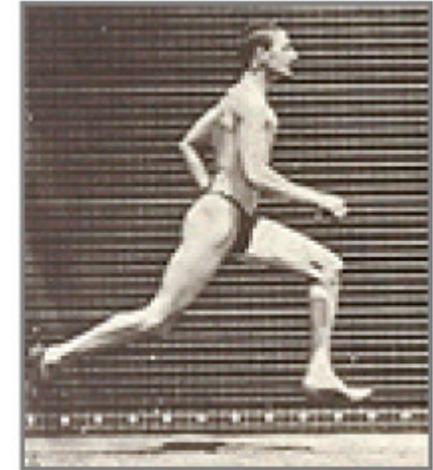




Il movimento



Biomeccanica del movimento
Prof.ssa Luciana Zaccagni



Premessa

Lo studio e la concezione e del movimento sono stati negli anni influenzati da ideologie filosofiche, politiche, economiche e psicologiche che hanno assegnato al corpo un significato limitato e secondario rispetto alla mente.

Oggi si è arrivati alla consapevolezza dell'unità biologica della persona nella quale vi è l'inscindibilità della mente dal corpo. L'educazione dell'uomo attraverso il movimento, pertanto, non può essere ridotta ad un insieme di esercizi fisici o di attività di moto standardizzate e tecnicistiche che valorizzano solo risultati ed effetti di tipo esclusivamente fisico-motorio ma deve, al contrario, essere rivolta ad una attenta valutazione degli effetti sulla globalità della persona.

- Ecco perché lo studio delle attività motorie deve inevitabilmente tener conto, integrarsi ed arricchirsi di tutti gli studi scientifici e di quelle conoscenze consolidate delle scienze umane come l'anatomia, la fisiologia, la biomeccanica, la psicologia, la pedagogia e la sociologia.
- Solo un approccio di tipo pluridisciplinare potrà valorizzare il movimento come una tra le più importanti funzioni organiche indispensabili per l'evoluzione dell'uomo, per il mantenimento del benessere psico-fisico e per la prevenzione dell'invecchiamento.

Approccio psicologico

Il corpo ed il movimento sono stati rivalorizzati nell'ambito di differenti contesti:

- nella fenomenologia di M. Ponty, secondo la quale il corpo è alla base della consapevolezza e della certezza di essere al mondo, e pertanto l'uomo ha la certezza del mondo;
- nella psicologia della conoscenza di Piaget e Bruner. Per Piaget la conoscenza e lo sviluppo dell'intelligenza partono dalla motricità e dalla azione. J. Bruner ha poi individuato l'azione come primo stadio dello sviluppo intellettuale a cui seguono quello delle immagini, o iconico, e quello astratto, o simbolico;
- nella psicologia dell'americano A. Gesell, che nei suoi studi ha dimostrato il ruolo dello sviluppo motorio per la formazione della personalità infantile;

- nella psicobiologia di H. Wallon, dove per la prima volta si ritrova il concetto di uomo come unità biologica e di corpo come mezzo di relazione con il mondo e con gli altri;
- nelle teorie psicoanalitiche - di Freud, M. Klein ed Erickson - il corpo diventa uno strumento di comunicazione e di manifestazione di sé, e l'accettazione di esso è determinante per conseguire una identità positiva;
- nella psichiatria infantile di J. de Ajuriaguerra il movimento diventa un linguaggio relazionale con l'ambiente e con gli altri;
- nella psicopatologia lo studioso R.A. Spitz ha dimostrato le correlazioni esistenti tra disturbi del comportamento e disturbi psicomotori.

Approccio Pedagogico

Appurato che il movimento è indispensabile all'uomo in quanto influisce in misura determinante sullo sviluppo di tutte le funzioni (intellettiva, comunicativa, motoria e socio-affettiva), le attività motorie diventano un mezzo a disposizione dell'educatore per aiutare:

- il bambino a crescere
- l'adulto a sviluppare e mantenere le proprie capacità
- l'anziano a ritardare il processo di invecchiamento.

N.B. Il concetto di movimento come mezzo educativo e non come fine ci allontana dalla visione di coloro (atleti, tecnici, allenatori e dirigenti sportivi) che lo utilizzano solo ed esclusivamente per ottenere una prestazione motoria.

Che cosa è il movimento?

- La definizione più completa è ritenuta quella che lo caratterizza come ***una tra le più importanti funzioni organiche dell'uomo***. La vita dell'uomo si manifesta attraverso il movimento non solo quando ci spostiamo nello spazio (camminiamo, andiamo in bicicletta, corriamo ecc.), ma anche quando provvediamo ai nostri bisogni essenziali come il mangiare, il bere. Spesso ci muoviamo anche nel sonno, e quando non lo facciamo il nostro battito cardiaco ed i nostri atti respiratori non conoscono stasi o interruzioni.
- Possiamo addirittura affermare che vi è movimento anche nel **mantenimento di posizioni statiche** che apparentemente non lo denotano. Quando siamo 'fermi' in stazione eretta o seduti lo possiamo fare grazie a contrazioni statiche di alcuni nostri distretti muscolari che, per consentirci di mantenere quella posizione, esprimono una tensione sufficiente per opporsi alla forza di gravità.

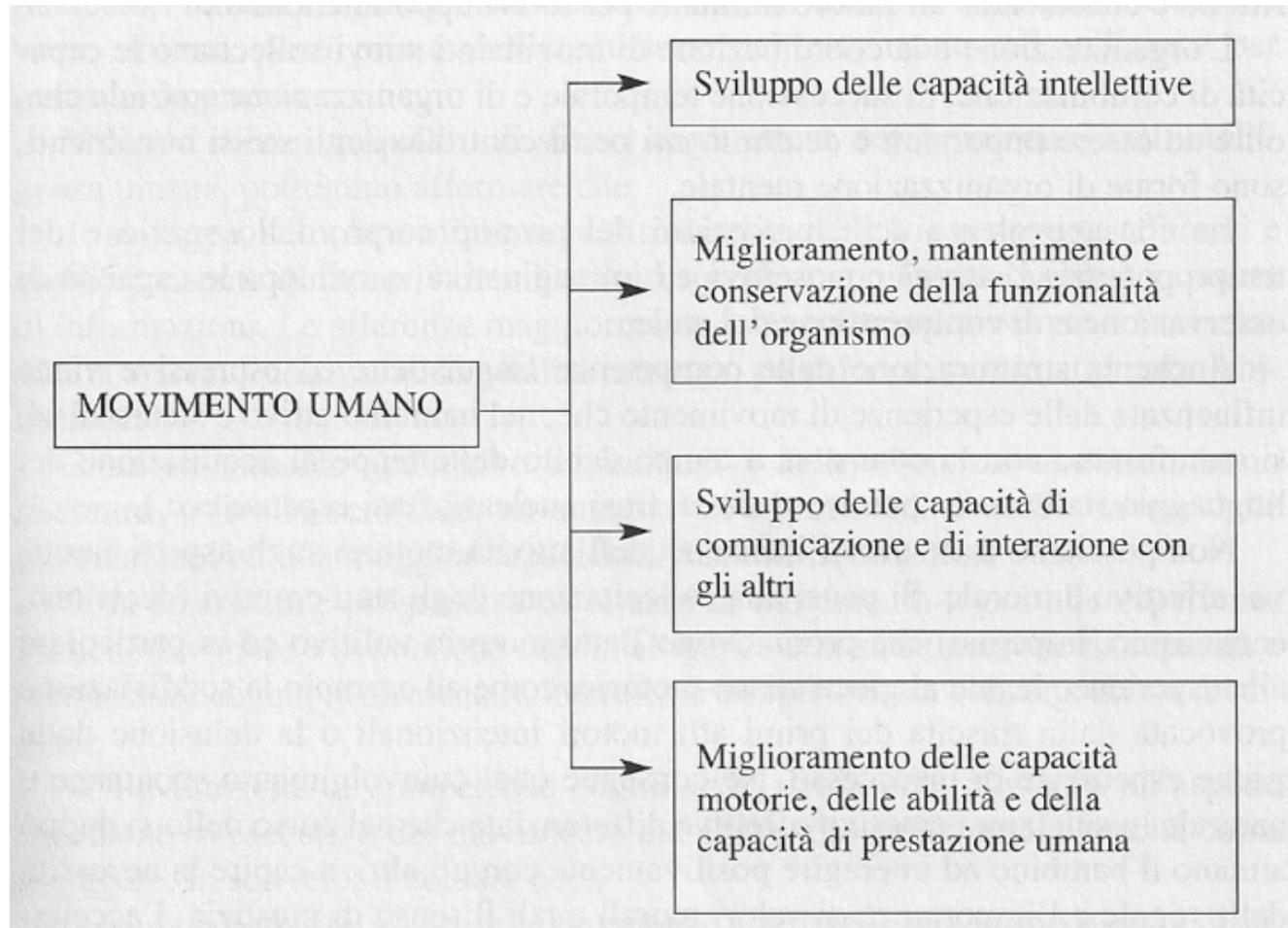
- Il benessere e la qualità della vita dell'uomo dipendono da diversi fattori e la corretta gestione delle attività di movimento è uno di questi, in quanto il nostro corpo è fatto per muoversi (l'apparato locomotore costituisce circa il 70% della massa corporea).
- Un buon equilibrio tra attività mentale ed attività fisica è una condizione essenziale per il benessere individuale. Dal punto di vista statistico, circa due terzi degli italiani conducono una vita sedentaria e molte problematiche che interessano gli adulti e gli anziani di oggi dipendono dalla ipocinesi o carenza di movimento.
- Gli effetti positivi del movimento su alcune parti del nostro corpo, sull'umore e sul cervello sono noti ormai da anni, e le ultime ricerche ribadiscono e consigliano di effettuare una scelta di vita che tenga in grande considerazione l'attività fisica.

Effetti attività motoria

- Tanti sono gli effetti di una attività motoria costante, ad intensità moderata e protratta nel tempo. Sulle **ossa**: l'esercizio fisico svolge una importante azione preventiva ritardandone l'invecchiamento ed aiuta a combattere l'osteoporosi rendendo il tessuto osseo più elastico e meno fragile; sulle **articolazioni**: le mantiene in attività e previene e cura l'artrite; sul **cuore**: negli individui attivi diminuisce il rischio di infarto e tutto l'apparato cardiocircolatorio funziona meglio.
- L'attività fisica regolare, che non sia troppo intensa e saltuaria ma moderata, frutto di una scelta consapevole e di abitudini costanti, rappresenta oggi il modo più naturale, gratificante ed economico per mantenere lo stato di salute e di benessere di chi è sano e per prevenire molte situazioni di malessere. L'uomo di oggi infatti paga le conseguenze di una involuzione, determinata dalle sue stesse scoperte e conquiste, che lo hanno portato a ridurre la quantità di movimento, e questa situazione di ipocinesi è rinvenibile in differenti contesti.

- Gli studi sull'evoluzione del bambino dimostrano in modo inconfutabile che nell'età dello sviluppo le attività di movimento producono effetti positivi sull'intelligenza, sull'interazione sociale, sullo sviluppo del carattere e dell' affettività.
- Il movimento è dunque, per tutte le età, **una grande funzione organica che consente all'uomo di crescere, mantenere un buono stato di salute, interagire con l'ambiente**. Questa consapevolezza ci induce a coltivarlo ed a considerarlo importante ed indispensabile in tutti i momenti della nostra vita.

Funzioni



- Il movimento produce effetti su tutte le parti dell'organismo umano e la sua carenza o mancanza si ripercuote negativamente su tutta la persona. Tali effetti sono differenti riguardo a qualità e quantità a seconda dell'età del soggetto:
- Effetti che favoriscono lo sviluppo delle principali funzioni organiche in età evolutiva
- Effetti che facilitano la conservazione dell'efficienza fisico-motoria nell'età adulta
- Effetti che aiutano a prevenire e ritardare il processo di invecchiamento nell'età anziana

	<i>Età evolutiva</i>	<i>Età adulta</i>	<i>Età anziana</i>
<i>Apparato osseo</i>	Sviluppo in lunghezza ed in spessore	Stimolazione della nutrizione del tessuto osseo e mantenimento delle condizioni funzionali	Ritardo dell'invecchiamento osseo e prevenzione dell'osteoporosi
<i>Apparato articolare</i>	Mantenimento della mobilità fisiologica funzionale	Miglioramento della mobilità	Prevenzione delle artrosi e recupero e mantenimento della escursione articolare
<i>Apparato muscolare</i>	Sviluppo muscolare generalizzato e sviluppo del tono posturale e funzionale	Mantenimento del tono posturale e della funzionalità dell'intero apparato Ipertrofia Aumento della resistenza localizzata	Recupero e mantenimento del tono posturale
<i>Apparato cardiocircolatorio</i>	Sviluppo e potenziamento del muscolo cardiaco e di tutto l'apparato circolatorio periferico	Miglioramento e mantenimento della funzionalità cardiocircolatoria	Prevenzione delle trombosi, recupero e mantenimento della funzionalità cardiocircolatoria
<i>Apparato respiratorio</i>	Scoperta, conoscenza e miglioramento della funzionalità	Mantenimento della funzionalità	Recupero e mantenimento della funzionalità respiratoria
<i>Apparato digerente</i>		Mantiene la funzionalità dell'apparato favorendo i processi di digestione	Ad intensità moderata, facilita ed accorcia il processo digestivo

Effetti sulle ossa

- Durante l'attività fisica le ossa vengono sottoposte a sollecitazioni che stimolano le deposizioni di nuove fibre collagene e sali minerali. Inoltre, l'aumento della circolazione sanguigna favorisce la nutrizione ed il rifornimento di calcio. Questi due fenomeni fisiologici fanno di colui che si muove un atleta con ossa più dense e forti rispetto al sedentario.
- Altri due importanti effetti sono lo **sviluppo in larghezza** dell'osso, favorito dalle trazioni che i muscoli esercitano sull'apparato scheletrico e lo **sviluppo in lunghezza**, che influisce sulla statura dell'individuo, favorito da un aumento di produzione di nuove cellule ossee a livello epifisario.
- Influenza sulla produzione di tre ormoni: GH, paratormone e calcitonina con effetti: allungamento e rigenerazione del tessuto osseo, un più efficace metabolismo del calcio e fosforo.

- Non dobbiamo però nascondere i rischi di un eccessivo sovraccarico, causa di stati infiammatori o di veri e propri danni alle strutture ossee e cartilaginee specie al riguardo delle cartilagini di coniugazione con una conseguente inibizione parziale o totale della crescita in lunghezza, dei nuclei epifisari con la degenerazione a carico delle cartilagini articolari e di tutti i complessi inserzionali, dove il carico sproporzionato espone in età evolutiva al rischio di disinserzioni o rotture dei corpi tendinei.

Leggi rapporto movimento-ossa

la legge *di Wolff* : «ogni stimolo funzionale porta ad una modificazione dell'osso»,

la legge *di Roux*: «ogni aumento di forza pressoria costituisce una stimolazione per la formazione di nuovo tessuto osseo, mentre la diminuzione della forza applicata causa un esaurimento della produzione di osso».

la legge *di Delpech*: «ogni volta che un osso è messo in una posizione abituale anormale, la sua crescita diventa anormale e tende a deformarlo; pressioni costanti e sproporzionate rallentano la crescita dell'osso»,

la legge *di Arnolt-Schulze*: «deboli eccitamenti danno origine ad attività vitale, eccitamenti medi la stimolano, quelli forti la danneggiano, quelli violenti la arrestano».

Effetti sulle articolazioni

L'apparato articolare trae dall'esercizio fisico una serie di benefici così riassumibili:

- mantenimento fisiologico della mobilità articolare funzionale alle abitudini motorio-sportive dell 'individuo;
- irrobustimento articolare e maggior stabilità dell'articolazione;
- aumento o recupero della mobilità articolare;
- prevenzione dei processi degenerati vi a carico delle articolazioni e ritardo nell' invecchiamento dell' apparato articolare.
- Nel corso della vita le strutture articolari vanno incontro a processi di modifica del grado di mobilità e di ampiezza articolare che dipendono non solo da fattori ormonali, ma anche da abitudini di movimento prevalentemente legate all'età.

Movimento come mezzo per una educazione globale e per la
FORMAZIONE DELLA PERSONALITÀ

Crescita motoria
(avviene attraverso il passaggio
da forme motorie riflesse a forme
intenzionali e volontarie
per approdare all'acquisizione
progressiva di abilità complesse
automatizzate)

Acquisizione dello schema corporeo.
Sviluppo degli schemi motori.
Miglioramento delle capacità
di movimento.
Sviluppo delle abilità complesse.

Crescita intellettuale
(avviene attraverso la maturazione
del sistema nervoso e con
il passaggio dalla operatività
alla operatività formale astratta)

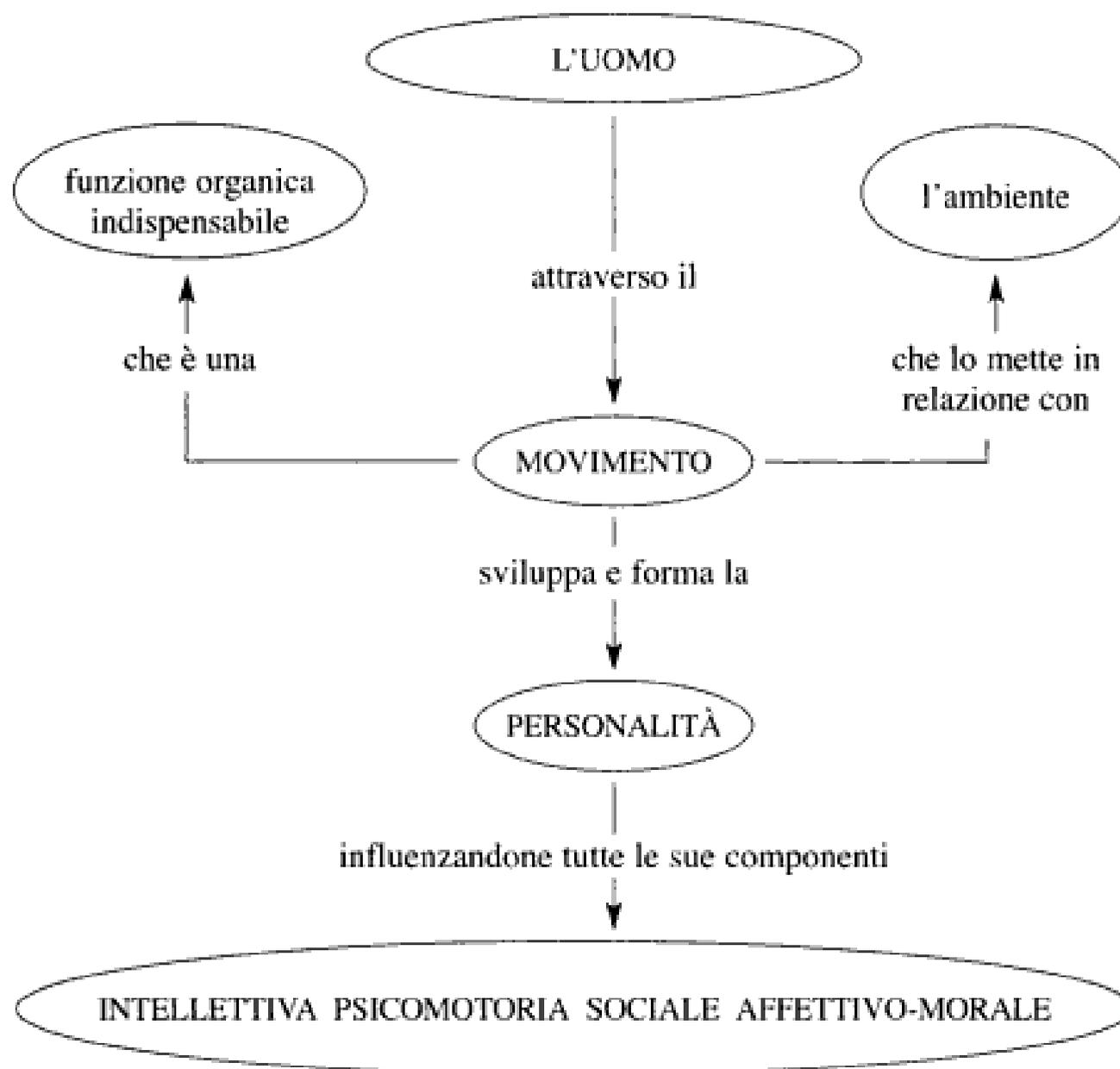
Sviluppo capacità senso-percettive.
Sviluppo capacità cognitive semplici
(attenzione, memorizzazione).
Sviluppo capacità cognitive intermedie
(analisi, elaborazione, scelta).
Sviluppo capacità cognitive superiori
(intuizione, pensiero convergente,
pensiero divergente).

Crescita sociale
(avviene con il passaggio
dall'egocentrismo a situazioni
di progressiva apertura verso l'altro)

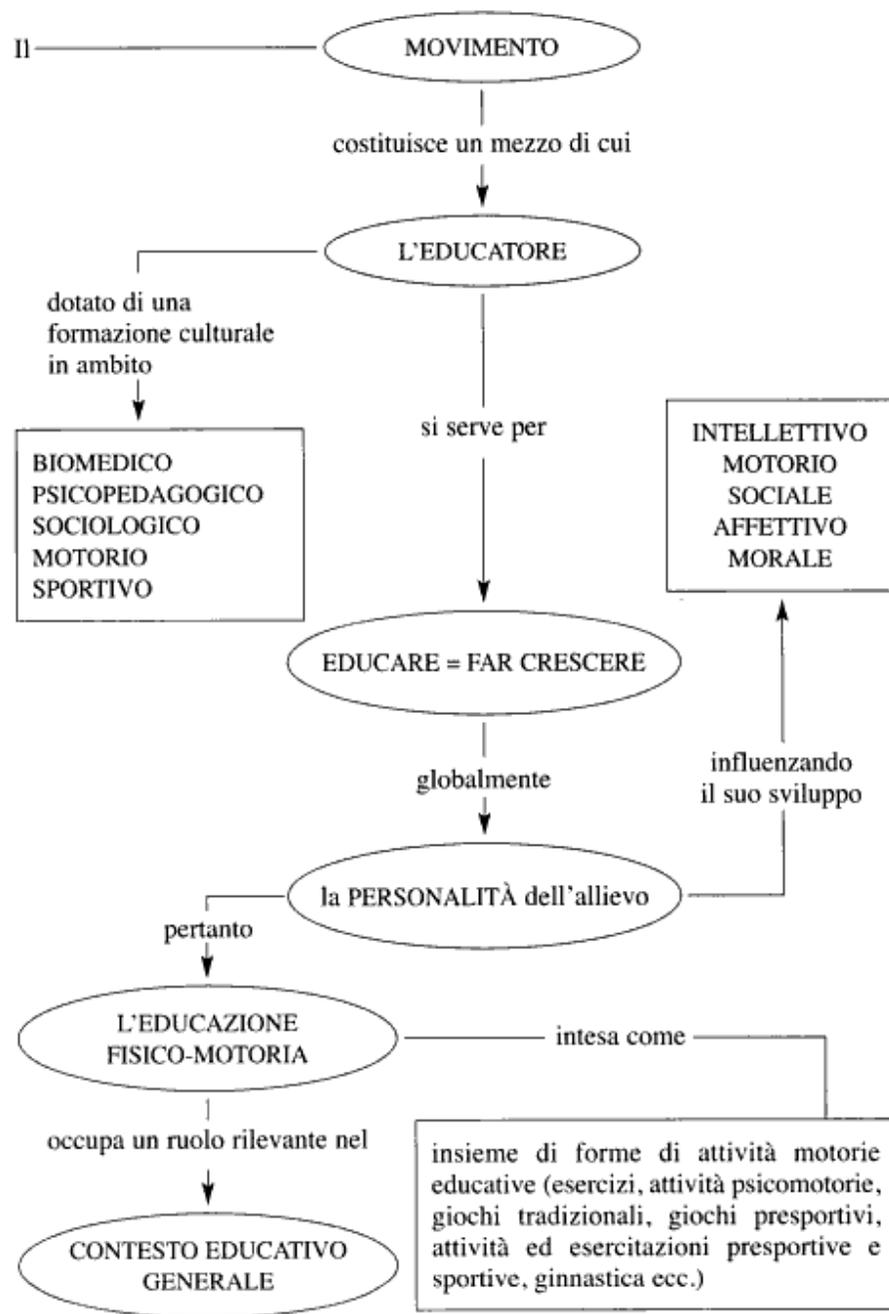
Capacità di:
accettare l'altro,
rappresentarsi e comprendere l'altro,
conoscere e collaborare con l'altro.
Scelte di:
fiducia nell'altro,
responsabilità nei confronti
dell'altro,
aiuto ed assistenza all'altro.

Crescita affettivo-morale
(avviene attraverso il passaggio
da una morale eteronoma ad una
autonoma ed un progressivo
controllo di sé e delle proprie
emozioni nei rapporti interpersonali)

Capacità di:
rispetto dell'altro,
rispetto delle regole,
stabilire e concordare regole comuni.
Capacità di gestire situazioni di
carico sociale ed emotivo.
Capacità di instaurare rapporti di
fiducia reciproca e di amicizia.



PEDAGOGIA DEL MOVIMENTO UMANO: SCHEMA RIASSUNTIVO DI RIFERIMENTO



classificazioni del movimento

Criterio neurofisiologico

<i>Classificazioni ed aggettivazioni dei movimenti</i>	<i>Tipologia e definizioni</i>
<i>Primitivi</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti innati legati alla funzione di sopravvivenza (respirazione, pianto, suzione, deglutizione ecc.) ed alle funzioni organiche fondamentali
<i>Riflessi o automatici</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti che avvengono automaticamente senza il controllo della volontà in reazione ad uno stimolo sensoriale. Si definiscono incondizionati quelli che vengono trasmessi geneticamente e condizionati quelli che si instaurano attraverso gli adattamenti all'ambiente
<i>Volontari o controllati</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti che, oltre ad essere voluti intenzionalmente, richiedono all'uomo un certo grado di attenzione, cura e controllo nell'esecuzione. Si manifestano in prevalenza nelle situazioni di apprendimento motorio
<i>Automatizzati</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti frutto della trasformazione di precedenti gesti volontari e controllati che, grazie alla ripetizione ed alla riuscita del processo di apprendimento motorio, si automatizzano diventando familiari, economici e precisi
<i>Patologici</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti non adeguati ad uno scopo risultanti da uno stato patologico del soggetto

Criterio biomeccanico

<i>Classificazioni ed aggettivazioni dei movimenti</i>	<i>Tipologia e definizioni</i>
<i>Traslatori</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimenti rettilinei o curvilinei di parti o del corpo <i>in toto</i> che presuppongono lo spostamento di tutti i punti del corpo in un'unica direzione (ad es. situazioni legate al corpo in volo)
<i>Rotatori o angolari</i>	<ul style="list-style-type: none">• Avvengono quando il corpo o un suo segmento si sposta attorno ad un asse di rotazione (ad es. movimenti analitici)
<i>Roto-traslatori</i>	<ul style="list-style-type: none">• Avvengono quando la somma di più movimenti angolari produce movimenti traslatori (ad es. nella deambulazione, la somma dei movimenti angolari dei segmenti coscia, gamba e piede produce un effetto di traslazione del corpo)

criterio chinesiologicalico

<i>Classificazioni ed aggettivazioni dei movimenti</i>	<i>Tipologia e definizioni</i>
<i>Flessione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento che riduce l'angolo tra due segmenti. Avviene sul piano sagittale verso l'avanti ad eccezione dell'articolazione del ginocchio dove avviene verso il dietro. Per il piede si parla di flessione dorsale verso l'alto e di flessione plantare verso il basso. Si parla inoltre di flessione o inclinazione a destra o a sinistra per i movimenti dei segmenti (capo e tronco) posti sull'asse mediano che avvengono sul piano frontale
<i>Estensione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento che aumenta l'angolo tra due segmenti. Può essere considerato il ritorno dalla flessione. Avviene solitamente sul piano sagittale verso il dietro
<i>Rotazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di un segmento attorno ad un asse di movimento. Si differenzia in rotazione interna o esterna (a destra o a sinistra per i segmenti posti sull'asse mediano) ed avviene sul piano orizzontale attorno ad un asse longitudinale
<i>Adduzione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento che avvicina un segmento all'asse mediale. Avviene sul piano frontale verso il dentro
<i>Abduzione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento che allontana un segmento all'asse mediale. Avviene sul piano frontale verso il fuori
<i>Pronazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione dell'avambraccio attorno al proprio asse verso l'interno che porta il palmo della mano verso il basso
<i>Supinazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione dell'avambraccio attorno al proprio asse verso l'esterno che porta il palmo della mano verso l'alto

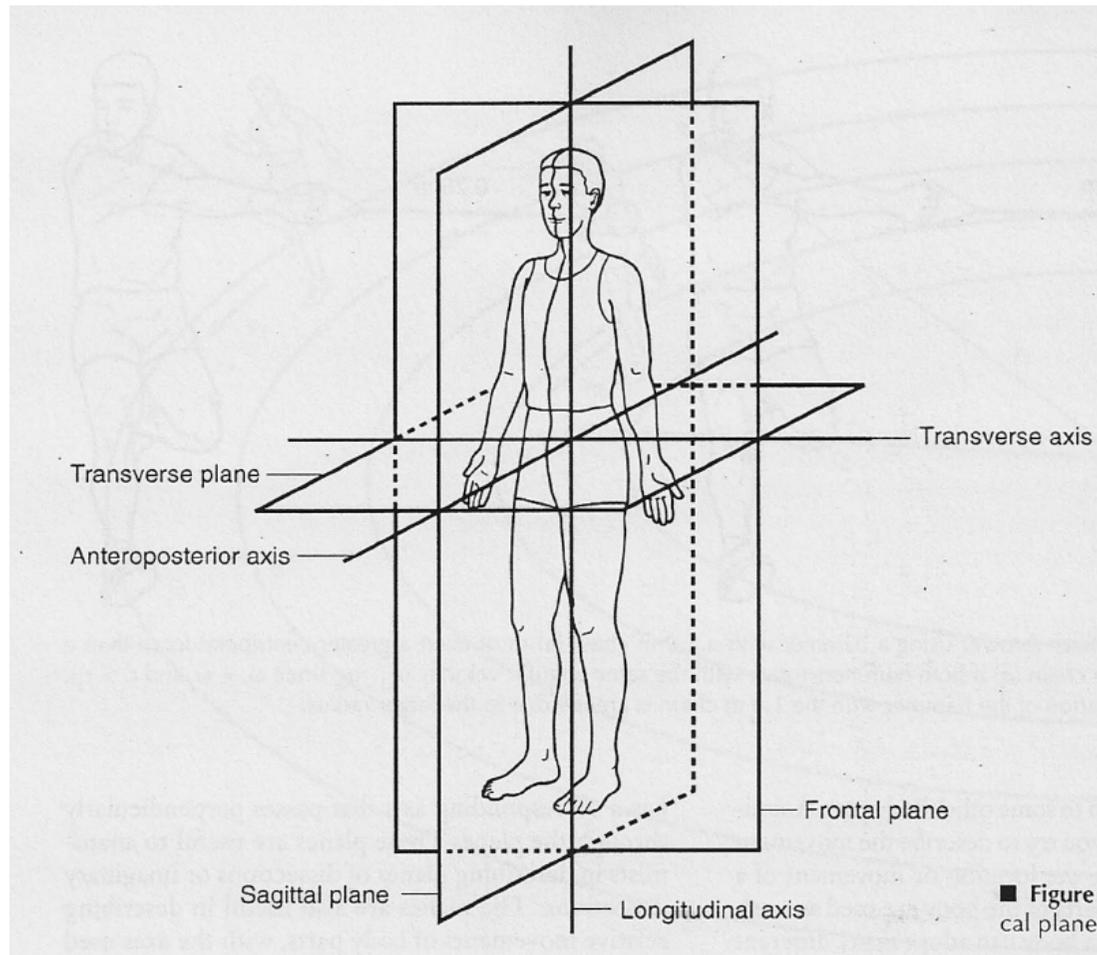
<i>Classificazioni ed aggettivazioni dei movimenti</i>	<i>Tipologia e definizioni</i>
<i>Protrazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione sul piano orizzontale della clavicola attorno all'asse longitudinale posto all'estremità mediale verso l'avanti
<i>Retrazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione sul piano orizzontale della clavicola attorno all'asse longitudinale posto all'estremità mediale verso il dietro
<i>Elevazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento traslatorio sul piano frontale della scapola o dell'emibacino verso l'alto
<i>Depressione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento traslatorio sul piano frontale della scapola o dell'emibacino verso il basso
<i>Antiversione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento del bacino che ruota verso l'avanti attraverso l'asse trasversale e che porta ad una accentuazione della lordosi lombare
<i>Retroversione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento del bacino che ruota verso il dietro attraverso l'asse trasversale e che porta ad una diminuzione della lordosi lombare
<i>Eversione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione del piede attorno al proprio asse verso l'interno che porta al sollevamento della parte laterale
<i>Inversione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Movimento di rotazione del piede attorno al proprio asse verso l'esterno che porta al sollevamento della parte mediale

Ambito motorio

<i>Componenti parziali</i>	<i>Classificazione</i>	<i>Connotazioni</i>
<i>Forza</i>	Movimenti: • blandi • moderati • intensi • eccessivi • massimali	Connotano differenti livelli di espressione di tensione muscolare
<i>Rapidità</i>	Movimenti: • lenti • a velocità naturale • veloci • in accelerazione • in decelerazione • a velocità costante	Connotano differenti modalità di velocità esecutiva
<i>Resistenza</i>	Movimenti di durata: • breve • media • lunga	Connotano differenti livelli di durata del movimento
<i>Mobilità articolare</i>	Movimenti: • ampi • di ampiezza naturale • brevi	Connotano differenti livelli di ampiezza articolare
<i>Orientamento spaziale</i>	Movimenti: • simmetrici • asimmetrici	Quando coinvolgono in misura eguale e contemporanea i segmenti pari (arti) o la parte destra e sinistra dei segmenti dispari (capo, tronco) Quando interessano un solo arto o una sola parte laterale (destra o sinistra) del corpo
<i>Orientamento temporale</i>	Movimenti: • contemporanei	Quando due parti del corpo si muovono alla stessa velocità ed allo stesso ritmo o entrano in azione nello stesso momento anche senza le condizioni precedenti

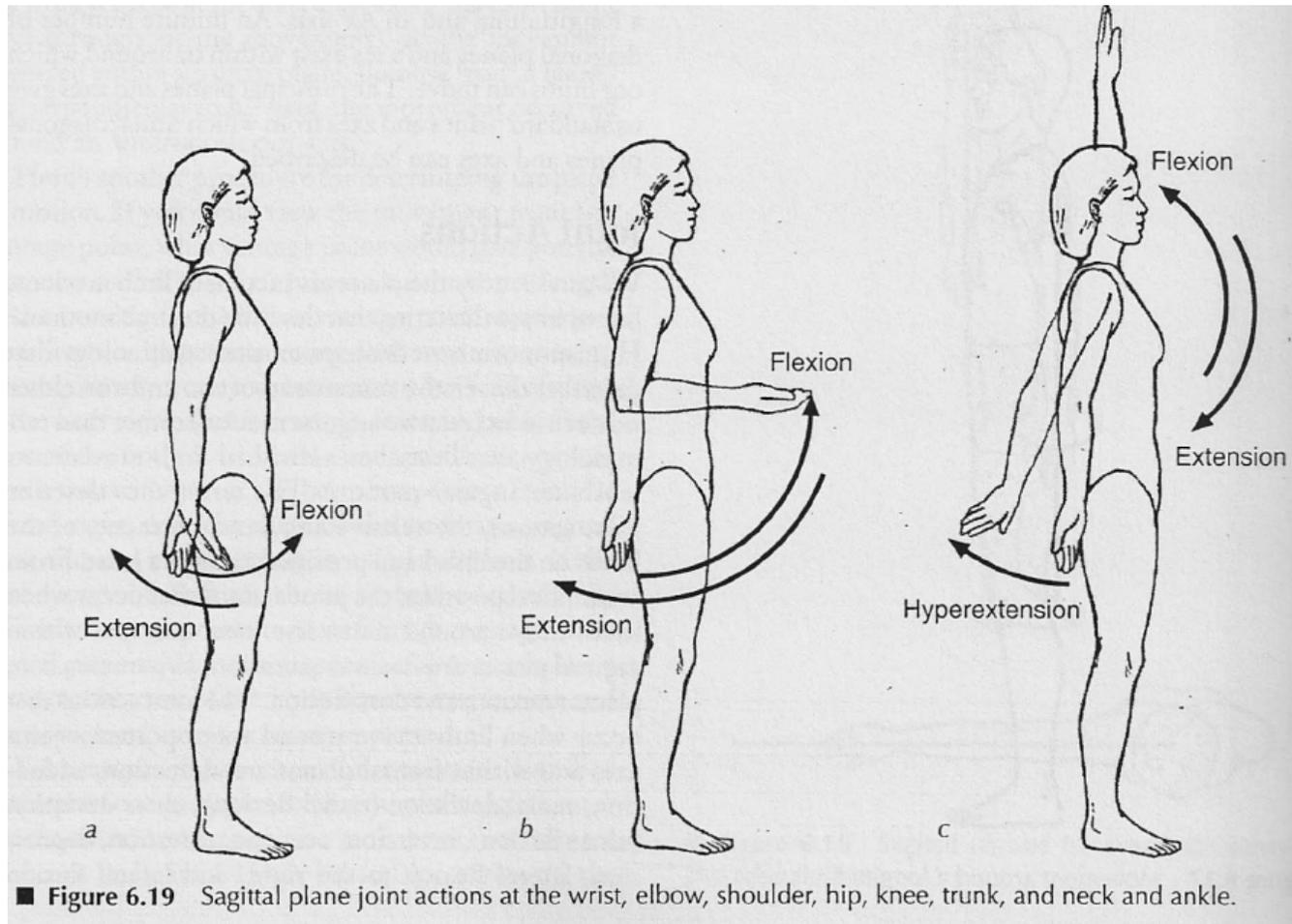
<i>Componenti parziali</i>	<i>Classificazione</i>	<i>Connotazioni</i>
	• successivi	Quando l'uno avviene dopo dell'altro
	• ciclici	Quando si ripetono periodicamente ad intervalli regolari. Tipologia: sport di durata, schemi motori più conosciuti e frequenti
	• aciclici	Quando non avvengono con periodicità Tipologia: sport di squadra, schemi motori meno frequenti
<i>Combinazione</i>	• segmentari o analitici • globali	Quando coinvolgono una sola parte del corpo (tronco, bacino, un arto, capo ecc.). Sono solitamente costruiti ed innaturali. Tipologia: flessione, estensione, adduzione, abduzione, rotazione Quando coinvolgono tutto il corpo in dipendenza della capacità di accoppiamento e combinazione di movimenti parziali. Sono movimenti naturali e/o automatizzati. Tipologia: schemi motori di base, azioni, gesti sportivi
<i>Ritmizzazione</i>	Movimenti: • cadenzati o a ritmo uniforme • a ritmo variato • aritmici	
<i>Grado di partecipazione del soggetto</i>	Movimenti: • attivi • passivi • misti	Quando sono compiuti coscientemente per realizzare uno scopo ben preciso senza alcun aiuto esterno. Sono il mezzo elettivo per incrementare le capacità dell'uomo. Possono essere: liberi, aiutati, contro resistenza Quando sono eseguiti sul nostro corpo da una forza esterna Possono essere in rilasciamento e/o forzati

Piani e assi cardinali

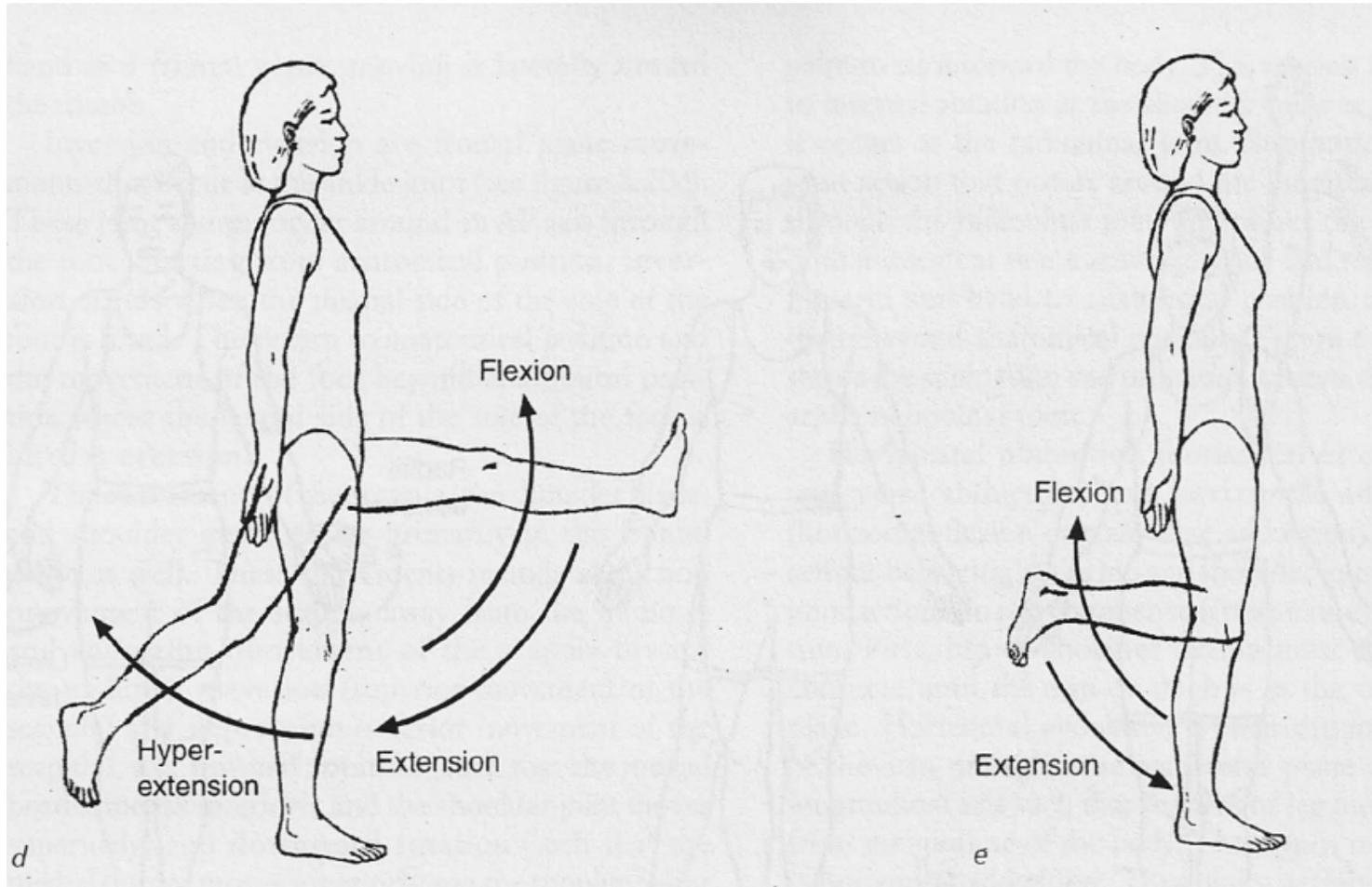


<i>Tipologia di piano</i>	<i>Funzione del piano</i>	<i>Movimenti analitici che avvengono sul piano</i>	<i>Attorno all'asse</i>
<i>Sagittale</i>	Divide il corpo in due metà: destra e sinistra	<ul style="list-style-type: none"> • Flessione (in avanti) • Estensione (in dietro) 	TRASVERSALE O TRAVERSO (percorre il corpo da un lato all'altro)
<i>Frontale</i>	Divide il corpo in due metà: anteriore e posteriore	Per i segmenti pari (arti) <ul style="list-style-type: none"> • Abduzione (in fuori) • Adduzione (in dentro) Per i segmenti posti sull'asse mediano (capo e tronco) <ul style="list-style-type: none"> • Inclinazione o flessione a destra • Inclinazione o flessione a sinistra 	ANTERO-POSTERIORE O SAGITTALE (percorre il corpo dal davanti al dietro)
<i>Orizzontale</i>	Divide il corpo in due metà: superiore ed inferiore	Per i segmenti pari (arti) <ul style="list-style-type: none"> • Rotazione interna (in senso mediale) • Rotazione esterna (in senso laterale) Per i segmenti posti sull'asse mediano (capo e tronco) <ul style="list-style-type: none"> • Rotazione a destra • Rotazione a sinistra 	LONGITUDINALE (percorre il corpo dalla testa ai piedi)

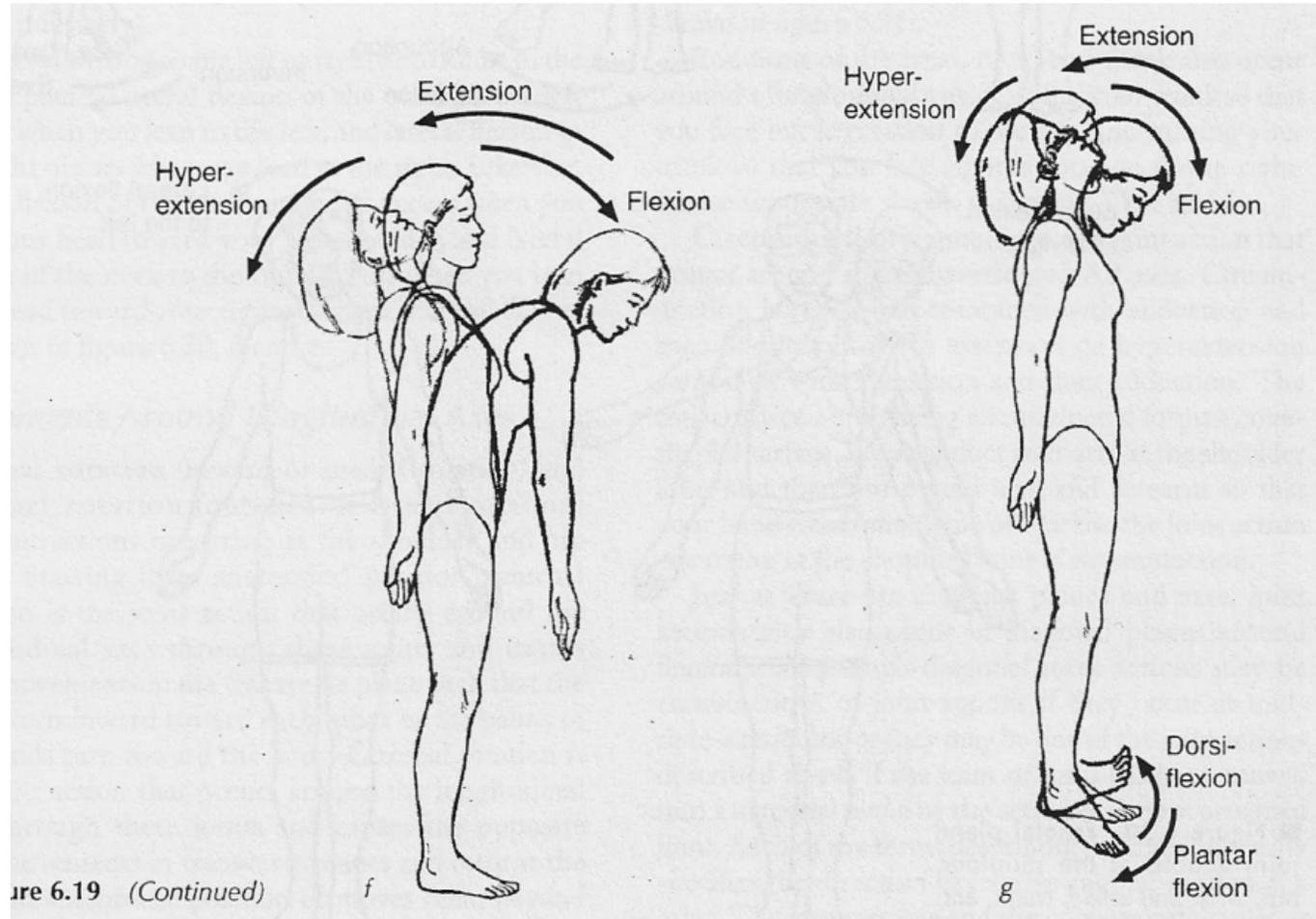
Movimenti nel piano sagittale



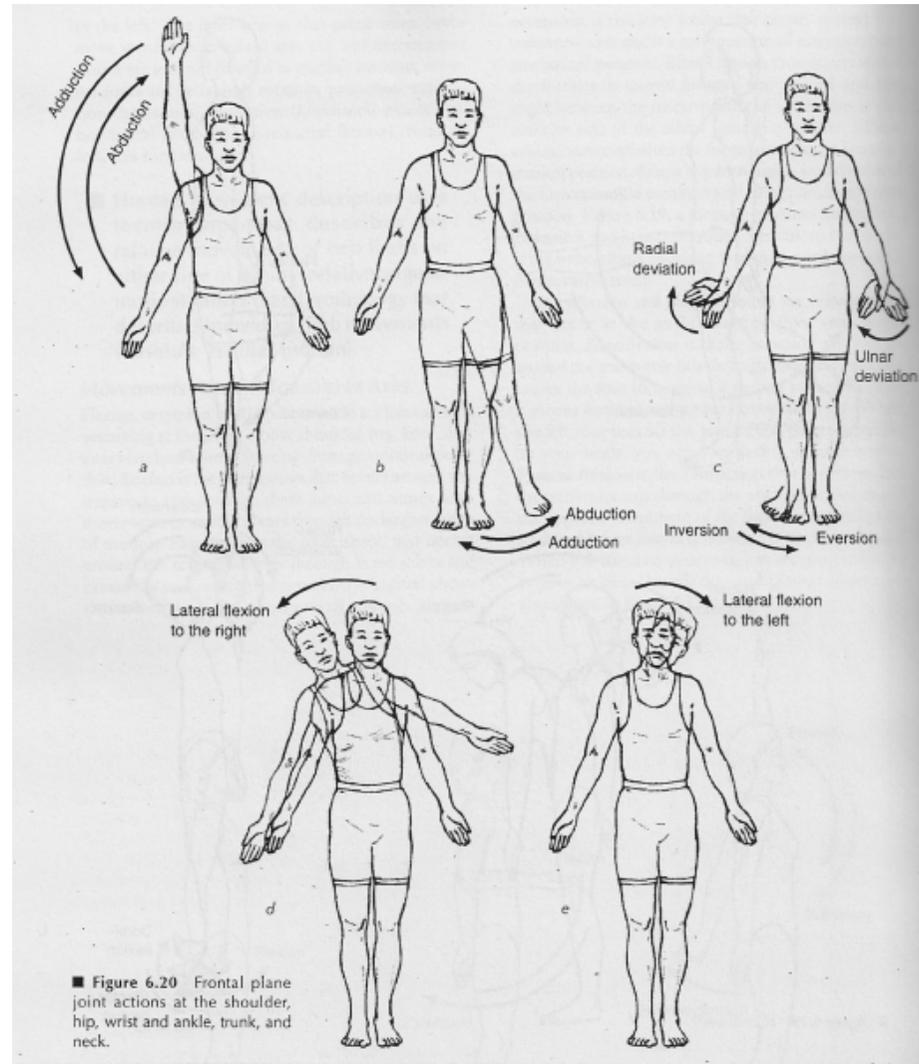
Flessione: anca e ginocchio



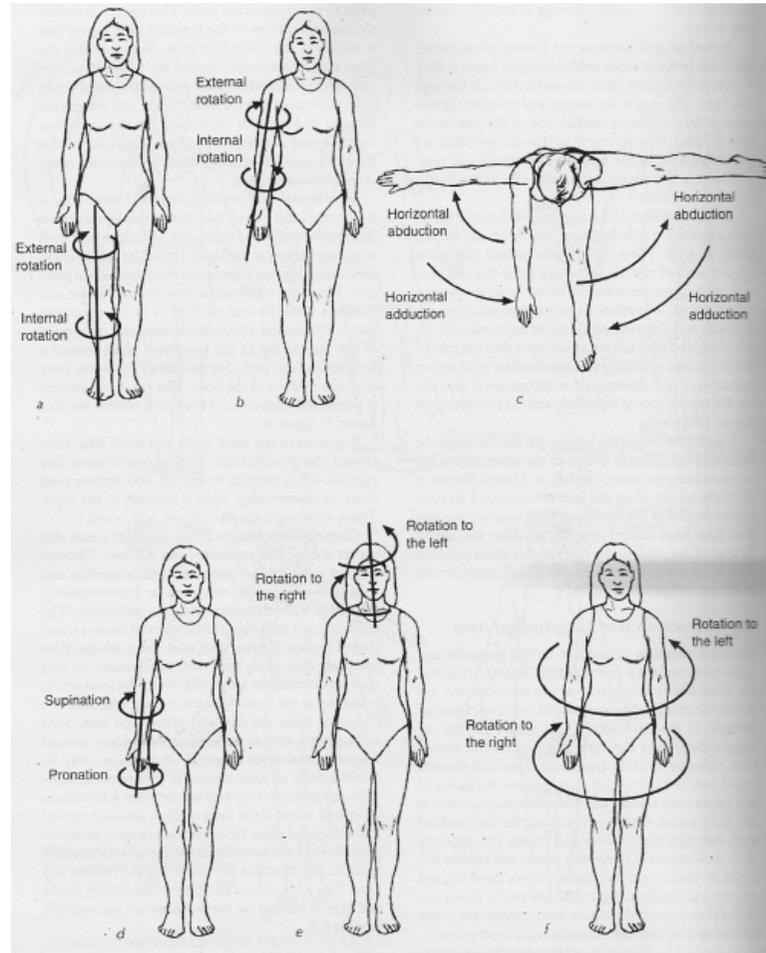
Flessione: tronco, collo e caviglia



Movimenti nel piano Frontale

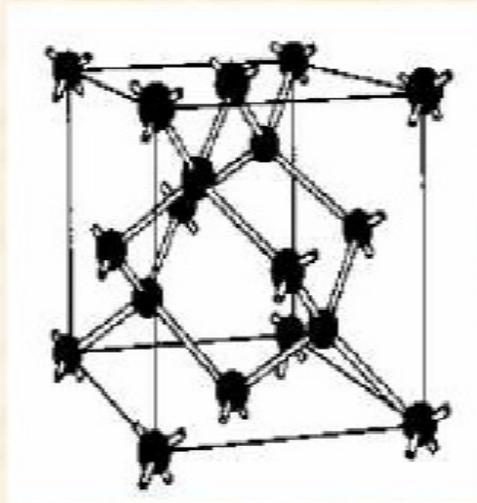


Nel piano trasverso



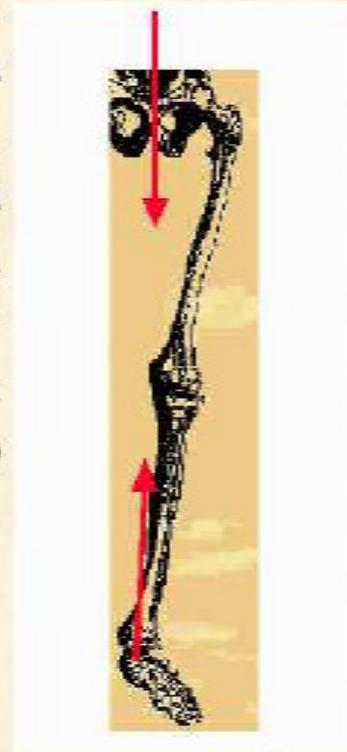
proprietà

Le caratteristiche macroscopiche dei corpi sono la risultante della loro struttura microscopica.



La rigidità, la durezza, il punto di fusione, la tensione superficiale, etc. sono proprietà fisiche determinate dal livello di aggregazione dei costituenti elementari (atomi o molecole).

La risposta di un generico corpo a sollecitazioni esterne è una funzione della sua composizione e struttura interna.



Tipi di sforzi

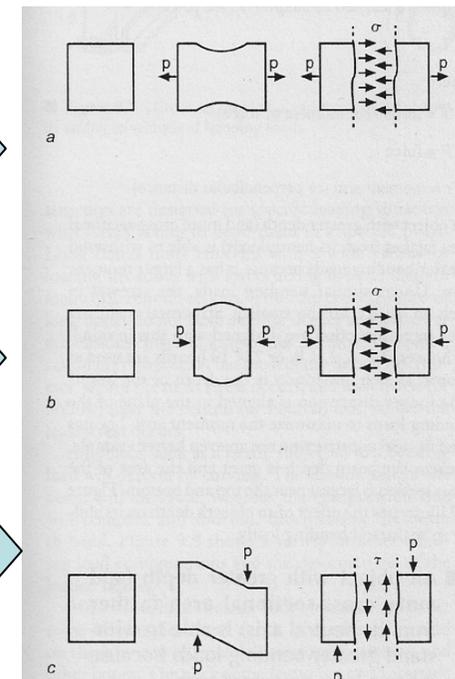
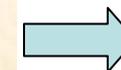
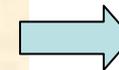
Un corpo solido può trovarsi in equilibrio statico pur essendo sottoposto a forze: in tal caso queste ultime tendono a deformarlo.

Il rapporto tra l'intensità F della forza applicata e l'area A del corpo sulla quale detta forza agisce uniformemente è chiamato sforzo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Si hanno vari tipi di sforzi:

- di trazione: quando la forza viene applicata perpendicolarmente ed uniformemente ad una superficie del corpo, in modo da tendere ad allungarlo;
- di compressione: nelle stesse condizioni del punto precedente, solo che la direzione della forza è tale da tendere ad accorciare il corpo;
- di taglio: quando una forza è applicata tangenzialmente ad una superficie del corpo. L'effetto di questo tipo di sforzo è chiamato deformazione di scorrimento.



■ Figure 9.5 Illustration of simple loads that produce the three mechanical stresses: tension (a), compression (b), and shear (c).

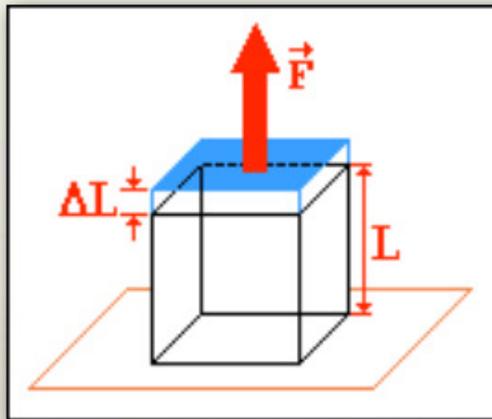
TRAZIONE

Un corpo solido può trovarsi in [equilibrio statico](#) pur essendo sottoposto a [forze](#) : in tal caso queste ultime tendono a deformarlo. Il rapporto tra [l'intensità](#) F della forza applicata e l'area A del corpo sulla quale detta forza agisce uniformemente è chiamato *sforzo*:

Supponendo che il corpo sia vincolato in modo che l'applicazione di una forza non ne modifichi lo stato di quiete, a seconda della direzione della forza rispetto alla superficie di applicazione abbiamo vari tipi di sforzi:

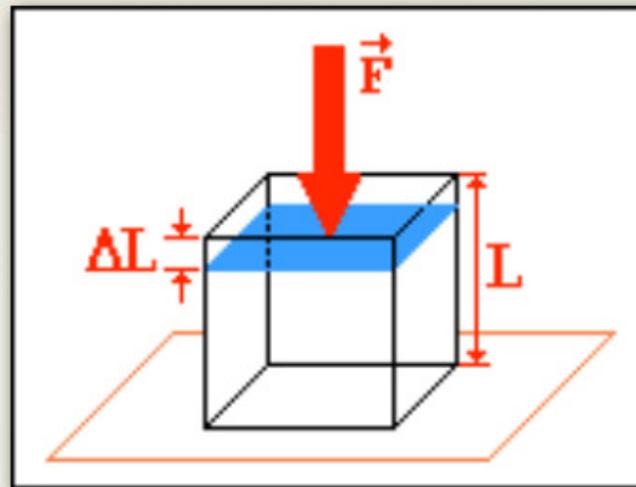
- **Sforzo di trazione** : si ha quando la forza viene applicata perpendicolarmente ed uniformemente ad una superficie del corpo, in modo da tendere ad allungarlo.

$$S = \frac{F}{A}$$



COMPRESSIONE

Sforzo di compressione : si ha nelle stesse condizioni del punto precedente, solo che la direzione della forza è tale da tendere ad accorciare il corpo.

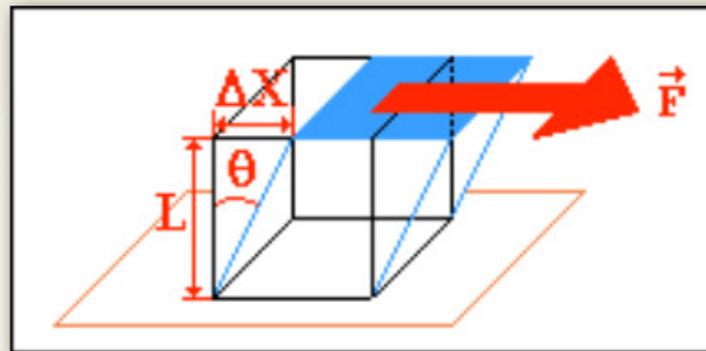


Gli sforzi di trazione e compressione, deformando il corpo nella direzione in cui vengono applicati, producono variazioni relative della lunghezza, che si definiscono *deformazioni*:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \text{deformazione}$$

TAGLIO

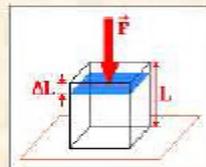
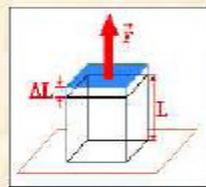
Sforzo di taglio : si ha quando una forza è applicata tangenzialmente ad una superficie del corpo. L'effetto di *deformazione scorrimento* = $\frac{\Delta X}{L} = \tan\theta$.



In questo caso la deformazione è definita *deformazione di scorrimento* e, relativamente alla figura è definita come:

$$\frac{\Delta L}{L} = \tan\theta = \text{deformazione scorrimento}$$

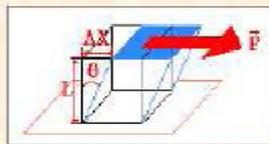
Deformazioni



Trazione e compressione producono variazioni della lunghezza che si definiscono deformazioni:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Gli sforzi di taglio producono deformazioni di scorrimento:

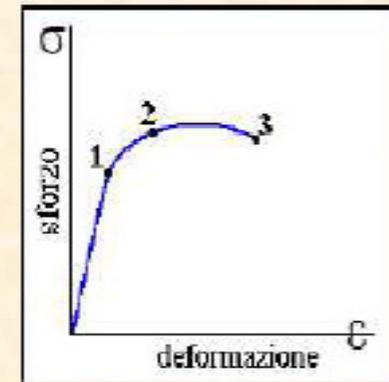


$$\text{deformazioni di scor.} = \frac{\Delta X}{L}$$

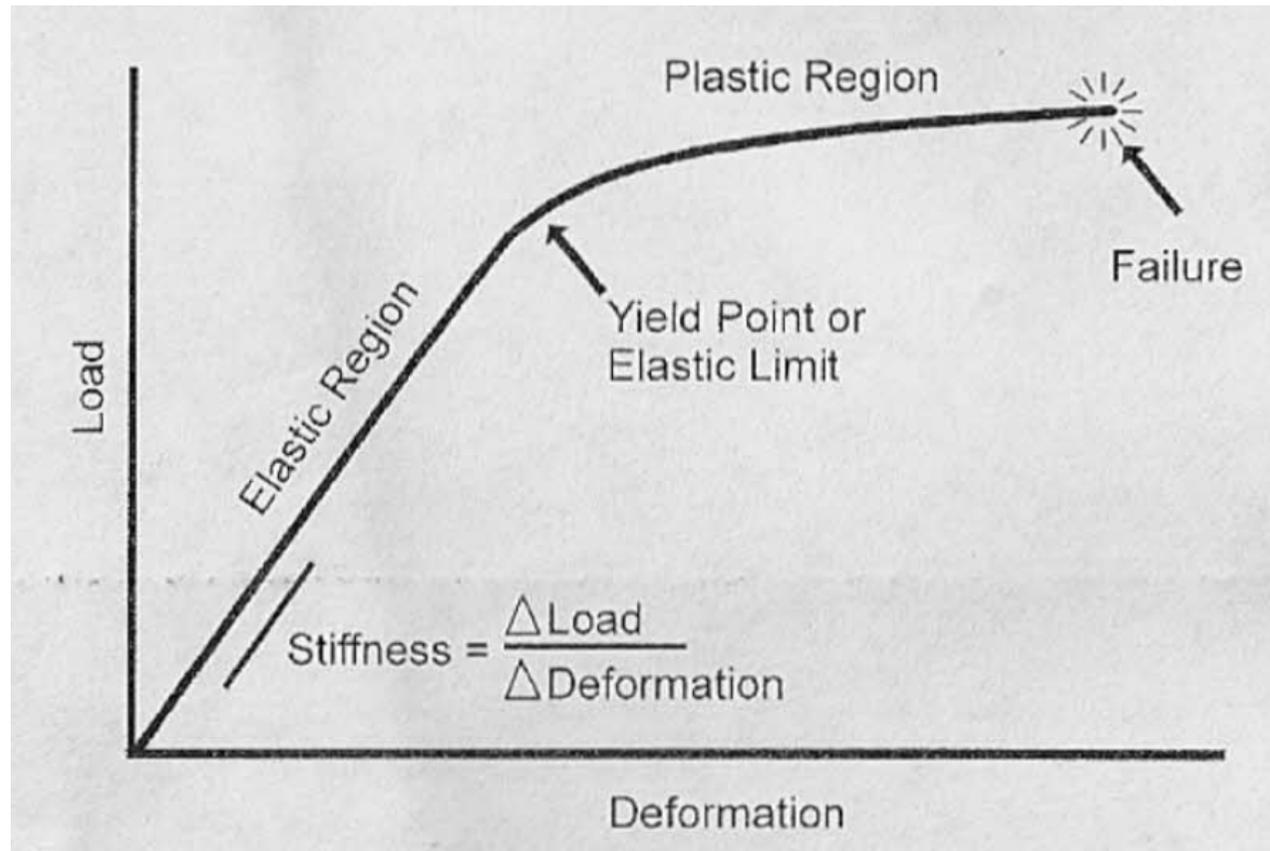
Elasticità

La deformazione che può subire un corpo sottoposto a sforzo, ha un andamento come quello mostrato nel grafico.

Il grafico è lineare fino al punto 1: in questo regime, detto *elastico*, il corpo si deforma sotto l'azione delle forze esterne ed al cessare di queste riprende la configurazione primitiva. Sottoposto ad uno sforzo maggiore, nella regione tra il punto 1 e il punto 2 (detta di deformazione *plastica*), il corpo arriva ad un livello di deformazione oltre il quale non ritorna al proprio stato iniziale (anche se viene eliminato lo sforzo applicato). Applicando uno sforzo ancora maggiore (*carico di rottura*), arrivando al punto 3, il corpo si rompe.



Curva deformazione-sforzo



Legge di Hook

Se la deformazione di un corpo prodotta da una forza gradatamente crescente, varia in modo proporzionale alla forza, si dice che il materiale che forma il corpo in esame segue la legge di Hook.

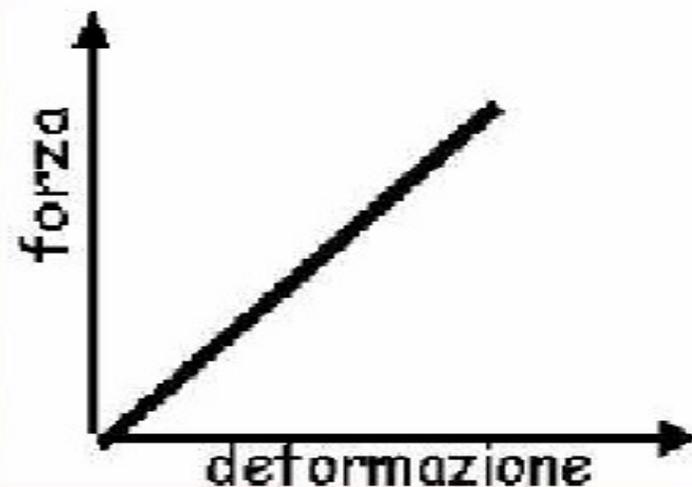
Il materiale ha un comportamento lineare (diretta proporzionalità)

$$\sigma = E \varepsilon$$

$$\frac{\sigma}{\varepsilon} = E = \text{modulo di elasticità di Young}$$

$$y = a x + b \text{ linearità}$$

$$y = a x \text{ diretta proporzionalità}$$



Modulo di elasticità longitudinale di Young

Il modulo di elasticità è una grandezza caratteristica di un materiale esprime il rapporto tra **tensione σ** ed **allungamento ϵ** (o **deformazione**). Dato che esistono tre tipi principali di tensione (di trazione, di compressione e di taglio), si hanno tre distinti moduli di elasticità:

Genericamente il modulo di Young è espresso dalla formula:

$$E = \sigma / \epsilon$$

Sforzo normale uniforme

- Per effetto di uno sforzo assiale di trazione tutte le fibre si allungano ugualmente e quindi ogni sezione trasversale del corpo subisce una traslazione in direzione X mantenendosi piana. Per la legge di Hooke il solido subisce una deformazione ε proporzionale alla tensione σ secondo la relazione:

- $\sigma = E \times \varepsilon$

- in cui σ rappresenta lo sforzo (tensione) agente sul materiale ossia il rapporto tra la forza applicata e la sezione S (superficie trasversale):
- $\sigma = F / S$ (forza per unità di superficie)
- ed ε rappresenta la sua deformazione cioè l'allungamento unitario: $\varepsilon = \Delta L / L$ (rapporto tra la variazione di lunghezza e lunghezza iniziale).

- E rappresenta il coefficiente di proporzionalità noto come *modulo di Young*, esso dipende dalla natura del materiale. L'idea che ogni materiale possiede un suo valore di rigidità caratteristica è dovuta allo scienziato inglese Thomas Young (1773-1829). Al crescere del modulo di Young il materiale diviene più rigido, quindi meno deformabile.
- Entro certi limiti le ossa umane seguono la legge di Hooke ed è interessante confrontare le caratteristiche meccaniche dei materiali biologici con i materiali (naturali o artificiali) usati per le costruzioni.

Le Ossa

- Il movimento del corpo umano avviene quando si muovono quegli organi che, oltre che una struttura portante, possono essere considerati anche leve nel moto e negli sforzi: le ossa.
- È opportuno quindi considerare tali componenti del corpo come normali materiali meccanici, quindi dotati delle proprietà di elasticità, deformabilità, durezza, plasticità, ecc.
- Per definire e quantizzare tali proprietà analizzeremo brevemente le prove cui vengono sottoposti i 'materiali' ossa ed i valori derivanti.

Composizione dell'osso

Componenti	Quantità in peso [%]
Minerale (Apatite)	69
Matrice organica	22
Collagene	90÷96 % della Matrice organica
Altro	4÷10 % della Matrice organica
Acqua	9



L'osso ha la stessa elasticità del legno di quercia (130.000 kg/cm^2);

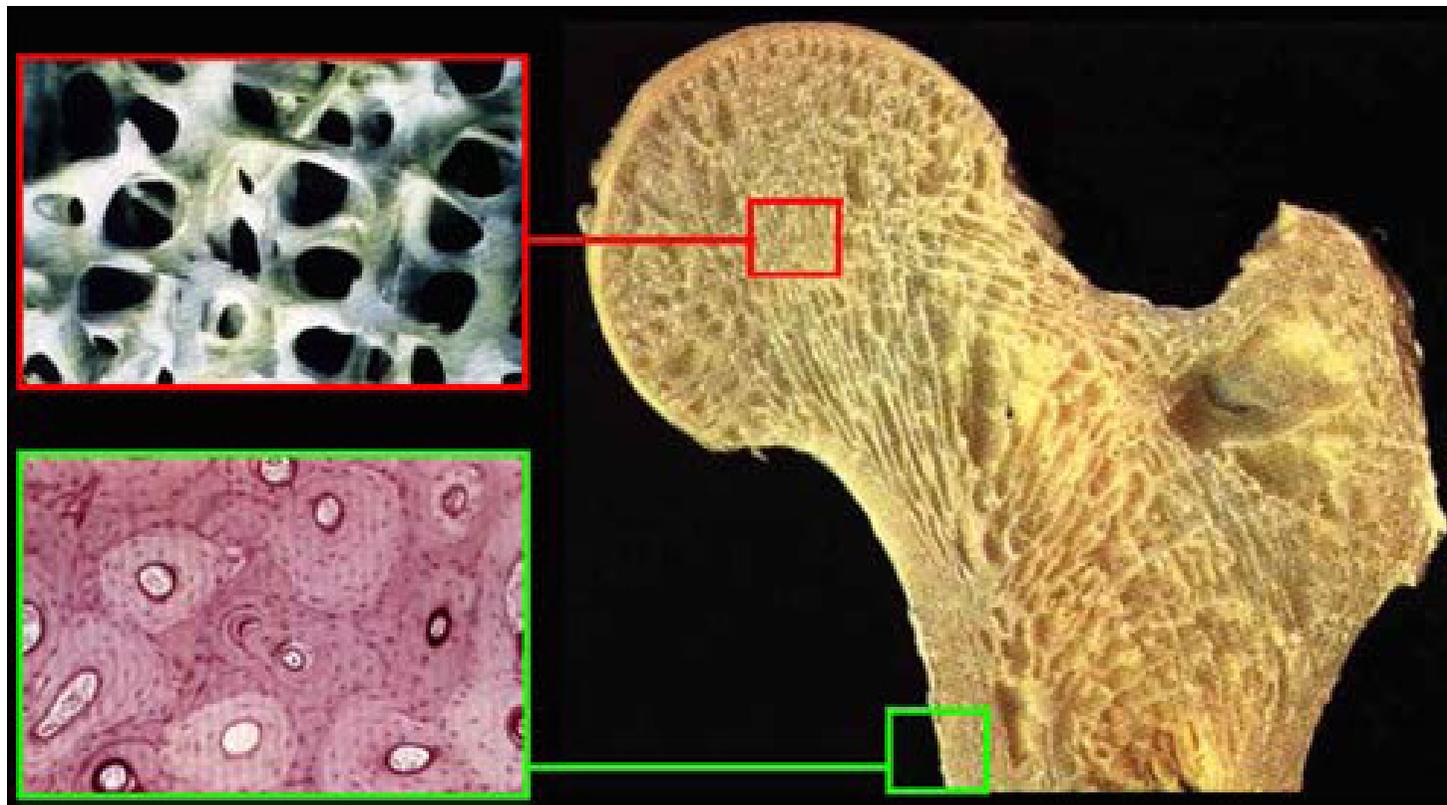
la resistenza alla trazione (1700 kg/cm^2) compete con i metalli più tenaci quali il rame o il duralluminio.

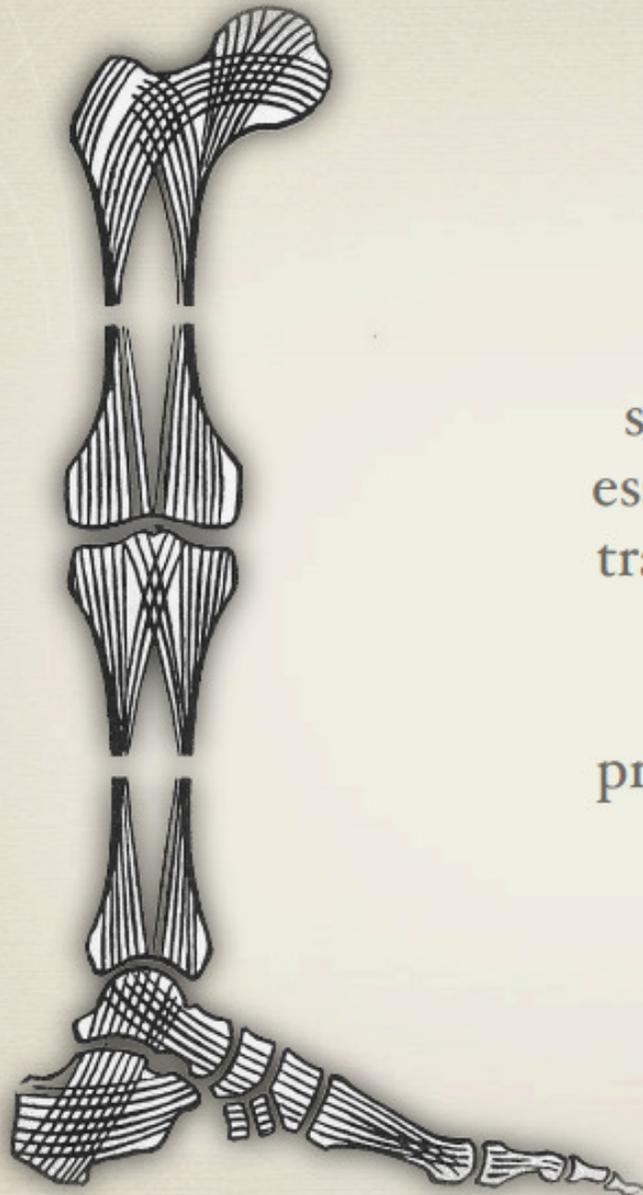
La resistenza alla pressione (1500 kg/cm^2) è decisamente superiore a quella dei materiali da costruzione classici (arenaria e calcare: 1000 kg/cm^2);

la resistenza alla flessione statica è paragonabile a quella dell'acciaio fuso.

(valori secondo Knese, Habne e Biermann, 1956)

Osso corticale e spugnoso nell'epifisi femorale prossimale





Se si osserva attentamente l'organizzazione della sostanza spongiosa, ad esempio nel terzo superiore del femore, si nota come essa non sia costruita a caso: le sottili trabecole ossee, seguono infatti linee ben precise corrispondenti, rispettivamente, alle forze di pressione, trazione, torsione e spinta dell'osso (traiettoria).

Proprietà meccaniche dell'Osso

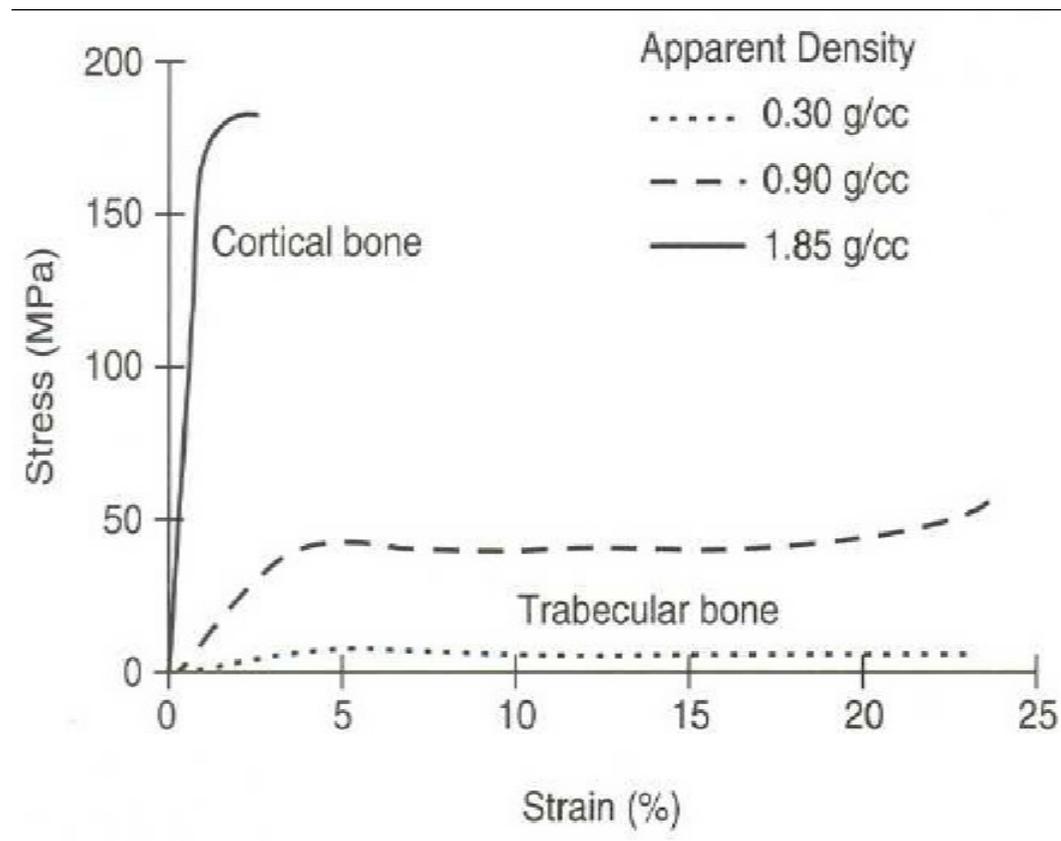
Tipo di osso	Direzione della prova	Modulo di elasticità [GPa]	Sforzo a rottura per trazione [MPa]	Sforzo a rottura per compressione [MPa]
Ossa arto inferiore				
<i>Femore</i>	longitudinale	17.2	121.0	167
<i>Tibia</i>	"	18.1	140.0	159
<i>Pèrone</i>	"	18.6	146.0	123
Ossa arto superiore				
<i>Òmero</i>	"	17.2	130.0	132
<i>Radio</i>	"	18.6	149.0	114
<i>Ulna</i>	"	18.0	148.0	117
Vertebre				
<i>cervicale</i>	"	0.23	3.1	10
<i>lombare</i>	"	0.16	3.7	5
Cranio	tangenziale			
	radiale			97

Proprietà meccaniche dell'osso

Tipo di osso	Direzione della prova	Modulo di elasticità [GPa]	Sforzo a rottura per trazione [MPa]	Sforzo a rottura per compressione [MPa]
ossa arto inferiore				
femore	longitud.	17.2	121.0	< 167
tibia	"	18.1	140.0	< 159
perone	"	18.6	146.0	> 123
ossa arto superiore				
omero	"	17.2	130.0	132
radio	"	18.6	149.0	> 114
ulna	"	18.0	148.0	> 117
vertebre				
cervicale	"	0.23	3.1	< 10
lombare	"	0.16	3.7	< 5
cranio	tangenz.	-	25.0	-
	radiale	-	-	97

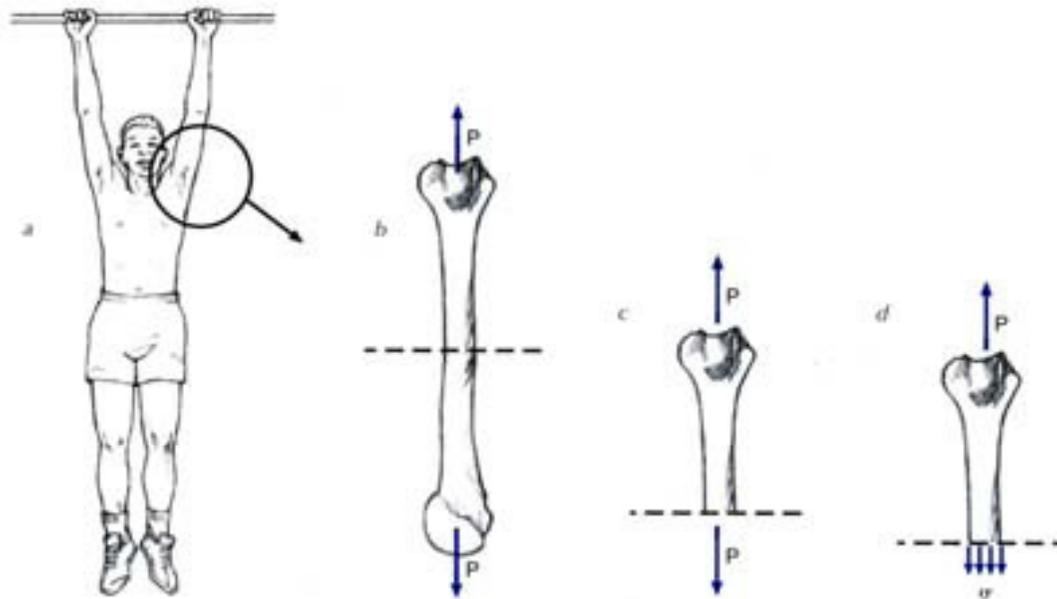
da: H Yamada 'Strength of Biological Materials', Williams and Wilkins, Baltimore, 1970.

Curve sforzo-deformazione a compressione



Trazione

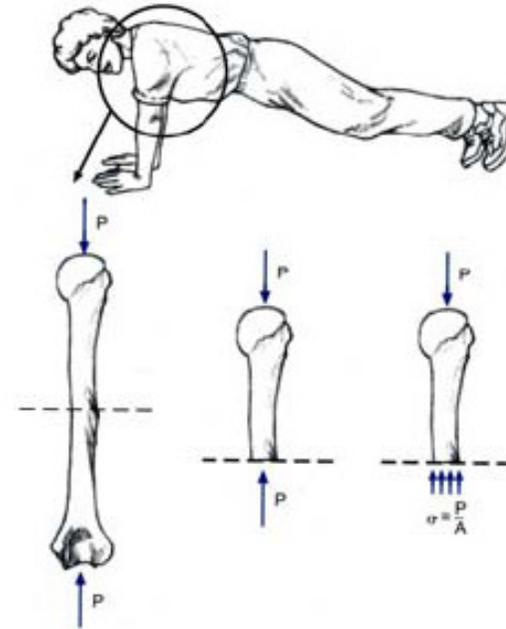
- La trazione è la tensione normale o assiale che è presente al piano di analisi come un risultato di una forza o un carico che tende a tirare le molecole che tengono l'oggetto insieme su quel piano



- Quando un oggetto o un materiale è caricato assialmente in tensione, l'oggetto tende a deformarsi allungandosi nella direzione dei carichi esterni

compressione

- La compressione o il carico compressivo è la tensione assiale che è presente al piano di analisi come risultato di una forza o un carico che tende a spingere le molecole di un materiale più vicino al piano di analisi
- Quando un oggetto o un materiale è caricato assialmente in **compressione**, l'oggetto tende a deformarsi **accorciandosi** nella direzione dei carichi esterni



DEFORMAZIONE

- Quando gli oggetti sono soggetti a carichi, questi si deformano. Queste deformazioni possono essere grandi o piccole a seconda della natura del materiale e dei carichi
- **DEFORMAZIONE LINEARE**

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

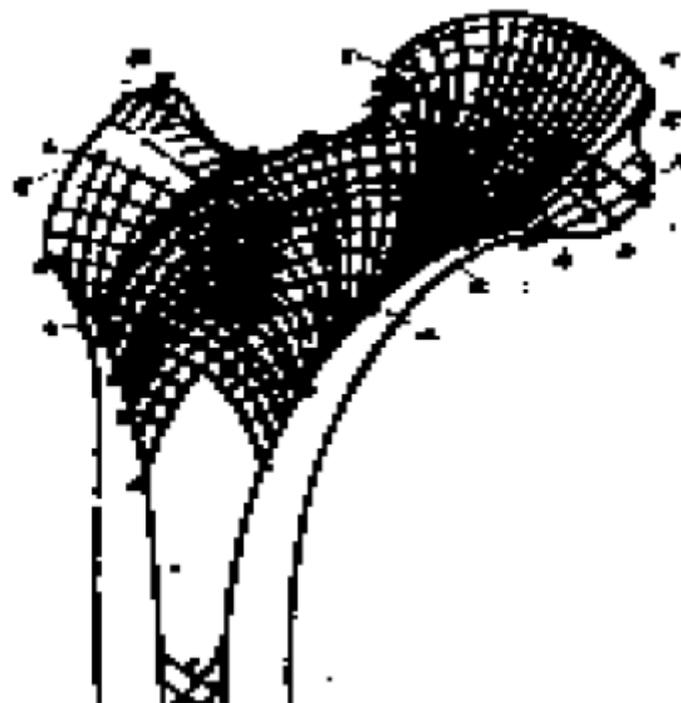
- **DEFORMAZIONE DI TAGLIO**
- Avviene con un cambiamento nell'orientamento di molecole adiacenti come un risultato dello scivolamento di queste molecole le une sulle altre

- Questa capacità dell'osso di riadattare il proprio tessuto in funzione delle condizioni di carico cui è sottoposto implica l'esistenza di "sensori" interni all'osso stesso capaci di misurare i carichi e di "trasduttori" abili ad attivare le cellule preposte all'assorbimento e alla neoformazione del tessuto (osteoclasti ed osteoblasti).
- E' stato dimostrato che una scarsa utilizzazione degli arti, oppure una lunga esposizione a deboli campi gravitazionali si manifestano con un decremento di massa ossea.

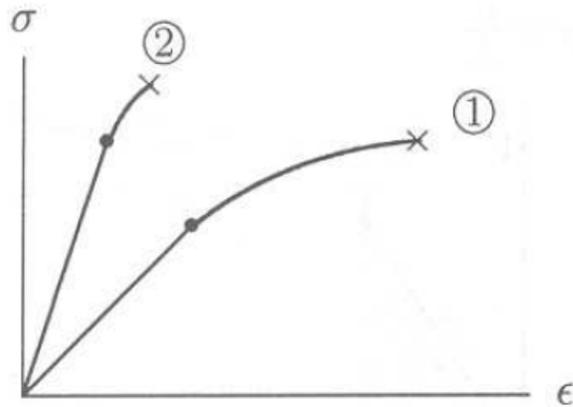
Legge di Wolff (1892)

Le trabecole si dispongono secondo le direzioni principali degli sforzi e il loro spessore e gli spazi tra esse variano al variare dell'intensità del carico. Ogni cambiamento di funzione o di forma nell'osso è accompagnato da variazioni nella sua architettura interna, nonché da alterazioni secondarie della conformazione esterna, entrambe legate a precise formulazioni.

Il carico rappresenta la variabile che condiziona l'architettura dell'osso

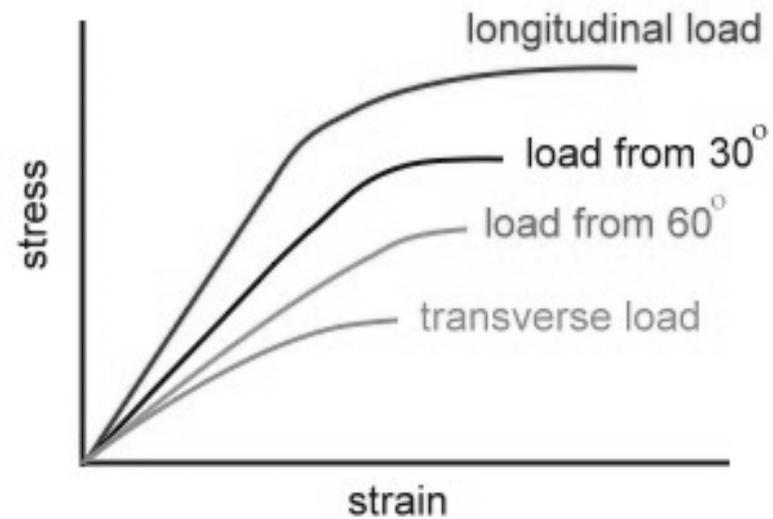
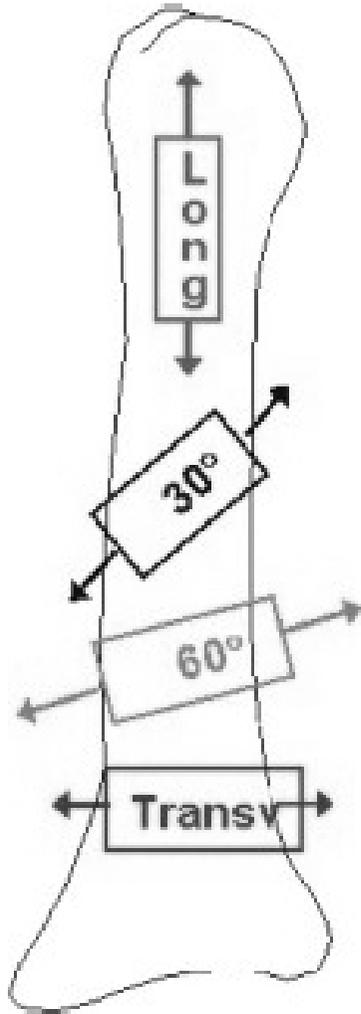


Duttilità / Fragilità



- Un materiale **duttile** è uno che esibisce una **grande deformazione plastica prima del collasso**.
- La deformazione plastica precedente la rottura è una misura relativa della **duttilità** di un materiale rispetto ad un altro.
- **Per esempio**, il materiale 1 è più duttile del materiale 2.

Comportamento strutturale dell'osso

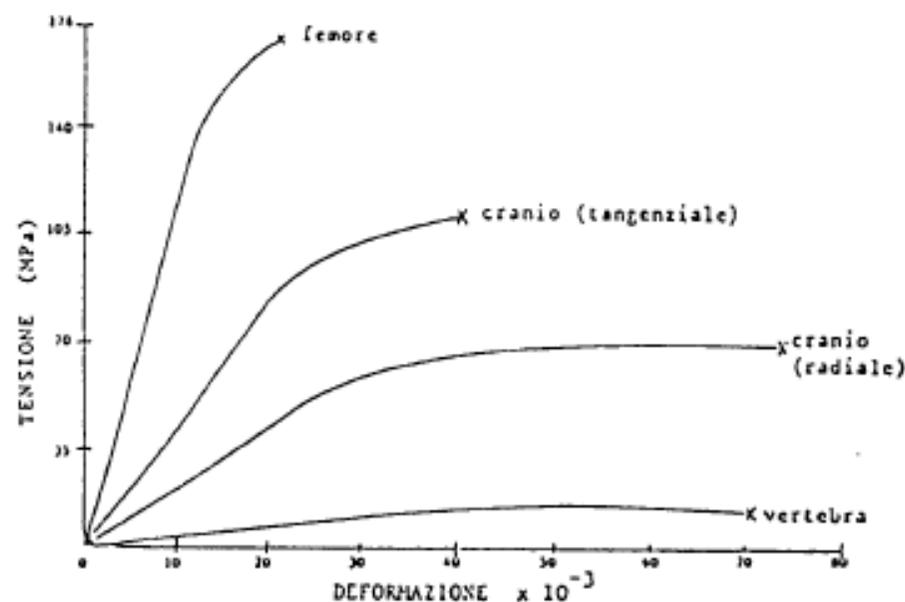


Anisotropic Behavior of the Bone

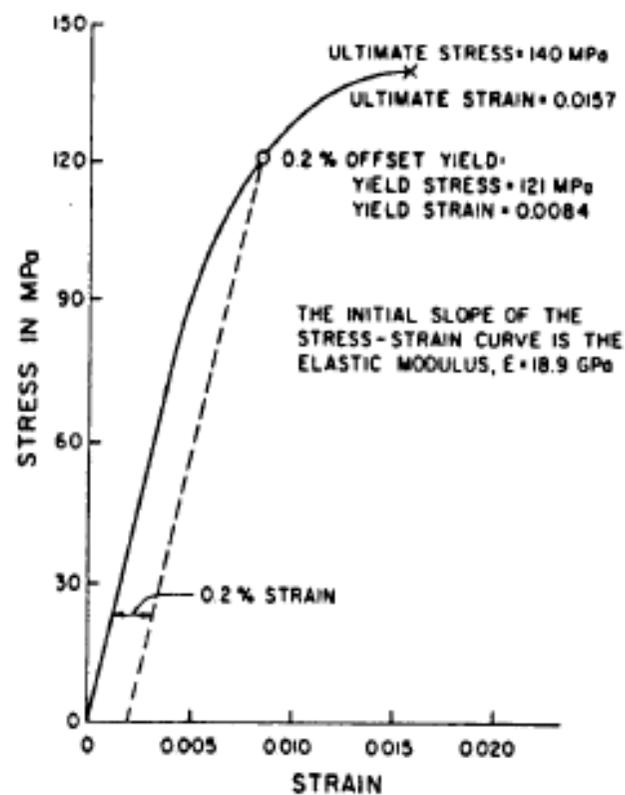
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELL'OSSO

Sono influenzate da:

- individuo
- specie
- età
- zona scheletrica
- storia di sollecitazione
- eventuale patologia



ad una
regione
elastica
lineare, segue
una regione
plastica che
precede la
frattura



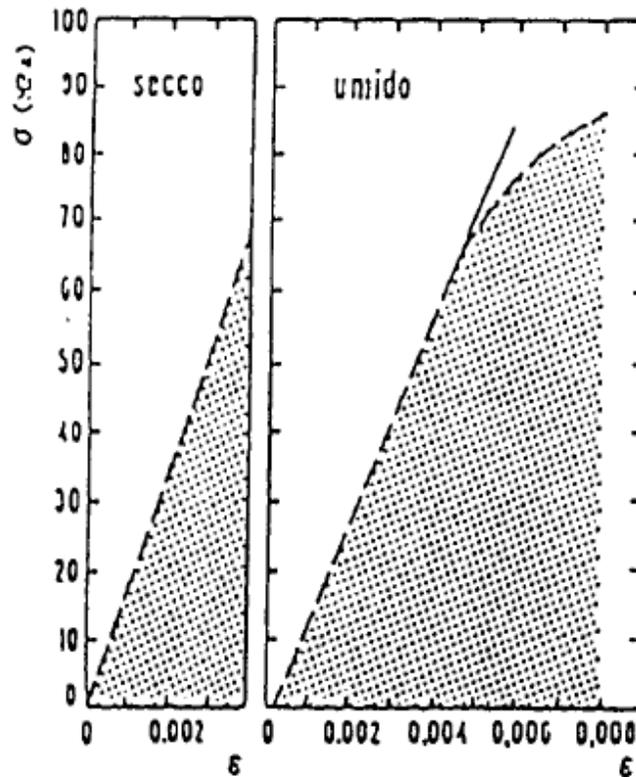
L'osso secco ha comportamento elastico fino a rottura

L'osso umido presenta zona di plasticità prima della frattura

ne segue una maggiore energia di deformazione

Proprietà meccaniche diverse tra **osso compatto** e **osso spugnoso**

Deformazione a rottura mediamente pari al 2% nella compatta
pari al 7% nello spugnoso



PROPRIETA' MECCANICHE DEL SISTEMA MUSCOLO SCHELETRICO

I tessuti connettivi specifici importanti per la struttura del sistema muscolo scheletrico sono:

ossa, cartilagine, tendini, legamenti e muscoli

COLLAGENE (molto rigido, tensione di rottura 8-10% ma non sopporta compressione, corda)

ELASTINA (molto estensibile e flessibile, tensione di rottura 160%)

ACQUA, MINERALI

Età e attività

influenzano le proprietà meccaniche dei tessuti connettivi
Inattività e immobilizzazione: ossa più fragili, meno tenaci e tendini e legamenti meno rigidi

OSSO

Collagene 30-35% Minerali 45% Acqua 20%

Materiale del corpo più forte e più rigido

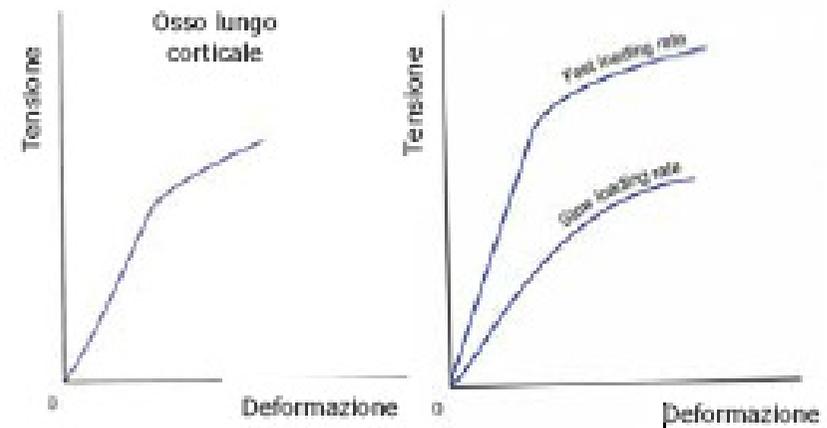
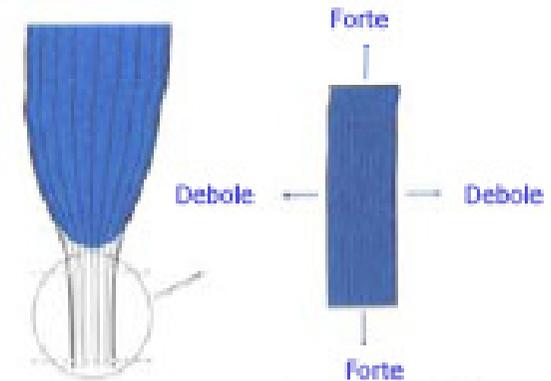
Le caratteristiche variano da osso a osso e da zona a zona

La regione elastica della curva tensione-deformazione non è esattamente lineare, ma leggermente curva

Più forte in compressione e più debole rispetto a sforzi di taglio

ANISOTROPO:

differenti caratteristiche meccaniche a seconda delle direzioni del carico



CARTILAGINE

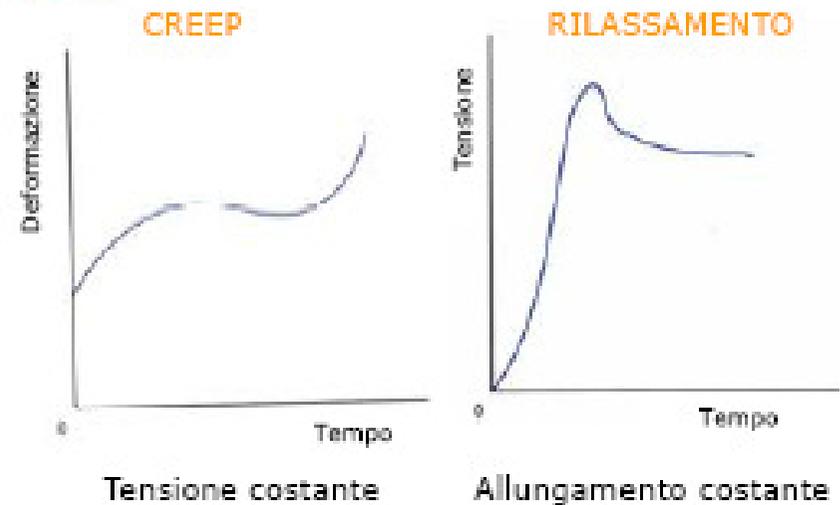
Collagene 10-30% Acqua 60-80%

In superficie le fibre di collagene sono disposte in maniera parallela, nello strato più profondo sono disposte random vicino all'osso sono perpendicolari alla superficie dell'osso (tipicamente 1-3mm di spessore)

Trasmette carico compressivo fra osso e osso

In grado di sostenere carichi compressivi, di trazione e di sforzi di taglio

Modulo di elasticità molto più piccolo delle ossa, c'è un effetto di assorbimento dello shock, anche se piccolo a causa dello spessore ridotto della cartilagine



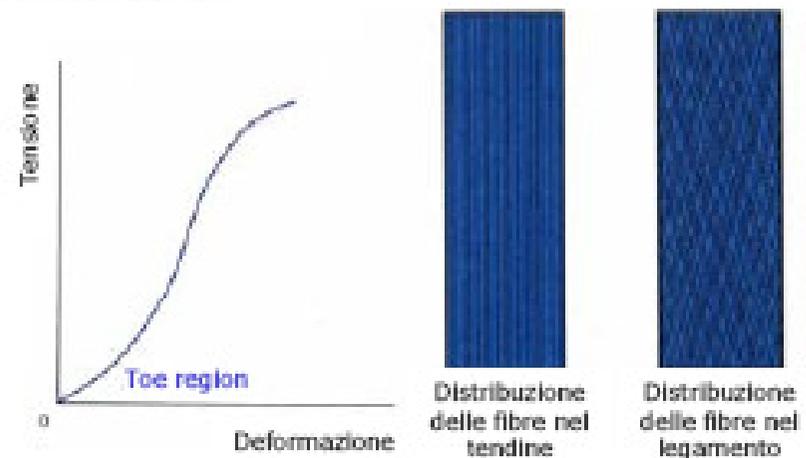
TENDINI E LEGAMENTI

Collagene 25% Acqua 70% Elastina 5%

I legamenti hanno più elastina dei tendini

I tendini sono rigidi in trazione, i legamenti sopportano carichi non monoassiali anche se sono più deboli dei tendini

Nella curva tensione-deformazione hanno per bassi valori di tensione un comportamento flessibile successivamente per valori di carichi maggiori sono molto rigidi



Meccanica dei materiali biologici

MUSCOLI

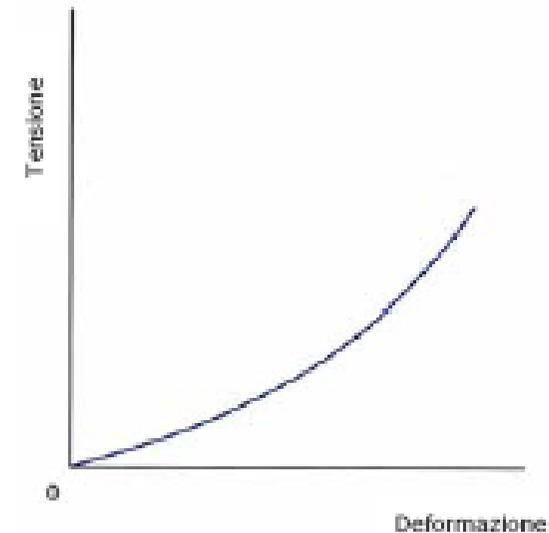
Producono tensione all'interno

La componente contrattile del muscolo determina la sua rigidità in ogni istante

La rigidità del muscolo varia in funzione del numero degli elementi contrattili attivi

Hanno una deformazione di rottura molto elevata, grazie alla capacità dei filamenti di scorrere gli uni sugli altri si può arrivare ad un 50% della sua lunghezza originaria

Il carico di rottura è più basso rispetto a tendini e legamenti



Gradi di libertà delle articolazioni

- Articolazioni a **un grado di libertà**: si muovono in un solo piano. (es: flessione-estensione dell'art. omero-ulnare e interfalangee)
- Art a **due gradi di libertà**: permettono movimenti su due piani perpendicolari l'uno all'altro (ginocchio: flessione-estensione sul piano sagittale e rotazione interna e esterna sul piano trasversale)
- Art a **tre gradi di libertà** che permettono movimenti su tre piani ortogonali (anca e spalla)

