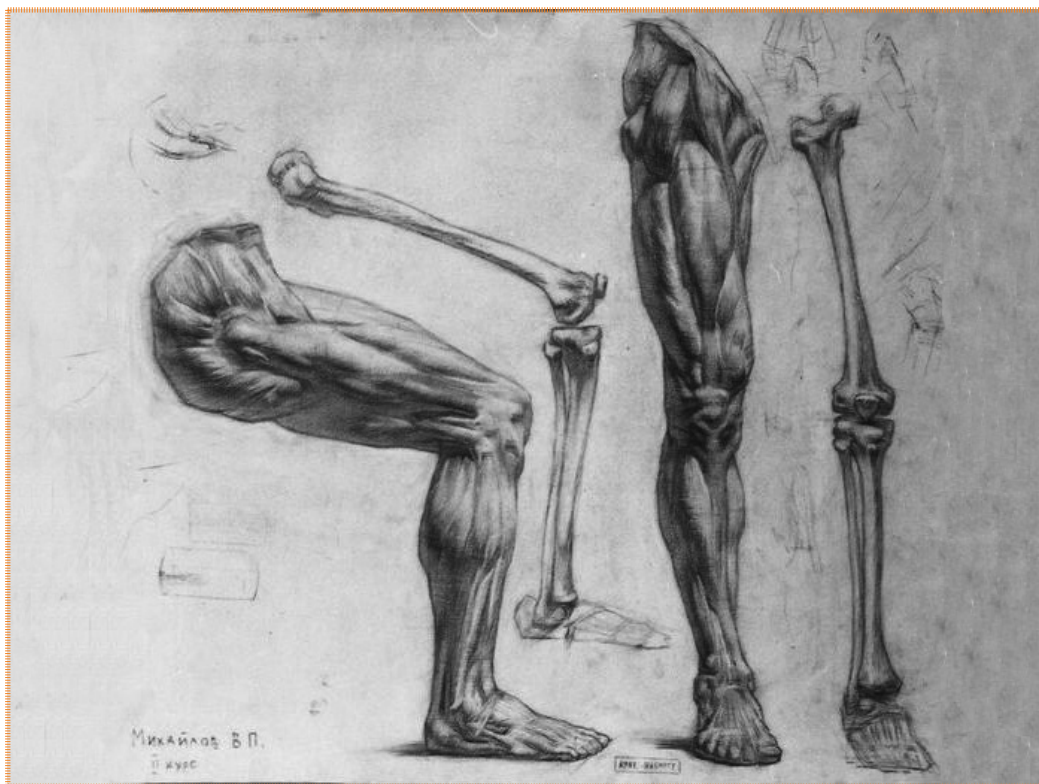


1

Generalità



CAPITOLO 1.1

Anatomia e biomeccanica del ginocchio: introduzione alla gonartrosi

Il ginocchio è un'articolazione sinoviale a cerniera modificata (ginglimo), composta da tre compartimenti funzionali: i due compartimenti tibio-femorali mediale e laterale e l'articolazione femoro-rotulea, costituita dalla rotula e dall'incavo della troclea femorale su cui la stessa scorre durante la flessione-estensione. Il ginocchio è un'articolazione complessa, molto più complessa di quanto la categorizzazione lascerebbe intendere a un osservatore superficiale. Contribuiscono al suo buon funzionamento la cartilagine, i menischi, la capsula e la sinovia, i legamenti, l'osso subcondrale e i tendini periarticolari. Di tutti questi, per lo studio dell'artrosi, ovviamente, la più studiata e osservata è sempre stata la cartilagine. Maggiori informazioni sono contenute nei box successivi.

Il ginocchio è l'articolazione che collega femore e tibia. Si tratta di una delle articolazioni più complesse del corpo umano, fondamentale per il movimento e la stabilità. È un'articolazione si-

noviale di tipo “trocleare”, che permette movimenti di flessione ed estensione della gamba sulla coscia, oltre a movimenti limitati di rotazione della gamba stessa sul proprio asse. Al movimento partecipa anche la rotula, che è il sesamoide più grande del corpo umano.

Tutte le superfici articolari in contatto tra loro sono ricoperte da cartilagine, che permette uno scorrimento fluido durante i movimenti, aiuta ad assorbire gli urti e ridurre l'attrito tra le ossa. Le proprietà di tolleranza al carico provengono in buona parte dal network fibrillare collagenico, che forma e intrappola aggregati idrofilici e anionici del proteoglicano aggregano. L'ambiente privo di attrito è invece una combinazione di film fluido e lubrificazione di superficie a opera di ialuronano e lubrificina, contenuti nel liquido sinoviale.

La trasmissione della forza peso durante il carico tra femore e tibia avviene in collaborazione con i menischi, che sono due strutture fibrocartilaginee (una mediale e una laterale) a forma di mezzaluna. Questi funzionano come ammortizzatori, distribuendo il peso e riducendo lo stress localizzato sulle superfici articolari.

La struttura e la stabilità dell'articolazione in toto, inoltre, è permessa dalla presenza di strutture legamentose e tendinee. La capsula articolare racchiude il liquido sinoviale contenuto nel ginocchio. Questo liquido partecipa alla lubrificazione dell'articolazione e collabora per diffusione passiva al nutrimento dello strato cartilagineo, che è per sua natura avascolare. Il liquido sinoviale è prodotto dalla sinovia, tessuto molto vascolarizzato e composto di cellule derivate da fibroblasti e macrofagi.

Legamenti, tendini e menischi collaborano insieme a mantenere l'articolazione stabile durante il movimento. I tendini dei muscoli pericapsulari e i muscoli corrispondenti contribuiscono non solo ai movimenti primari di flessione ed estensione, ma anche alla stabilità dinamica del ginocchio. A differenza dei legamenti, che offrono stabilità statica, i muscoli e

I principali legamenti sono elencati qui di seguito:

- legamento crociato anteriore (LCA) – impedisce lo scivolamento in avanti della tibia rispetto al femore;
- legamento crociato posteriore (LCP) – impedisce lo scivolamento all'indietro della tibia;
- legamento collaterale mediale (LCM) – stabilizza il lato interno del ginocchio, intervenendo durante gli stress in valgo;
- legamento collaterale laterale (LCL) – stabilizza il lato esterno, intervenendo durante gli stress in varo.
- Questi, come detto, stabilizzano l'articolazione e la proteggono da movimenti eccessivi.

i tendini lavorano continuamente per stabilizzare l'articolazione durante i movimenti complessi. Essi impediscono che il ginocchio si muova in modo eccessivo o anomalo durante attività come corsa, torsioni o cambi di direzione improvvisi. Il movimento privo di attrito dei tendini sulle ossa è permesso dalla presenza di borse, piene di liquido sinoviale, situate in punti strategici all'interno del ginocchio. Questa complessa struttura permette al ginocchio di supportare il peso del corpo e facilitare una vasta gamma di movimenti, rendendolo essenziale per la deambulazione e molte attività fisiche.

Biomeccanica del ginocchio e anatomia collegata

La biomeccanica è la materia che include l'insieme delle reazioni strutturali dei tessuti articolari agli stimoli meccanici. Il ginocchio è l'unità di connessione tra femore e tibia, e può pertanto essere considerato come una catena cinematica che permette il movimento fornendo al tempo stesso stabilità, congruenza e assorbi-

mento degli urti. Una distribuzione ottimale dei carichi è uno stimolo essenziale per mantenere l'omeostasi articolare fisiologica, mentre uno stress eccessivo o squilibrato è cruciale per l'insorgenza e la progressione della malattia.

Dal punto di vista strettamente biomeccanico, il ginocchio non è solo una semplice articolazione a cerniera che lavora sotto una compressione assiale dettata dalla gravità. Il ginocchio è da considerarsi un ginglymo modificato caratterizzato da un ampio movimento sul piano sagittale, la flessione-estensione (che si svolge intorno all'asse passante per i condili femora-

li), e da piccoli movimenti sul piano assiale lungo l'asse longitudinale dell'arto, altrettanto essenziali per permettere all'articolazione di flettersi ed estendersi. In particolare, la rotazione della gamba attorno al suo asse longitudinale può svolgersi solamente quando il ginocchio è flesso, mentre quando questo è esteso vi è un blocco articolare che rende la tibia strettamente solidale con il femore. La rotula, inoltre, facilita l'applicazione della forza del quadricipite all'articolazione durante le fasi di estensione, aumentando la distanza tra il tendine quadricipitale e il centro di rotazione del ginocchio. In questo modo, viene aumentato il

La componente tendinea e muscolare vede la presenza di diversi muscoli:

- muscolo quadricipite (tendine quadricipitale e tendine rotuleo) – un gruppo muscolare situato nella parte anteriore della coscia. È il principale estensore del ginocchio. Il muscolo quadricipite è composto da quattro ventri: il retto femorale, il vasto laterale, il vasto mediale e il vasto intermedio. La contrazione del quadricipite provoca l'estensione del ginocchio. Il tendine del quadricipite, posto all'apice distale del muscolo, si inserisce sul margine prossimale della rotula. Distalmente alla stessa, il tendine rotuleo origina da questo sesamoide e si inserisce sulla tibia a livello della tuberosità tibiale anteriore, fornendo così l'appiglio per permettere così l'estensione della gamba sulla coscia;
- muscolo bicipite femorale e ischiocrurali – sono i principali muscoli posteriori della coscia, che permettono la flessione del ginocchio. Il gruppo ischiocrurale comprende tre muscoli principali: bicipite femorale (capo lungo e capo breve), semitendinoso (parte della zampa d'oca), semimembranoso. Questi muscoli agiscono principalmente per flettere il ginocchio e stabilizzarlo, soprattutto durante i movimenti complessi. Partecipano anche alla rotazione esterna o interna della tibia rispetto al femore;
- zampa d'oca (pes anserinus) – la zampa d'oca è una struttura tendinea situata sulla parte mediale (interna) del ginocchio, che coinvolge tre muscoli principali: sartorio, gracile, semitendinoso (già menzionato tra gli ischiocrurali). La zampa d'oca stabilizza il ginocchio medialmente, protegge dall'eccessiva rotazione esterna e, soprattutto, supporta il movimento di flessione;
- tendine del muscolo popliteo – il muscolo popliteo è un piccolo muscolo situato dietro il ginocchio, che origina dal femore (epicondilo laterale) e si inserisce sulla tibia. Questo muscolo è responsabile dello sblocco del ginocchio durante la flessione iniziale e aiuta nella rotazione interna della tibia rispetto al femore. Ha un ruolo cruciale nella stabilizzazione posteriore e nel controllo della rotazione del ginocchio;
- tendini del muscolo gastrocnemio – il muscolo gastrocnemio fa parte del tricipite surale (componente principale della muscolatura posteriore della gamba, determinante la forma del polpaccio) ed è composto da due capi: mediale e laterale. Anche se agisce principalmente sul movimento della caviglia, ha comunque origine dalle facce posteriori dei condili femorali, appena sopra il ginocchio, e può contribuire anche alla flessione dello stesso.

braccio di leva del quadricipite: un braccio di leva più lungo significa che il muscolo quadricipite può generare una ancora maggiore forza in estensione a parità di contrazione muscolare. Questa applicazione di una grande pressione su una piccola area, come quella rotulea, fa sì che la cartilagine della rotula stessa sia la più spessa del corpo umano.

L'estensione ha diversi momenti di stabilizzazione a seconda che il movimento sia "a catena aperta" o "a catena chiusa". Durante la fase di oscillazione del passo (movimento a catena aperta) la tibia scivola anteriormente sul femore e ruota esternamente, poiché la superficie articolare del condilo femorale mediale è più lunga della superficie laterale (questo concetto verrà approfondito in seguito). Diversamente, durante la fase di appoggio (movimento a catena chiusa), il femore scivola posteriormente e ruota internamente sulla tibia stabile, bloccando l'articolazione con un meccanismo a quattro barre realizzato dai legamenti crociati tesi. Questo meccanismo è essenziale per garantire la stabilità del ginocchio durante l'estensione sia nelle fasi statiche che in quelle dinamiche.

Al contrario, all'inizio della flessione del ginocchio, la tibia scivola posteriormente più a lungo sul condilo mediale producendo una rotazione interna mentre il femore ruota esternamente sulla tibia stabile. Inoltre, l'orientamento dei condili femorali e degli emipiatti tibiali favorisce la flessione del ginocchio resa possibile dal rotolamento e dallo scivolamento posteriore dei condili, con un ampio range di movimento. Come accennato, quindi, la meccanica del ginocchio gira intorno a un compromesso che mira a conciliare due esigenze mutualmente esclusive: la prima è mantenere una grande stabilità in estensione completa, quando il ginocchio è soggetto a severe sollecitazioni derivanti dal peso corporeo e dalla lunghezza delle leve coinvolte; la seconda è consentire una grande mobilità in flessione, essenziale per correre e per l'orientamento ottimale del piede su terreni irregolari.

Il ginocchio risolve questo problema attraverso soluzioni biomeccaniche altamente ingegnose, come abbiamo visto; il basso grado di incastro dato dalla poca congruenza delle superfici di femore e tibia, tuttavia, seppur essenziale per una buona mobilità su tutti i terreni, lo rende suscettibile a traumi distorsivi e lussazioni in acuto e a una lenta ma inesorabile degenerazione articolare quando tali soluzioni vengono a mancare.

Inoltre, durante il movimento stesso, il ginocchio rimane responsabile di delicati meccanismi di compenso e interrelazione con le altre articolazioni, tra cui la rotazione del tronco, l'inclinazione del bacino e orientamento della tibio-tarsica che consentono il movimento di tutto il corpo.

Nello specifico, lo sviluppo e la progressione della gonartrosi femoro-tibiale e femoro-rotulea, come vedremo successivamente, rimangono fortemente condizionati dall'allineamento dell'arto inferiore sui tre piani dello spazio, e in particolare sul piano coronale e assiale. L'allineamento dell'arto stesso ha un ruolo biomeccanico fondamentale sia durante la fase statica sia durante quella dinamica del movimento.

Analizzando più nello specifico la forma e la geometria dell'articolazione, si può vedere come i due condili femorali (mediale e laterale) abbiano dimensioni e un raggio di curvatura diverso. Il condilo mediale è più grande ed ha forma più arrotondata (ha, cioè, un raggio di curvatura più uniforme). Il condilo laterale, al contrario, è più piccolo e presenta un raggio di curvatura diverso tra corpo e condilo posterolaterale; questo favorisce lo scivolamento posteriore, o *rollback*, del condilo laterale durante la flessione del ginocchio. Queste differenze, in principio ma non solo, creano uno schema di movimento unico tra i due condili. Dato che il condilo mediale ha un raggio di curvatura molto uniforme, rimane più stazionario durante il movimento di flesso-estensione, mentre il condilo laterale si sposta posteriormente sulla tibia.

La differenza nel movimento di roll-back laterale spinge il femore distale a ruotare esternamente: la maggior parte di questa rotazione esterna avviene nei primi 15° di flessione del ginocchio e contribuisce anche al tracciamento rotuleo, perché proprio a 15° di flessione la rotula si innesta sul solco trocleare. Questo, quindi, è il punto di inizio del tracking rotuleo, in cui si possono creare i maggiori problemi, in caso di rotula eccessivamente laterale. Un tracking rotuleo sbagliato può verificarsi se il femore non ruota, se non ci sono valide strutture medialie (legamentose e/o muscolari) che possano guidare la rotula sul percorso giusto o se la troclea femorale presenta caratteristiche anomale in termini di forma.

Il *rollback* posteriore determina e condiziona, grazie alla sua azione di posteriorizzazione del femore distale sulla tibia, il limite di movimento: questo è essenziale per ottenere una flessione più profonda e completa, dato che permette un momento di contatto femoro-tibiale posteriore più ritardato e a gradi maggiori.

Anche i due versanti del piatto tibiale, mediale e laterale, hanno forma diversa: la parte laterale è più pianeggiante (o addirittura leggermente convessa), ed è costruita in questo modo per favorire, anche in questo caso, il *rollback* durante la flessione. Il piatto tibiale mediale, al contrario, è concavo e ciò determina un movimento più focalizzato e stabile, di tipo *pivot*.

Oltre alla geometria articolare, appena illustrata di condili ed emipiatti tibiali, subentrano nella gestione del movimento articolare anche le strutture molli, quali tendini e legamenti periarticolari.

Dato che il ginocchio, come visto, è un'articolazione non perfettamente congruente dal punto di vista osseo e cartilagineo, per muoversi opportunamente, necessita di strutture anatomiche stabilizzatrici. Tra queste possiamo distinguere stabilizzatori statici e dinamici: i primi sono i legamenti (collaterali, crociati), i menischi e la capsula; i secondi sono i muscoli (tra loro, principali sono il quadricipite, i

gemelli, il popliteo, la zampa d'oca, il bicipite femorale e il tensore della fascia lata).

Il contributo degli stabilizzatori statici e dinamici all'ambiente meccanico articolare è diventato centrale per l'indagine pato-biomeccanica della gonartrosi.

Altri fattori contribuenti alla gonartrosi sono la debolezza muscolare e i deficit somato-sensoriali. La debolezza muscolare è uno dei primi e più frequenti sintomi nell'osteoartrosi (OA); tuttavia, non è ancora del tutto chiaro se questa insorga prima o successivamente rispetto alla gonartrosi. Modelli animali e studi clinici hanno dimostrato come l'atrofia muscolare sia legata ai cambiamenti nei pattern di attivazione somato-sensoriale (generazione di forza e reclutamento delle unità motorie) e alla cinematica della deambulazione. Inoltre, una ridotta forza quadricipitale può essere associata a un aumento del carico su tutto l'arto inferiore durante il ciclo del passo.

Più nello specifico, i due legamenti definiti "collaterali" controllano la stabilità sul piano coronale.

Sul versante interno, il legamento collaterale mediale (LCM) superficiale è il principale stabilizzatore mediale, originando dall'epicondilo mediale e spostandosi sulla tibia a 4 cm circa dalla linea articolare. Il Collaterale Mediale Profondo è, invece, più un ispessimento capsulare che un vero legamento. L'angolo postero-mediale (formato da legamento popliteo obliquo, semimembranoso, corno posteriore del menisco mediale) fornisce il 30% di contenimento in valgo-stress quando in estensione completa. Con l'aumentare dei gradi di flessione, aumenta la percentuale: a 5° è già il 60%, a 25° l'80%.

Sul versante esterno, il legamento collaterale laterale (LCL) fornisce invece stabilità laterale, in varo-stress, e origina nell'area dell'epicondilo laterale, inserendosi distalmente sulla testa del perone.

Passando alla zona centrale del ginocchio, che ospita il cosiddetto "*pivot* centrale", la principale funzione dei legamenti crociati, presenti

in questa zona, è invece il mantenimento della stabilità sul piano soprattutto sagittale.

Il legamento crociato anteriore (LCA) impedisce la sublussazione anteriore della tibia, in particolare nelle posizioni del ginocchio a ridosso dell'estensione massima: il LCA è massimamente teso a circa 15° di flessione. Questi 15° di flessione sono, tecnicamente, l'area dell'arco di movimento in cui il quadricipite esercita la forza antero-diretta maggiore sulla tibia prossimale. In un ginocchio con deficit del LCA, quindi, l'estensione completa data dall'azione quadricipitale tende a spostare il femore posteriormente e, viceversa, la tibia anteriormente. La condizione intatta o meno del LCA modifica, pertanto, la posizione dell'usura cartilaginea nelle ginocchia in via di degenerazione: in caso di LCA intatto, l'usura è prevalentemente antero-mediale. Se il LCA è carente, la tibia si trasla in avanti e l'usura avviene nella sua sede postero-mediale.

Il legamento crociato posteriore (LCP), invece, impedisce la sublussazione posteriore della tibia. Con la tibia in questa posizione di posteriorizzazione eccessiva, infatti, il femore non può eseguire correttamente il *rollback*.

Ruolo dei menischi, in questo quadro generale, è quello di favorire la congruenza articolare riducendo il più possibile le differenze di forma tra condili di forma rotondeggiante ed emipiatti tibiali pianeggianti. Favorendo e migliorando la congruenza, aumentano la superficie articolare effettiva e riducono le forze nel singolo punto di contatto (perché meglio distribuite). Finiscono per trasmettere, infatti, circa il 50% del carico in estensione completa e addirittura circa il 90% in semi-flessione. Una meniscectomia completa, ormai desueta, aumenta e peggiora la distribuzione delle forze a livello articolare, con il 20% delle persone che sviluppano artrosi significativa in meno di 3 anni, e il 100% in meno di 20 anni.

Tra i due, il menisco mediale è relativamente più stazionario, seguendo il pattern di movimento del comparto femoro-tibiale mediale già visto; il corno posteriore del menisco

mediale, in particolare, può anche agire come stabilizzatore antero-posteriore e diventa particolarmente importante in assenza del LCA. Questa assenza, inoltre, può contribuire alla degenerazione del corno posteriore stesso.

Il menisco esterno, invece, ha un movimento antero-posteriore che segue il *rollback* già descritto e i movimenti di rotazione esterna tipici dell'articolazione femoro-tibiale laterale. In termini numerici, il corno anteriore del menisco laterale si può posteriorizzare fino a quasi 1 cm in situazioni di carico. Come il menisco mediale, questo è fondamentale per distribuire uniformemente i carichi, seppur in misura minore rispetto al compartimento opposto. Contribuisce, in buona parte, alla stabilità rotazionale, in combinazione con strutture legamentose come il LCP e il LCL. Distribuendo il carico e minimizzando l'attrito diretto, ha un ruolo cruciale nel prevenire l'usura della cartilagine articolare. Infatti, una meniscectomia laterale ha un ruolo distruttivo sulla superficie articolare maggiore rispetto alla meniscectomia del compartimento opposto: aumenta i carichi sul compartimento esterno del 200% circa, con effetti importanti sull'insorgenza di una eventuale patologia artrosica. Queste caratteristiche peculiari rendono il menisco laterale una struttura chiave nei movimenti dinamici, poiché di supporto all'attività del complesso anterolaterale nella stabilizzazione del ginocchio durante le attività quotidiane più strenue e nello sport.

Anche i muscoli, in questo quadro generale, subentrano nel discorso, contribuendo a definire i movimenti del ginocchio.

Il muscolo quadricipite è l'estensore cardine. Posizionato sul versante anteriore dell'articolazione, la sua debolezza o addirittura atrofia è spesso associata a dolore femoro-rotuleo.

Il Muscolo Popliteo ha il ruolo di iniziare lo sblocco del ginocchio, quando questo inizia a flettersi da una posizione di estensione completa. Inoltre, quando il ginocchio inizia la flessione, il muscolo popliteo induce la rotazione esterna del femore rispetto alla tibia, contribuendo al meccanismo di rotazio-

ne e *rollback* visto poc'anzi. Il Popliteo è un muscolo posizionato sul versante posteriore, la cui porzione tendinea diventa intra-articolare, correndo subito dietro il corno posteriore del menisco laterale e inserendosi, lateralmente, nel solco popliteo del condilo femorale esterno.

Introduzione agli assi e all'allineamento dell'arto inferiore

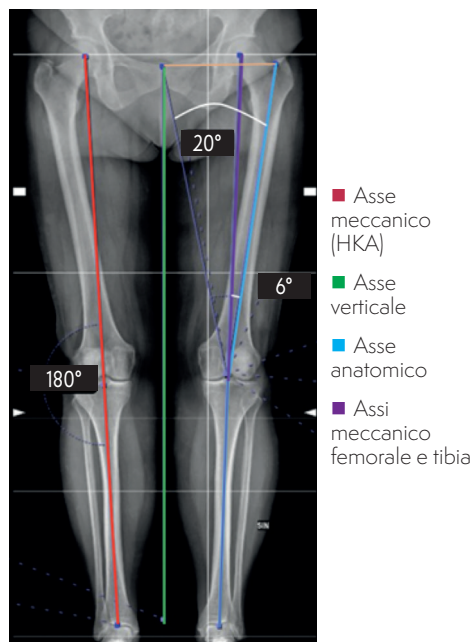
Per comprendere al meglio le cause biomeccaniche che predispongono all'insorgenza della gonartrosi, è fondamentale innanzitutto conoscere ed effettuare un'analisi delle deformità e dell'allineamento generale dell'arto inferiore. L'arto inferiore possiede, nel suo complesso, un suo asse meccanico anche detto "*hip-knee-ankle axis*" (in acronimo, HKA) che si può riconoscere tracciando una linea dalla testa del femore, a livello del suo centro di rotazione, fino al centro della tibio-tarsica nella caviglia. Questo asse va a rappresentare, ipoteticamente, la linea di carico immaginaria dell'arto inferiore.

In un soggetto definito come "normo-assiato", tale linea dovrebbe passare esattamente a livello dell'incisura interspinosa tibiale e dell'incisura intercondiloidea del femore (nel centro del ginocchio), definendo quindi un angolo di 180° tra i rami femorale e tibiale. Questo asse viene anche definito come "neutro" (Figura 1.1.1).

Le altre linee cardinali, che guidano clinici e chirurghi nella valutazione dell'allineamento dell'arto inferiore, sono l'asse verticale e l'anatomico. Essi sono rispettivamente descritti come l'asse verticale passante per il centro della sinfisi pubica (e perpendicolare al terreno) e l'asse passante attraverso il centro dei canali endomidollari del femore e della tibia. Il femore e la tibia possiedono entrambi il proprio asse meccanico e asse anatomico. Nel caso della tibia i due assi tendenzialmente coin-

FIGURA 1.1.1

Diversi assi dell'arto inferiore.



cidono e sono perpendicolari all'articolazione, a circa 3° rispetto all'asse verticale. Differentemente, l'asse anatomico della diafisi femorale non coincide con il suo asse meccanico; esso forma con l'asse meccanico femorale un angolo di circa 6° e un angolo di circa $15-20^\circ$ con l'asse verticale, determinando, pertanto, il valgismo fisiologico del femore. Tale valgismo femorale è spesso più accentuato nella donna che nell'uomo, in quanto nelle donne il bacino è più largo, le anche più distanziate tra loro rispetto alle caviglie, da cui risulta una maggior deviazione dell'asse anatomico rispetto all'asse verticale.

Un altro elemento indispensabile da considerare, quando si valuta l'usura articolare in un ginocchio artrosico, è la cosiddetta *joint line* (JL); questa linea è variabile da persona a persona ed è rappresentata dall'unione di due linee: la linea tangente ai condili femorali e la linea tangente ai piatti tibiali. L'orientamento articolare "naturale" di queste due linee è di