

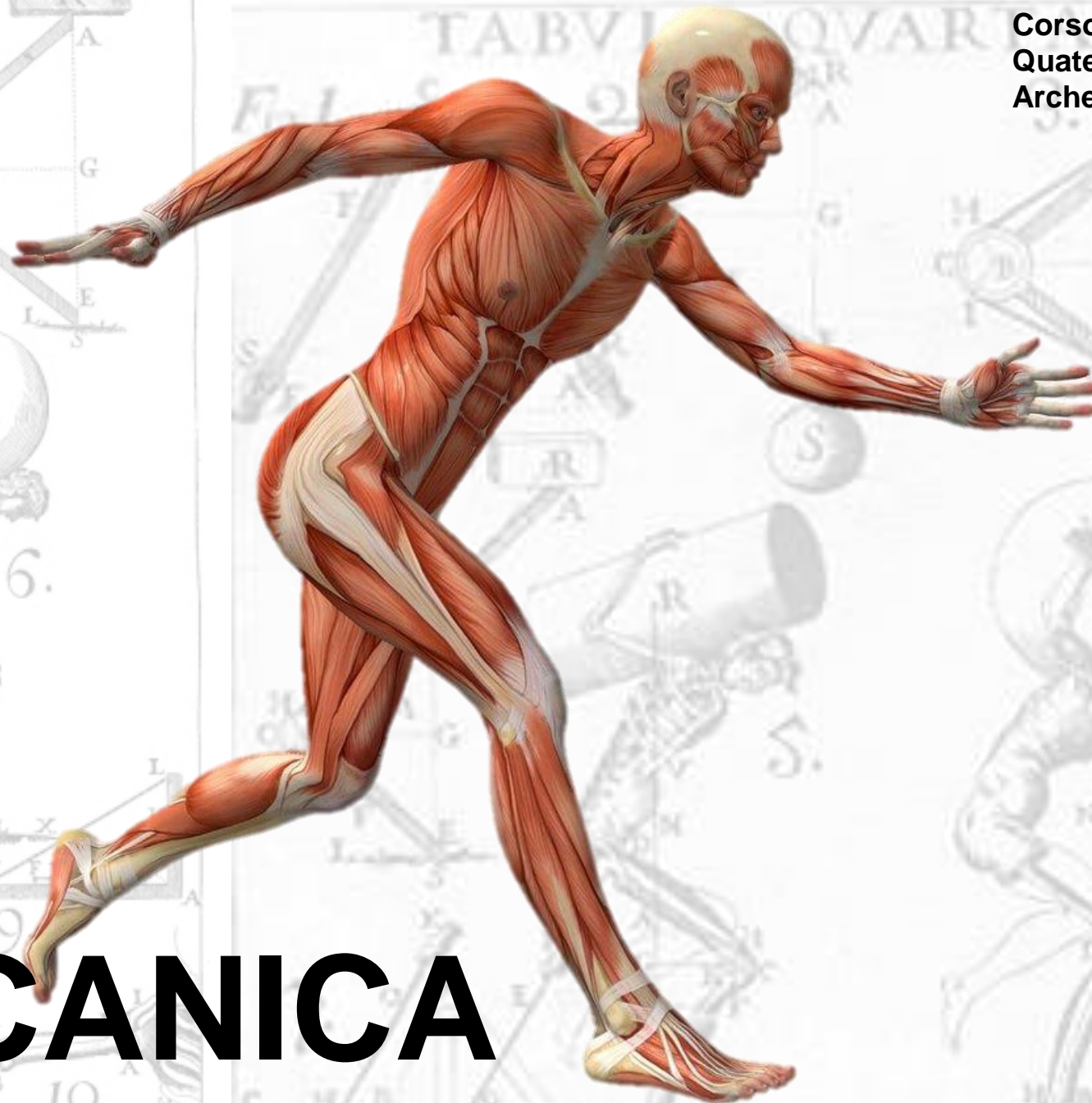


**antropolab**

LABORATORI DI  
ANTROPOLOGIA

**Biologia dello Scheletro Umano**

Corso di Laurea in  
Quaternario, Preistoria e  
Archeologia, A. A. 2020/2021



**Seminario di  
approfondimento**

# **BIOMECCANICA**



# LA BIOMECCANICA

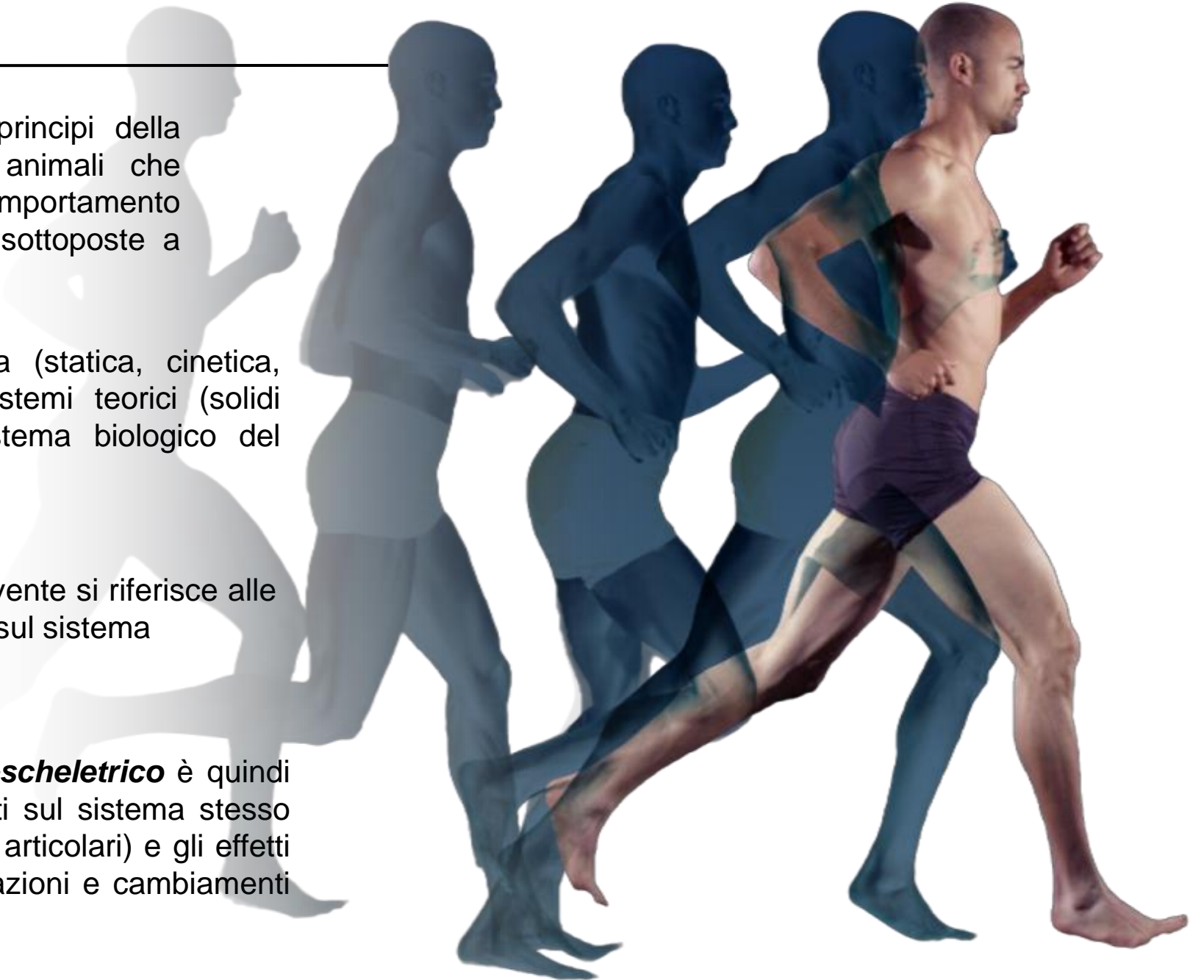
---

**La biomeccanica** è l'applicazione dei principi della meccanica agli organismi viventi (sia animali che vegetali). In particolare, analizza il comportamento delle strutture fisiologiche quando sono sottoposte a sollecitazioni statiche o dinamiche.

Le leggi della meccanica e della fisica (statica, cinetica, cinematica) non vengono studiate in sistemi teorici (solidi inerti), ma applicate nell'ambito del sistema biologico del **corpo umano**.

In particolare, la meccanica di un corpo vivente si riferisce alle forze esercitate dai muscoli e dalla gravità sul sistema scheletrico

**La biomeccanica del sistema muscolo-scheletrico** è quindi la scienza che esamina le forze operanti sul sistema stesso (carichi esterni, forze muscolari e carichi articolari) e gli effetti prodotti da tali forze (movimenti, deformazioni e cambiamenti biologici nei tessuti).

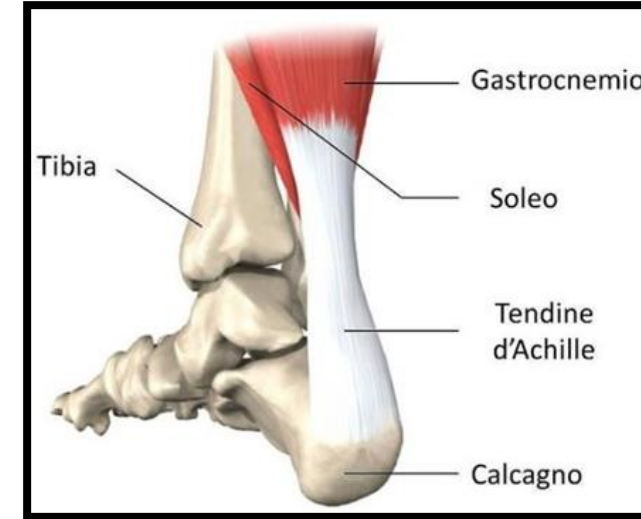
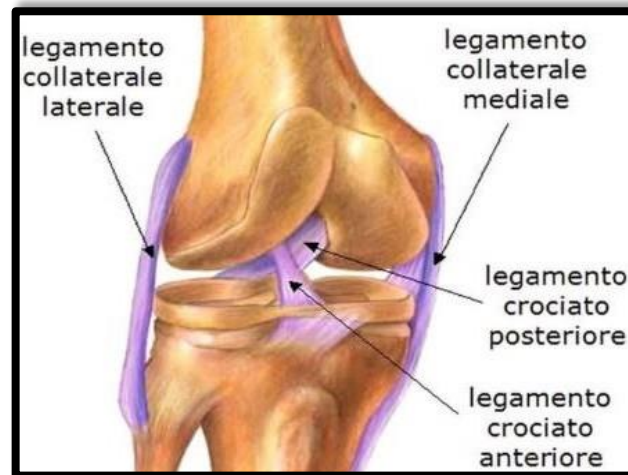


# MECCANICA DELL'APPARATO LOCOMOTORE

Le Strutture meccaniche composte da ossa e articolazioni per avvicinarsi e allontanarsi hanno bisogno di un motore in grado di trasformare l'energia chimica in energia meccanica per compiere il lavoro richiesto.

Nell'apparato locomotore questa funzione è svolta dai muscoli

**Legamento:** strutture che si inseriscono tra due o più ossa contigue, scavalcando l'articolazione, tengono unite le ossa permettendo movimenti adeguati (come raccordi e fermi di sicurezza)



**Tendine:** strutture poco elastiche, molto robuste, trasportano come cavi la forza sviluppata dal motore, nel punto in cui serve (punto di inserzione sulle ossa)

Ogni muscolo volontario si inserisce con i propri tendini ai segmenti ossei, costituendo un sistema di leve che il muscolo mette in movimento in seguito alla propria contrazione. Successivamente, grazie al rilasciamento muscolare, i segmenti ossei possono tornare nella posizione originaria per effetto dei muscoli antagonisti. Le articolazioni garantiscono la mobilità di un osso rispetto all'altro.

# ASSI E PIANI DEL CORPO UMANO

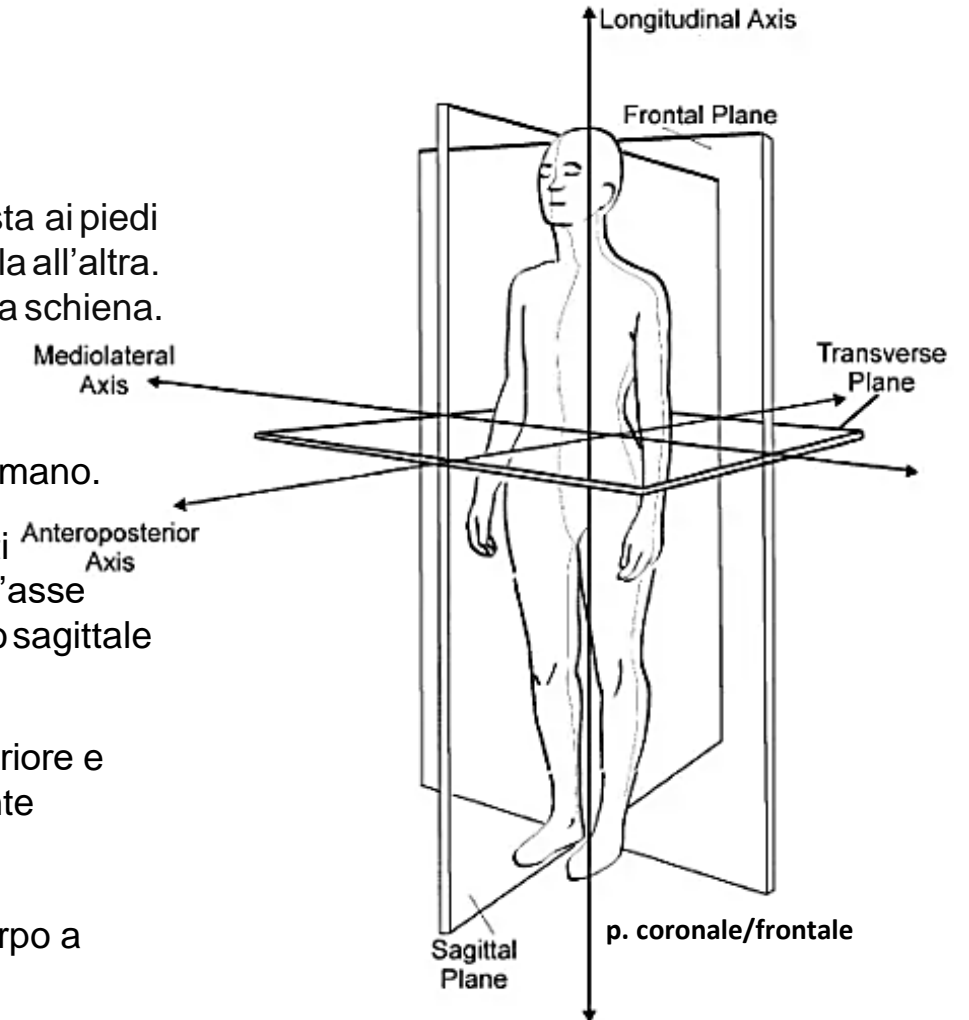
Oltre all'uso appropriato di una terminologia tecnica specifica, è indispensabile utilizzare dei punti di riferimento in base ai quali poter descrivere l'evoluzione di un gesto motorio o di una porzione anatomica.

➤ La biomeccanica utilizza gli assi per descrivere l'orientamento dei movimenti

- **Asse longitudinale:** linea con direzione supero-inferiore, secante il corpo dalla testa ai piedi
- **Asse trasversale:** linea con direzione destra-sinistra, secante il corpo da una spalla all'altra.
- **Asse sagittale:** linea con direzione antero-posteriore, secante il corpo dal petto alla schiena.

➤ Tre piani anatomici sono stati creati dai tre assi di movimento e trasferiti al corpo umano.

- **Piano sagittale (mediano):** è per definizione quello che divide il corpo in due parti simmetriche, una destra e l'altra sinistra ed è attraversato perpendicolarmente dall'asse trasversale. Ogni superficie planare che attraversa il corpo parallelamente al piano sagittale prende il nome di sezione parasagittale.
- **Piano frontale (coronale):** divide il corpo in due parti, una anteriore e l'altra posteriore e forma un angolo retto con il piano sagittale. Esso è attraversato perpendicolarmente dall'asse sagittale che si sviluppa in senso antero-posteriore
- **Piano trasversale (orizzontale):** Il piano trasverso o orizzontale può tagliare il corpo a diverse altezze, ma è sempre perpendicolare ai piani sagittale e frontale. Esso è attraversato perpendicolarmente dall'asse longitudinale



# PRINCIPALI MOVIMENTI DEL CORPO UMANO

---

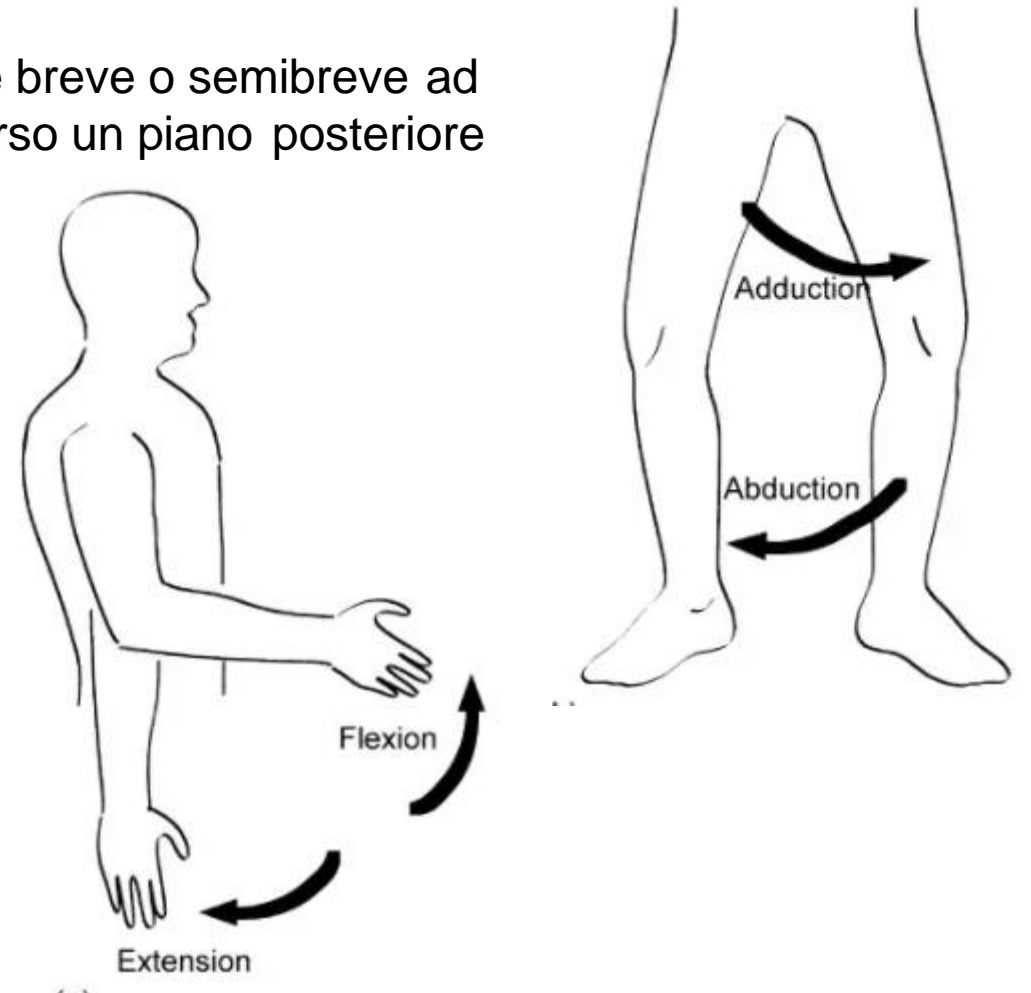
Il processo del movimento (di organi, articolazioni, arti e sezioni anatomiche specifiche) è descritto tramite un insieme unificato di termini e condizioni utilizzati per descrivere l'unicità dei movimenti delle diverse porzioni anatomiche.

**-ESTENSIONE:** passaggio degli arti o del busto da una posizione breve o semibreve ad una lunga, in attitudine di sospensione, lungo il piano sagittale verso un piano posteriore

**-FLESSIONE:** passaggio degli arti o del busto da una posizione lunga ad una breve o semibreve, in attitudine di sospensione (movimento opposto all'estensione), lungo il piano sagittale verso un piano anteriore

**-ABDUZIONE:** movimento di un segmento corporeo (arti superiori o inferiori) che si allontana dalla linea mediana del corpo lungo il piano frontale.

**-ADDUZIONE:** movimento di un segmento corporeo che si avvicina alla linea mediana del corpo lungo il piano frontale (movimento opposto all'abduzione).



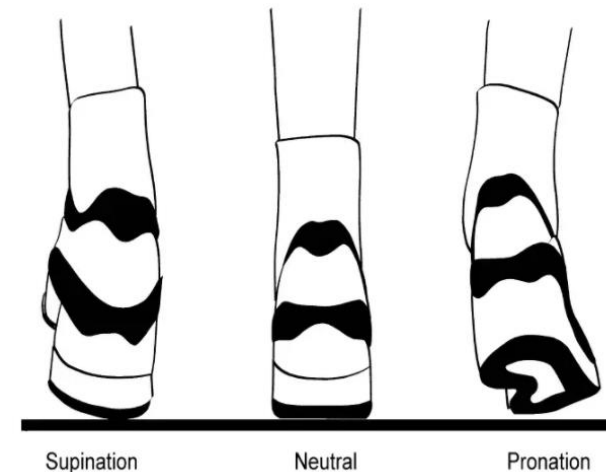
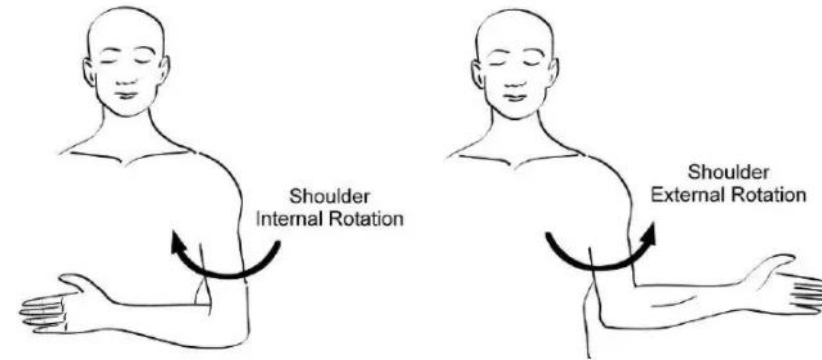
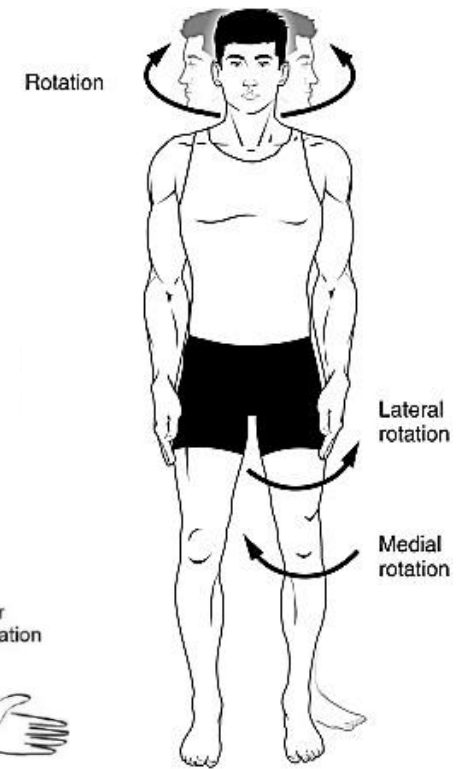
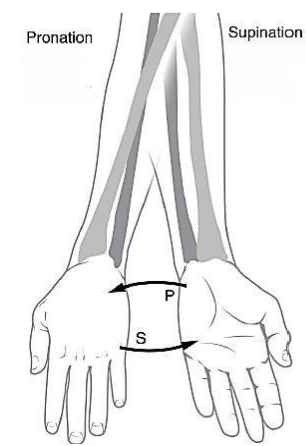
# PRINCIPALI MOVIMENTI DEL CORPO UMANO

**-ROTAZIONE:** movimento di una parte del corpo attorno al proprio asse.

**-CIRCONDUZIONE:** movimento per cui un segmento descrive un cono ad apice corrispondente al capo articolare

**-PRONAZIONE:** movimento di rotazione verso l'interno (intra-rotazione) tipico delle mani quando si volgono i palmi verso il basso.

**-SUPINAZIONE:** movimento di rotazione esterna tipico dell'arto superiore, che si effettua per portare le palme delle mani verso l'alto.



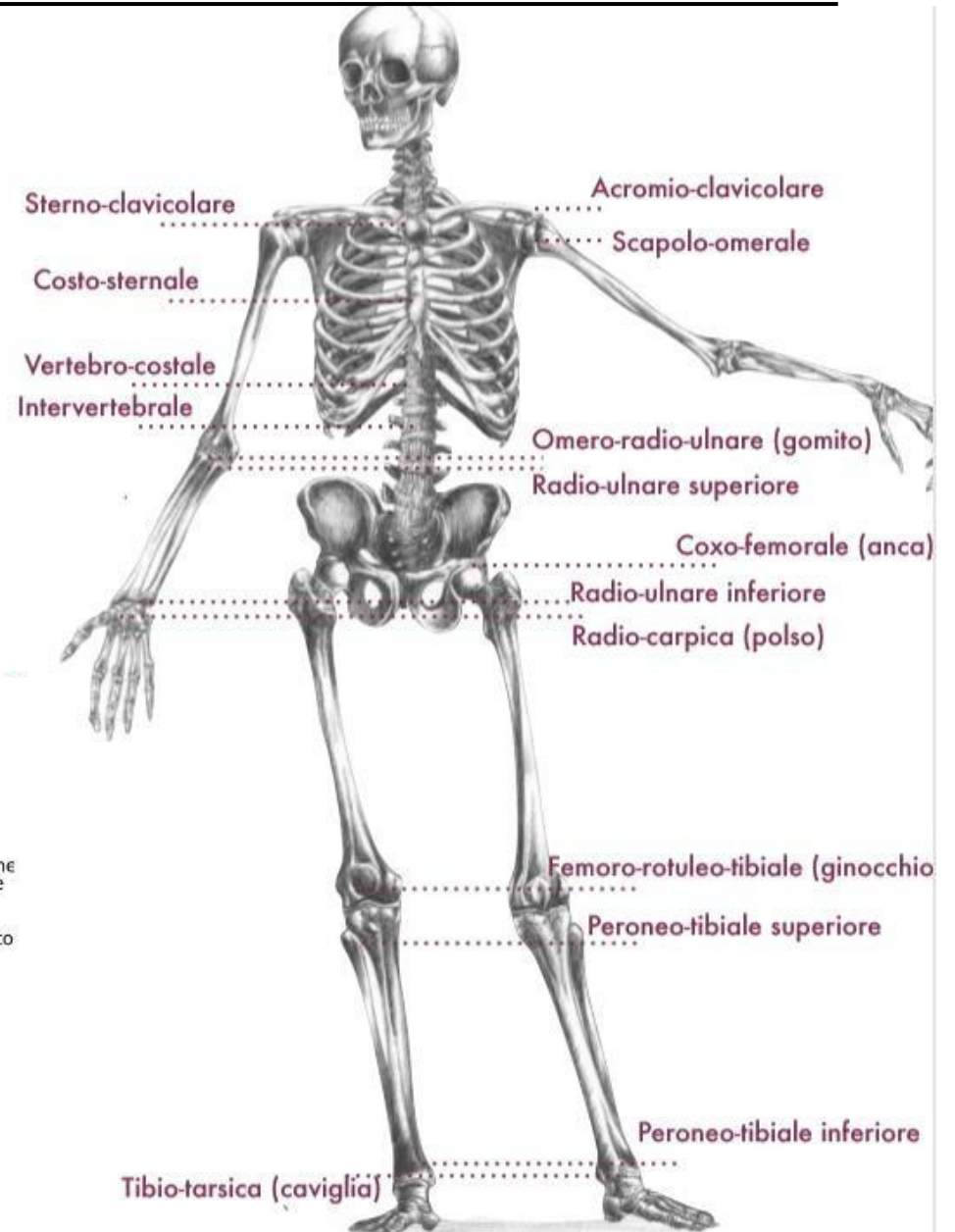
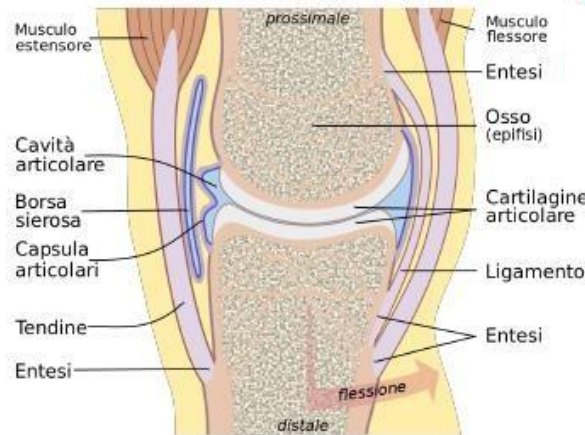
# SISTEMA ARTICOLARE

Le articolazioni sono organi giunzionali tra capi ossei, interconnessi tramite i tessuti connettivi. A seconda della loro differente mobilità, cioè della loro escursione, possono essere di tipo mobile, semimobile o fisso.

**Articolazioni immobili o sinartrosi:** legano strettamente i capi ossei, tanto da impedirne i movimenti. Si dividono in sinostosi (es. cranio) e gonfosi (denti).

**Articolazioni mobili o diartrosi:** permettono un ampio range di movimento, in una o più direzioni dello spazio.

**Articolazioni ipomobili o anfiartrosi:** legano due superfici articolari, ricoperte da cartilagine, tramite legamenti interossei; si dividono in sincondrosi (scarso grado di movimento, tessuto cartilagineo denso, es. prime sterno-costali) e sinfisi (limitato grado di movimento, tessuto connettivo fibroso, es. sinfisi pubica).





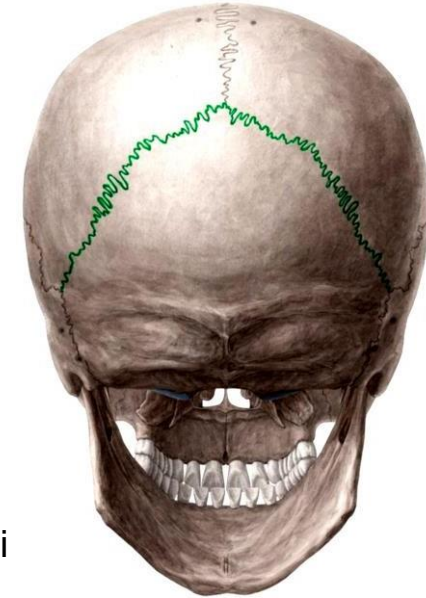
# SISTEMA ARTICOLARE

## ARTICOLAZIONI IMMOBILI - SINARTROSI

Legano strettamente i capi ossei, impedendone i movimenti.

Si dividono in

- **Sinostosi:** il grado di movimento è nullo; uniscono le articolazioni tramite tessuto osseo (esempio: cranio nell'adulto).
- **Gonfosi:** articolazioni fibrose caratteristiche della fissazione dei denti nelle proprie cavità alveolari (tramite il collagene del parodonto che connette il cemento del dente all'osso mandibolare o mascellare). Non viene considerata una vera e propria articolazione in quanto non prevede l'unione di segmenti ossei.

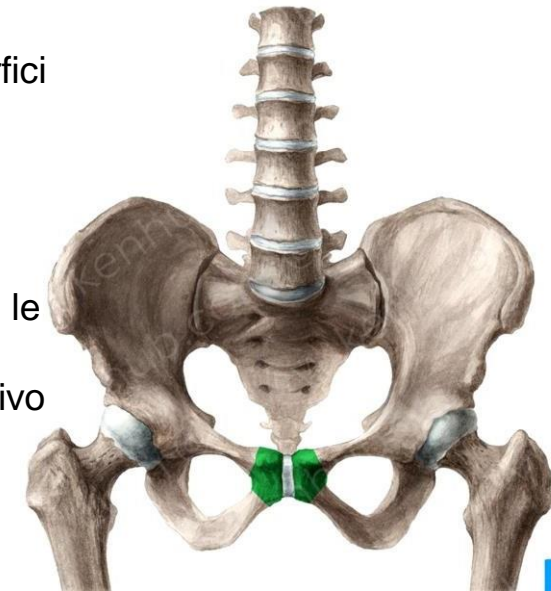


## ARTICOLAZIONI IPOMOBILI - ANFIARTROSI

Legano due superfici articolari, ricoperte da cartilagine, tramite legamenti interossei. Tra le due superfici è interposto un disco fibrocartilagineo che permette soltanto movimenti limitati (vertebre).

Si dividono in:

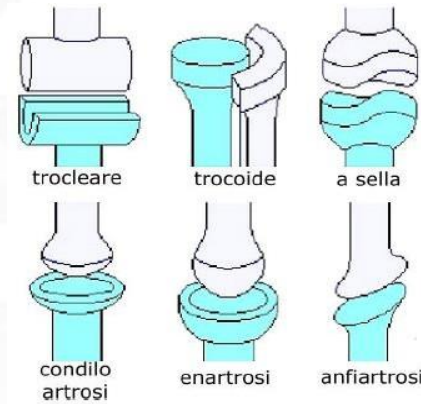
- **Sincondrosi:** il grado di movimento è scarso, dal momento che uniscono le articolazioni tramite tessuto cartilagineo denso (esempio: prime sterno-costali).
- **Sinfisi:** il grado di movimento è limitato, dal momento che sono tenute insieme da tessuto connettivo fibroso (esempio: sinfisi pubica).



# SISTEMA ARTICOLARE

## ARTICOLAZIONI MOBILI - DIARTROSI

Le articolazioni mobili o diartrosi permettono un ampio range di movimenti (angolari, di rotazione/in asse, lineari/translazionali)



- **Artrodia:** semplice scorrimento (art. zigapofisarie vertebrali)
- **Trocleoartrosi** (ginglimo angolare): movimenti di flessione/ estensione (art. del gomito)
- **Trocoidi** (ginglimo laterale/parallelo): movimenti di pronazione/ supinazione (art. radio-ulnare)
- **Articolazioni a sella:** movimenti di flessione/estensione e abduzione/ adduzione (art- tra trapezio e 1° metacarpale)
- **Condilartrosi:** movimenti di flessione/estensione, abduzione/ adduzione, circonduzione (art. radio-carpica)
- **Enartrosi:** movimenti di flessione/estensione, adduzione/abduzione, circonduzione, intra/extrarotazione (art. scapolo-omerale)

## Articolazione sinoviale o diartrosi



**Capsula articolare:** manicotto di tessuto connettivo denso, riveste completamente l'articolazione.

**Cartilagini articolari:** rivestono le superfici articolari. In alcune articolazioni (es. ginocchio) si frappone anche un disco cartilagineo. Sono composte di materiale soffice, compressibile, estensibile e deformabile, tendono a riacquistare lo spessore di riposo.

**Membrana sinoviale:** secerne un liquido viscoso (l. sinoviale) che funge da lubrificante

## CAUSE DEL MOVIMENTO DEL CORPO

---

### FORZE ESTERNE: FORZA PESO E GRAVITÀ

La forza peso è il principale STRESS a cui la struttura corporea umana è costantemente sottoposta

### 2° LEGGE DELLA DINAMICA: $F = m \times a$

(Forza peso = massa corporea x accelerazione di gravità)

**Lavoro =  $Fs$**

(forza)x(spostamento)

**Forza =  $ma$**

(massa) x(accelerazione)



Posture non in accordo con quelle fisiologiche si tradurranno in patologia o disturbo a causa dell'azione della forza peso secondo angoli non fisiologici

## FORZE INTERNE: LE LEVE E MUSCOLI

---

La struttura scheletrica umana è composta da una serie di segmenti ossei sui quali si inseriscono i muscoli; questi segmenti scheletrici sono collegati tra loro attraverso complessi articolari che prendono il nome di **LEVE**.

**LE LEVE** rappresentano le unità funzionali principali della macchina umana e sono rappresentate da segmenti rigidi che possono ruotare attorno ad un punto fisso detto **FULCRO**.

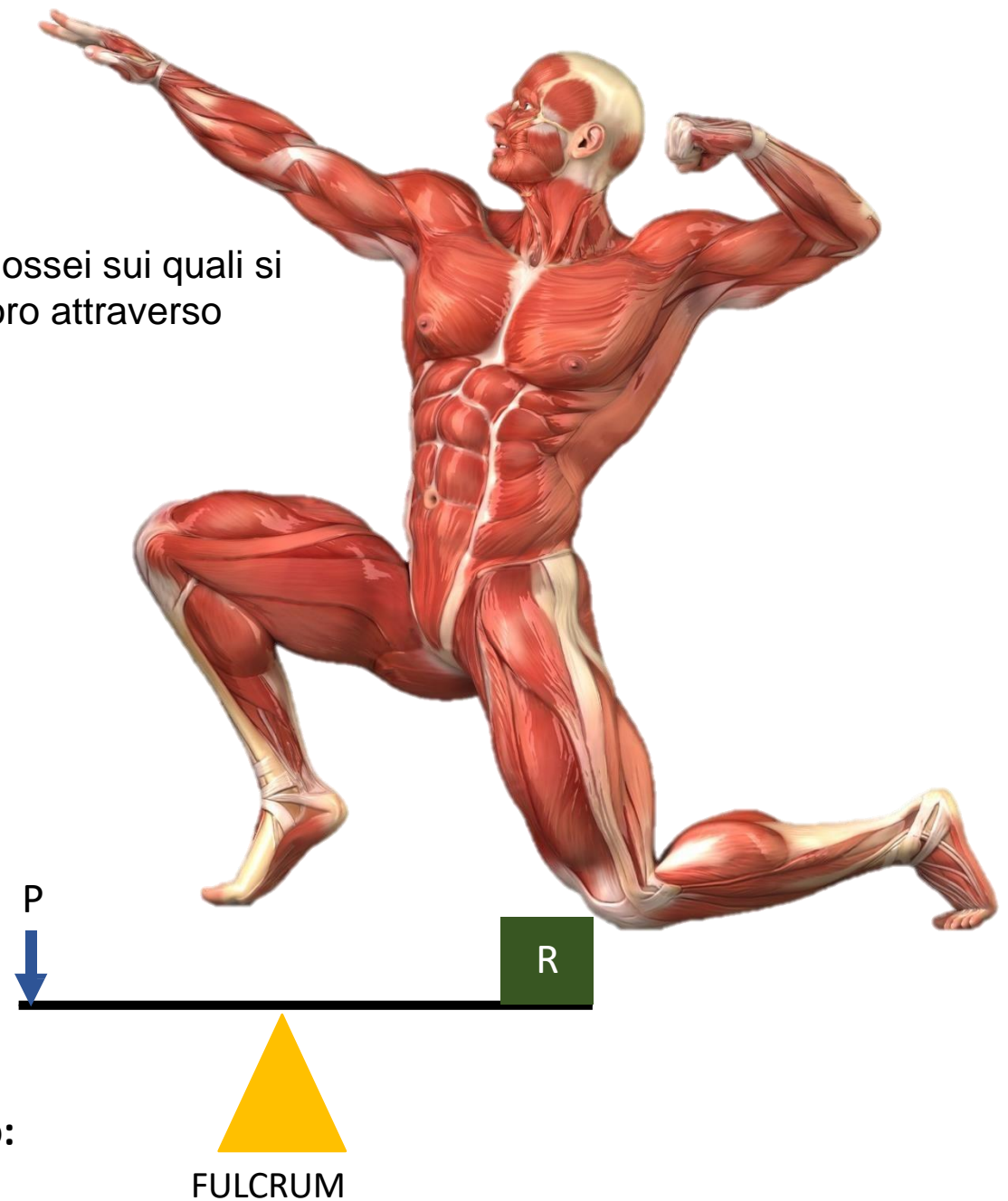
In ogni Sistema di LEVE bisogna tener presente la forza peso **R (RESISTENZA)** e la forza muscolare **P (POTENZA)** e i loro bracci **bp** e **bm** che intercorrono tra il fulcro e le linee di azione delle due forze.

R= resistenza P= potenza

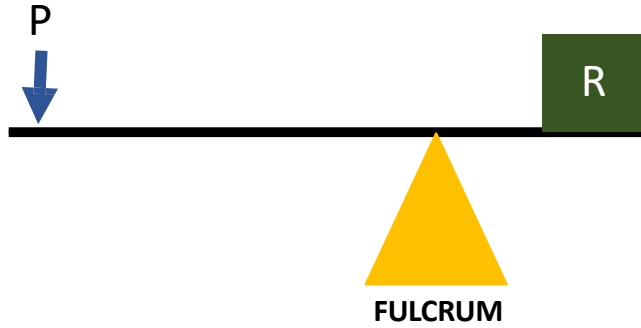
$b_R$ = braccio della resistenza

$b_p$ = braccio della potenza

Leva in equilibrio:  
**BR=BP**

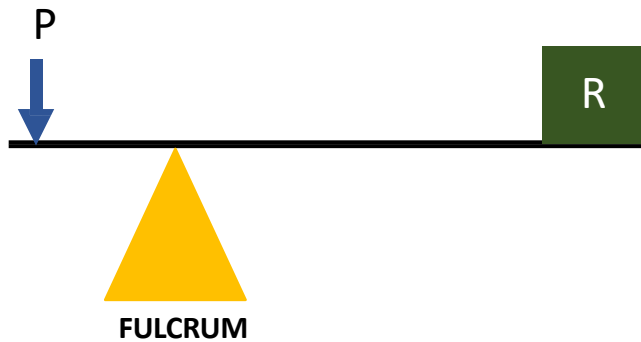


# LE LEVE



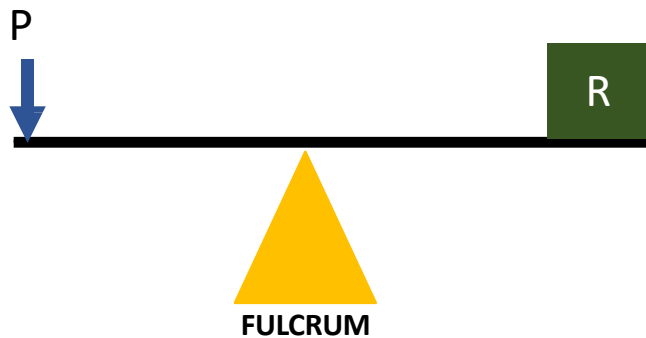
**Leva vantaggiosa:  $bP > bR$**

E' necessaria una potenza inferiore per controbilanciare la resistenza  
Braccio della forza è maggiore del braccio della resistenza



**Leva svantaggiosa:  $bP < bR$**

E' necessaria una potenza maggiore per controbilanciare la resistenza  
Braccio della forza è minore del braccio della resistenza



**Leva indifferente:  $bP = bR$**



# LE LEVE

---



I muscoli, unitamente ai segmenti scheletrici sui quali si inseriscono, danno luogo a leve simili a quelle della meccanica:

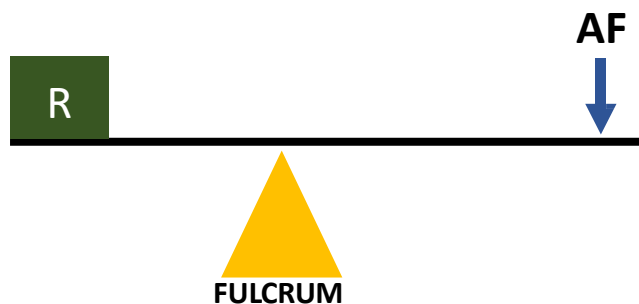
La potenza, ovvero **la forza applicata (AF)** esercitata dal muscolo

La **resistenza (R)**, vale a dire il segmento anatomico che deve essere spostato

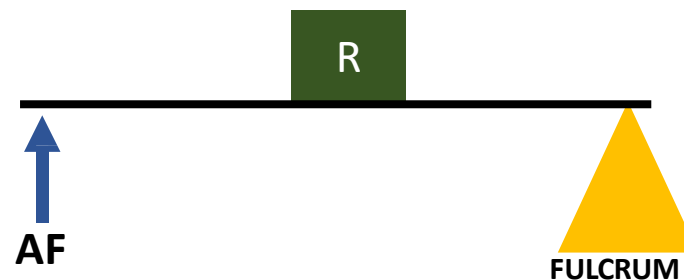
Il **fulcro (F)**, cioè il punto di appoggio, o il perno, che corrisponde ad un'articolazione

Questa situazione determina che, tutte le volte che c'è movimento, si produce una leva che può essere di primo, di secondo o di terzo tipo.

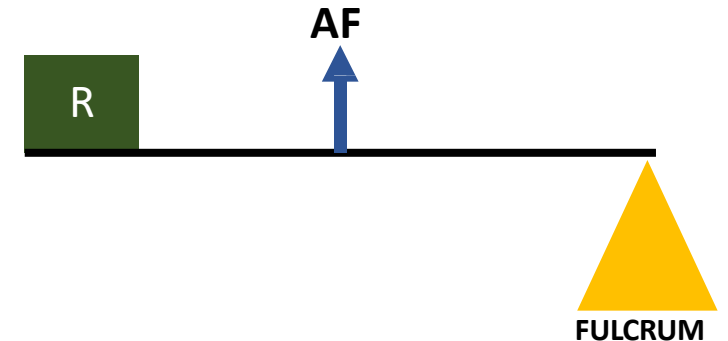
Leva di primo genere



Leva di secondo genere



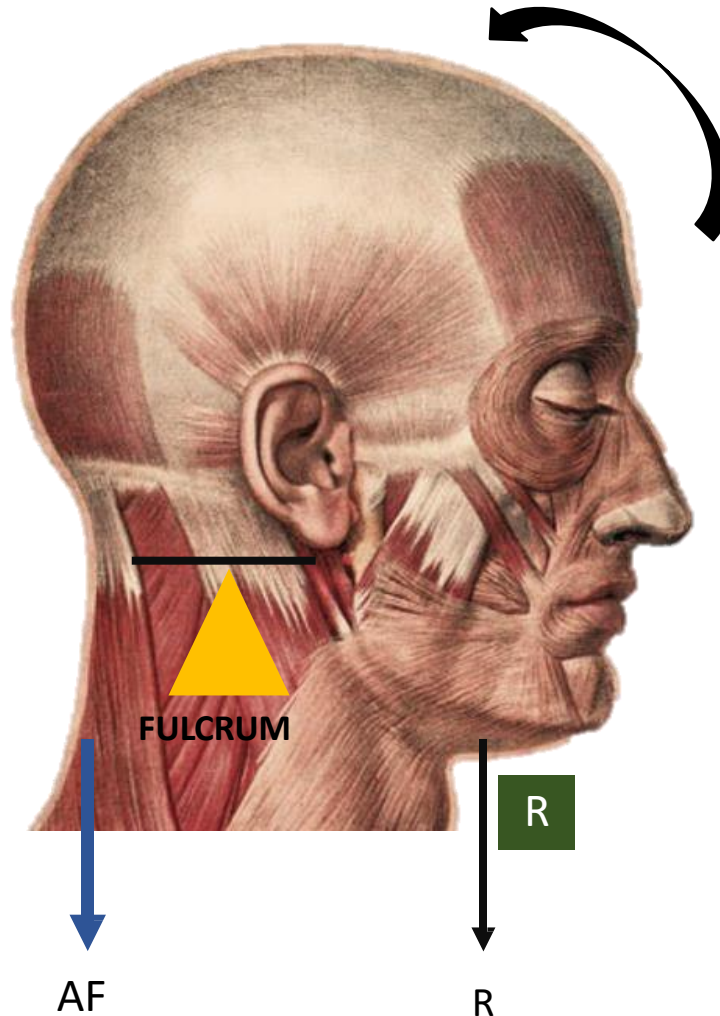
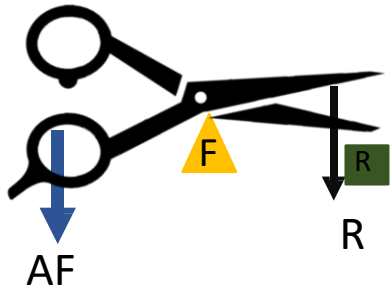
Leva di terzo genere



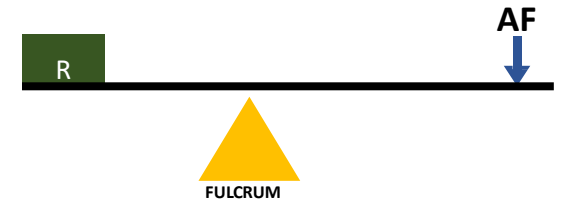
# LEVA DI PRIMO GENERE

## Vantaggiose, svantaggiose o indifferenti

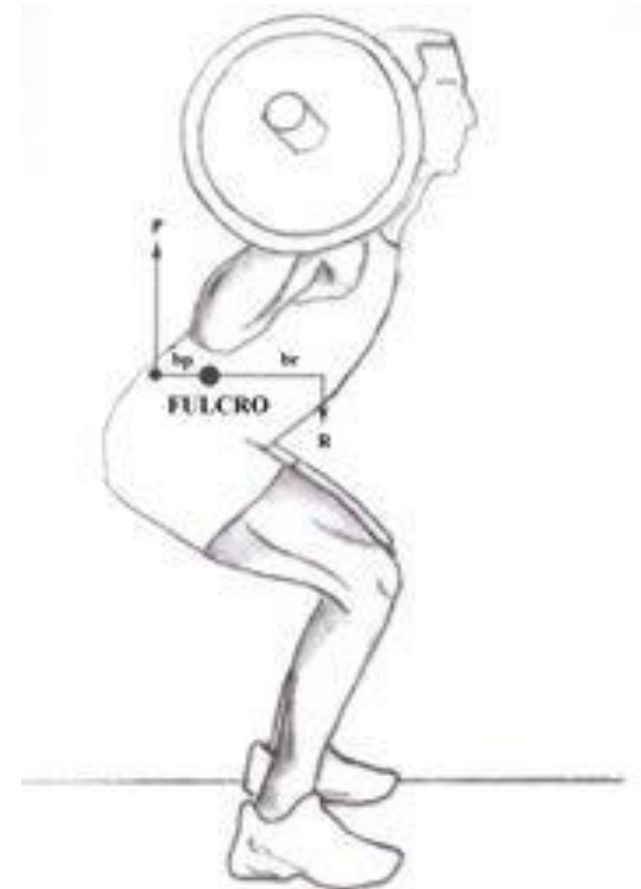
Il fulcro è collocato sull'articolazione tra il cranio e l'atlante; la resistenza è rappresentata dal peso anteriore del capo; la forza applicata risiede nei muscoli della nuca (splenio, parte alta del trapezio, spinale)



flesso-estensione del capo



Fulcro (F) si trova tra la forza applicata (AF) e la resistenza (R)



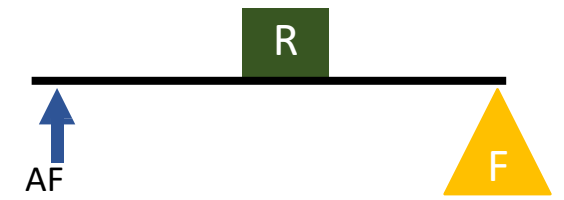
# LEVA DI SECONDO GENERE

Generalmente Vantaggiose

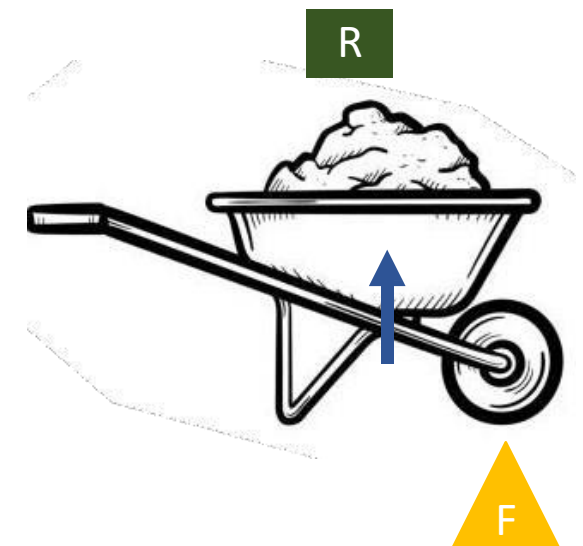
In questo tipo di leva la forza applicata è più lontana dal fulcro rispetto alla resistenza, pertanto è sufficiente una forza limitata per spostare un grande peso

Il fulcro è situato nelle articolazioni metatarso-falangee; la resistenza è prodotta dal peso del corpo; la forza applicata è esercitata dai muscoli posteriori della gamba (soleo, gastrocnemio).

Appoggio  
sull'avampiede



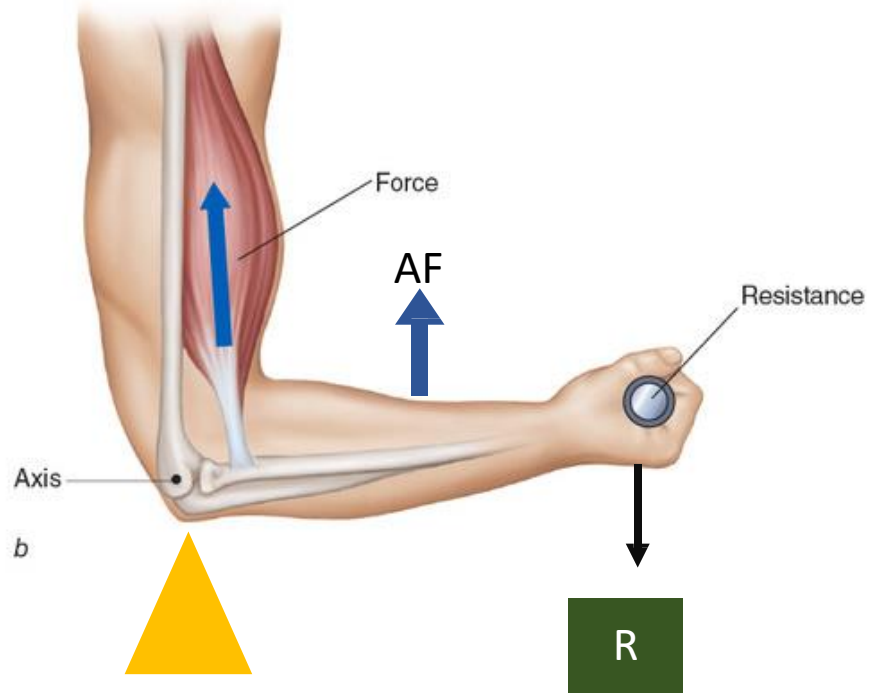
La resistenza (R) si trova tra la forza applicata (AF) ed il fulcro (F)



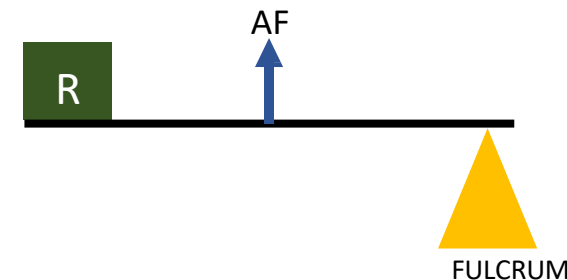


## LEVA DI TERZO GENERE

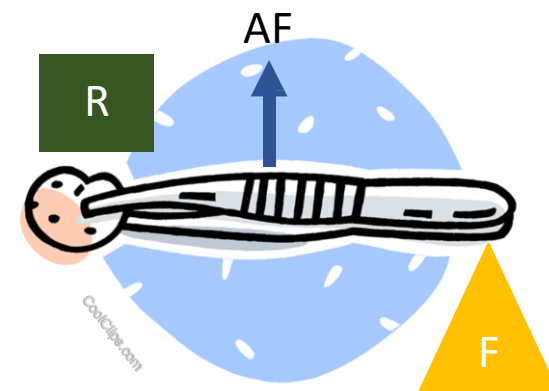
Generalmente Svantaggiose



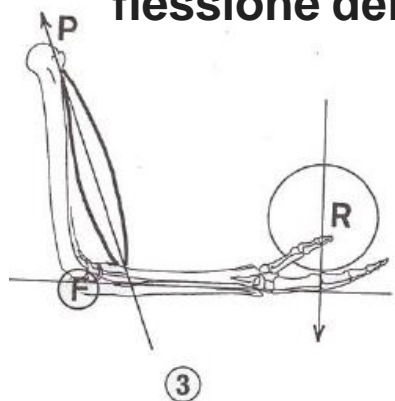
Il fulcro è posto nell'articolazione omero-radiale; la resistenza è generata dal carico dell'avambraccio; la forza applicata è attivata dal bicipite brachiale.



La forza applicata (AF) si trova tra la resistenza (R) ed il fulcro (F)



**flessione dell'avambraccio**



Le leve di 3° tipo sono tra le più diffuse nel corpo umano. I risultati sono opposti a quelli delle leve del 2° tipo, in quanto con l'aumento della velocità e della distanza di spostamento aumenta anche la forza.

## SOLLECITAZIONI MECCANICHE

Le attività presuppongono movimenti del corpo o di sue parti, che producono sollecitazioni meccaniche sullo scheletro. Ciò le rende un importante fattore morfogenetico dello scheletro nel corso dello sviluppo ontogenetico.

Il tessuto osseo è un tessuto vivo ed in continuo turnover e rimaneggiamento nel corso di tutta la vita dell'individuo.

Esso risponde alle sollecitazioni esterne ed interne e ne conserva traccia.

**N.B.: Sollecitazioni intense, legate ad attività particolarmente gravose, possono anche agire per periodi protratti di tempo**



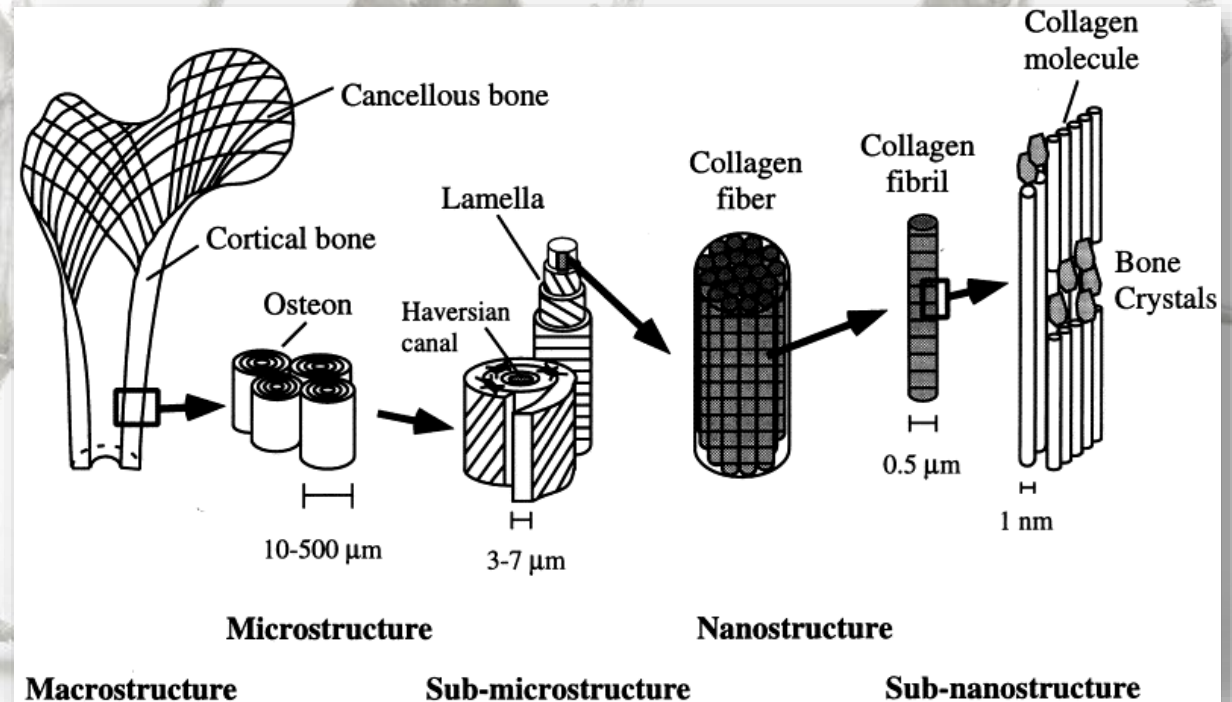
# PROPRIETÀ MECCANICHE DELLE OSSA

L'osso corticale è un tessuto denso che contiene meno del 10% di tessuto molle.

L'osso spugnoso è costituito da trabecole a forma di placche o barre intercalate tra il midollo osseo

La matrice extracellulare dell'osso è composta prevalentemente da collagene di tipo 1, le cui fibre adottano un orientamento preferenziale con conseguente formazione di osso lamellare. Nell'osso corticale, queste lamelle sono disposte in modo concentrico intorno ai sistemi Haversiani, mentre nell'osso spugnoso sono parallele l'una all'altra.

L'osso corticale rappresenta l'80% della massa scheletrica e quindi supporta la maggior parte della funzione meccanica



# MECHANICAL STRESS

Quando si applicano forze ai tessuti muscoloscheletrici umani si creano carichi

**La compressione** è quando la forza esterna tende a schiacciare le molecole di un materiale.

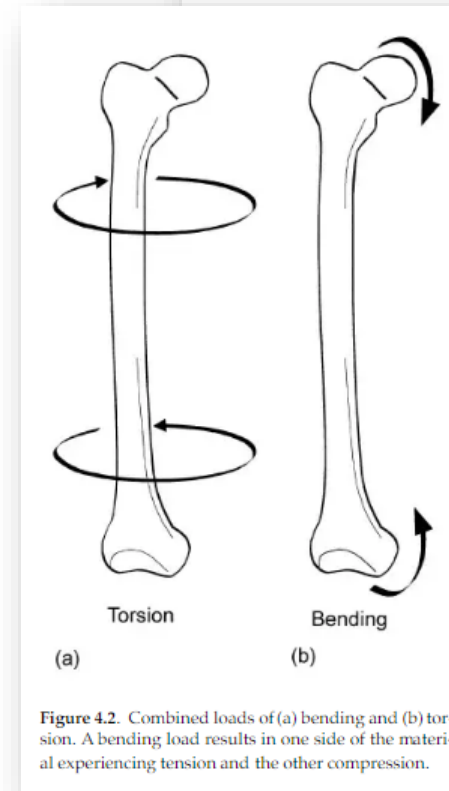
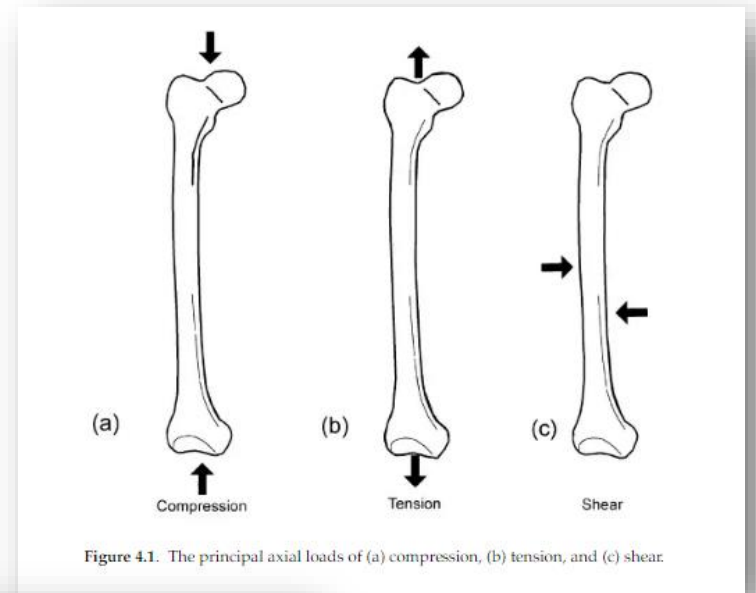
**La tensione** è quando il carico agisce per allungare o tirare il materiale

**Il taglio** è un carico ad angolo retto che agisce in direzioni opposte.

Quando molte forze agiscono su un corpo, possono combinarsi per creare carichi combinati chiamati torsione e flessione

Quanto duramente lavora un carico per cambiare la forma di un materiale viene misurato dalla **sollecitazione meccanica** ed è definita come la forza per unità di superficie all'interno di un materiale.

**Mechanical stress** ( $\sigma = \mathbf{F}/A$ )



# MECHANICAL STRESS

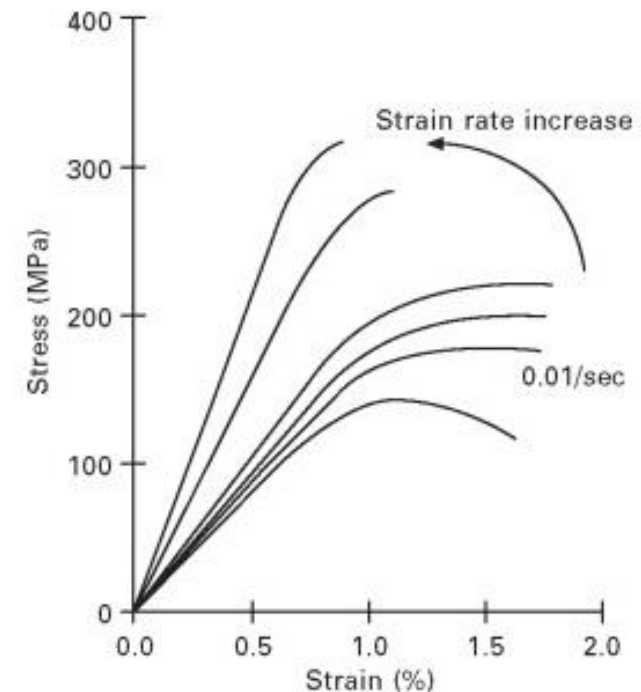
L'osso corticale ha una resistenza maggiore in compressione che in tensione ed è più forte in direzione longitudinale che in direzione trasversale

Tuttavia, è relativamente fragile per il carico trasversale.

L'osso corticale mostra un comportamento viscoelastico, cioè è sensibile sia alla velocità di deformazione che alla durata dei carichi applicati

Le proprietà meccaniche dell'osso corticale si deteriorano progressivamente con l'invecchiamento sia per gli uomini che per le donne

Tuttavia, grazie alla sua capacità di rimodellamento, la rottura a fatica può essere ridotta in modo significativo. Le fratture che si sono formate durante le attività faticose possono essere chiuse e riparate attraverso l'attività di rimodellamento dell'osso.



# ASPETTI BIOMECCANICI DELLA RIPARAZIONE OSSEA

---

A tassi di deformazione molto elevati che rappresentano un trauma ad alto impatto, l'osso corticale diventa più fragile.

L'osso corticale mostra una transizione da duttile a fragile all'aumentare della velocità di deformazione.

Nella fase primaria, la frattura inizia a causa della concentrazione di stress locale data dai canali Haversiani. Queste microfratture si propagano e tendono ad unirsi una volta che progrediscono oltre la fase di iniziazione.

Nella fase secondaria, la propagazione della frattura si traduce in una lenta ma costante ulteriore diminuzione della rigidità e della resistenza

Nella fase terziaria, la frattura è preceduta da una rapida diminuzione della capacità di sostenere il carico

Le fratture possono quindi attraversare l'osso e indurre il cedimento dell'osso.



# SOLLECITAZIONI MECCANICHE

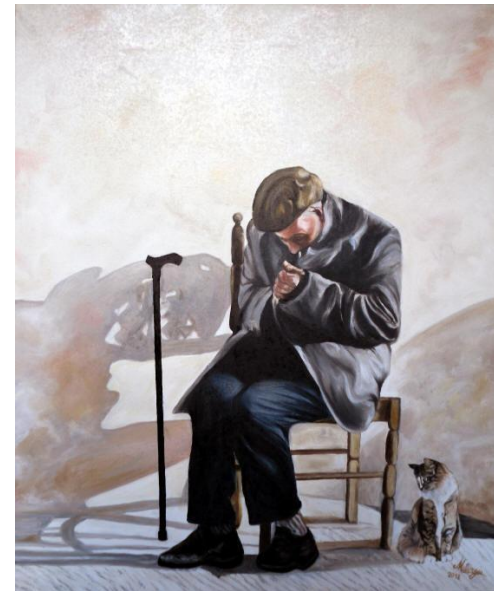
Le sollecitazioni meccaniche sull'osso possono essere

**Microtraumatiche:** sollecitazioni di lieve entità ma protratte nel tempo (legate all'età)

**Attività abituali:** locomozione, posture abituali, occupazioni abituali

**Macrotraumatiche:** sollecitazioni di forte entità, che agiscono nell'arco di un breve periodo di tempo

**Attività o eventi occasionali** (che però, in alcuni casi, possono essere resi più frequenti dalle attività abitualmente svolte): fratture, distorsioni, operazioni chirurgiche, ecc.



# SOLLECITAZIONI MECCANICHE

---

## MSM

### Muscle skeletal Stress

Alterazioni delle aree di inserzione legate all'utilizzo più o meno consistente e prolungato di precisi muscoli e complessi funzionali.

*MSM o ENTHESIAL*

*CHANGES: Metodo Mariotti et al. Coll. Anthropol. 2004 e 2007*  
distinzione tra:

#### 1. ROBUSTEZZA:

**entèsi** nell'ambito della normalità, risposte di tipo fisiologico alle sollecitazioni meccaniche di tipo micro-traumatico.

#### 3 gradi:

1-sviluppo da molto basso a medio (con 3 sotto-livelli)

2 -sviluppo alto

3 -sviluppo molto alto

#### 2. ENTESOPATIE

risposta "patologica" dell'osso alle sollecitazioni.

2 forme:

**EF** = proliferativa, entesofiti

**OL**= osteolitica, erosiva, pitting

#### 4 gradi:

0= assente

1= lieve (< 1mm)

2 = medio (1 –4 mm)

3 = evidente (> 4 mm) nr= non rilevabile



# SOLLECITAZIONI MECCANICHE

---

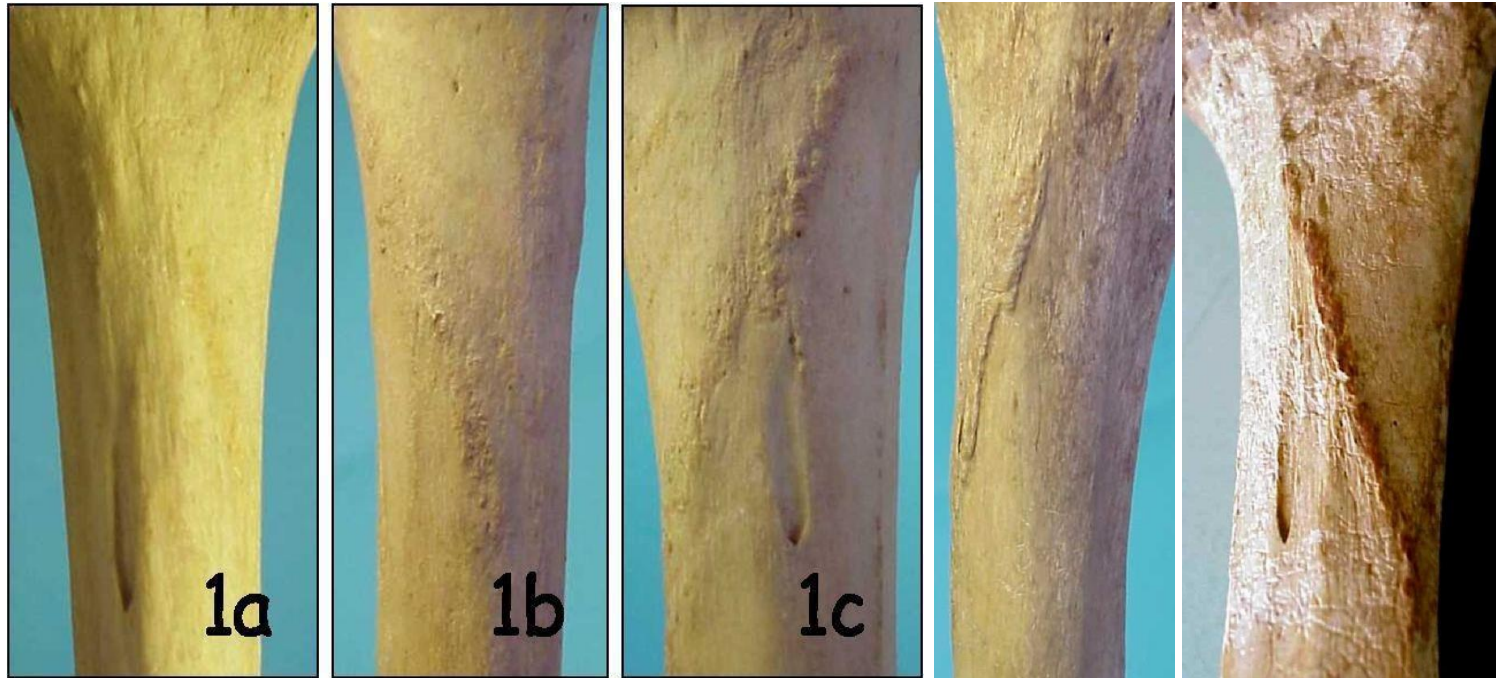
## *MSM*

*Muscle skeletal Stress Markers*



*MSM o ENTHESIAL CHANGES:*

distinzione tra:

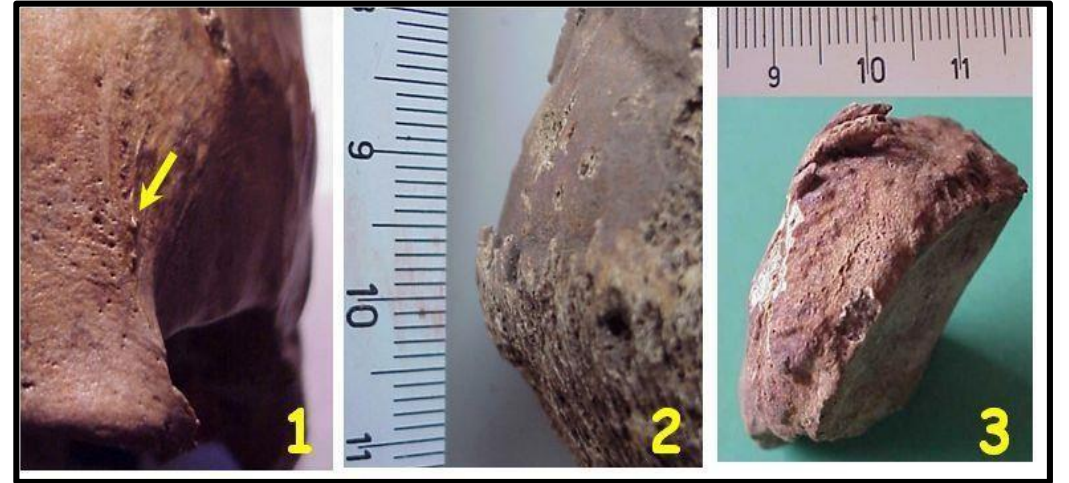


**gradi: 1 -sviluppo da molto basso a medio  
(con 3 sotto-livelli)**

**2- sviluppo  
alto**

**3 -sviluppo  
molto alto**

# SOLLECITAZIONI MECCANICHE



# ENTESOPATIE

OL= osteolitica, erosiva, pitting

4 gradi:

0= assente

1= lieve (< 1mm)

2 = medio (1 –4 mm)

3 = evidente (> 4 mm) nr= non rilevabile

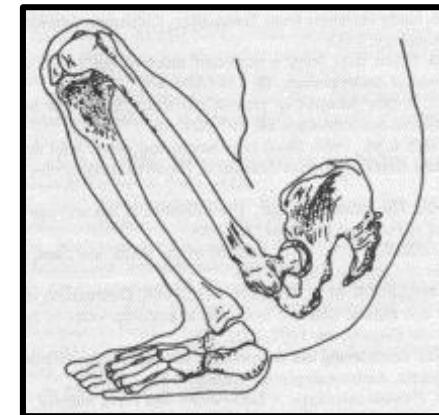
EF = proliferativa, entesofiti



## MODIFICAZIONI ARTICOLARI

Alterazioni presso le articolazioni tra ossa contigue legate al compimento di precisi movimenti, al mantenimento di determinate posture e allo scarico di pesi e forze lungo le articolazioni maggiori del corpo in vita.

**Faccette di squatting:** con il termine *squatting* si intende una postura accoccolata abituale, caratterizzata da iperflessione abituale di ginocchia e caviglie che provoca la formazione di faccette articolari supplementari sulla superficie anteriore dell'epifisi tibiale, sul collo del femore, e sulle superfici malleolare e trocleare dell'astragalo (Baulle, 2001)



# ARTROSI

Patologia degenerativa articolare, non infiammatoria, cronica e progressiva caratterizzata dalla perdita di cartilagine articolare e conseguenti lesioni derivanti dal contatto interosseo diretto.

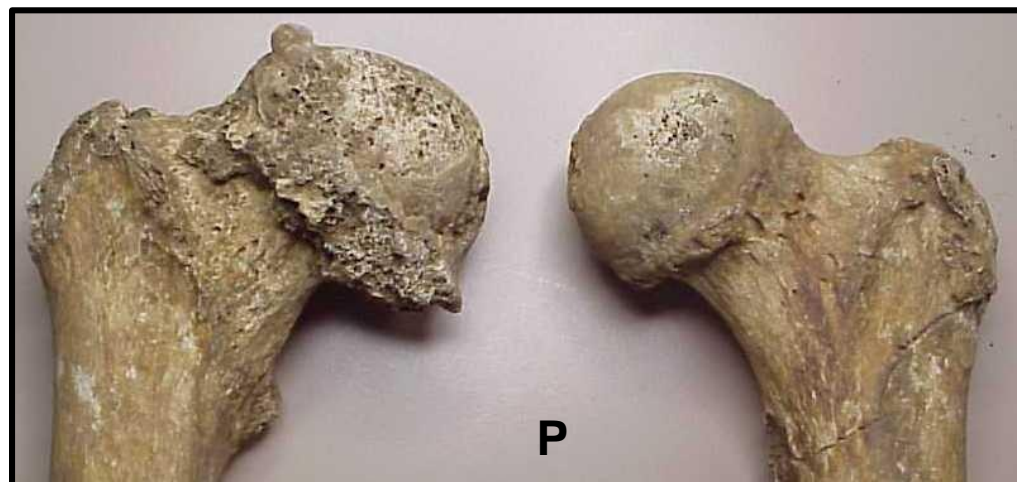
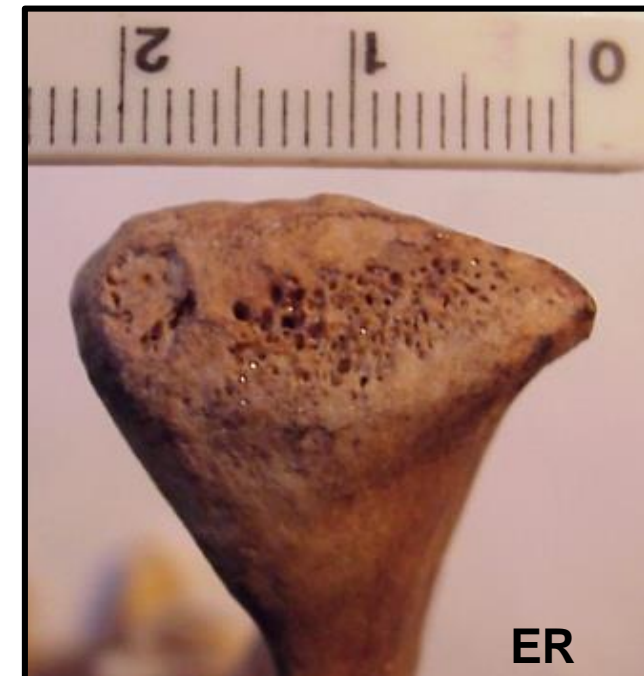
**EB** = eburneazione  
(patognomonica)

**ML** = *marginal lipping*

**ER** = erosione

**EX** = esostosi

**P** = perdita del contorno



## ALTRE ALTERAZIONI PATOLOGICHE LEGATE A STRESS FUNZIONALE

---



Ernie di Schmorl



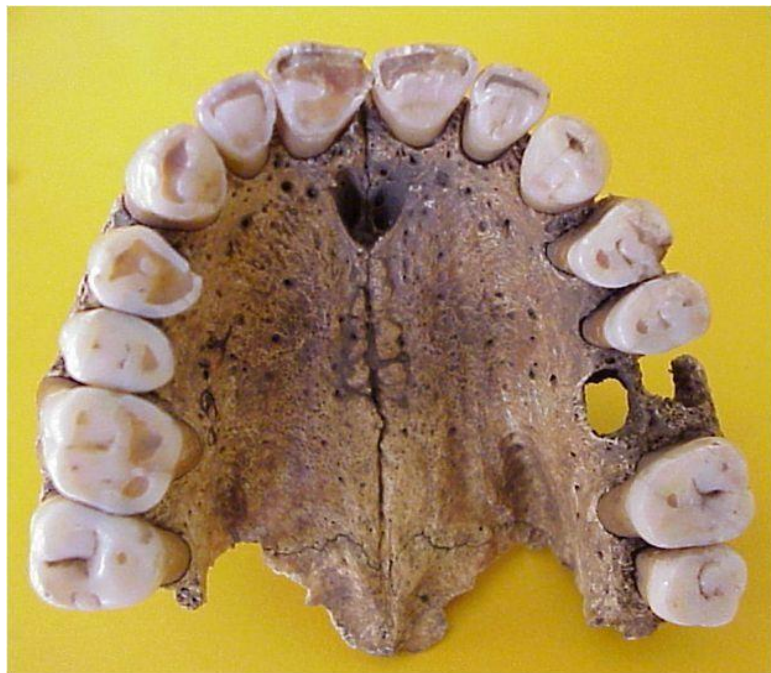
Schiacciamento vertebre



Fratture da stress: frattura ulna

## USURE DENTARIE ANOMALE

---





Grazie