecniche manuali, esercizio posturale ed eventuali supporti ergonomici.

Nota metodologica 2026. Questi casi sono osservazioni cliniche individuali e non studi controllati. La successione temporale tra trattamento e cambiamento dei sintomi o dei parametri strumentali non dimostra da sola un rapporto causale né consente di stimare l’efficacia del metodo. Le immagini vengono mantenute come documentazione originale e devono essere interpretate insieme al quadro clinico, alle misure utilizzate e ai limiti propri dei case report.

Edizione originale 2010 – introduzione ai casi clinici

Qui viene ripreso il testo del 2010. Le formulazioni originarie sono conservate per ragioni storiche e vanno lette insieme alle precisazioni scientifiche del 2026.

I casi clinici qui descritti sono stati trattati tramite il metodo, da me denominato TIBodywork, che, grazie a un lavoro d’équipe, integra sinergicamente diverse specifiche tecniche, nell’ambito di un programma personalizzato di rieducazione posturale. Fra le tecniche utilizzate vi sono: tecnica manuale miofasciale e articolare (bodywork – Chetta, 2004), ginnastica posturale (Chetta, 2008), ergonomia (bite, plantari e calzature ergonomiche ecc. – Chetta, 2007). Obiettivo del programma di rieducazione posturale è il ripristino/miglioramento della funzionalità e, di conseguenza, della struttura posturale, secondo i principi esposti in questa pubblicazione. Nei seguenti casi, la



risoluzione della sintomatologia (totale o comunque in misura da consentire un ritorno alla vita normale) si è accompagnata a un deciso miglioramento di funzionalità e struttura, come evidenziato dalle analisi spinometriche formetric.

Caso clinico: Emicrania

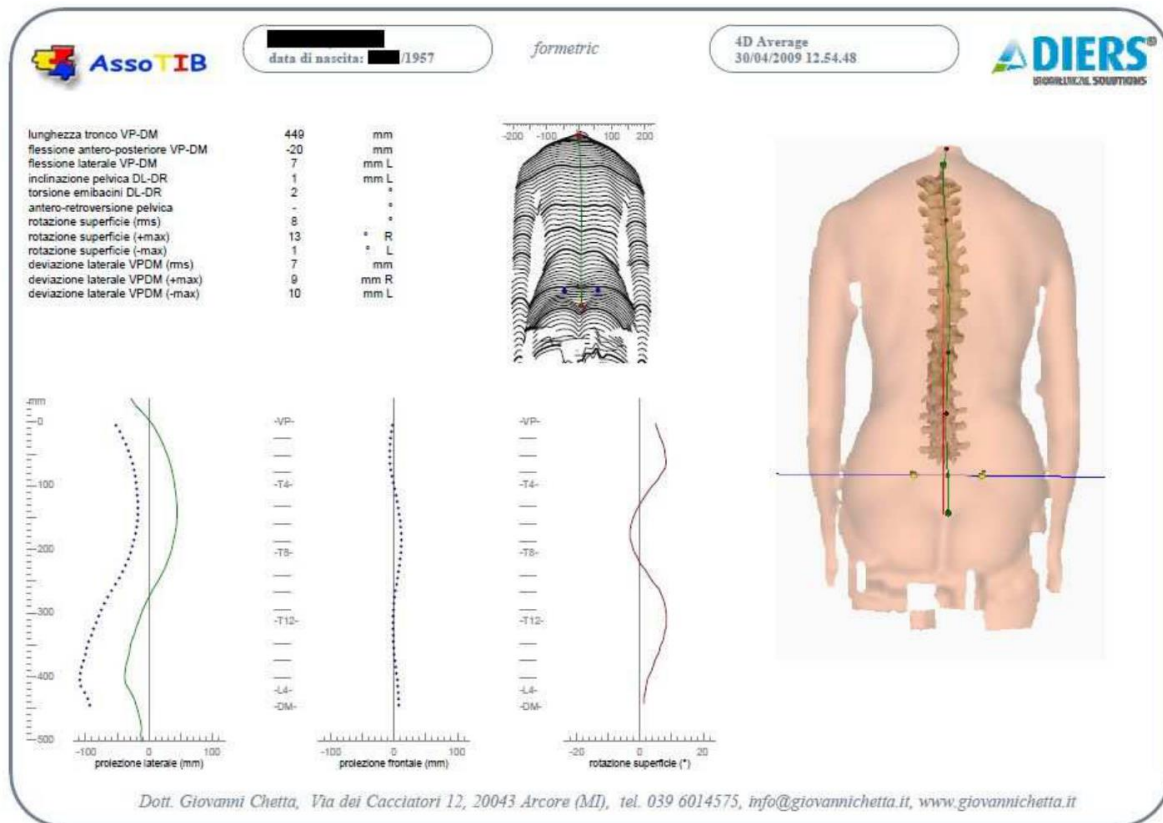


Immagine originale – edizione 2010, p. 23. Documentazione strumentale originale del caso clinico Emicrania, pagina 23 dell'edizione 2010.

**LYL**

Le Guide Love Your Life POSTURA – L'uomo tra struttura, funzione e ambiente

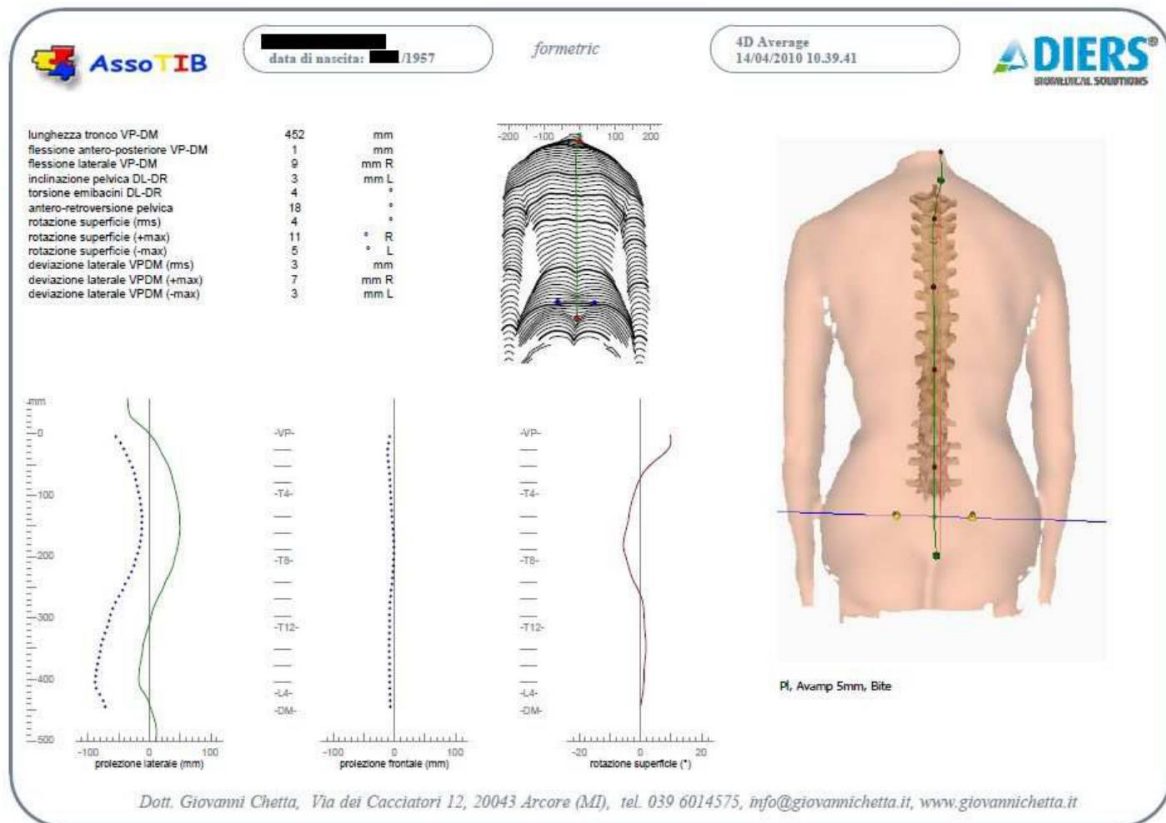


Immagine originale – edizione 2010, p. 24. Documentazione strumentale originale del caso clinico Eemicrania, prima tavola della pagina 24.

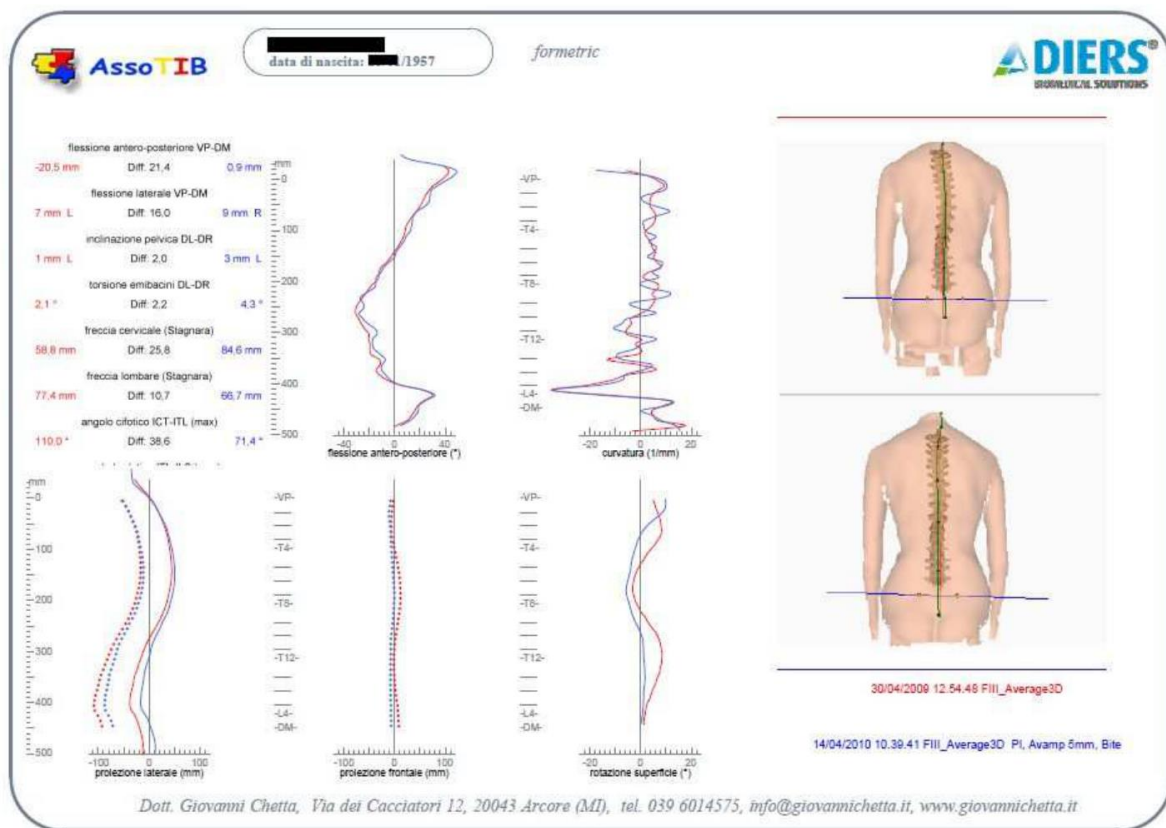


Immagine originale – edizione 2010, p. 24. Documentazione strumentale originale del caso clinico Emicrania, seconda tavola della pagina 24.

Donna nata nel 1957, con episodi di emicrania riferiti nell'edizione originale come molto frequenti, associati a cervico-dorsalgia, problemi di equilibrio e importanti alterazioni della morfologia del rachide rilevate strumentalmente.

Programma del 2010: bite oclusale, plantari ergonomici personalizzati, tecnica manuale (bodywork) e ginnastica posturale.

Nel report originale veniva descritto un netto miglioramento della sintomatologia, della funzione e dei parametri strutturali rilevati. Nell'edizione 2026 questa formulazione viene mantenuta come esito osservato nel singolo caso, senza attribuirle valore dimostrativo sull'efficacia dei singoli componenti del trattamento.

Edizione originale 2010 – caso clinico Emicrania – testo originale

La sezione successiva appartiene all'edizione del 2010; la sua conservazione documenta il percorso dell'opera, mentre l'aggiornamento 2026 ne offre la lettura scientifica attuale.

Donna, nata nel 1957, con forti episodi di emicrania (2-3 volte alla settimana) da ca. 10 anni associati a cervico-dorsalgia, problemi di equilibrio e gravi alterazioni della colonna vertebrale. Programma TIBodywork: bite occlusale, plantari ergonomici personalizzati, tecnica manuale (bodywork), ginnastica posturale. Risultati ottenuti: netto miglioramento di sintomatologia, funzionalità e struttura.

Caso clinico: Pubalgia

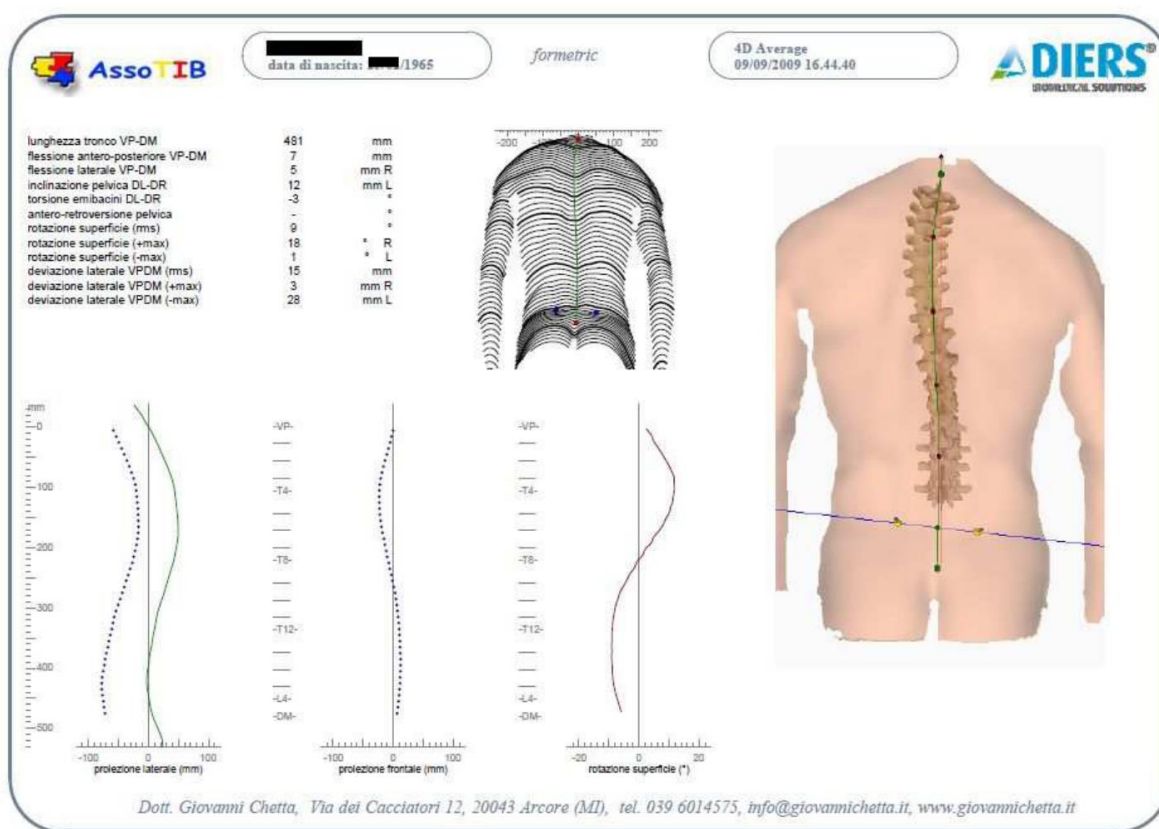


Immagine originale – edizione 2010, p. 25. Documentazione strumentale originale del caso clinico Pubalgia, pagina 25.

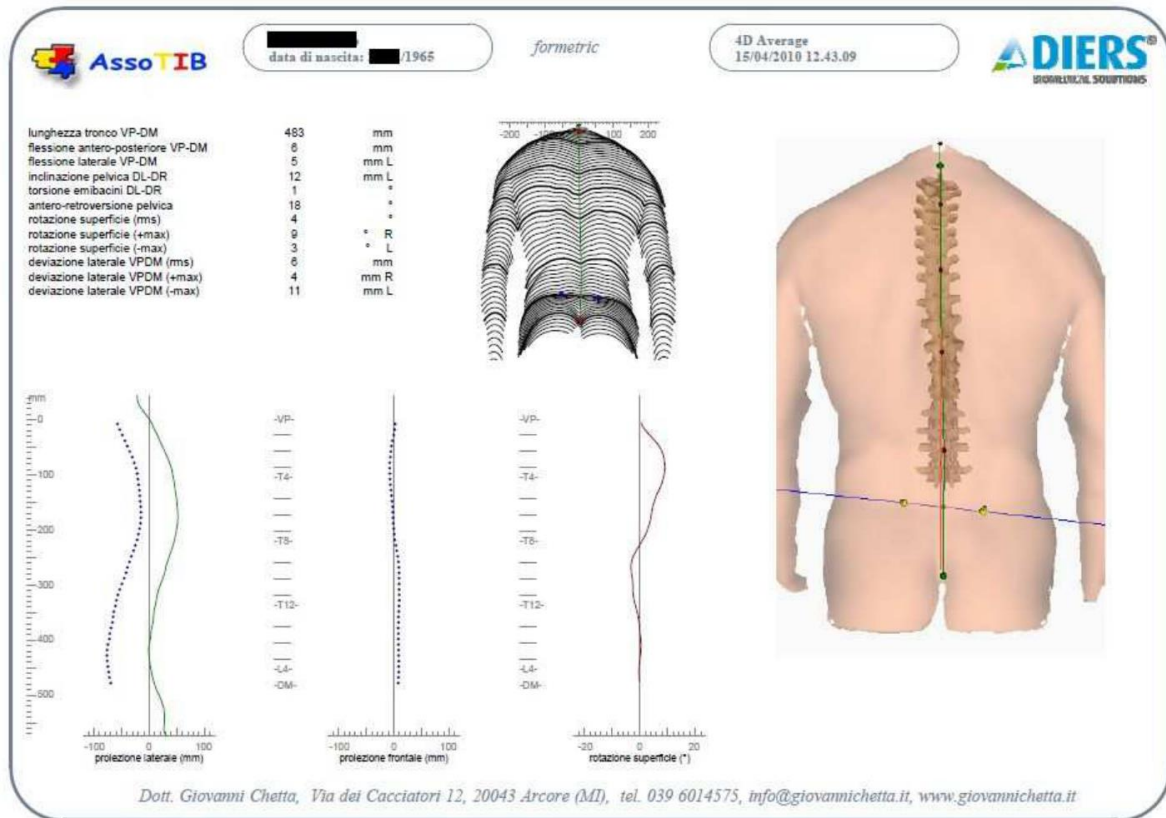
**LYL**

Immagine originale – edizione 2010, p. 26. Documentazione strumentale originale del caso clinico Pubalgia, prima tavola della pagina 26.

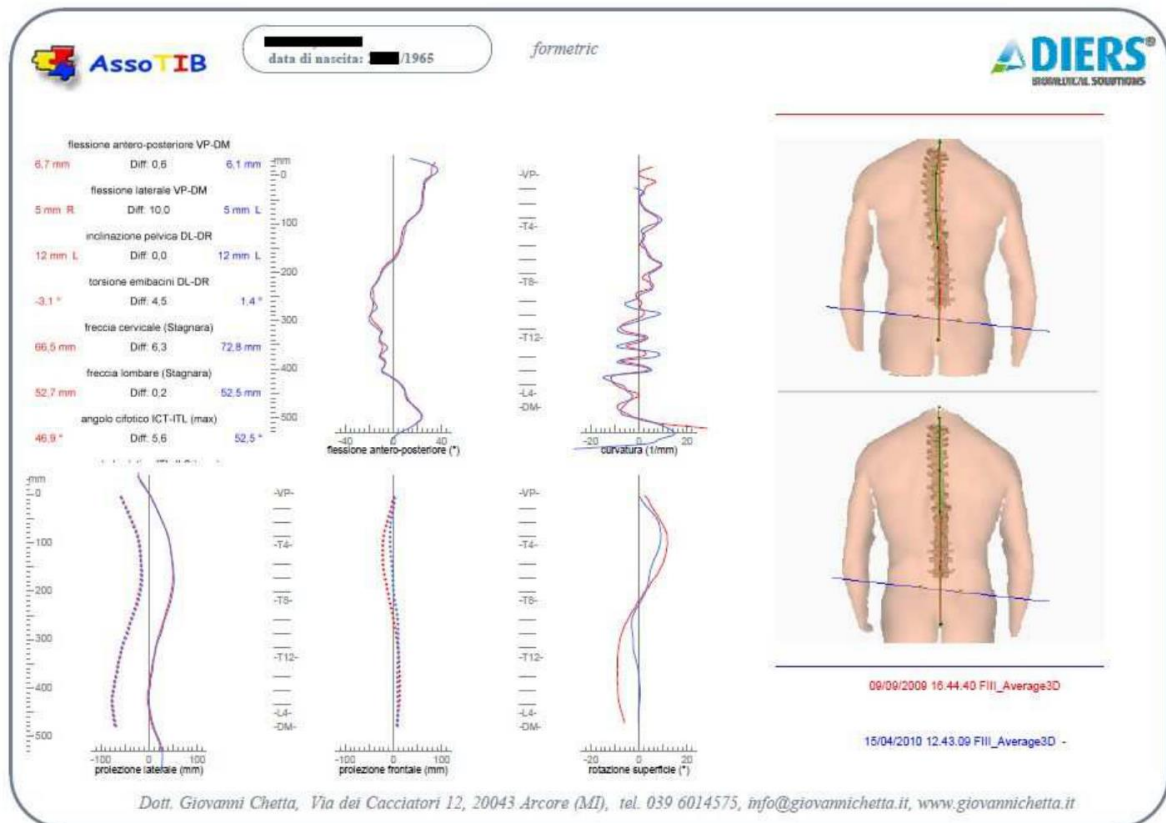


Immagine originale – edizione 2010, p. 26. Documentazione strumentale originale del caso clinico Pubalgia, seconda tavola della pagina 26.

Sportivo di 44 anni, con dolore nella regione pubico-ischiatica sinistra presente da circa due anni, scoliosi e postumi di parziale displasia congenita dell'anca sinistra.

Programma del 2010: tecnica manuale (bodywork), ginnastica posturale e calzature ergonomiche.

Il testo originale riferiva un netto miglioramento della sintomatologia, della funzione e dei parametri strutturali. L'osservazione è riportata come decorso clinico individuale e non consente di distinguere il contributo specifico delle diverse componenti del programma.

Edizione originale 2010 – caso clinico Pubalgia – testo originale

Segue il testo dell'edizione originale 2010; va letto alla luce dell'aggiornamento scientifico 2026 appena presentato.

Sportivo, 44 anni, sofferente da 2 anni di algia zona pubica-ischiatica sx. Scoliosi e postumi da parziale displasia congenita dell'anca sx. Programma TIBodywork: tecnica manuale (bodywork), ginnastica posturale, calzature ergonomiche. Risultati ottenuti: netto miglioramento di sintomatologia, funzionalità e struttura.

Caso clinico: Scoliosi

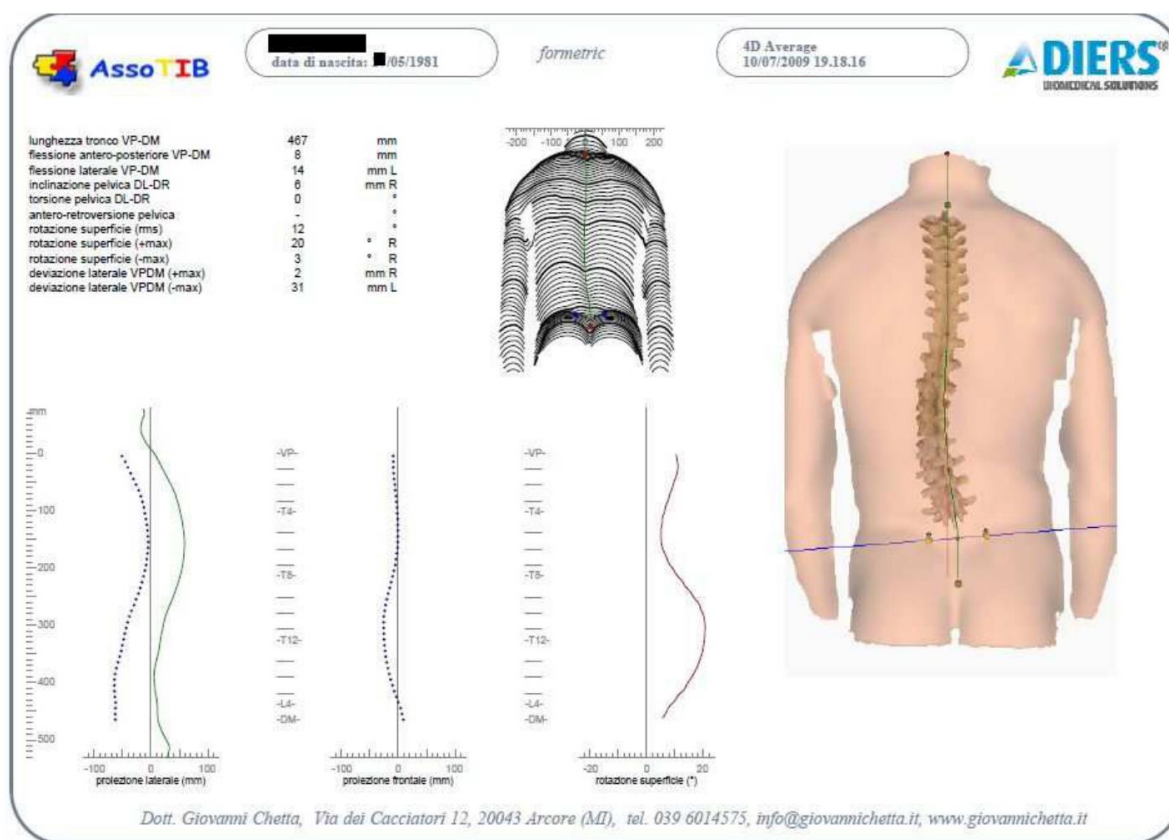


Immagine originale – edizione 2010, p. 27. Documentazione strumentale originale del caso clinico Scoliosi, pagina 27.

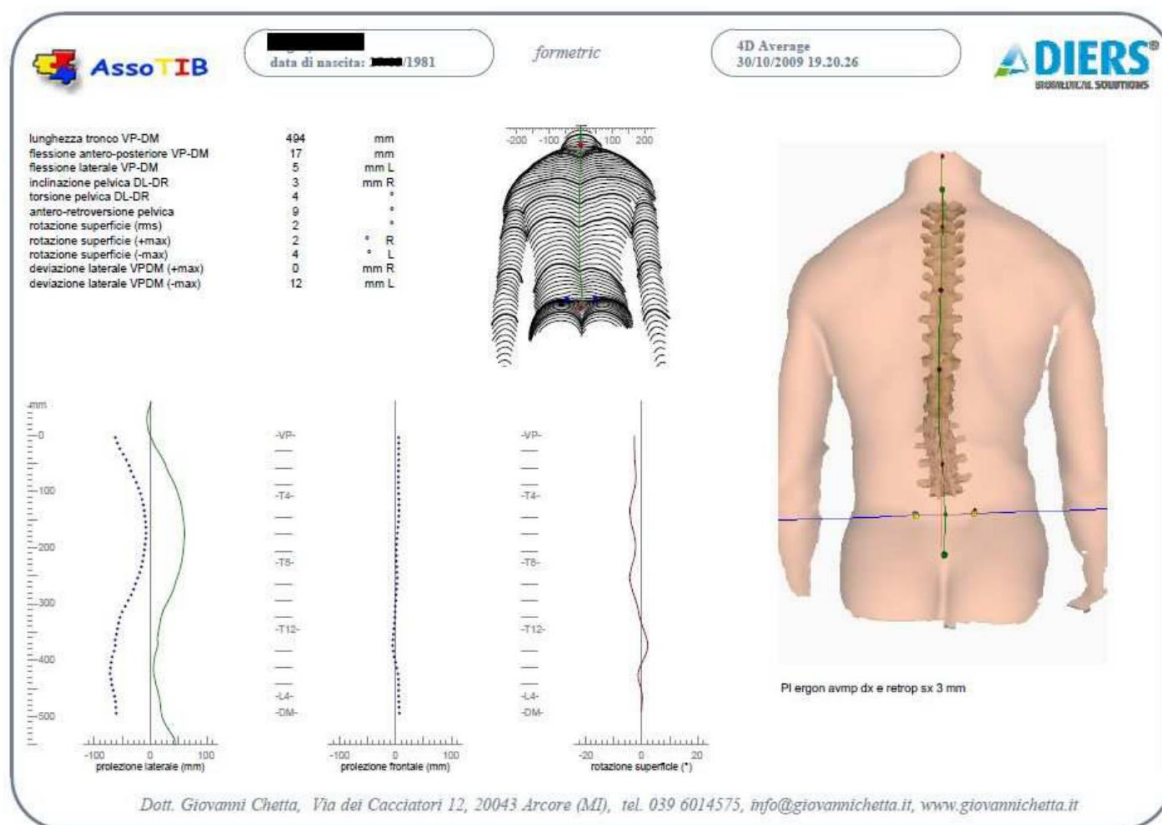


Immagine originale – edizione 2010, p. 28. Documentazione strumentale originale del caso clinico Scoliosi, prima tavola della pagina 28.

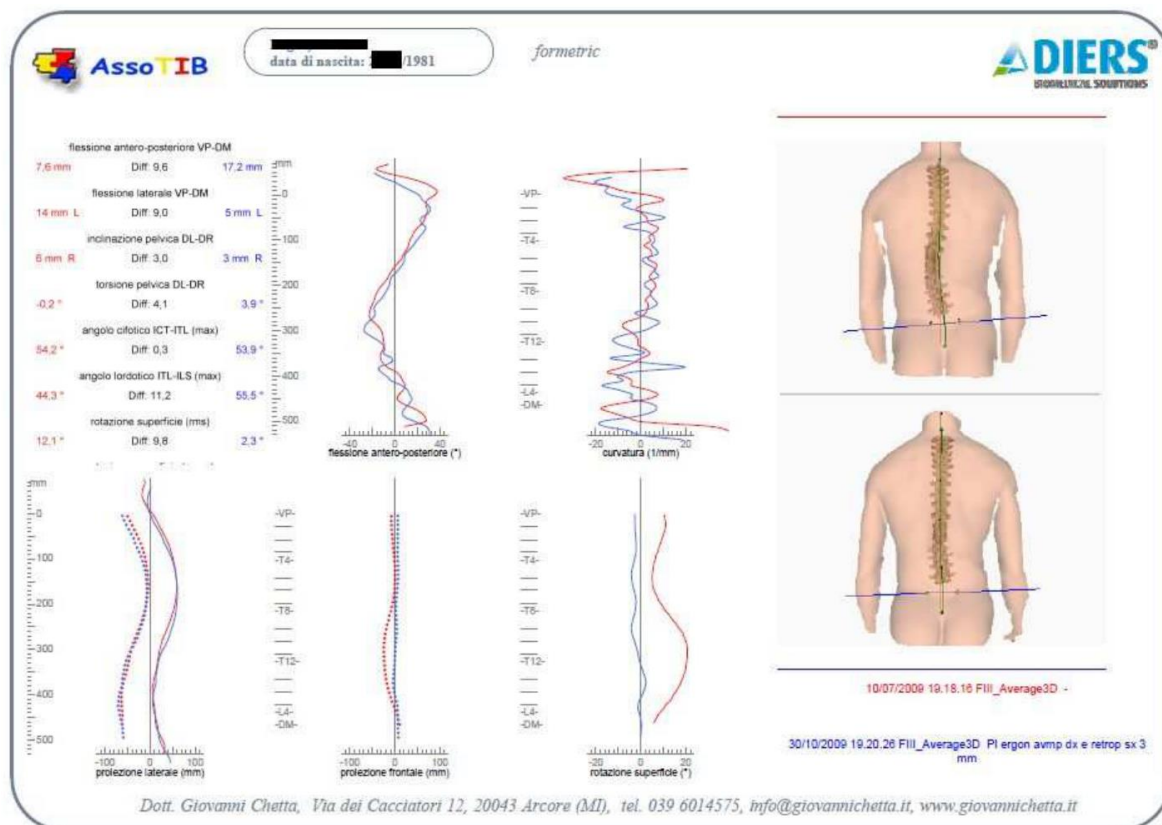


Immagine originale – edizione 2010, p. 28. Documentazione strumentale originale del caso clinico Scoliosi, seconda tavola della pagina 28.

Maschio nato nel 1981, descritto nell'edizione originale come affetto da importante scoliosi strutturale.

Programma del 2010: ginnastica posturale e supporti ergonomici plantari.

Nel report originale veniva segnalato un miglioramento funzionale, strutturale ed estetico. Nella lettura attuale, eventuali variazioni osservate in un singolo caso non permettono di concludere che un plantare o un programma posturale modifichino in modo generalizzabile l'evoluzione di una scoliosi strutturale; il caso viene quindi mantenuto come documentazione clinica storica.

Edizione originale 2010 – caso clinico Scoliosi – testo originale

Da qui riprende il testo del 2010. Le formulazioni storiche sono conservate e vanno interpretate insieme alla revisione scientifica 2026 che precede.

Maschio del 1981 affetto da importante scoliosi strutturale. Programma TIBodywork: ginnastica posturale e supporti ergonomici plantari. Risultati ottenuti: netto miglioramento funzionale, strutturale ed estetico.

Caso clinico: Lombalgia

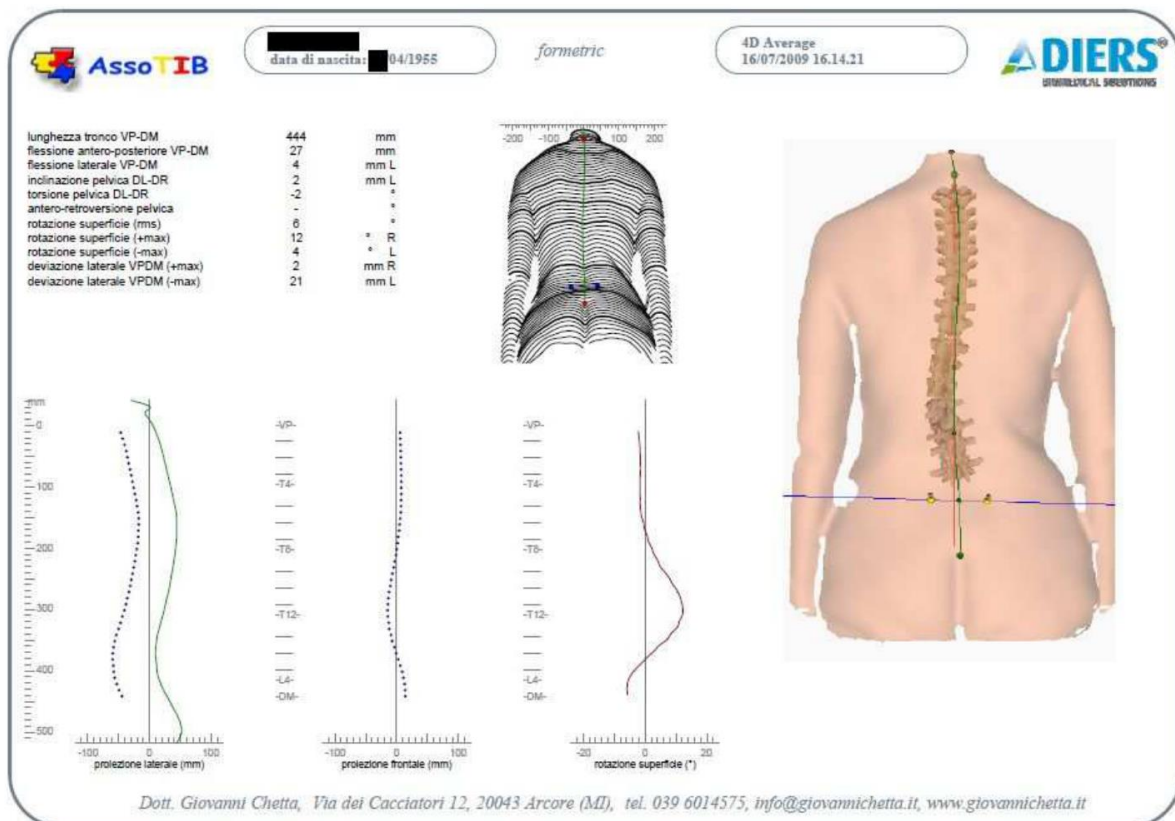


Immagine originale – edizione 2010, p. 29. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombalgia, pagina 29.

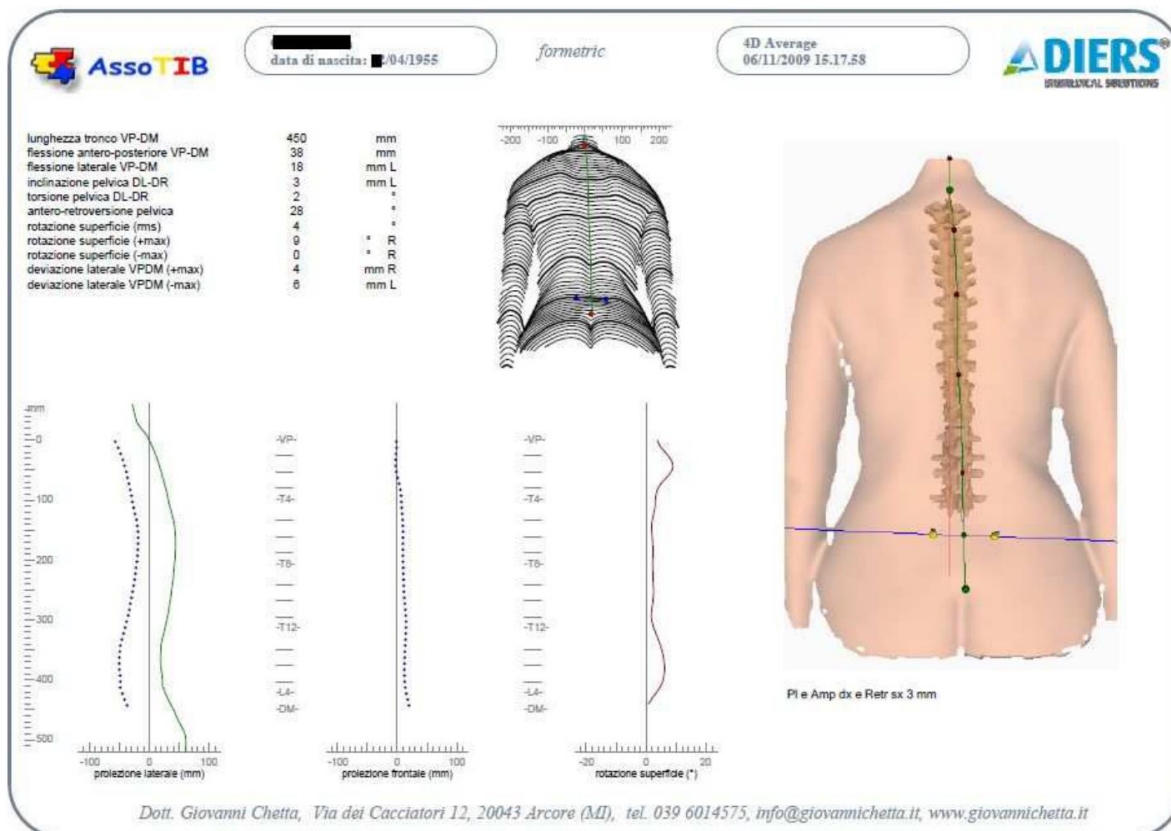


Immagine originale – edizione 2010, p. 30. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombalgia, prima tavola della pagina 30.

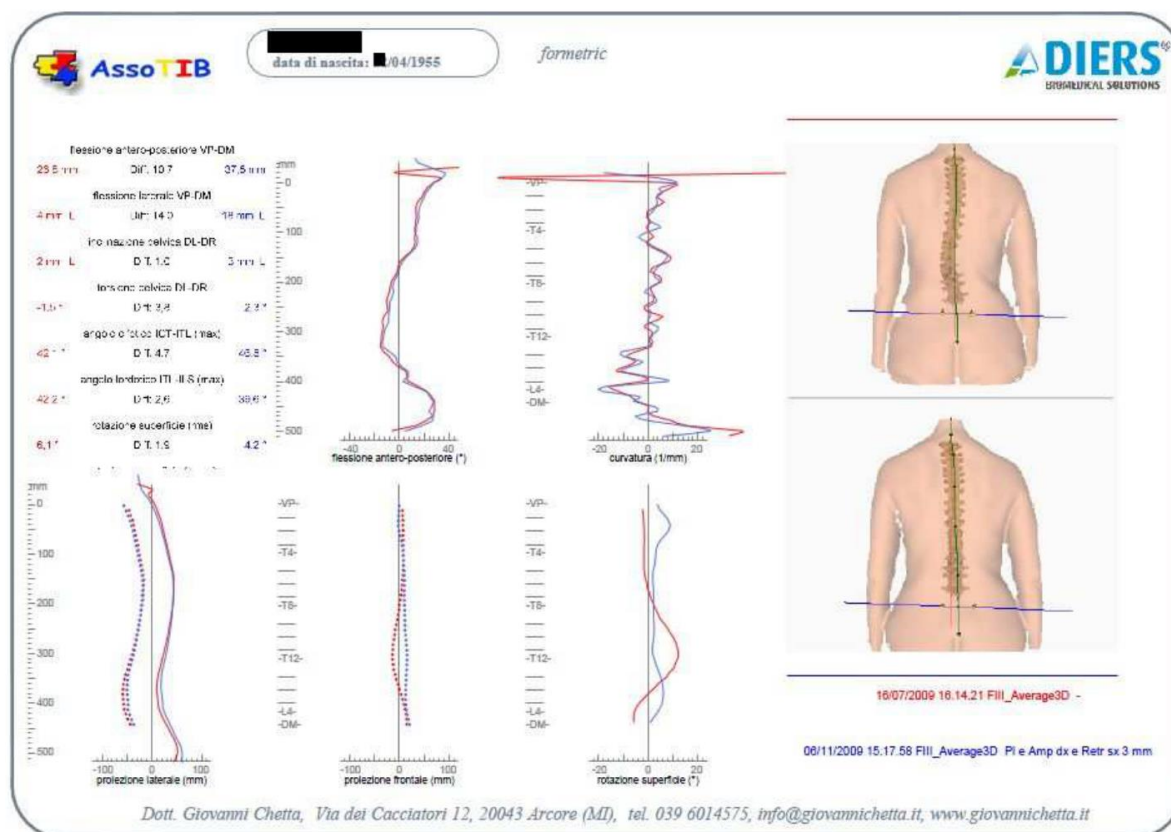


Immagine originale – edizione 2010, p. 30. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombalgia, seconda tavola della pagina 30.

Donna nata nel 1955, con lombalgia cronica e invalidante associata a importante scoliosi lombare.

Programma del 2010: plantari ergonomici personalizzati, tecnica manuale (bodywork) e ginnastica posturale.

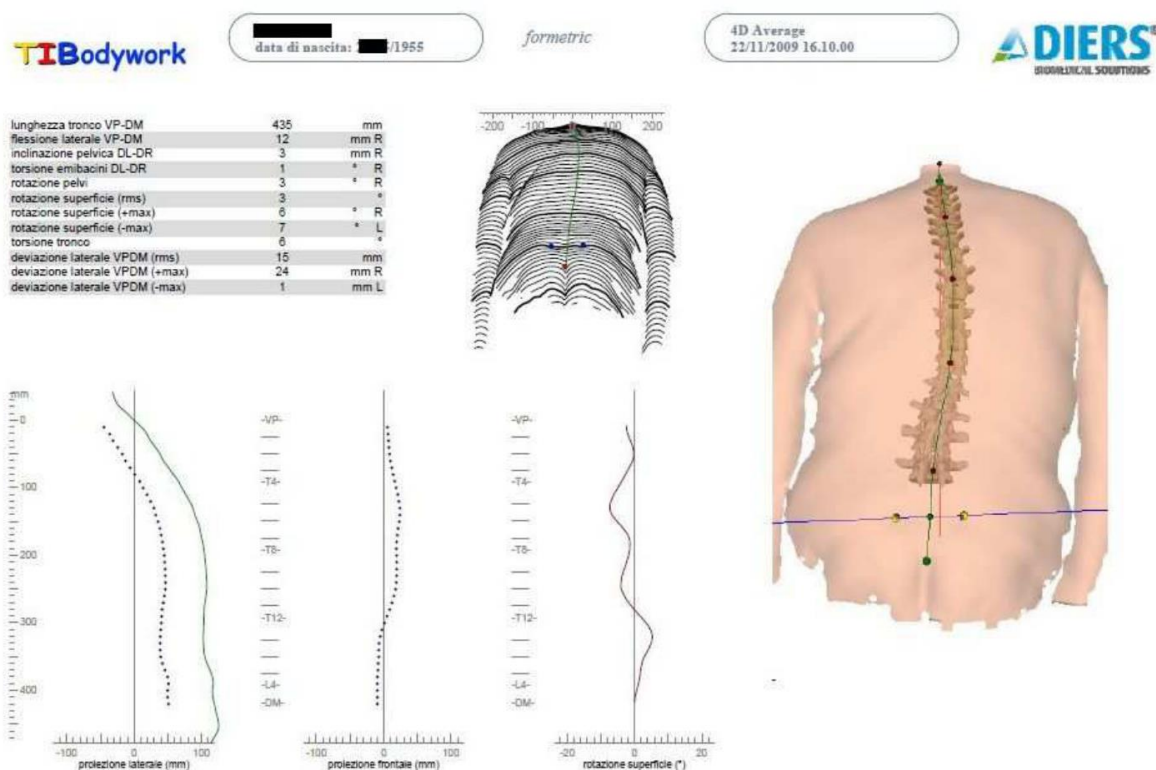
Il report originale descriveva la scomparsa della sintomatologia e un netto miglioramento funzionale e strutturale. Nell'edizione 2026 il caso viene presentato come osservazione individuale: nella lombalgia il miglioramento può dipendere da numerosi fattori e non può essere attribuito con certezza a una singola correzione posturale o a una singola tecnica.

Edizione originale 2010 – caso clinico Lombalgia – testo originale

Il passaggio seguente riproduce i contenuti del 2010, mantenuti per continuità storica e accompagnati dall'aggiornamento scientifico 2026.

Donna del 1955, con “cronica” e invalidante lombalgia (presenza di una importante scoliosi lombare). Programma TIBodywork: plantari ergonomici personalizzati, tecnica manuale (bodywork) e Ginnastica posturale. Risultati ottenuti: scomparsa della sintomatologia, netto miglioramento funzionale e strutturale.

Caso clinico: Lombo-sciatalgia



Dott. Giovanni Chetta, Via dei Cacciatori 12, 20043 Arcore (MI), tel. 039 6014575, info@giovannichetta.it, www.giovannichetta.it

Immagine originale – edizione 2010, p. 31. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombo-sciatalgia, pagina 31.

**LYL**

Le Guide Love Your Life POSTURA – L'uomo tra struttura, funzione e ambiente

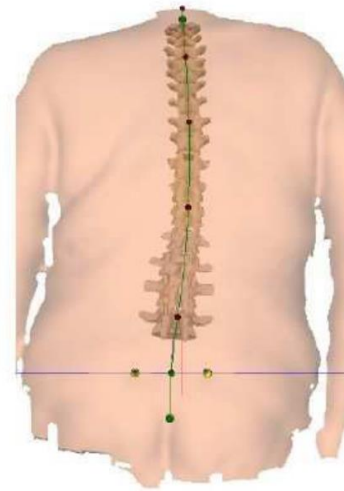
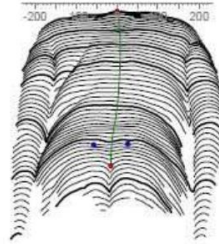
TIBodywork

data di nascita: [redacted]/1955

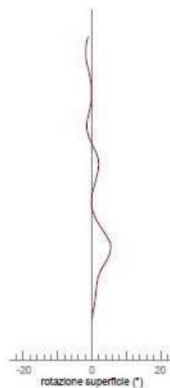
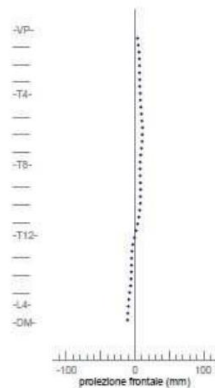
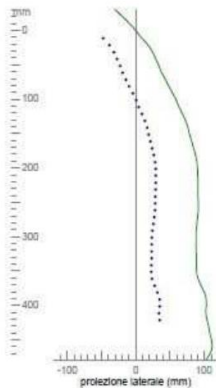
formetric

4D Average
04/08/2010 10.11.52**DIERS**
BIOMECHANICAL SOLUTIONS

lunghezza tronco VP-DM	439	mm
flessione laterale VP-DM	14	mm R
inclinazione pelvica DL-DR	0	mm
torsione emibacini DL-DR	1	° R
rotazione pelvi	3	° R
rotazione superficie (rms)	2	°
rotazione superficie (+max)	6	° R
rotazione superficie (-max)	1	° L
torsione tronco	4	°
deviazione laterale VPDM (rms)	8	mm
deviazione laterale VPDM (+max)	13	mm R
deviazione laterale VPDM (-max)	0	mm



con Plierg



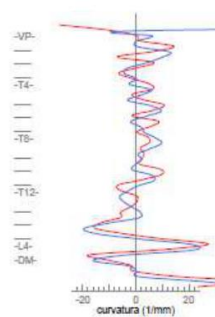
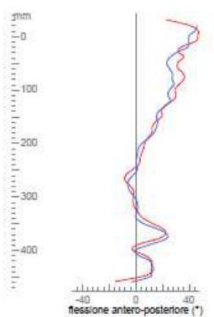
Dott. Giovanni Chetta, Via dei Cacciatori 12, 20043 Arcore (MI), tel. 039 6014575, info@giovannichetta.it, www.giovannichetta.it

Immagine originale – edizione 2010, p. 32. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombo-sciatalgia, seconda tavola della pagina 32.

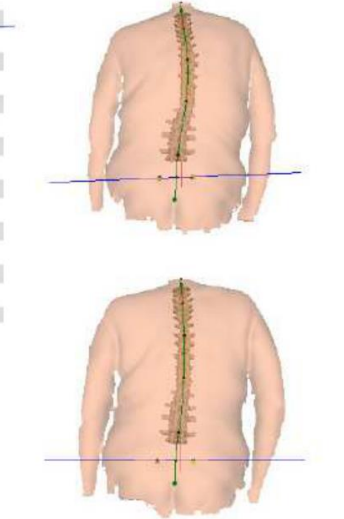
TIBodywork

data di nascita: [redacted]/1955

formetric

DIERS
BIOMECHANICAL SOLUTIONS

flessione laterale VP-DM	12 mm R	Diff: 2.0	14 mm R
inclinazione pelvica DL-DR	3 mm R	Diff: 3.0	0.0 mm
torsione emibacini DL-DR	1 ° R	Diff: 0.0	1 ° R
freccia cervicale (Stagnara)	133.7 mm	Diff: 26.1	107.6 mm
freccia lombare (Stagnara)	2.7 mm	Diff: 0.3	2.4 mm
angolo crotico ICT-ITL (max)	53.8 °	Diff: 9.1	44.7 °
angolo lordotico ITL-ILS (max)	27.2 °	Diff: 0.9	26.3 °
rotazione superficie (rms)	3.3 °	Diff: 1.1	2.2 °



22/11/2009 16.10.00 FIII_Average3D -

04/08/2010 10.11.52 FIII_Average3D con Plierg

Dott. Giovanni Chetta, Via dei Cacciatori 12, 20043 Arcore (MI), tel. 039 6014575, info@giovannichetta.it, www.giovannichetta.it

Immagine originale – edizione 2010, p. 32. Documentazione strumentale originale del caso clinico Lombo-sciatalgia, prima tavola della pagina 32.

Donna nata nel 1955, con storia pluriennale di importante lombo-sciatalgia sinistra, discopatia artrosica L1-L2 e L4-L5 e cervicalgia.

Programma del 2010: tecnica manuale (bodywork), ginnastica posturale e supporti ergonomici plantari.

Nel testo originale veniva riportato un netto miglioramento della sintomatologia, della funzione e dei parametri strutturali. Anche in questo caso la documentazione viene conservata come case report storico e non come prova di un rapporto causale tra singolo reperto posturale, trattamento e sintomo.

Edizione originale 2010 – caso clinico Lombo-sciatalgia e chiusura dell'edizione originale

Nella sezione che segue è conservato il testo originario del 2010; la revisione 2026 precedente ne definisce il contesto scientifico attuale.

Soggetto donna, nata nel 1955, sofferente da anni di importante lombosciatalgia sx (discopatia artrosica L1-L2 e L4-L5) e cervicalgia. Programma TIBodywork: tecnica manuale (bodywork), ginnastica posturale e supporti ergonomici plantari. Risultati ottenuti: netto miglioramento di sintomatologia, funzionalità e struttura.

“Per capire bisogna andare verso il più piccolo e risalire verso il più grande” Richard Feynman (premio Nobel per la Fisica nel 1965)

Dedicato a Carlo, ciao Nini.

Bibliografia del Volume II

La bibliografia è organizzata in due sezioni. La prima conserva le fonti dell'edizione originale 2010, con correzioni tipografiche e con la voce del capitolo del Nuovo Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa riportata con gli autori per esteso. La seconda raccoglie fonti successive utilizzate per l'aggiornamento scientifico 2026.

Fonti dell'edizione originale 2010

- Chetta G., Africa A., Africa E. “Approccio clinico e riabilitativo alle patologie del piede (Klinischer und rehabilitativer Ansatz zu den Fusspathologien)”. In: Valobra G., Gatto R., Monticone M., a cura di. Nuovo Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa. Vol. III, cap. 98, pp. 1711-1730. UTET Scienze Mediche (2008).
- Albergati F.G., Bacci A., Mancini S. “La matrice extracellulare”. Minelli Editore (2004).
- Alberts B. et al. “Molecular Biology of the Cell”. Garland Science Textbooks (2002).
- Athenstaedt H., Zellforsch Z. “Permanent Electric Polarisation and Pyroelectric Behaviour of the Vertebrate Skeleton” (1969).
- Athenstaedt H. “Pyroelectric and piezoelectric properties of vertebrates”. Annals of the New York Academy of Sciences, 238:68-110 (1974).
- Bacci P.A. “Il lipolinfedema”. Flebologia Oggi, 1:51-62; 2:10-21 (1997).

- Bartelink D.L. "The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral disc". J Bone Joint Surg Br, 39-B:718-725 (1957).
- Basmajian J.V. "L'elettromiografia nell'analisi dinamica delle funzioni muscolari". Piccin (1971).
- Birkedal-Hansen H. et al. "Matrix metalloproteinases". Crit Rev Oral Biol Med (1993).
- Bloom F.E. "Neurotransmitters: past, present and future directions". FASEB J, 2 (1988).
- Boos N., Boesch C. "Quantitative Magnetic Resonance Imaging of the lumbar spine: potential of investigation of water content and biochemical composition". Spine, 20 (1995).
- Bogduk N. "Clinical Anatomy of the Lumbar Spine and Sacrum". Churchill Livingstone, Edinburgh (1997).
- Boulet L.P. "Clinical Asthma Review" (1999).
- Campisi C. "Il linfedema, aspetti attuali di diagnosi e terapia". Flebologia Oggi, Minerva Medica, 1:27-41 (1997).
- Cantu R.I., Grodin A.J. "Myofascial Manipulation – Theory and Clinical Application". Aspen Publication (1992).
- Cavagna G.A. "Human locomotion". Comparative Physiology, North Holland P.C. (1973).
- Chaitow L., DeLany J.W. "Clinical Application of Neuromuscular Techniques". Vol. I. Churchill Livingstone (2000).
- Chetta G. "Ginnastica posturale: implicazioni, peculiarità e benefici per l'uomo nella società moderna". Lista Ippocrate e Scienza e Professione (2008).
- Chetta G. "L'importanza di una corretta postura - Postura e benessere". Lista Ippocrate e Scienza e Professione (2007).
- Chetta G. "Il Sistema Connettivo: dalla PNEI alla PNECI". Lista Ippocrate (2007).
- Chetta G. "Il Massaggio TIB". Il Massofisioterapista (marzo 2004).
- Curri S.B. "Liposclerosi e microcircolo". La Dermoestetica, 1:6-7 (1990).
- Dieppe P.A. Rheumatology, 38:338-345 (1995).
- Eble J.N. "Patterns of response of the paravertebral musculature to visceral stimuli". American Journal of Physiology, 198:429-433 (1960).
- Fain J.M., Shepherd R.E. "Hormonal regulation of lipolysis". Adv Exp Med Biol, 111:43-79 (1979).
- Ferrante A. "Manuale pratico di terapia miofunzionale". Marrapese Editore (2004).
- Formia M. "Il meccanismo che sostiene corpo e psiche" (2009).
- Furth J.J. J Gerontology (2001).
- Gabbiani G. "Evolution of the Myofibroblast Concept". Fascia Research Congress, Boston (2007).
- Gabbiani G. "The myofibroblast in wound healing and fibrocontractive diseases". J Pathol, 200(4):500-503 (2003).
- Galzigna L. "Il cervello dell'uomo". Corso, Ferrara (1976).
- Gennis R.B. "Biomembranes: Molecular Structure and Functions". Springer-Verlag (1989).
- Gilbert S.J., Wotton P.R. Cardiovascular Research, 34:377-383 (1997).
- Godelieve D.S. "Le Manuel du Méziériste". Tome I. Editions Frison-Roche, Paris (1995).
- Gracovetsky S., Farfan H., Lamy C. "The mechanism of the lumbar spine". Spine, 6:249-262 (1981).
- Gracovetsky S., Farfan H., Helleur C. "The abdominal mechanism". Spine, 10:317-324 (1985).
- Gracovetsky S. "The determination of safe load". Br J Ind Med, 7:120-134 (1986).
- Gracovetsky S. "Function of the spine". J Biomech Eng, 8:217-224 (1986).
- Gracovetsky S., Iacono S. "Energy transfers in the spinal engine". J Biomech Eng, 9:99-114 (1987).
- Gracovetsky S. "The Spinal Engine". Springer-Verlag/Wien (1988).

- Granhed H., Jonson R., Hansson T. "The load on the lumbar spine during extreme weight lifting". *Spine*, 12(2):146-149 (1987).
- Halata Z., Baumann K.I. "Sensory nerve endings in the hard palate and papilla incisiva of the rhesus monkey". *Anat Embryol*, 199(5):427-437 (1999).
- Hay E.D. "Extracellular matrix". *J Cell Biol*, 91:205-223 (1980).
- Hutton W.C., Adams M.A. "Can the lumbar spine be crushed in heavy lifting?". *Spine*, 7:586-590 (1982).
- Hynes R.O. "Integrins: bidirectional, allosteric signaling machines". *Cell*, 110(6):673-687 (2002).
- Ikesen K.H.G., Erdogru T. *Asian Journal of Andrology*, 3:55-60 (2002).
- Ingber D.E. "The architecture of life". *Scientific American*, January:48-57 (1998).
- Izzo M. "Matrix metalloproteinases and oxidative stress". *Atti congresso UIP, Roma* (2001).
- Kazarian L.E. "Creep characteristics of the human spinal column". *Orthop Clin North Am*, 6:3-18 (1975).
- Kazarian L.E. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, Supplement (1968).
- Kruger L. "Cutaneous sensory system". In: *Encyclopedia of Neuroscience*, Vol. 1, Adelman G. (1987).
- Margaria R. "Fisiologia muscolare". *Mondadori* (1975).
- Mitchell J.H., Schmidt R.F. "Cardiovascular reflex control by afferent fiber from skeletal muscle receptors". In: Shepherd J.T. et al., *Handbook of Physiology*, Sect. 2, Vol. III (1977).
- Myers T.W. "Anatomy Trains". *Elsevier Science Limited* (2002).
- Myers T.W. "The Opinionated Psoas". *Associated Bodywork and Massage Professionals Magazine* (2001).
- Morin E. "La vita della vita". *Feltrinelli* (1987).
- McNeill T., Addison R., Andersson G., Schultz A. "Trunk strengths in attempted flexion, extension and lateral bending in healthy subjects and low back pain patients". *Annual Conference of the ISSLS, Göteborg* (1979).
- Morosini C. "Corso Transdisciplinare di Posturologia". *Milano* (2003).
- Morosini C., Pacini T. "Pratica posturologica". *Ortho2000*, anno 4, n. 4 (2002).
- Nachemson A.L. "Disc pressure measurements". *Spine*, 6(1):93-97 (1981).
- Nachemson A., Elfström G. "Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs". *Scand J Rehabil Med*, Suppl 1:1-40 (1970).
- Oschman J.L. "Energy Medicine: The Scientific Basis". *Churchill Livingstone* (2000).
- Pacini T. "Studio della postura e indagini baropodometriche". *Chimat* (2000).
- Paparella Treccia R. "L'uomo e il suo moto". *Verduci Editore* (1988).
- Paparella Treccia R. "Il piede dell'uomo". *Verduci Editore* (1978).
- Pasquali Ronchetti I., Baccarani Contri M. *Connective Tissue Research*, 13:237-249 (2004).
- Pischinger A. "Matrice e regolazione della matrice". *Haug International / SIMF* (1996).
- Rengling G. "Magnetic fields and connective tissue regulation". *Electromagnetic Biology and Medicine*, 20(2) (2001).
- Schleip R. "Fascial plasticity - a new neurobiological explanation". *J Bodyw Mov Ther*, 7:11-19; 104-116 (2003).
- Shirazi-Adl S.A., Ahmed A., Shrivastava S.C. "Stress analysis of the lumbar disc-body unit in compression: a 3-dimensional nonlinear finite element study". *Spine*, 9:120-133 (1984).
- Shirazi-Adl S.A., Ahmed A., Shrivastava S.C. "Mechanical response of a lumbar motion segment in axial torque alone and combined with compression". *Spine*, 11:914-927 (1986).
- Shishido T. et al. *Japanese Journal of Cancer Research* (2003).
- Snel J.G., Delleman N.J., Heerkens Y.F., van Ingen Schenau G.J. "Shock-absorbing characteristics of running shoes during actual running". In: *Biomechanics IX-B. Human Kinetics* (1983).
- Stecco L. "Manipolazione della fascia". *Piccin* (2002).

- Still A.T. "Philosophy of Osteopathy". Academy of Osteopathy, Kirksville, MO (1899).
- van den Berg F., Cabri J. "Angewandte Physiologie - Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen". Georg Thieme Verlag (1999).
- Viidik A. "Functional properties of collagenous tissues". *Int Rev Connect Tissue Res*, 6:127-215 (1973).
- Willard F. "Fascial Continuity: Four Fascial Layers of the Body". Fascia Research Congress, Boston (2007).
- Winkelmann W. "Stellenwert der Rückenformanalyse in der Therapie von Wirbelsäulendeformitäten". Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2003).
- Worlitschek M. "Equilibrio acido-base, fondamenti e terapia". *Named* (2002).
- Yvonne C. et al. "Reactive oxygen species and regulation of MMP-expression". In: *Progress in Inflammation*, ed. M.J. Parnham, Verlag (1999).

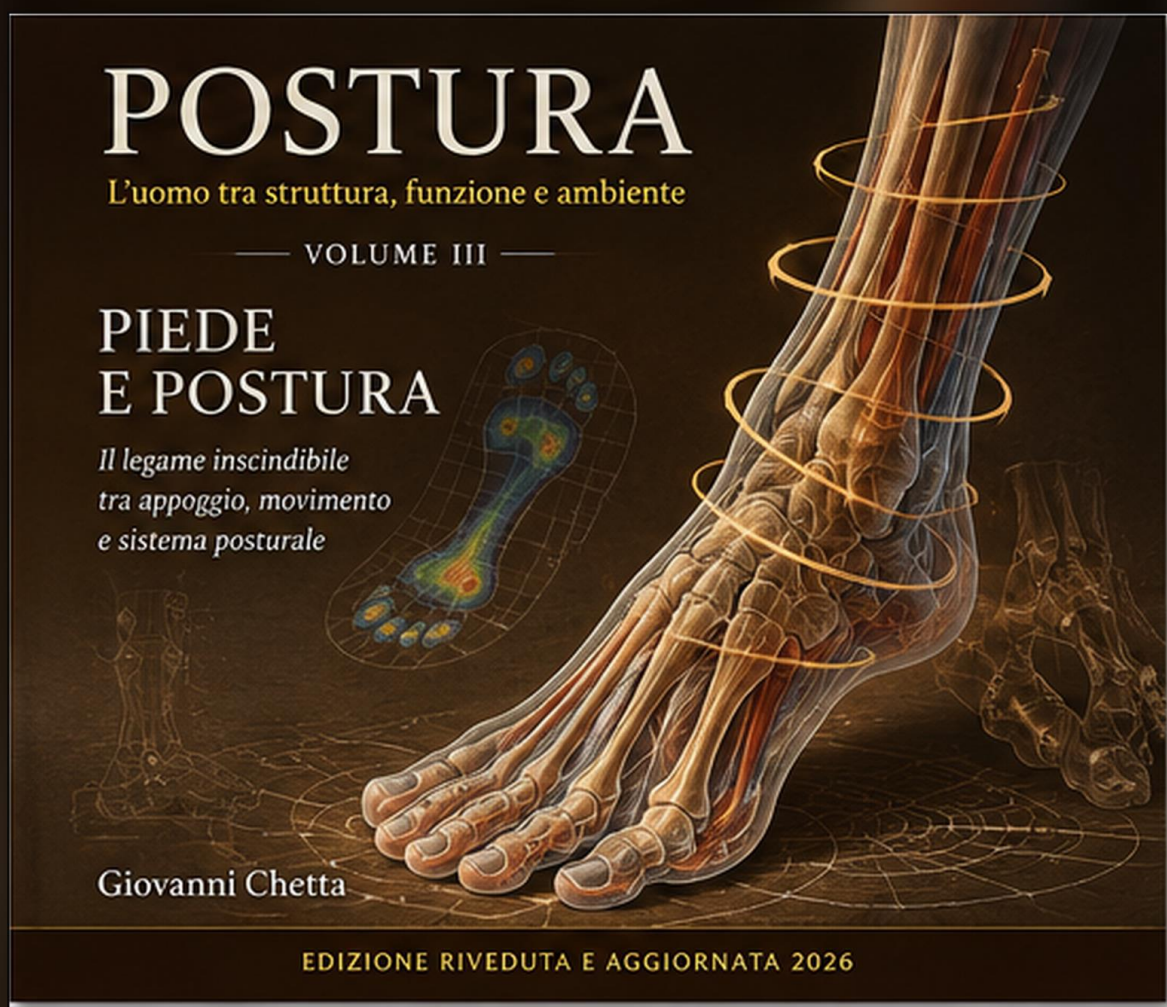
Aggiornamento scientifico 2011-2026

- Álvarez Solano C., González Camacho L.A., Castaño Duque S.P., Cortés Velosa T., Vanoy Martin J.A., Chambrone L. "To evaluate whether there is a relationship between occlusion and body posture as delineated by a stabilometric platform: a systematic review". *Cranio*. 2023;41(4):368-379. doi:10.1080/08869634.2020.1857614.
- Bonnans C., Chou J., Werb Z. "Remodelling the extracellular matrix in development and disease". *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2014;15(12):786-801. doi:10.1038/nrm3904.
- Brinjikji W., Luetmer P.H., Comstock B., Bresnahan B.W., Chen L.E., Deyo R.A., et al. "Systematic literature review of imaging features of spinal degeneration in asymptomatic populations". *AJNR American Journal of Neuroradiology*. 2015;36(4):811-816. doi:10.3174/ajnr.A4173.
- Dupont S., Morsut L., Aragona M., Enzo E., Giulitti S., Cordenonsi M., et al. "Role of YAP/TAZ in mechanotransduction". *Nature*. 2011;474(7350):179-183. doi:10.1038/nature10137.
- Fede C., Angelini A., Stern R., Macchi V., Porzionato A., Ruggieri P., De Caro R., Stecco C. "Quantification of hyaluronan in human fasciae: variations with function and anatomical site". *Journal of Anatomy*. 2018;233(4):552-556. doi:10.1111/joa.12866.
- Frantz C., Stewart K.M., Weaver V.M. "The extracellular matrix at a glance". *Journal of Cell Science*. 2010;123(Pt 24):4195-4200. doi:10.1242/jcs.023820.
- Humphrey J.D., Dufresne E.R., Schwartz M.A. "Mechanotransduction and extracellular matrix homeostasis". *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2014;15(12):802-812. doi:10.1038/nrm3896.
- Hynes R.O., Naba A. "Overview of the matrisome - an inventory of extracellular matrix constituents and functions". *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2012;4(1):a004903. doi:10.1101/cshperspect.a004903.
- Kirkness K.B., Scarlata S. "Understanding Fascial Tissue on the Molecular Level - How Its Unique Properties Enable Adaptation or Dysfunction". *International Journal of Molecular Sciences*. 2026;27(1):160. doi:10.3390/ijms27010160.
- Krause F., Wilke J., Vogt L., Banzer W. "Intermuscular force transmission along myofascial chains: a systematic review". *Journal of Anatomy*. 2016;228(6):910-918. doi:10.1111/joa.12464.
- Naba A., Clauser K.R., Hoersch S., Liu H., Carr S.A., Hynes R.O. "The matrisome: in silico definition and in vivo characterization by proteomics of normal and tumor extracellular matrices". *Molecular & Cellular Proteomics*. 2012;11(4):M111.014647. doi:10.1074/mcp.M111.014647.
- Róžańska-Perlińska D., Potocka-Mitan M., Rydzik Ł., Lipińska P., Perliński J., Javdanah N., Jaszczur-Nowicki J. "The Correlation between Malocclusion and Body Posture and Cervical Vertebral, Podal System, and Gait Parameters in Children: A Systematic Review". *Journal of Clinical Medicine*. 2024;13(12):3463. doi:10.3390/jcm13123463.

- Stecco C., Stern R., Porzionato A., Macchi V., Masiero S., Stecco A., De Caro R. "Hyaluronan within fascia in the etiology of myofascial pain". *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2011;33(10):891-896. doi:10.1007/s00276-011-0876-9.
- Theocharis A.D., Skandalis S.S., Gialeli C., Karamanos N.K. "Extracellular matrix structure". *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2016;97:4-27. doi:10.1016/j.addr.2015.11.001.
- Wilke J., Krause F., Vogt L., Banzer W. "What Is Evidence-Based About Myofascial Chains: A Systematic Review". *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(3):454-461. doi:10.1016/j.apmr.2015.07.023.
- Willard F.H., Vleeming A., Schuenke M.D., Danneels L., Schleip R. "The thoracolumbar fascia: anatomy, function and clinical considerations". *Journal of Anatomy*. 2012;221(6):507-536. doi:10.1111/j.1469-7580.2012.01511.x.
- World Health Organization. "WHO guideline for non-surgical management of chronic primary low back pain in adults in primary and community care settings". Geneva: World Health Organization; 2023. ISBN 978-92-4-008178-9.
- Younesi F.S., Miller A.E., Barker T.H., Rossi F.M.V., Hinz B. "Fibroblast and myofibroblast activation in normal tissue repair and fibrosis". *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. 2024;25(8):617-638. doi:10.1038/s41580-024-00716-0.

Edizione originale: Giovanni Chetta, 15/08/2010 - Arcore (MI), Italia

VOLUME III – PIEDE E POSTURA



Premessa

Il testo originario *Piede e postura: un legame inscindibile* venne pubblicato nel 2011 come sintesi di un percorso iniziato molti anni prima. In poche pagine condensava una convinzione centrale: il piede non è soltanto la parte terminale dell'arto inferiore bensì l'interfaccia attraverso la quale il corpo entra in relazione meccanica e sensoriale con il terreno. La stessa impostazione era stata sviluppata più estesamente nella pagina web dedicata a piede e deambulazione e nei precedenti lavori sulla postura.

L'edizione 2026 sviluppa quel nucleo di quattro pagine fino a farne il terzo volume della trilogia. Restano le idee portanti del testo originario: il piede capace di alternare adattabilità e rigidità, il modello dell'elica a passo variabile e il collegamento funzionale tra piede, arto inferiore, bacino e rachide. Si aggiungono l'anatomia funzionale più dettagliata della versione web del 2011, i contenuti podologici già presenti in *Postura e Benessere* e le acquisizioni scientifiche maturate negli anni successivi.

L'ampliamento richiede anche alcune correzioni. Non è sostenibile descrivere il piede come origine universale degli squilibri posturali né considerare il terreno piano una causa primaria inevitabile di patologia. Postura del piede, forma degli archi, pronazione e supinazione sono variabili funzionali da interpretare nel contesto del compito, dei sintomi, della capacità tissutale e dell'intera catena cinetica. Un piede piatto può essere asintomatico e funzionale, mentre un piede morfologicamente normale può presentare deficit di forza, mobilità o controllo neuromotorio.

La revisione conserva il carattere sistemico dell'opera e sostituisce le relazioni causali semplici con un modello di interazione. Il piede riceve informazioni dal terreno, modula le forze di reazione al suolo, immagazzina e restituisce energia elastica, cambia rigidità durante il passo e partecipa alla coordinazione dell'arto inferiore. Le sue caratteristiche influenzano il movimento globale e il movimento globale ne modifica continuamente il comportamento.

Il Volume III approfondisce in modo specialistico concetti introdotti nel Volume I e sviluppati, sul piano connettivale e biomeccanico, nel Volume II. Il percorso dell'enciclopedia conduce così dalla postura come adattamento globale alla matrice extracellulare e alla fascia, per arrivare all'interfaccia concreta con il terreno: il piede.

1. Il piede nel sistema posturale

Il piede come interfaccia tra corpo e ambiente

Il piede rappresenta l'unica regione del corpo che, durante la stazione eretta e gran parte della locomozione, stabilisce un contatto ripetuto e diretto con la superficie di appoggio. Esso svolge contemporaneamente funzioni meccaniche e sensoriali. Il piede riceve il carico proveniente dall'alto, reagisce alle forze di reazione al suolo e modifica la propria forma in rapporto alla superficie, alla velocità, alla direzione del movimento e alla strategia motoria scelta dall'individuo.

Nel testo del 2011 il piede veniva definito sia recettore sia effettore. Il concetto rimane utile se viene interpretato in termini moderni. La superficie plantare contiene meccanorecettori cutanei sensibili a pressione, vibrazione, deformazione e scorrimento; muscoli, tendini e articolazioni forniscono informazioni propriocettive; il sistema nervoso integra questi segnali con quelli provenienti dalla vista e dall'apparato vestibolare. La risposta motoria modifica quindi la distribuzione dei carichi e, a sua volta, genera nuove informazioni sensoriali.

Il piede non lavora isolatamente. La caviglia, il ginocchio e l'anca partecipano alla stessa strategia di equilibrio e di locomozione, mentre il tronco e gli arti superiori contribuiscono al controllo del centro di massa. Un cambiamento del piede può associarsi a modificazioni più prossimali ma non produce automaticamente una catena patologica ascendente. Il sistema possiede molte soluzioni possibili e la variabilità rappresenta una delle sue risorse principali.

Il piede è un'interfaccia senso-motoria: la sua funzione emerge dall'integrazione tra struttura, controllo neuromotorio, carico, superficie di appoggio e compito.

Forze interne e forze esterne

Il movimento del corpo nello spazio richiede l'interazione con forze esterne. La gravità agisce costantemente sul centro di massa, mentre la superficie di appoggio esercita una reazione uguale e contraria alle forze applicate. L'attrito rende possibile la componente tangenziale della spinta e impedisce lo scivolamento entro determinati limiti. I muscoli producono forze interne che modulano il modo in cui queste forze esterne vengono assorbite, trasferite e restituite.

Il piede costituisce un convertitore meccanico complesso. Durante il cammino esso deve tollerare l'impatto iniziale, adattarsi alle irregolarità, sostenere il corpo in appoggio monopodalico e infine trasformarsi in una leva sufficientemente rigida per la propulsione. La stessa struttura deve dunque essere deformabile e stabile, sensibile e resistente, mobile e

capace di irrigidirsi. Questo apparente paradosso rappresenta uno dei temi centrali dell'intero volume.

2. Dal piede prensile al piede antigravitario

Bipodalismo e specializzazione del piede umano

L'evoluzione del bipodalismo ha modificato profondamente il piede umano. Rispetto al piede prensile dei primati non umani, il piede dell'uomo presenta un alluce più allineato con le altre dita, una maggiore specializzazione delle strutture tarsali e metatarsali e una configurazione degli archi capace di conciliare rigidità e deformabilità. Queste caratteristiche hanno migliorato l'efficienza della camminata e della corsa, favorendo una propulsione efficace senza perdere la capacità di adattarsi al terreno.

Il modello originario parlava di passaggio dall'afferramento prensile all'«aggrappamento antigravitario». La metafora descrive bene il cambiamento funzionale ma richiede una precisazione: il piede umano non aderisce al terreno attraverso una contrazione continua e uniforme dei muscoli intrinseci. La stabilità deriva dalla cooperazione tra geometria ossea, legamenti, aponeurosi plantare, muscoli intrinseci ed estrinseci e controllo neuromotorio.

Archi longitudinali e arco trasverso

Per molto tempo l'attenzione si è concentrata soprattutto sull'arco longitudinale mediale. Le ricerche più recenti hanno mostrato che anche la curvatura trasversa del piede contribuisce in modo sostanziale alla rigidità longitudinale. Venkadesan e collaboratori hanno dimostrato che l'arco trasverso tarsale, attraverso le proprietà dei tessuti intermetatarsali e la geometria della curvatura, può contribuire per oltre il 40% alla rigidità longitudinale del piede. Questa acquisizione non elimina il modello elicoidale ma impone di considerarlo insieme alla reale architettura tridimensionale degli archi.

Il piede umano deve essere interpretato come una struttura tridimensionale curvilinea e torsionale. La geometria degli archi e la torsione tra retropiede e avampiede rappresentano aspetti complementari della stessa organizzazione meccanica. La rigidità non dipende da un singolo arco né da un singolo legamento bensì dall'interazione tra geometria, tessuti passivi e attività muscolare.

Sviluppo nell'infanzia

Nel bambino piccolo il piede appare spesso più piatto per la presenza di tessuto adiposo plantare, per la lassità relativa dei tessuti e per la maturazione ancora incompleta del controllo

neuromotorio. L'arco longitudinale tende a diventare più evidente nel corso dell'infanzia ma esiste un'ampia variabilità fisiologica. La forma del piede non deve essere giudicata usando automaticamente i criteri dell'adulto.

La prima edizione collegava in modo diretto la maturazione dell'arco plantare alla formazione delle curve vertebrali. È più corretto parlare di processi paralleli e interagenti: crescita scheletrica, maturazione neurologica, acquisizione del cammino, aumento della forza muscolare e cambiamento delle proporzioni corporee si sviluppano insieme. Il piede partecipa a questa maturazione ma non può essere considerato l'unico responsabile della configurazione del rachide.

3. Anatomia funzionale del piede

Una struttura segmentata e integrata

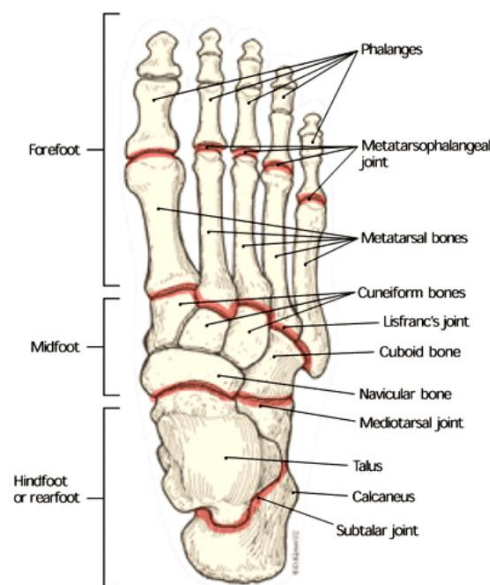


Immagine originale – edizione 2011, p. 1. Anatomia del piede nell'edizione originale 2011.

Il piede umano possiede 26 ossa principali, alle quali si aggiungono frequentemente ossicini accessori e i sesamoidi dell'alluce. La suddivisione funzionale più utile distingue retropiede, mesopiede e avampiede. Il retropiede comprende astragalo e calcagno; il mesopiede comprende navicolare, cuboide e tre cuneiformi; l'avampiede comprende metatarsi e falangi. Questa suddivisione descrive regioni anatomiche ma non separa sistemi indipendenti: ogni fase del passo richiede una coordinazione continua tra i diversi segmenti.

L'astragalo occupa una posizione particolare. Esso riceve il carico dalla tibia e lo distribuisce verso calcagno e navicolare ma non possiede inserzioni muscolari dirette. Il suo movimento dipende quindi dalle superfici articolari, dai legamenti e dalle forze trasmesse attraverso le ossa

adiacenti. Il calcagno costituisce il principale punto di contatto del retropiede e offre un importante braccio di leva al tricipite surale tramite il tendine di Achille.

Le grandi articolazioni funzionali

La tibio-tarsica consente soprattutto dorsiflessione e flessione plantare ma partecipa a un sistema tridimensionale nel quale le rotazioni della gamba e del piede non possono essere separate rigidamente. L'articolazione sottoastragalica permette movimenti complessi che vengono descritti clinicamente con i termini pronazione e supinazione. L'articolazione trasversa del tarso, tradizionalmente chiamata articolazione di Chopart, comprende le componenti talo-navicolare e calcaneo-cuboidea e svolge un ruolo importante nell'adattamento del mesopiede.

Più distalmente, l'articolazione tarso-metatarsale di Lisfranc contribuisce alla mobilità differenziale dei raggi metatarsali. Le articolazioni metatarso-falangee, soprattutto quella dell'alluce, diventano decisive nella fase terminale dell'appoggio, quando l'estensione delle dita tensiona l'aponeurosi plantare e contribuisce all'irrigidimento del piede.

Architettura dei tessuti molli

Legamenti, aponeurosi plantare e capsule articolari partecipano alla stabilità passiva del piede. L'aponeurosi plantare si estende dal calcagno verso le dita e integra la funzione degli archi con il meccanismo dell'organo. Il tendine tibiale posteriore, i peronieri, il tibiale anteriore, il tricipite surale, i flessori lunghi e i muscoli intrinseci modulano invece la stabilità attiva e la distribuzione delle forze.

L'anatomia funzionale richiede quindi di superare la tradizionale separazione tra ossa, legamenti e muscoli. La forma del piede emerge dalla tensione reciproca di strutture passive e attive, mentre il sistema nervoso regola il reclutamento in base al compito. La stessa morfologia può comportarsi in modo differente durante stazione eretta, cammino, corsa, salto o appoggio su terreno irregolare.

Edizione originale 2011 – fondamenti anatomici e modello elicoidale

Segue la sezione del 2011, mantenuta come documento dell'impostazione originaria. L'aggiornamento scientifico 2026 precedente ne chiarisce i limiti e gli elementi ancora validi.

Il piede rappresenta il punto fisso al suolo su cui grava l'intero peso del corpo. Esso si trova alla base del sistema di controllo antigravitario (sistema tonico posturale) che consente all'uomo di assumere la postura eretta e di spostarsi nello spazio. Il piede è sia un effettore sia un ricettore ossia riceve ed esegue dei comandi (risposta motoria), tramite i muscoli, e, nel contempo, interagisce col resto del corpo fornendo costanti informazioni provenienti dagli esteroceettori cutanei presenti sulla sua pianta e dai propriocettori dei suoi muscoli, fascia, tendini e

articolazioni. Gli esterocettori cutanei del piede sono ad alta sensibilità (0,3 g) e rappresentano l'interfaccia costante tra l'ambiente e il sistema dell'equilibrio. Le informazioni plantari infatti sono le uniche a derivare da un recettore fisso a diretto contatto col suolo. Il piede, nel corso dell'evoluzione, per le esigenze sorte nell'assunzione della stazione eretta e della deambulazione bipodale, risulta un diaframma atto ad assorbire e smistare le forze esterne (ambientali) e interne (muscolari), relativamente agli infiniti piani dello spazio. La struttura del piede è un capolavoro unico di architettura, o meglio di biomeccanica, con le sue 26 ossa, 33 articolazioni e 20 muscoli. Funzionalmente e strutturalmente, è possibile suddividere il piede in:

- retropiede formato da astragalo (talus) e calcagno, "dispositivo centrale" del controllo biomeccanico della gravità;
- avampiede formato da scafoide (navicolare), cuboide, 3 cuneiformi (definiti anche mesopiede; il mesopiede più il retropiede forma il tarso), 5 raggi metatarsali (metatarso) e le falangi delle 5 dita; funge da "adattatore e reattore". Il piede, nel suo ruolo di "base antigravitaria", in un primo tempo prende contatto con la superficie di appoggio adattandosi a essa rilasciandosi, successivamente si irrigidisce, divenendo una leva per "respingere" la superficie stessa. Il piede deve quindi alternare la condizione di rilasciamento con la condizione di irrigidimento. L'alternanza di lassità-rigidità giustifica l'analogia con l'elica a passo variabile. Retropiede e avampiede si dispongono infatti in piani che si intersecano in modo variabile. Nella condizione ideale, il retropiede è disposto verticalmente e l'avampiede orizzontalmente (su una superficie di appoggio orizzontale). A piede sotto carico la torsione tra retropiede e avampiede si attenua nel rilassamento (il piede diviene una piattaforma modellabile) e si accentua nell'irrigidimento (il piede diviene una leva). La disposizione ad arco è in realtà apparente essendo espressione del grado di avvolgimento dell'elica podalica. Il piede quindi non ha il significato di un arco o volta reale ma apparente, che si alza durante l'avvolgimento e si abbassa durante lo svolgimento dell'elica. L'avvolgimento dell'elica, con la conseguente accentuazione dell'apparente disposizione ad arco, corrisponde al suo irrigidimento. Lo svolgimento dell'elica, con conseguente attenuazione dell'arco apparente, è il rilasciamento. La torsione, l'avvolgimento, dell'elica podalica è connessa alla rotazione esterna dei segmenti sovrapodali (gamba e femore). L'astragalo ruotando all'esterno solidalmente con le ossa della gamba, sale sul calcagno chiudendo in tal modo l'articolazione medio-tarsica; il retropiede si

4. Il piede come elica a passo variabile

Il modello di Paparella Treccia

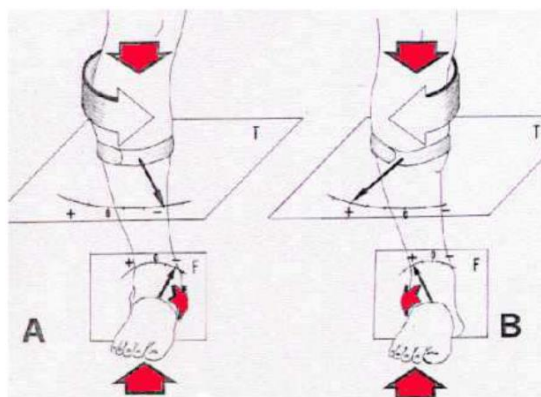


Immagine originale – edizione 2011, p. 2. Schema originale del rapporto torsionale astragalo-calcaneare e dell'elica a passo variabile.

Il concetto di elica a passo variabile, sviluppato da R. Paparella Treccia e ripreso nelle edizioni del 2007 e del 2011, descrive il rapporto torsionale tra retropiede e avampiede. Durante l'adattamento al suolo la torsione relativa può ridursi, rendendo il piede più deformabile; durante la fase di irrigidimento la torsione aumenta e il piede acquista una maggiore capacità di trasmettere la forza propulsiva.

Questo modello conserva un grande valore didattico perché mette in evidenza che il piede non è una struttura rigida. La sua forma cambia in modo tridimensionale e le rotazioni dei segmenti sovrapodalici si associano a variazioni della pronazione e della supinazione. L'elica descrive quindi una strategia di trasformazione dalla funzione adattativa alla funzione di leva.

“La verità del moto specifico dell'uomo è nascosta tra le spire di un'elica.” — R.

Paparella Treccia

Elica e archi: due modelli complementari

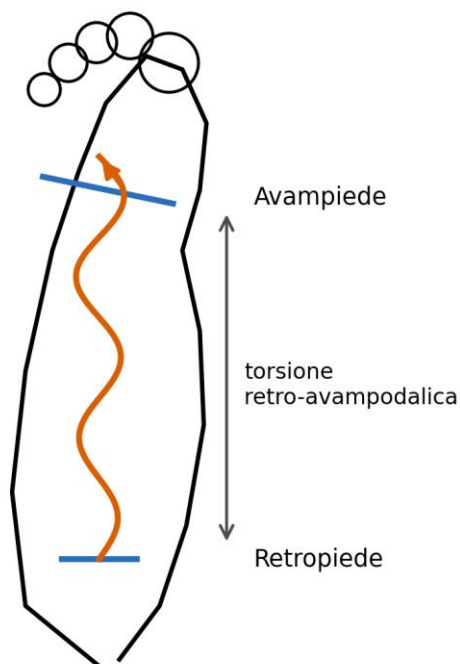
Nelle versioni originarie l'arco plantare veniva descritto come un'apparenza generata dall'avvolgimento dell'elica. Le conoscenze attuali richiedono una formulazione diversa. Gli archi longitudinali e trasversi costituiscono elementi anatomici e biomeccanici reali; la loro geometria influenza la rigidità, la capacità di immagazzinare energia e la distribuzione delle pressioni. La torsione elicoidale descrive invece il comportamento relativo dei segmenti durante il movimento.

L'interpretazione aggiornata può conservare il concetto originale senza contrapporlo agli archi. Il piede funziona come una struttura tridimensionale nella quale curvatura longitudinale, curvatura trasversa e torsione retro-avampodalica interagiscono. Il modello dell'elica diventa

così un linguaggio utile per descrivere il passaggio dinamico tra deformabilità e rigidità, non una negazione della volta plantare.

Nell'edizione 2026 l'elica non sostituisce gli archi: descrive la componente torsionale di una struttura tridimensionale nella quale archi, fascia plantare, articolazioni e muscoli cooperano.

Piede come elica a passo variabile



Schema didattico 2026: adattabilità e irrigidimento come comportamento tridimensionale.

Nuova figura 2026 – Elica podalica a passo variabile. Lo schema rappresenta la componente torsionale tra retropiede e avampiede e il passaggio funzionale tra adattabilità e irrigidimento.

5. Il complesso peri-astragalico

Astragalo e sottoastraglica

Il complesso peri-astragalico rappresenta uno dei nodi principali della meccanica del retropiede. L'astragalo riceve il carico proveniente dalla gamba e lo distribuisce verso calcagno e avampiede. La sottoastraglica posteriore e il complesso talo-navicolare partecipano alla pronazione e alla supinazione, mentre la loro posizione varia durante il carico e la progressione del passo.

La pronazione non coincide con un semplice movimento sul piano frontale. Essa comprende componenti di eversione, abduzione e dorsiflessione relative; la supinazione comprende componenti opposte. Nella pratica clinica questi termini vengono spesso usati in modo

semplificato ma la biomeccanica reale dipende dalla morfologia individuale degli assi articolari e dal movimento coordinato tra tibia, astragalo, calcagno e mesopiede.

L'asse di compromesso e la variabilità degli assi

La tradizione biomeccanica ha descritto la sottoastraglica attraverso un cosiddetto asse di compromesso. Il concetto è utile per rappresentare sinteticamente un movimento complesso ma non va interpretato come un asse fisso. L'orientamento istantaneo dell'asse varia durante il movimento e differisce tra individui. Valori angolari isolati non possono definire da soli una condizione fisiologica o patologica.

La stessa cautela vale per la relazione tra pronazione del piede e rotazione della tibia. Una coordinazione tra i due movimenti esiste, soprattutto in catena cinetica chiusa ma la quantità e la tempistica variano in rapporto alla velocità, al compito e alla struttura dell'arto inferiore. La funzione deve essere osservata durante il movimento e non dedotta esclusivamente dalla posizione statica del calcagno.

Chopart e Lisfranc

Il complesso di Chopart collega retropiede e mesopiede e partecipa alla trasformazione della mobilità del piede durante il carico. L'articolazione talo-navicolare è particolarmente mobile e viene spesso considerata un punto centrale del comportamento tridimensionale del piede. La calcaneo-cuboidea offre invece una maggiore stabilità laterale e contribuisce al trasferimento della forza verso il quarto e quinto raggio.

L'articolazione di Lisfranc permette micromovimenti differenziali dei metatarsi e consente all'avampiede di adattarsi alle irregolarità. L'interazione tra Chopart e Lisfranc impedisce di descrivere il piede come un blocco unico: la capacità di distribuire il carico dipende proprio dalla mobilità relativa tra i segmenti e dalla possibilità di modificarla durante la progressione.

Edizione originale 2011 – approfondimento su astragalo e complesso peri-astragalico

I contenuti del 2011 sono riportati nel punto tematico a cui appartengono. Per la loro lettura scientifica vale la revisione 2026 appena esposta.

verticalizza. L'avampiede aderente tenacemente al suolo reagisce alle forze torcenti applicate sul retropiede; il piede è quindi irrigidito. Viceversa avviene nel rilasciamento dell'elica podalica che è associato alla rotazione interna dell'arto inferiore. L'astragalo (talus) è un osso con cui non prende rapporto diretto nessun muscolo (non presenta inserzioni muscolari), si muove a seguito delle forze trasmesse dalle ossa adiacenti. L'astragalo è un osso del piede in quanto è solidarizzato al calcagno e allo scafoide (navicolare) nelle rotazioni sul piano sagittale (flesso-estensione) ed è

osso della gamba in quanto è solidarizzato con la tibia e il perone, tramite la pinza bimalleolare, nelle rotazioni dei segmenti sovrappodali sul piano trasverso (intra-extrarotazioni). Tali rotazioni sul piano frontale (a livello podalico) e sul piano trasverso (a livello degli arti inferiori e del tronco) avvengono costantemente in statica (che in realtà è un caso specifico di deambulazione) e, ancor più, nella deambulazione propriamente detta. Il ciclo della deambulazione è compreso fra i due appoggi calcaneari dello stesso piede ed è costituito da una fase oscillante (swing phase), ossia non comportante sostegno del corpo, che si verifica tra il distacco delle dita dal suolo e il successivo l'appoggio del tallone dello stesso piede (corrisponde a ca. il 40% del ciclo completo), e la fase portante (occupante ca. il restante 60% del ciclo). La fase portante (stance phase) è suddivisibile in:

6. Muscoli, fascia plantare e foot core

Tre sottosistemi che cooperano

Il concetto moderno di foot core propone di interpretare la stabilità del piede attraverso tre sottosistemi interdipendenti: passivo, attivo e neurale. Il sottosistema passivo comprende ossa, legamenti, capsule e aponeurosi plantare; quello attivo comprende muscoli intrinseci ed estrinseci; quello neurale comprende i sistemi sensoriali e motori che regolano il reclutamento. Nessuno dei tre sottosistemi possiede da solo il controllo dell'arco o della rigidità podalica.

Questa impostazione aggiorna in modo naturale l'idea originaria dei muscoli come «legamenti attivi». I muscoli intrinseci non sostituiscono i legamenti ma possono modulare la deformazione dell'arco e contribuire alla stabilità durante carichi elevati. I muscoli estrinseci generano forze maggiori e collegano il piede alla gamba, mentre l'aponeurosi plantare immagazzina e restituisce parte dell'energia elastica.

Sottosistema	Componenti principali	Funzione prevalente
Passivo	Ossa, legamenti, capsule, aponeurosi plantare	Geometria, vincoli, resistenza alla deformazione, accumulo elastico
Attivo	Muscoli intrinseci ed estrinseci, tendini	Controllo della forma, generazione e trasmissione di forza, adattamento al compito
Neurale	Recettori cutanei, propriocettivi e controllo motorio	Rilevazione dello stato del piede e regolazione anticipatoria/reattiva dell'attività muscolare

Muscoli intrinseci

I muscoli intrinseci originano e si inseriscono nel piede. Essi comprendono più strati plantari e muscoli dorsali che agiscono sulle dita e sugli archi. La loro funzione non si limita alla flessione o all'abduzione delle dita; molti di questi muscoli contribuiscono alla stabilità degli archi

longitudinali e trasversali durante il carico. L'attivazione aumenta quando il compito richiede maggiore stabilità, come nella corsa, nel salto o nell'appoggio monopodalico.

Le revisioni disponibili indicano che programmi specifici di rinforzo dei muscoli intrinseci possono migliorare forza, alcuni parametri della postura del piede e il controllo dell'equilibrio. Gli effetti sul dolore risultano invece meno consistenti. La qualità dell'evidenza non autorizza a considerare lo short-foot exercise una terapia universale ma sostiene l'utilità di allenare attivamente il piede quando la valutazione evidenzia un deficit pertinente.

Aponeurosi plantare e catena posteriore

L'aponeurosi plantare collega il calcagno alle dita e agisce come elemento elastico e stabilizzante. La sua tensione cambia durante il passo e aumenta con l'estensione delle articolazioni metatarso-falangee. Essa è inoltre meccanicamente collegata al calcagno e quindi al sistema achilleo-calcaneare. Il comportamento del complesso tricipite surale-tendine di Achille può modificare il carico sulla fascia plantare e viceversa.

La continuità anatomica non implica però che ogni tensione della catena posteriore debba causare dolore plantare o alterazioni posturali. Il tessuto si adatta al carico e tollera ampie variazioni. L'interesse clinico consiste nel riconoscere quando mobilità di caviglia, forza del polpaccio, capacità dei flessori delle dita e tolleranza della fascia plantare diventano fattori limitanti per un determinato compito.

7. Il piede come organo sensoriale

Informazione cutanea plantare

La pianta del piede contiene una ricca popolazione di recettori cutanei che informano il sistema nervoso sulla distribuzione delle pressioni, sulle vibrazioni e sullo scorrimento della superficie. Queste informazioni diventano particolarmente importanti durante la stazione eretta, quando piccoli spostamenti del centro di pressione richiedono continue regolazioni della coppia alla caviglia e dell'attività muscolare.

Gli studi sull'invecchiamento mostrano che una riduzione della sensibilità plantare si associa frequentemente a un peggior controllo dell'equilibrio. Questo dato sostiene il principio secondo cui il piede è un'importante sorgente sensoriale ma non giustifica la definizione di «principale organo di senso antigravitario» in senso assoluto. Vista, vestibolo e somatosensibilità vengono continuamente riponderati in base all'affidabilità delle informazioni disponibili.

Propriocezione e controllo motorio

I recettori muscolari, tendinei e articolari forniscono informazioni sulla lunghezza muscolare, sulla tensione e sul movimento. Il sistema nervoso integra questi segnali con quelli cutanei per stimare la posizione del piede e dell'arto. L'esperienza modifica la risposta: un soggetto allenato su superfici variabili sviluppa strategie differenti rispetto a chi svolge sempre lo stesso compito in un ambiente prevedibile.

Il controllo non è esclusivamente reattivo. Prima del contatto con il terreno, il sistema prepara il piede in base alla previsione del compito; dopo il contatto, il feedback sensoriale corregge l'azione. Questa combinazione di feed-forward e feedback spiega perché una superficie inattesa possa perturbare il passo e perché l'allenamento dell'equilibrio migliori progressivamente la capacità di gestire l'incertezza.

Il riflesso plantare e i limiti dell'interpretazione

Nel testo web del 2011 veniva richiamato il riflesso plantare per sottolineare la rilevanza delle afferenze cutanee. Il concetto deve essere separato dal riflesso neurologico clinico usato per valutare l'integrità delle vie corticospinali. Le afferenze plantari possono certamente modulare risposte spinali e strategie posturali ma il controllo dell'equilibrio nasce da reti più ampie che coinvolgono midollo, tronco encefalico, cervelletto e corteccia.

In pratica, la sensibilità plantare deve essere considerata una componente del sistema. La sua valutazione diventa particolarmente rilevante negli anziani, nelle neuropatie periferiche, dopo immobilizzazione prolungata e quando il soggetto riferisce instabilità. In questi casi l'allenamento sensoriale e dell'equilibrio può essere integrato con il lavoro di forza e mobilità.

8. Dall'elica alla leva e all'organo

Adattamento, irrigidimento e propulsione

Durante il cammino il piede passa da una configurazione relativamente adattabile a una configurazione più rigida. Nella prima parte dell'appoggio la deformazione degli archi e la mobilità del retropiede e del mesopiede contribuiscono ad assorbire energia e a mantenere il contatto con il terreno. Nella parte terminale dell'appoggio il sistema deve invece trasferire in modo efficace la forza generata dal polpaccio e dall'arto inferiore.

La trasformazione non avviene attraverso un singolo interruttore biomeccanico. L'aumento di rigidità deriva dall'interazione tra orientamento articolare, tensione dell'aponeurosi plantare, attività muscolare e posizione del centro di pressione. Il modello «elica → leva → organo» resta

una rappresentazione intuitiva di questa progressione, purché venga inteso come sintesi funzionale e non come sequenza meccanica rigida.

Il meccanismo dell'argano

Quando l'alluce e le altre dita si estendono durante la fase terminale dell'appoggio, l'aponeurosi plantare si avvolge attorno alle teste metatarsali. Questo fenomeno, descritto classicamente da Hicks come windlass mechanism, aumenta la tensione fasciale, avvicina calcagno e avampiede e contribuisce all'elevazione dell'arco longitudinale. L'effetto facilita la trasformazione del piede in una leva più rigida per la propulsione.

Il meccanismo dell'argano dipende dalla mobilità dell'alluce e dalla capacità dell'avampiede di tollerare il carico. Una limitazione significativa della dorsiflessione della prima metatarso-falangea può modificare la progressione ma l'organismo dispone di strategie compensatorie. La misura della dorsiflessione dell'alluce deve essere interpretata insieme al passo reale e ai sintomi, non come valore isolato.

9. La deambulazione

Il ciclo del passo

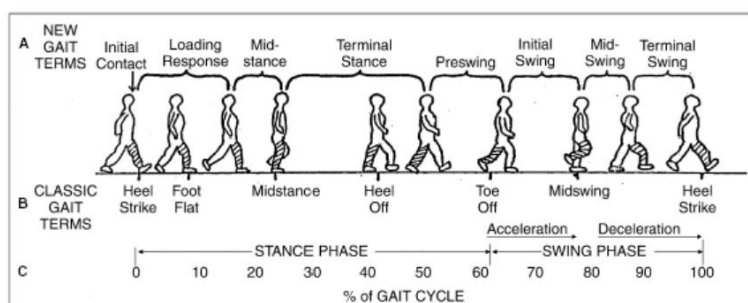


Immagine originale – edizione 2011, p. 2. Schema originale delle fasi del ciclo del passo.

Nel cammino a velocità spontanea la fase di appoggio occupa mediamente circa il 60% del ciclo e la fase di oscillazione circa il 40%. La classificazione moderna suddivide l'appoggio in initial contact, loading response, midstance, terminal stance e pre-swing; l'oscillazione comprende initial swing, mid-swing e terminal swing. Le percentuali cambiano con la velocità: aumentando la velocità si riduce il tempo di doppio appoggio, mentre nella corsa compaiono fasi di volo.

L'appoggio iniziale non deve necessariamente avvenire sempre con il calcagno in ogni forma di locomozione. Nel cammino normale dell'adulto il contatto posteriore è frequente, mentre nella corsa il pattern di appoggio può essere posteriore, medio o anteriore e dipende da velocità, calzatura, tecnica e caratteristiche individuali.

Fase	Parte del ciclo	Funzione prevalente
Initial contact	Appoggio	Preparare la ricezione del carico
Loading response	Appoggio	Accettare il peso e controllare la progressione
Midstance	Appoggio	Portare il corpo sopra il piede in appoggio
Terminal stance	Appoggio	Avanzare il corpo oltre l'avampiede
Pre-swing	Appoggio	Trasferire il carico all'arto controlaterale e iniziare la propulsione
Initial swing	Oscillazione	Liberare il piede dal suolo
Mid-swing	Oscillazione	Avanzare l'arto garantendo la clearance
Terminal swing	Oscillazione	Preparare il successivo contatto

Energia e centro di massa

La deambulazione utilizza un continuo scambio tra energia potenziale ed energia cinetica ma il modello del pendolo invertito rappresenta soltanto una parte della realtà. Tendini, muscoli e archi del piede immagazzinano e restituiscono energia elastica; il lavoro articolare di anca, ginocchio e caviglia varia nelle diverse fasi; il sistema nervoso coordina l'attività muscolare per mantenere il centro di massa entro una traiettoria efficace.

La caviglia e il complesso piede-polpaccio forniscono un contributo importante alla fase propulsiva. Il tricipite surale controlla l'avanzamento della tibia nella seconda metà dell'appoggio e genera potenza durante la spinta. Il piede deve contemporaneamente mantenere un contatto efficace con il terreno e limitare dispersioni energetiche eccessive.

Variabilità del cammino

Ogni individuo possiede un proprio pattern di passo. Larghezza, lunghezza del passo, rotazione del piede, pronazione, movimento del bacino e oscillazione degli arti superiori variano entro intervalli fisiologici. La variabilità non rappresenta necessariamente un errore; una parte di essa permette al sistema di distribuire il carico e adattarsi a perturbazioni.

La valutazione clinica deve distinguere una variante efficiente da una strategia associata a dolore, instabilità o eccessivo costo energetico. Il confronto tra lato destro e sinistro è utile ma anche l'asimmetria può essere fisiologica. Diventa clinicamente rilevante quando si associa a sintomi, perdita di capacità o progressiva deformità.

Edizione originale 2011 – fasi del passo e trasformazione elica-leva

Qui viene ripreso il testo del 2011. Le formulazioni originarie sono conservate per ragioni storiche e vanno lette insieme alle precisazioni scientifiche del 2026.

A) Appoggio calcaneare (ricezione/initial contact)

Al contatto del calcagno con la superficie di appoggio (ricezione), l'elica si rilascia per consentire la lassità del piede atta ad ammortizzare il peso del corpo e ad adattarsi alla superficie stessa. A tal fine l'arto inferiore ruota internamente, l'astragalo, a esso solidale, ruota quindi anch'esso internamente (supinando), il calcagno pronando, ruotando esternamente. L'assunzione del peso da parte del piede è graduale ed è massima nel momento in cui la linea gravitaria cade nel centro della superficie podalica.

B) Appoggio totale (contatto/midstance)

Quando tutta la superficie plantare è a contatto con la superficie, la rotazione interna dell'arto si trasforma bruscamente in rotazione esterna. Ciò fa scattare il meccanismo che ha come sede l'articolazione sotto-astragalica. Seguendo la rotazione dell'arto, l'astragalo ruota sul piano trasverso esternamente (per ca. 12° mediamente) pronando e risalendo al di sopra del calcagno (allontanandosi dal legamento calcaneo-scafoideo-plantare). A sua volta il calcagno ruota internamente, supinando attorno all'asse di compromesso (asse "momentaneo" attorno al quale avviene il processo di prono-supinazione dell'a: il retropiede si verticalizza tramite l'avvitamento reciproco astragalo-calcaneare. Il cuboide, tenacemente collegato al calcagno, migra plantarmente assumendo "sulle sue spalle" la serie dei cuneiformi. L'avampiede si dispone in contrasto rotatorio con il retropiede per la reazione al suolo. Si ha così l'avvolgimento dell'elica podalica e il conseguente "inarcamento" del piede:

l'articolazione medio-tarsica è bloccata e si ha il contemporaneo passaggio del peso sul IV e V metatarso per eversione dell'avampiede non ancora rigido. Il muscolo peroniero lungo (lungo peroneo) richiama a contatto col suolo la testa del I metatarso eseguendo un lavoro di stabilizzazione facendo sì che il peso sia ora distribuito su tutte le teste metatarsali (ventaglio metatarsale); il piede si trasforma da elica in rigida "barra di leva".

C) Appoggio digitale (propulsione)

Il calcagno si solleva dal terreno. Le dita dopo essersi adattate tenacemente alla superficie di appoggio si flettono dorsalmente. Ciò fa sì che la aponeurosi plantare si accorcia tendendosi di ca. 1 cm (le digitazioni dell'aponeurosi plantare raggiungono le falangi basali corrispondenti, connettendosi al periostio, nei segmenti adiacenti alle articolazioni) innescando il meccanismo dell'argano che completa la coesione intrapodalica. Il centro di gravità del corpo migra ventralmente e il corpo si avvia a cadere in avanti. L'intervento del controllo muscolare, in particolare del muscolo tricipite surale, formato da gastrocnemio e soleo (oltre al tibiale anteriore, tibiale posteriore, peroneo lungo e flessori dorsali) e il tempestivo contatto controlaterale, esercitano azione da freno. Nella fase propulsiva le forze intrinseche agenti sul piede sono pari a 3-4 volte il peso del corpo. In situazione di corretta fisiologia il piede si comporta

a elica in modo tale che la proiezione a terra del baricentro corporeo resti perlopiù centrata ossia passi lungo il proprio asse, che corrisponde all'incirca all'asse podalico, asse passante centralmente al retropiede e al centro tra II e III dito (Paparella Treccia 1978, Pacini 2000). Quando il ginocchio è in flessione sono possibili movimenti della gamba sia in lateralità (di 1-2 cm alla caviglia) sia in rotazione assiale (rotazione esterna di 5°). Ciò risulta necessario per consentire un ottimale appoggio del piede in rapporto all'irregolarità del terreno. In estensione completa invece il ginocchio, essendo sottoposto a importanti forze di carico, presenta, in condizioni fisiologiche, una grande stabilità; si verifica pertanto un blocco articolare che solidarizza la tibia al femore (Kapandji 2002). Pertanto, in condizione di flessione, il ginocchio è in grado di "filtrare" le rotazioni del piede e della gamba mentre, quando esso è completamente esteso, tali rotazioni si trasferiscono integralmente al femore influenzando di conseguenza il cingolo pelvico (in particolare, l'articolazione coxo-femorale e l'articolazione astragalo-scafoidea sono analogamente strutturate e corrispondentemente disposte). La rotazione del femore sul piano trasverso comporta una spinta meccanica da parte della superficie articolare del collo femorale sull'acetabolo, la messa in tensione di determinati legamenti dell'anca e lo spostamento dei baricentri degli emisomi (centri di pressione). Così, a esempio, una intrarotazione del femore può passivamente determinare un'iniziale anteversione (anterior tilt) dell'emibacino corrispondente e, in seguito alla messa in tensione dei legamenti posteriori (legamento ischio-femorale) e dello spostamento anteriore del baricentro dell'emisoma corrispondente, una rotazione del bacino che segue quella del femore. Viceversa, una extrarotazione del femore può indurre retroversione dell'emibacino omolaterale seguita da una corrispondente rotazione del bacino per tensione dei potenti legamenti anteriori (in particolare il fascio superiore del legamento ileo-femorale, denominato l'ileopretrocanterico, e il pubo-femorale) e spostamento posteriore del baricentro dell'emisoma relativo. Nella posizione di riferimento i legamenti dell'anca sono moderatamente tesi. Nella rotazione esterna tutti i forti legamenti anteriori sono tesi (la tensione è massima a livello dei fasci a decorso orizzontale ossia l'ileo-pretrocanterico e il legamento pubo-

10. Dal piede al ginocchio, all'anca e al rachide

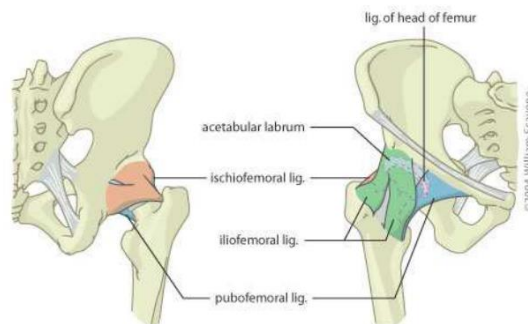


Immagine originale – edizione 2011, p. 3. Schema originale dei legamenti dell'anca e delle rotazioni femorali.

La catena cinetica chiusa

Quando il piede è a contatto con il suolo, le rotazioni del retropiede si associano a rotazioni della tibia e del femore. Il ginocchio non agisce come un semplice cardine: la sua geometria permette una combinazione di flesso-estensione e rotazione assiale, soprattutto quando l'articolazione è flessa. L'anca offre una mobilità tridimensionale ancora maggiore e il bacino integra queste variazioni con il movimento del tronco.

Il testo del 2011 descriveva il ginocchio come un filtro delle rotazioni podaliche. La metafora può essere mantenuta perché il ginocchio modula effettivamente la trasmissione delle rotazioni ma non esiste una percentuale fissa di movimento che debba salire dal piede al femore. Il comportamento dipende dalla flessione del ginocchio, dall'orientamento dell'anca, dalla velocità e dall'interazione con il terreno.

Bacino e coupled motion



Immagine originale – edizione 2011, p. 4. Immagine originale della locomozione e della rotazione coordinata dei segmenti corporei.



Immagine originale – edizione 2011, p. 4. Schema originale della disposizione elicoidale delle rotazioni del tronco durante il movimento.



Immagine originale – edizione 2011, p. 4. Schema originale delle spirali funzionali degli arti inferiori.

Le rotazioni del femore possono accompagnarsi a movimenti del bacino e del rachide. Durante il cammino il bacino ruota nel piano trasverso, inclina nel piano frontale e modifica lievemente la propria posizione sagittale. Il rachide risponde attraverso movimenti accoppiati che distribuiscono la rotazione lungo più segmenti. Il concetto di coupled motion rimane quindi rilevante ma non deve essere tradotto in una catena obbligata e identica per tutti.

Il rachide lombare presenta una rotazione assiale relativamente limitata rispetto al tratto toracico. La coordinazione tra bacino, torace e cintura scapolare permette di mantenere lo sguardo e l'orientamento del corpo mentre gli arti avanzano alternativamente. Le controrotazioni di bacino e torace contribuiscono anche a ridurre il momento angolare totale durante il cammino.

Dal collegamento biomeccanico alla prudenza clinica

La continuità meccanica rende plausibile che un cambiamento del piede modifichi alcuni parametri del ginocchio o dell'anca. Le revisioni prospettiche mostrano tuttavia che una postura pronata del piede rappresenta, al massimo, un fattore di rischio di piccola entità per alcune condizioni come la sindrome da stress tibiale mediale e, con evidenza più limitata, il dolore femoro-rotuleo. Non emerge una relazione generale con tutte le patologie dell'arto inferiore.

Il principio clinico deve essere bidirezionale: si valuta come il piede influenzi il movimento prossimale e, nello stesso tempo, come forza dell'anca, controllo del bacino, mobilità della caviglia e caratteristiche del compito influenzino il piede. L'obiettivo è riconoscere i fattori realmente modificabili per quella persona, non cercare una singola causa ascendente o discendente.

Edizione originale 2011 – continuità biomeccanica dal piede al rachide

La sezione successiva appartiene all'edizione del 2011; la sua conservazione documenta il percorso dell'opera, mentre l'aggiornamento 2026 ne offre la lettura scientifica attuale.

femorale) mentre quelli posteriori (legamento ischio-femorale) è deteso. Nella rotazione interna avviene l'inverso, il legamento ischio-femorale si tende mentre i legamenti anteriori si rilasciano (Kapandji 2002). La rotazione del bacino si riflette direttamente a livello del rachide lombare. La struttura legamentosa e ossea delle vertebre nonché le caratteristiche di "energy converter" del disco intervertebrale fanno sì che sulla colonna vertebrale agisca una "coppia di forze" (coupled motion). Ciò corrisponde al primordiale e primario bisogno del rachide di ruotare le pelvi nell'atto della locomozione (Gracovetsky, 1988). Pertanto la flessione laterale del tratto lombare si associa sempre a una rotazione vertebrale e viceversa (White & Panjabi, 1978). La modesta capacità di rotazione del tratto lombare (5°, Kapandji 2002) "impone" l'utilizzo di parte del dorso (in grado ruotare per ca. 30°, Kapandji 2002), a esempio, durante la deambulazione. Affinché però lo sguardo possa dirigersi sempre verso l'orizzonte a livello delle spalle e del tratto dorsale superiore (da D8 in su) necessita una controrotazione e una flessione laterale opposta (rispetto al tratto rachideo inferiore e al bacino). L'atteggiamento scoliotico dell'elica rachidea così come quello del piede piatto (elica podalica svolta) e valgo (elica podalica avvolta) rappresentano quindi fenomeni fisiologici transitori tra loro connessi e divengono patologici solo quando si manifestano in maniera stabile. Nel contesto della biomeccanica e della pato-meccanica, si evidenzia quindi un robusto ponte che connette il piede ai segmenti corporei soprastanti sino a raggiungere potenzialmente le articolazioni cervico-occipitale temporomandibolari e viceversa, interessando tramite la rete di tensesità mioconnettivale l'intero organismo.

11. Terreno, gravità e calzature

La superficie modifica il compito

Il terreno naturale offre una grande varietà di pendenze, rigidità e irregolarità. Il terreno costruito è invece spesso regolare e prevedibile. Questa differenza modifica il tipo di informazione sensoriale e le richieste di adattamento ma non consente di concludere che il terreno piano sia di per sé patologico. Il corpo umano possiede una notevole capacità di adattamento e gran parte della popolazione cammina quotidianamente su superfici regolari senza sviluppare necessariamente una disfunzione.

La variabilità delle superfici può però rappresentare uno stimolo utile. Camminare in sicurezza su terreno naturale, erba, sabbia o superfici con diversa consistenza aumenta le richieste di controllo e modifica la distribuzione delle pressioni. In riabilitazione questa variabilità può

essere utilizzata progressivamente, soprattutto quando l'obiettivo comprende equilibrio, propiocezione e capacità di adattamento.

Scarpa: protezione, interfaccia e vincolo

La calzatura modifica il rapporto tra piede e terreno. Suola, rigidità longitudinale e torsionale, differenziale tallone-avampiede, larghezza della punta, peso e ammortizzazione influenzano cinematica, pressioni plantari e percezione sensoriale. Non esiste una scarpa universalmente migliore: la scelta deve dipendere dal compito, dalla storia del soggetto, dalla forma del piede, dai sintomi e dalla tolleranza.

Le scarpe con punta stretta comprimono l'avampiede e rappresentano un fattore associato all'alluce valgo. I tacchi elevati spostano anteriormente le pressioni plantari, modificano la cinematica di caviglia e ginocchio e aumentano l'attività di diversi gruppi muscolari. Le revisioni recenti mostrano anche un peggioramento dell'equilibrio con l'aumento dell'altezza del tacco. Questo non significa che ogni utilizzo occasionale provochi una patologia ma che l'esposizione prolungata aumenta le richieste biomeccaniche.

Barefoot e calzature minimaliste

Camminare o correre scalzi aumenta l'informazione cutanea e modifica il pattern di carico. Le calzature minimaliste cercano di ridurre l'interferenza della scarpa con questi meccanismi. Le revisioni disponibili indicano che l'uso progressivo di calzature minimaliste e gli esercizi del piede possono aumentare la forza dei muscoli plantari ma la certezza dell'evidenza rimane bassa o molto bassa per molti esiti.

Il passaggio improvviso da una scarpa tradizionale a una minimalista può aumentare il carico su strutture non ancora adattate. Una transizione, quando indicata, deve essere graduale e guidata dalla risposta individuale. Il barefoot non è una terapia universale e non rappresenta un obiettivo obbligatorio: è una possibile modalità di esposizione che può essere utile in alcuni contesti e inappropriata in altri.

12. Patomeccanica del piede

Forma, funzione e patologia non sono sinonimi

La patomeccanica podalica non può essere definita esclusivamente dalla forma. Un piede pronato non è necessariamente disfunzionale, un piede piatto non è automaticamente patologico e un piede cavo non produce inevitabilmente dolore. La clinica deve distinguere tra

variante morfologica, adattamento funzionale e condizione patologica sintomatica o progressiva.

La baropodometria e le misure statiche vanno lette con lo stesso criterio. Un'impronta larga nel mesopiede può descrivere una determinata morfologia ma non dimostra da sola un deficit di forza, un eccesso di pronazione dinamica o la causa di un dolore al ginocchio. La diagnosi nasce dall'integrazione tra anamnesi, esame, funzione e, quando necessario, imaging.

Piede piatto e deformità collassante progressiva

Il piede piatto flessibile è frequente sia nei bambini sia negli adulti e può rimanere asintomatico. Nel bambino la maggior parte delle forme flessibili non richiede una correzione aggressiva; nei casi sintomatici si privilegiano inizialmente educazione, attività, esercizio e, quando utile, ortesi. Le linee guida più recenti sottolineano la necessità di trattare i sintomi e la funzione, non l'aspetto del piede isolato.

Nell'adulto una deformità progressiva con valgismo del retropiede, abduzione dell'avampiede e cedimento del mesopiede viene oggi descritta come progressive collapsing foot deformity. La condizione è tridimensionale e può coinvolgere tendine tibiale posteriore, legamento calcaneo-navicolare plantare, articolazioni del mesopiede e altri tessuti. La valutazione specialistica diventa necessaria quando compaiono dolore persistente, perdita di funzione, deformità progressiva o rigidità.

Piede cavo

Il piede cavo presenta un arco longitudinale elevato e può associarsi a varismo del retropiede, rigidità, sovraccarico laterale e ridotta capacità di assorbire l'urto. Alcune forme sono idiopatiche, mentre altre possono essere associate a condizioni neurologiche. Un piede cavo sintomatico richiede quindi un'anamnesi accurata e, in presenza di segni neurologici o progressione, una valutazione specialistica.

L'obiettivo conservativo consiste nel migliorare la distribuzione del carico, la mobilità disponibile, la forza e la tolleranza alle attività. Le ortesi possono essere utili in alcuni soggetti, soprattutto per redistribuire le pressioni ma la prescrizione deve essere individualizzata.

Alluce valgo

L'alluce valgo è una deformità multifattoriale. La predisposizione anatomica e familiare interagisce con età, sesso, forma dell'avampiede e calzature. Una meta-analisi pubblicata nel 2026 ha confermato l'associazione con scarpe a punta stretta e, in misura inferiore, con tacchi

elevati; la forma del piede e altri fattori muscolo-scheletrici possono contribuire. Questo quadro è più complesso della vecchia spiegazione basata sui soli carichi squilibrati.

Nelle forme lievi o moderate il trattamento conservativo mira soprattutto a ridurre i sintomi attraverso calzature con spazio adeguato per l’avampiede, gestione del carico ed esercizio. Le ortesi possono modificare le pressioni e migliorare il comfort in alcuni casi ma non correggono in modo definitivo una deformità strutturata. La chirurgia viene valutata in presenza di dolore e limitazione significativa, non per il solo aspetto estetico.

Metatarsalgia, neuroma, dolore plantare e tendinopatie

Metatarsalgia, dolore calcaneare plantare, tendinopatie e irritazioni interdigitali rappresentano quadri diversi che non devono essere riuniti sotto un’unica etichetta posturale. La distribuzione delle pressioni, la mobilità delle articolazioni, la forza del polpaccio e del piede, il volume di allenamento, le calzature e le caratteristiche tissutali possono assumere pesi differenti in ciascun caso.

Una valutazione corretta cerca quindi il rapporto tra sintomi e carico. La domanda clinica non è soltanto «come è fatto il piede?» ma «quale attività provoca il problema, quale tessuto sembra coinvolto e quale capacità manca rispetto alla richiesta?». Questo passaggio dal modello morfologico al modello capacità-carico rappresenta uno degli aggiornamenti più importanti dell’edizione 2026.

Condizione	Elementi da valutare	Principio interpretativo
Piede piatto flessibile	Sintomi, flessibilità, forza, funzione, progressione	La morfologia isolata non equivale a patologia
PCFD adulto	Valgismo, abduzione, cedimento, dolore, rigidità	Deformità tridimensionale progressiva; può richiedere specialista
Piede cavo	Rigidità, carico laterale, neurologia, dolore	Ricerca cause neurologiche se progressivo o marcato
Alluce valgo	Dolore, calzature, mobilità MTF, deformità	Condizione multifattoriale; calzatura stretta è un fattore modificabile
Dolore plantare/metatarsalgia	Sede, carico, pressione, mobilità, volume attività	Identificare tessuto e rapporto domanda-capacità

13. Valutazione funzionale del piede

Dall’osservazione alla domanda clinica

La valutazione del piede deve partire dall’anamnesi. Il clinico deve conoscere sede e comportamento dei sintomi, attività che li provocano, andamento nel tempo, calzature abituali,

precedenti traumi, volume di allenamento e presenza di patologie sistemiche o neurologiche. La forma del piede assume significato soltanto dopo questa contestualizzazione.

L'osservazione statica può descrivere allineamento del retropiede, forma degli archi, orientamento delle dita, callosità e asimmetrie. Strumenti come Foot Posture Index e navicular drop permettono una descrizione più standardizzata ma non identificano da soli la causa di un sintomo. La valutazione deve proseguire con mobilità di caviglia e alluce, forza del polpaccio e dei muscoli del piede, equilibrio monopodalico e compiti dinamici pertinenti.

Valutazione dinamica

Cammino, corsa, salita e discesa di gradini, squat monopodalico, salto e cambi di direzione possono mostrare come il piede si comporta sotto carico. La scelta dei test deve dipendere dalle richieste reali della persona. Un corridore necessita di una valutazione differente rispetto a una persona anziana che riferisce instabilità durante il cammino.

La registrazione video bidimensionale può documentare tempi, strategie e simmetrie. I laboratori di gait analysis tridimensionale aggiungono cinematica, cinetica ed elettromiografia e diventano particolarmente utili nei casi complessi, nella ricerca e nella pianificazione di interventi specialistici.

Baropodometria e pressioni plantari

La baropodometria misura la distribuzione delle pressioni e delle forze sulla superficie plantare. In statica può descrivere area di contatto, ripartizione del carico e centro di pressione; in dinamica può quantificare picchi di pressione, tempi di contatto e traiettoria del carico. Queste misure sono utili per confrontare condizioni, monitorare interventi e identificare regioni di sovraccarico.

La precisione della misurazione non coincide con la validità di una diagnosi globale. Le piattaforme possono essere affidabili all'interno dello stesso protocollo ma studi recenti mostrano differenze importanti tra sistemi e protocolli. Il risultato dipende da calibrazione, numero di passi, velocità, modalità barefoot o in-shoe e algoritmo utilizzato. La baropodometria deve essere interpretata come strumento quantitativo e non come test autonomo di «postura corretta».

Imaging quando serve

La radiografia sotto carico resta importante nelle deformità strutturate. L'ecografia può valutare tendini e fascia plantare; la risonanza magnetica è indicata quando occorre approfondire tessuti molli o lesioni specifiche. La weight-bearing CT permette una ricostruzione tridimensionale del

piede sotto carico e trova applicazione crescente nella valutazione delle deformità complesse, in particolare della progressive collapsing foot deformity.

L'imaging deve rispondere a una domanda clinica. Un esame strumentale non deve essere richiesto soltanto per confermare una variazione morfologica già evidente e asintomatica. La scelta dipende da sintomi, trauma, sospetta lesione, progressione della deformità e pianificazione terapeutica.

Strumento	Cosa misura bene	Limite principale
Esame clinico	Sintomi, mobilità, forza, funzione	Dipende da esperienza e standardizzazione
Fotografia/FPI	Morfologia e allineamento	Non descrive da sola la dinamica
Baropodometria	Pressioni, tempi, centro di pressione	Dipende da protocollo e dispositivo; non è diagnosi globale
Gait analysis	Cinematica e cinetica durante il movimento	Costo e complessità; richiede interpretazione specialistica
Imaging sotto carico	Struttura e deformità	Deve essere correlato a sintomi e funzione

14. Rieducazione e prevenzione

L'obiettivo non è creare un piede ideale

La rieducazione del piede non deve inseguire una forma geometrica prestabilita. L'obiettivo consiste nel migliorare la capacità di tollerare il carico, adattarsi alle superfici, generare forza, mantenere l'equilibrio e svolgere le attività desiderate senza sintomi limitanti. Una variazione morfologica può rimanere invariata mentre la funzione migliora in modo significativo.

Il programma deve partire dalla richiesta reale. Una persona sedentaria con dolore durante il cammino necessita di una progressione diversa rispetto a un atleta che deve correre, saltare e cambiare direzione. I criteri di avanzamento devono basarsi su sintomi, qualità del movimento, forza, tolleranza al volume e recupero.

Mobilità e capacità di carico

La mobilità della caviglia, soprattutto in dorsiflessione, può influenzare la progressione della tibia e il comportamento del piede. Quando una limitazione è clinicamente rilevante, mobilizzazioni attive, stretching del complesso tricipite surale e lavoro specifico possono essere utili. Anche la mobilità dell'alluce deve essere sufficiente per il compito, soprattutto nella fase terminale del passo.

La progressione del carico costituisce il principio centrale per tendini, fascia plantare, muscoli e osso. L'esercizio deve aumentare gradualmente forza e tolleranza, evitando sia l'immobilità

prolungata sia un incremento troppo rapido dell'esposizione. Il dolore durante o dopo l'attività deve essere interpretato nel contesto della diagnosi e della risposta nelle 24-48 ore successive.

Forza del piede e del polpaccio

Gli esercizi per i muscoli intrinseci possono includere short-foot, controllo delle dita, abduzione dell'alluce e varianti in carico crescente. La revisione e meta-analisi di Jaffri e collaboratori mostra miglioramenti della forza, dell'equilibrio e di alcuni indici posturali del piede, mentre l'effetto sul dolore è meno definito. Una revisione più recente conferma possibili benefici di esercizi del piede e calzature minimaliste sulla forza ma sottolinea una qualità dell'evidenza ancora bassa o molto bassa per diversi esiti.

Il tricipite surale merita un'attenzione almeno pari ai muscoli intrinseci. Il sollevamento del tallone monopodalico costituisce sia un test sia un esercizio fondamentale. La progressione può partire da esercizi bilaterali e arrivare a varianti monopodali, con carico esterno e maggiore velocità, in funzione delle richieste della persona.

Equilibrio, variabilità e compiti funzionali

L'equilibrio può essere allenato attraverso appoggio monopodalico, variazioni della superficie, movimenti del capo, raggiungimenti degli arti e compiti con perturbazioni. La difficoltà deve aumentare progressivamente senza trasformare l'instabilità in un fine a se stesso. L'obiettivo consiste nel migliorare la capacità di controllare il corpo quando le informazioni sensoriali cambiano.

Cammino su superfici diverse, salita, discesa, corsa e salti devono essere reintrodotti quando pertinenti. La variabilità del movimento favorisce l'adattamento ma deve essere dosata. Un soggetto con tessuti irritabili può beneficiare inizialmente di compiti prevedibili e progressivamente più complessi.

Plantari e calzature

Le ortesi plantari possono ridurre dolore o modificare la distribuzione dei carichi in alcune condizioni. Le revisioni sul piede piatto mostrano tuttavia una forte eterogeneità e non consentono di considerare l'ortesi necessaria per ogni piede pronato. Nei bambini asintomatici la semplice presenza di piede piatto non giustifica automaticamente un plantare; negli adulti sintomatici l'ortesi può essere una parte del trattamento quando migliora comfort e funzione.

La scelta della calzatura deve perseguire tollerabilità, spazio adeguato per l'avampiede, stabilità richiesta dal compito e comfort. In alcuni casi una scarpa più rigida o un supporto può ridurre il

carico su un tessuto doloroso; in altri casi è utile aumentare progressivamente la libertà del piede. Il criterio deve essere funzionale e individuale.

Quando inviare allo specialista

Dolore importante dopo trauma, incapacità di caricare, sospetta frattura, deficit neurologici, deformità rapidamente progressiva, rigidità marcata, ulcere o segni vascolari richiedono un percorso diagnostico specifico. Anche il dolore persistente nonostante un programma adeguato impone una rivalutazione della diagnosi.

La collaborazione tra fisiatra, ortopedico, fisioterapista, podologo, tecnico ortopedico e altri specialisti diventa utile quando la condizione supera il semplice deficit funzionale. L'approccio multidisciplinare non deve moltiplicare interventi inutili ma integrare competenze differenti attorno a obiettivi condivisi e misurabili.

Rieducare il piede significa aumentare capacità e adattabilità. Esercizio, carico progressivo, calzature, ortesi e terapia manuale sono strumenti da scegliere in base alla funzione e non alla ricerca di una forma ideale.

Approfondimenti dalla versione web: forze interne, muscoli e piano trasverso

La versione web dedicata al piede amplia il concetto di interfaccia antigravitaria distinguendo con particolare chiarezza le forze interne, prodotte dai muscoli, dalle forze esterne ambientali, soprattutto gravità, reazione al suolo e attrito. Il movimento del corpo nello spazio nasce dalla loro interazione: il piede non produce da solo la progressione ma modula il modo in cui l'organismo utilizza le forze esterne e restituisce energia al terreno.

Un altro tema originale riguarda il ruolo dei muscoli come "legamenti attivi". Questa espressione è utile sul piano funzionale perché i muscoli intrinseci ed estrinseci contribuiscono alla coesione e al controllo degli archi ma non deve essere interpretata come equivalenza anatomica tra muscolo e legamento. I muscoli poliarticolari possono inoltre favorire economia e coordinazione distribuendo la tensione tra più articolazioni; la loro attività va però studiata nel contesto del compito e non attraverso schemi fissi.

La versione web sottolinea anche il ruolo del piano trasverso e la continuità tra rotazioni del piede, tibia, femore, bacino e rachide. La biomeccanica moderna conferma l'importanza delle rotazioni accoppiate nella locomozione ma l'ampiezza e la direzione delle relazioni variano tra individui. Il grande gluteo, gli abduttori, gli adduttori e i muscoli della gamba partecipano alla stabilità e al controllo tridimensionale senza che una singola catena possa spiegare da sola l'intero comportamento posturale.

Nello sviluppo, piede, controllo dell'equilibrio, deambulazione, maturazione sensoriale e organizzazione delle curve vertebrali evolvono insieme. L'edizione 2026 conserva l'intuizione sistemica originaria ma evita di attribuire al piede un ruolo causale esclusivo nello sviluppo del rachide o dell'occlusione.

Conclusione del Volume III

Il piede è una struttura complessa perché deve risolvere compiti apparentemente opposti. Deve deformarsi e irrigidirsi, percepire il terreno e generare forza, assorbire energia e restituirla, adattarsi alla variabilità e mantenere una stabilità sufficiente. Nessuna struttura compie da sola tutte queste funzioni: archi, articolazioni, aponeurosi plantare, muscoli e sistema nervoso cooperano a ogni passo.

Il modello dell'elica a passo variabile conserva valore se viene letto come descrizione della componente torsionale di questa architettura. L'edizione 2026 non contrappone elica e archi: geometria longitudinale e trasversa, torsione tra retropiede e avampiede e meccanismo dell'organo descrivono aspetti complementari della capacità del piede di modificare la propria rigidità.

Anche il rapporto tra piede e postura richiede una lettura meno lineare. Il piede influenza l'arto inferiore e partecipa alle strategie globali di equilibrio e locomozione ma non è l'origine universale delle disfunzioni. Le relazioni sono bidirezionali: il piede modifica il movimento prossimale e, nello stesso tempo, anca, ginocchio, bacino, tronco, velocità, superficie e calzatura modificano il comportamento del piede.

La conseguenza clinica è importante: forma, funzione e patologia non coincidono. La pronazione è un movimento fisiologico; il piede piatto può essere asintomatico; l'asimmetria può rappresentare un adattamento; la baropodometria non sostituisce il ragionamento clinico. Il problema nasce quando una determinata organizzazione non soddisfa più le richieste del compito, quando il carico supera la capacità dei tessuti oppure quando una deformità diventa dolorosa e progressiva.

Prevenzione e rieducazione devono aumentare la capacità di movimento. Forza dei muscoli del piede e del polpaccio, mobilità, equilibrio, variabilità delle superfici, gestione del carico e scelta appropriata delle calzature sono strumenti modulabili. Plantari e altri supporti possono essere utili quando migliorano funzione e sintomi ma non devono sostituire una valutazione globale.

Con il terzo volume si chiude il percorso specifico della trilogia: dal sistema posturale al tessuto connettivo, dalla matrice extracellulare alla tensegrità, fino al piede come interfaccia tra organismo e ambiente. Il filo comune non è la ricerca di una postura perfetta bensì la comprensione dell'adattamento. Il corpo conserva efficienza quando può percepire, variare, distribuire il carico e modificare le proprie strategie.

Bibliografia del Volume III

Fonti originarie e storiche

- Chetta G. "Piede e postura: un legame inscindibile". Edizione originale, 2011.
- Chetta G. "Piede e deambulazione: fisiologia, anatomia, biomeccanica e implicazioni posturali". www.giovannichetta.it/piede.html. Pagina aggiornata il 15/02/2011.
- Chetta G. "Il piede è il più importante sistema ergonomico". Bibliografia Diasu, Roma (2006).
- Chetta G., Africa A., Africa E. "Approccio clinico e riabilitativo alle patologie del piede". In: Valobra G., Gatto R., Monticone M., a cura di. Nuovo Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa. Vol. III, cap. 98, pp. 1711-1730. UTET Scienze Mediche (2008).
- Gracovetsky S. "The Spinal Engine". Springer-Verlag, Wien (1988).
- Hicks J.H. "The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch". *Journal of Anatomy*. 1954;88:25-30.
- Kapandji I.A. "Fisiologia articolare". Maloine-Monduzzi Editore (2002).
- Ker R.F., Bennett M.B., Bibby S.R., Kester R.C., Alexander R.McN. "The spring in the arch of the human foot". *Nature*. 1987;325:147-149.
- Pacini T. "Studio della postura e indagini baropodometriche". Chimat (2000).
- Paparella Treccia R. "Il piede dell'uomo". Verduci Editore (1978).
- Paparella Treccia R. "L'uomo e il suo moto". Verduci Editore (1988).
- White A.A., Panjabi M.M. "Clinical Biomechanics of the Spine". Lippincott (1978).

Aggiornamento scientifico 2012-2026

- Andreato L.V., de Oliveira D.V., Follmer B., Bertolini S.M.M.G. "The influence of age and overweight or obesity on foot sensitivity and postural control: a systematic review". *Australasian Journal on Ageing*. 2020;39(3):e251-e258. doi:10.1111/ajag.12782.
- Chockalingam N., Giacomozzi C., Healy A., Sacco I.C.N. "Discrepancies between plantar pressure devices: evaluating cross-system reliability for biomechanics, clinical use and predictive modelling". *The Foot*. 2025;64:102190. doi:10.1016/j.foot.2025.102190.
- Cobos-Moreno P. et al. "The Podoprint plantar pressure platform: evaluation of reliability and repeatability, and determination of the normality parameters". *Journal of Tissue Viability*. 2022;31. PMID:35868968.
- de Cesar Netto C. et al. "Classification and nomenclature: Progressive Collapsing Foot Deformity". *Foot & Ankle International*. 2020;41(10). PMID:32856474.
- Ghasemi M., Gholami-Borujeni B., Babagoltabar-Samakoush H. "Heeled shoes increase muscle activity during gait in healthy females: a systematic review and meta-analysis". *Gait & Posture*. 2025;117:153-163. doi:10.1016/j.gaitpost.2024.12.020.
- Hafer J.F., Lenhoff M.W., Song J., Jordan J.M., Hannan M.T., Hillstrom H.J. "Reliability of plantar pressure platforms". *Gait & Posture*. 2013;38(3):544-548. doi:10.1016/j.gaitpost.2013.01.028.
- Hébert-Losier K., Murray L. "Reliability of centre of pressure, plantar pressure, and plantar-flexion isometric strength measures: a systematic review". *Gait & Posture*. 2020;75:46-62. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.09.027.
- Jaffri A.H., Koldenhoven R., Saliba S., Hertel J. "Evidence for Intrinsic Foot Muscle Training in Improving Foot Function: A Systematic Review and Meta-Analysis". *Journal of Athletic Training*. 2023;58(11-12):941-951. doi:10.4085/1062-6050-0162.22.
- McKeon P.O., Hertel J., Bramble D., Davis I. "The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function". *British Journal of Sports Medicine*. 2015;49(5):290. PMID:24659509.

- Neal B.S., Griffiths I.B., Dowling G.J., Murley G.S., Munteanu S.E., Franettovich Smith M.M., Collins N.J., Barton C.J. "Foot posture as a risk factor for lower limb overuse injury: a systematic review and meta-analysis". *Journal of Foot and Ankle Research*. 2014;7:55. doi:10.1186/s13047-014-0055-4.
- Oerlemans L.N.T., Peeters C.M.M., Munnik-Hagewoud R., Nijholt I.M., Witlox A., Verheyen C.C.P.M. "Foot orthoses for flexible flatfeet in children and adults: a systematic review and meta-analysis of patient-reported outcomes". *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2023;24:16. doi:10.1186/s12891-022-06044-8.
- Peters-Dickie J.L., Detrembleur C., Guallar-Boulloc M., Rastelli M., Lobet S., Hidalgo B., Deschamps K. "The effects of foot core exercises and minimalist footwear on foot muscle sizes, foot strength, and biomechanics: a systematic review and meta-analysis". *Clinical Biomechanics*. 2025;122:106417. doi:10.1016/j.clinbiomech.2024.106417.
- Piraino J.A. et al. "American College of Foot and Ankle Surgeons Clinical Consensus Statement: Appropriate Clinical Management of Adult-Acquired Flatfoot Deformity". *Journal of Foot and Ankle Surgery*. 2020;59(2):347-355. doi:10.1053/j.jfas.2019.09.001.
- Sangeorzan B.J. et al. "Progressive Collapsing Foot Deformity: Consensus on Goals for Operative Correction". *Foot & Ankle International*. 2020;41(10):1299-1302. doi:10.1177/1071100720950759.
- Venkadesan M., Yawar A., Eng C.M., Dias M.A., Singh D.K., Tommasini S.M., Haims A.H., Bandi M.M., Mandre S. et al. "Stiffness of the human foot and evolution of the transverse arch". *Nature*. 2020;579:97-100. doi:10.1038/s41586-020-2053-y.
- Zhang G., Ma Y., Zhang S. "Determinants and associated factors for hallux valgus: a systematic review and meta-analysis". *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2026;27:647. doi:10.1186/s12891-026-10054-1.
- "Treatment of pediatric flatfoot: a systematic review-based consensus and guidelines by CPAM-LRC". 2026. PMID:42181569.
- "Effect of gait retraining in minimalist footwear or barefoot on running footstrike and cadence: a systematic review". 2025. PMID:40762620.
- "Effects of high-heeled shoes on lower extremity biomechanics and balance in females: a systematic review and meta-analysis". *BMC Public Health*. 2023. PMID:37081521.
- "Orthotic Devices for the Foot and Ankle". *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2024. PMID:38109744.

Edizione originale: Giovanni Chetta, 09/02/2011 - Arcore (MI), Italia

Edizione ampliata, riveduta e aggiornata: 2026

Conclusione generale

Al termine dei tre volumi la postura appare più complessa di quanto fosse possibile descrivere nelle prime edizioni. Non è una fotografia del corpo e non coincide con un allineamento ideale. È un processo continuo attraverso il quale l'organismo organizza le proprie risorse per mantenere l'equilibrio, muoversi, percepire l'ambiente e rispondere alle richieste del compito.

Il Volume I ha mostrato come questa organizzazione nasca dall'integrazione tra informazioni sensoriali, controllo motorio, caratteristiche muscolo-scheletriche, esperienza e ambiente. Le superfici sulle quali camminiamo, le abitudini di movimento, il lavoro e le condizioni ergonomiche modificano le richieste poste al sistema ma non generano automaticamente una patologia. Variabilità individuale e capacità di compenso restano centrali.

Il Volume II ha spostato l'attenzione dalla forma visibile ai tessuti che la rendono possibile. La matrice extracellulare non è una semplice impalcatura e la fascia non è un involucro passivo. Cellule e matrice scambiano segnali chimici e meccanici; collagene, proteoglicani, integrine, citoscheletro e canali meccanosensibili partecipano alla meccanotrasduzione e al rimodellamento. La tensegrità offre un modello utile per leggere la distribuzione delle forze ma non può diventare una spiegazione totale dell'organismo.

Il Volume III ha riportato il sistema al contatto con il terreno. Il piede deve essere sensibile e resistente, deformabile e rigido, adattabile e capace di propulsione. Il modello dell'elica a passo variabile conserva valore descrittivo se viene integrato con la funzione degli archi, della fascia plantare, dei muscoli intrinseci e del meccanismo dell'organo. Le relazioni ascendenti verso ginocchio, anca, bacino e rachide sono connessioni biomeccaniche possibili, non catene causali inevitabili.

La capacità di adattamento unisce i tre volumi. Un sistema efficiente non mantiene sempre la stessa configurazione; possiede alternative. La mobilità può diventare stabilità quando il compito lo richiede, la deformabilità può diventare rigidità, le informazioni sensoriali possono essere riponderate e i tessuti possono rimodellarsi in relazione al carico. La salute del movimento dipende in larga misura dalla disponibilità di queste strategie.

Questa lettura richiede prudenza anche nella pratica clinica. Una differenza posturale, un piede pronato, una curva vertebrale o una distribuzione asimmetrica delle pressioni non costituiscono automaticamente una diagnosi. Il reperto acquista significato quando viene collegato alla storia della persona, ai sintomi, alla funzione, al carico e agli obiettivi. La tecnologia può rendere la misura più precisa ma non sostituisce il ragionamento clinico.

La rieducazione dovrebbe aumentare capacità e autonomia. Esercizio, apprendimento motorio, progressione del carico, recupero della variabilità, ergonomia e interventi specifici possono essere combinati quando esiste un razionale chiaro. Plantari, calzature, bite, terapia manuale e tecnologie strumentali possono essere utili in contesti appropriati ma devono restare strumenti di un progetto individuale e verificabile.

Resta il principio che accompagna l'opera fin dalla prima edizione: l'essere umano non può essere compreso separandolo dall'ambiente nel quale vive. Il corpo si costruisce e si modifica attraverso movimento, carico, esperienza e relazioni con ciò che lo circonda. L'ergonomia assume così un significato biologico oltre che tecnico: creare condizioni nelle quali la persona possa usare meglio le proprie capacità, senza essere costretta a compensare continuamente un ambiente inadatto.

L'edizione 2026 chiude un percorso iniziato nel 2007 senza considerarlo concluso. La ricerca continuerà a modificare le interpretazioni disponibili e alcune ipotesi presenti in questi volumi potranno essere confermate, ridimensionate o superate. Il valore di una visione sistemica non sta nel pretendere di spiegare tutto ma nel mantenere aperto il dialogo tra livelli differenti dell'organizzazione umana. La postura resta, in questo senso, un punto di osservazione privilegiato: non una risposta definitiva ma una finestra attraverso la quale studiare insieme struttura, funzione e ambiente.

L'Autore



Giovanni Chetta

Biochimico, fisiologo e biofisico, con una formazione multidisciplinare nelle scienze biomediche e numerosi percorsi di alta specializzazione nell'ambito della fisiologia, nutrizione, nutraceutica, fitoterapia, biomeccanica.

L'intero percorso professionale si è sviluppato in ambito medico, in costante collaborazione con medici specialisti e altri professionisti sanitari. Questa esperienza gli ha consentito di coniugare il rigore delle scienze di base con le esigenze della pratica clinica, sviluppando una visione integrata dei meccanismi fisiologici e fisiopatologici che regolano l'organismo umano.

Dal 1988 si dedica allo studio del metabolismo, dell'infiammazione cronica, della bioenergetica cellulare e delle interazioni tra i sistemi che mantengono l'omeostasi.

La sua attività è orientata a integrare le conoscenze della fisiologia classica con le più recenti evidenze della ricerca scientifica, promuovendo un approccio che considera la terapia farmacologica e gli interventi sul terreno biologico come strumenti complementari di un'unica strategia terapeutica.

E' ideatore del metodo TI.B. (Tecniche Integrate di Benessere) – TIBodyork, in seguito evoluto nel concetto LYL (Love Your Life).

«Biochimica, fisiologia e biofisica compongono il linguaggio della medicina: comprenderne i meccanismi aumenta la consapevolezza riguardo salute, malattia e cura.»

www.giovannichetta.com