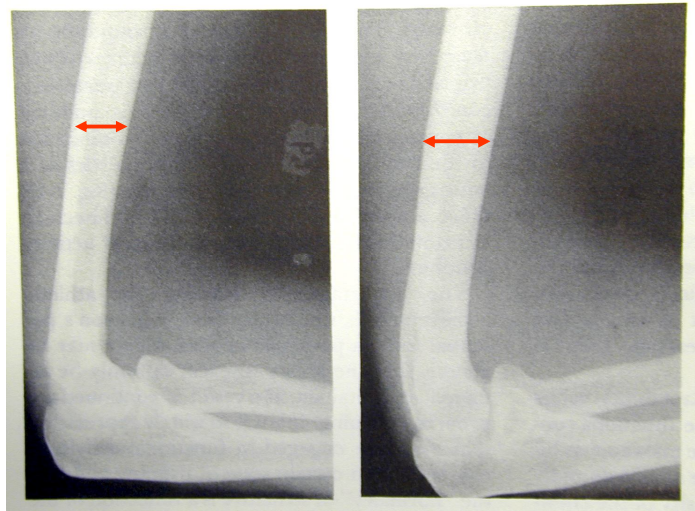


Adattamento funzionale nelle strutture scheletriche e acquisizione di grandi dimensioni

Modellazione strutture ← → attività cellulare

Modellazione strutture {
Attività
Selezione

Durante (e, in misura minore dopo) lo sviluppo, l'*intensità* ed il *modo/la qualità* dell'uso agiscono sulla base genetica modellando gli **elementi strutturali** così che la forma finale è il risultato di questa interazione



Braccio che lancia la palla

braccio che usa la racchetta

Giocatore di Tennis maschio

Riassumendo:

Il corretto sviluppo della morfologia di un individuo/struttura è il risultato, oltre che delle appropriate istruzioni genetiche e nutrizione adeguata, delle risposte adattative delle cellule sottoposte a carichi/forze:

**Questa risposta si definisce
ADATTAMENTO FUNZIONALE**

Elementi strutturali

“materiali” di sostegno {
Ossa
Cartilagini
Tendini
Muscoli
Legamenti

Crescita senza interruzione nel funzionamento

Capacità di adattarsi alle circostanze

Durata nel tempo garantita dalla possibilità di autoripararsi

Forza

PRESSIONE = Forza per unità di superficie ($\text{Kg} \times \text{cm}^2$)

CARICO = Forza applicata ad un oggetto solido

STRESS = Effetto interno all'oggetto dell'applicazione di un carico (unità di pressione)

DEFORMAZIONE = Risultato dell'applicazione di un carico

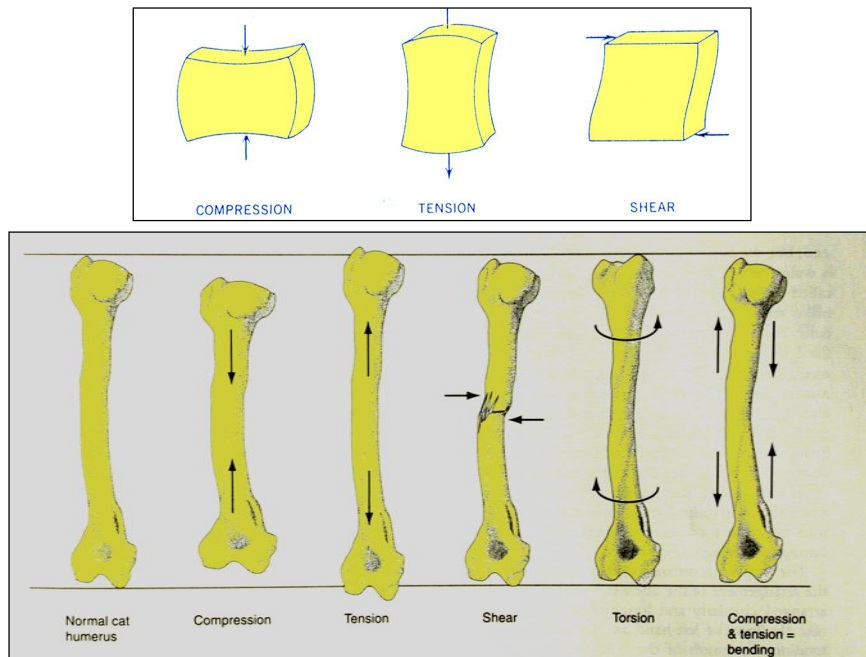
ELASTICITA' = Capacità di tornare alla forma originaria cessata l'applicazione di un carico

I carichi che devono sostenere gli elementi strutturali di un corpo
Si possono suddividere in:

Tensioni longitudinali

Tutti gli altri : compressione
 flessione
 torsione
 "taglio"

Elementi che trasmettono e producono le forze: I muscoli e i tendini sono auto riallineanti sotto carico, devono resistere solo alla tensione longitudinale (strappi).



Elementi strutturali **rigidi** che sostengono compressioni torsioni ecc.
Devono resistervi e MANTENERE LA LORO FORMA mentre lo fanno.

Margine di resistenza nei vertebrati circa *doppio* rispetto margine di danno in attività/contesti naturali, per questo i carichi sostenuti durante attività coordinata o incidente casuale sono per la maggior parte senza conseguenze immediate.

La maggior parte delle fratture causate da eventi traumatici improvvisi (soprattutto *collisioni* con alberi, rocce, autobus...)



La conseguenza immediata dell'applicazione di un carico su di una struttura è che **si deforma**

L'entità della deformazione dipende

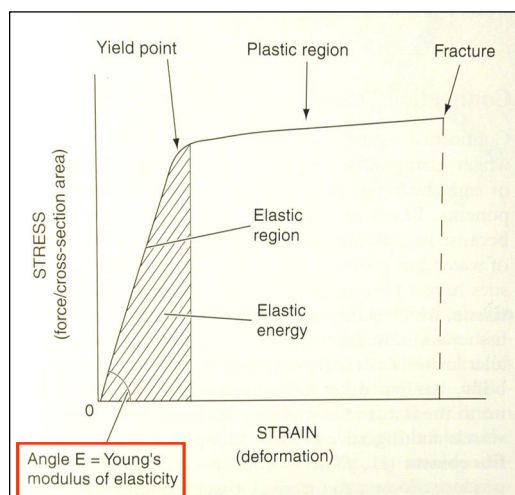
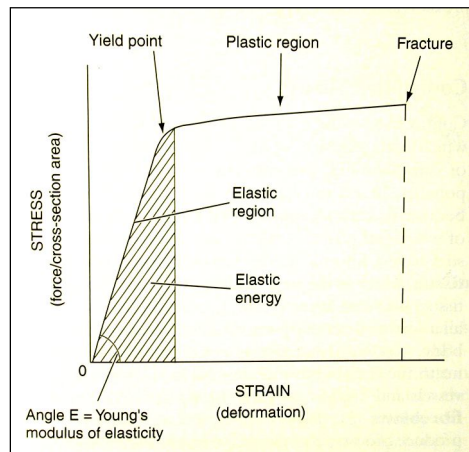
- 1) dalla grandezza e dalla direzione del carico applicato
- 2) Dalla massa, costituzione e proprietà fisiche del materiale a cui viene applicato il carico.

La deformazione viene quantificata in Strain (sforzo) che esprime il rapporto del cambiamento dimensionale rispetto alle dimensioni originarie, uno strain lineare pari a 1 indica un raddoppio della dimensione lineare rispetto a quella originale

La struttura resiste alla deformazione sviluppando un stress (forza generata all'interno del tessuto)

In situazione di equilibrio strain=stress per ciascuna unità di area su cui si applica il carico.

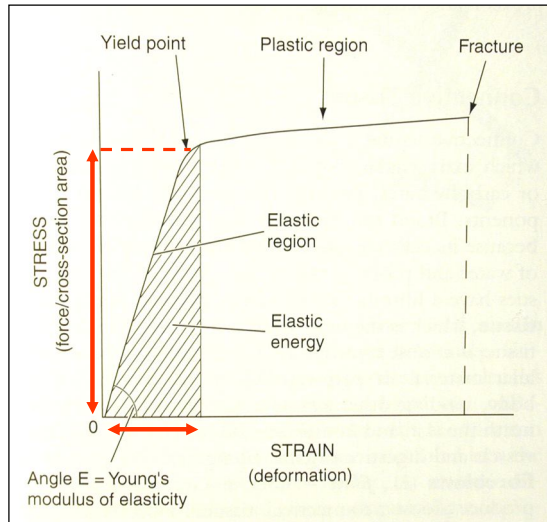
I rapporti strain/stress per materiale biologico variano secondo una curva:



L'inclinazione di questa porzione di curva è il modulo di elasticità o Modulo di Young

Indica la rigidità di un materiale

Modulo di elasticità (o di Young) stress/deformazione
 Modulo di Young **alto** = materiale rigido
 Modulo di Young **basso** = materiale plastico (facilmente deformabile)



Vi è un livello di sicurezza che corrisponde alla zona in cui vi è una proporzione diretta fra stress e strain: la **zona elastica** (elastic region)

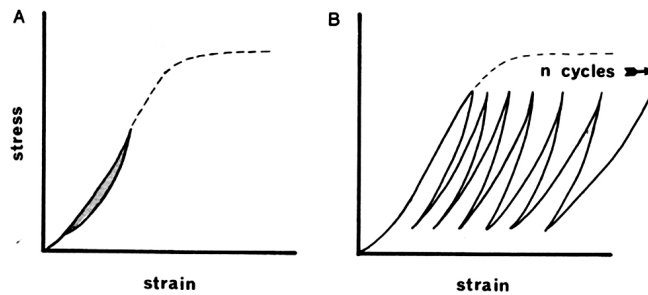
Elastica perché la deformazione indotta dal carico viene completamente eliminata nel momento in cui cessa la sua applicazione
Cioè la struttura riprende la forma originaria

In realtà si ha una curva di carico e di scarico che racchiudono un'area (isteresi)

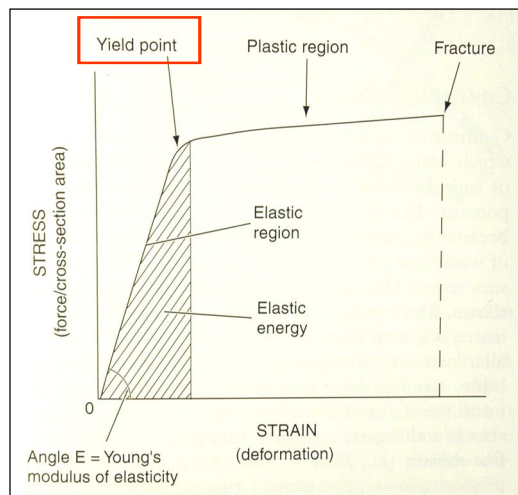
Se la curva è chiusa, il materiale recupera la sua forma senza danni e l'energia è dispersa come calore

Scheletri calcifici (coralli) massima rigidità, nessuna deformazione, comportamento elastico fino a frattura

Osso comportamento relativamente elastico, seguito da deformazione con l'aumentare dello stress. In questo caso vi è danno irreparabile al tessuto.



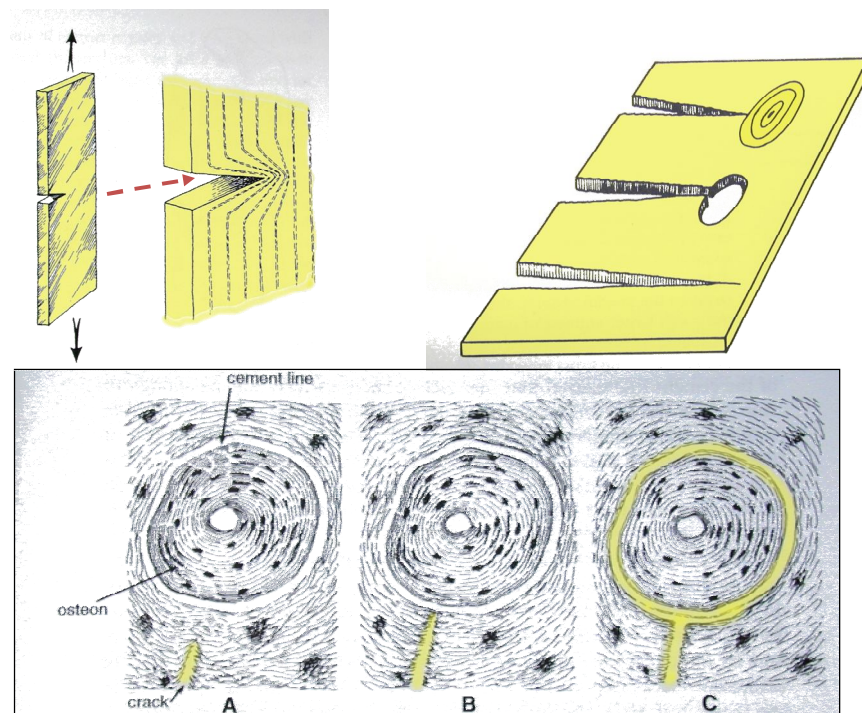
Se ho una serie ripetuta di strains ben al di sotto del limite di carico ho il recupero completo (A) con curva di isteresi chiusa, se sono al limite posso avere deformazione da fatica, i cicli di isteresi sono aperti e non si recupera la forma originaria

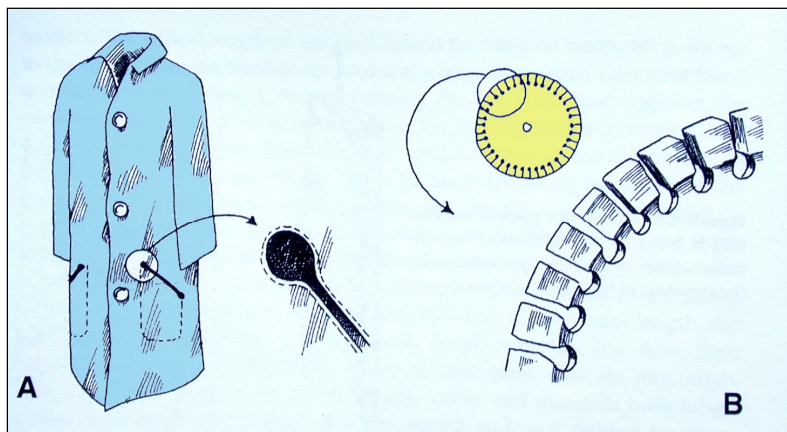


Il punto in cui lo strain induce deformazione è il punto di tenuta (yield point), caricare oltre il punto di risposta elastica (yield stress) causa Prima deformazione Plastica, poi frattura.

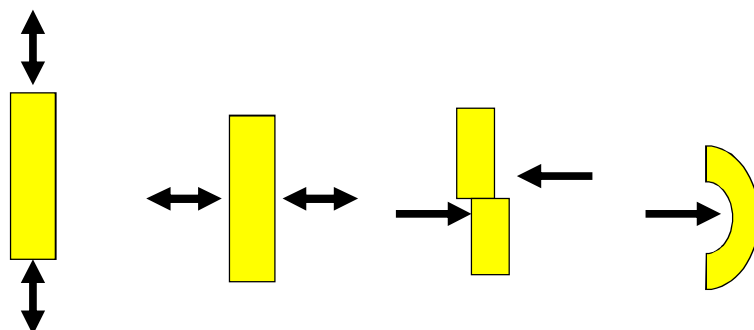
E' preferibile che ad un materiale venga applicato un carico nell'area della deformazione plastica piuttosto che fratturarsi, perché la autoriparazione è molto più facile.

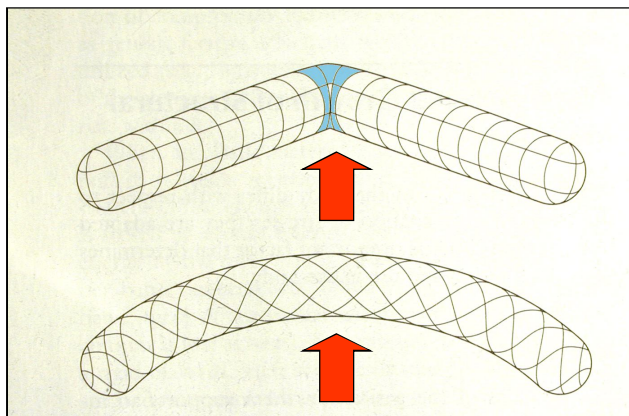
Questo è il motivo per cui le ossa hanno una serie di sistemi strutturali che consentono la dissipazione delle forze prima che causino fratture (aumentando quindi l'area di deformazione) o limitano l'estensione/il propagarsi delle stesse.



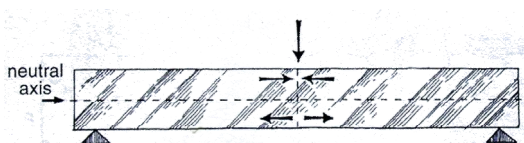


Le ossa sono strutturalmente più resistenti ai carichi di compressione/tensione che di taglio/flessione,

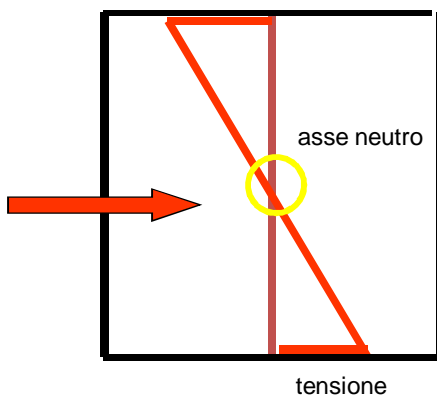
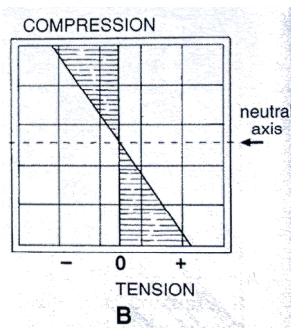


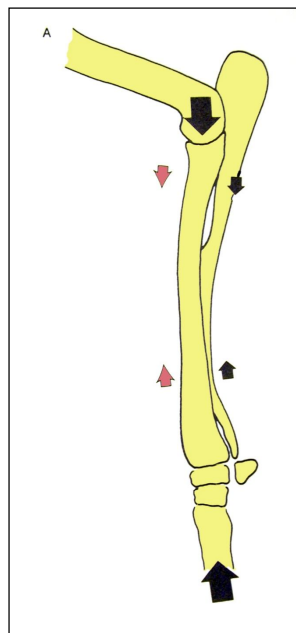
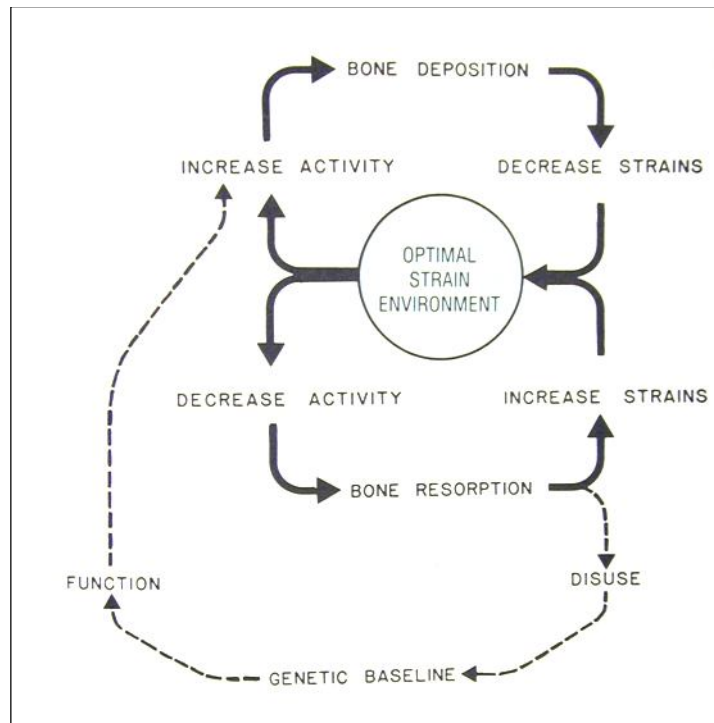


Disposizione delle fibre che aumenta l'elasticità nei confronti di queste forze



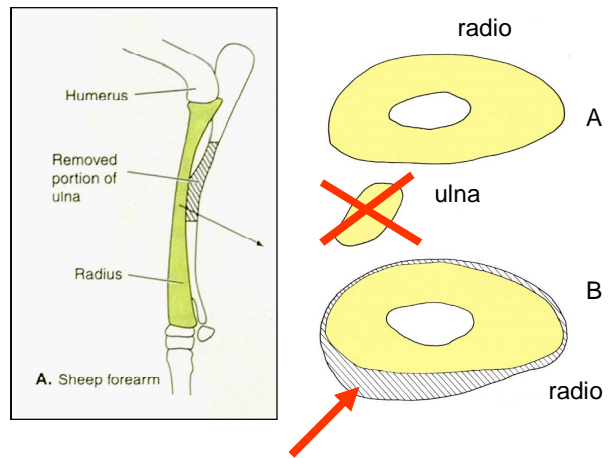
compressione



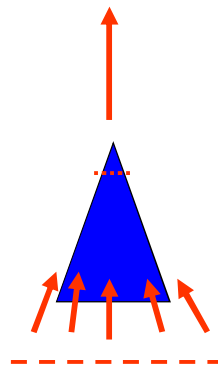
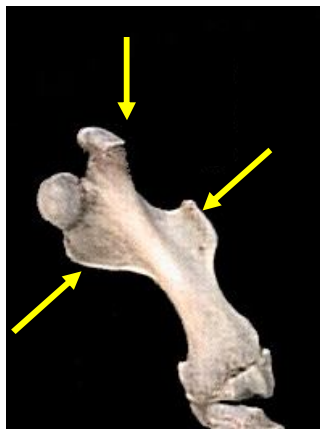


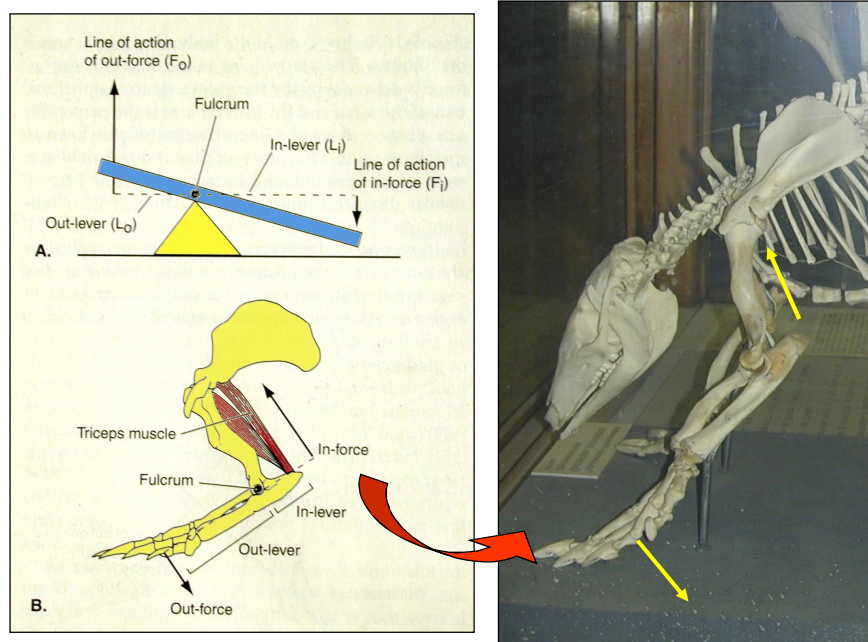
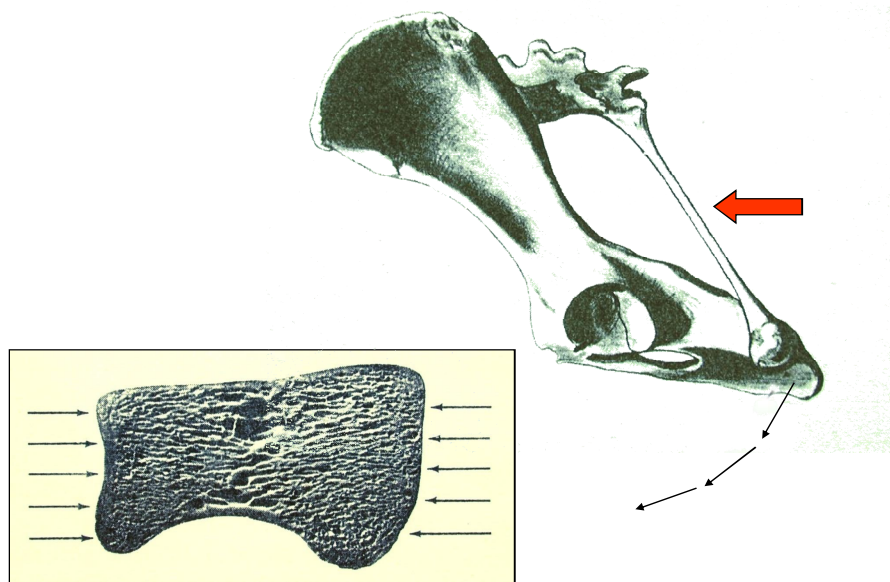
Rimodellamento e crescita compensativa

Una curvatura, benchè meno vantaggiosa della forma colonnare consente una maggiore possibilità di rimodellamento perché indirizza lo strain secondo linee precise prima che i carichi diventino eccessivi e l'osso può più facilmente rispondere alla sollecitazione prima che diventi irreparabile. Dove c'è incremento di tensione che produrrebbe ulteriore curvatura si ha deposizione di tessuto osseo.

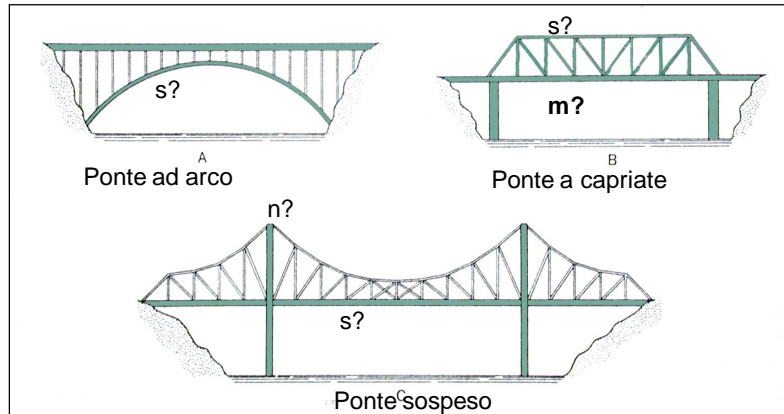


Esperimento di sovraccarico, rimuovendo la porzione tratteggiata di ulna, si ha deposizione di tessuto osseo nel radio per compensare l'aumento di strain compressivo.

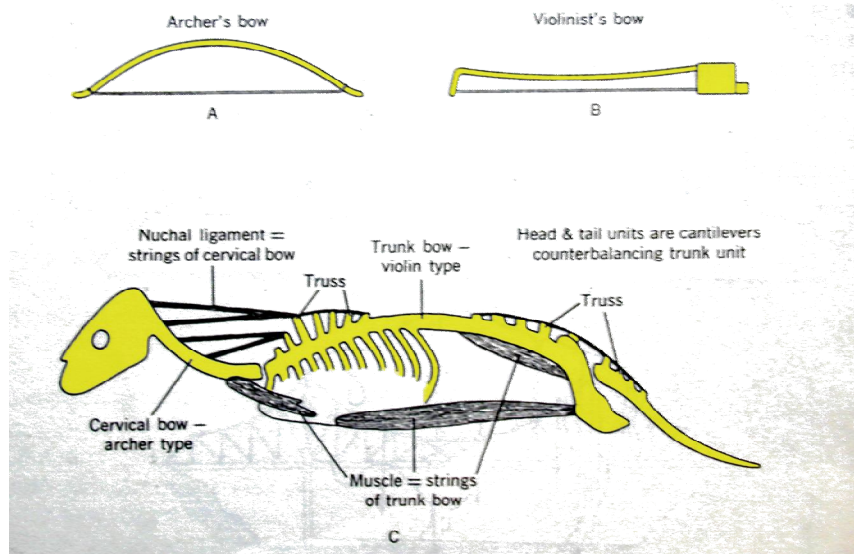


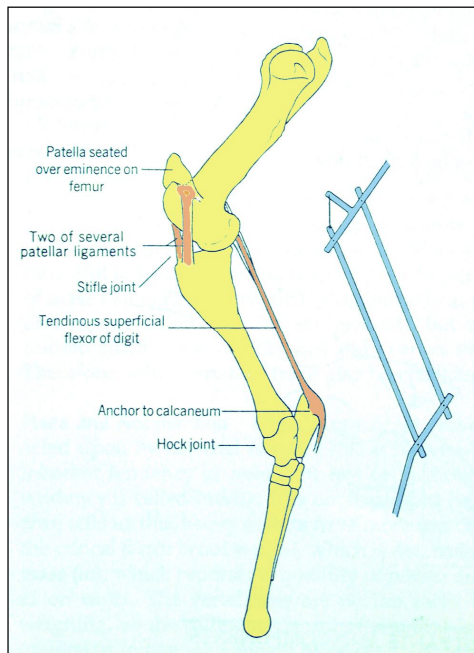


Equilibrio e contrappeso



Archi e corde





Sostegno del corpo da parte degli arti

In fase di attività: muscoli ecc.

In fase di inattività :
 Appoggiarsi al terreno (sdraiarsi, accucciarsi ecc.)
 Rimanere eretti affidandosi a meccanismi
 Passivi che diminuiscano lo sforzo muscolare necessario

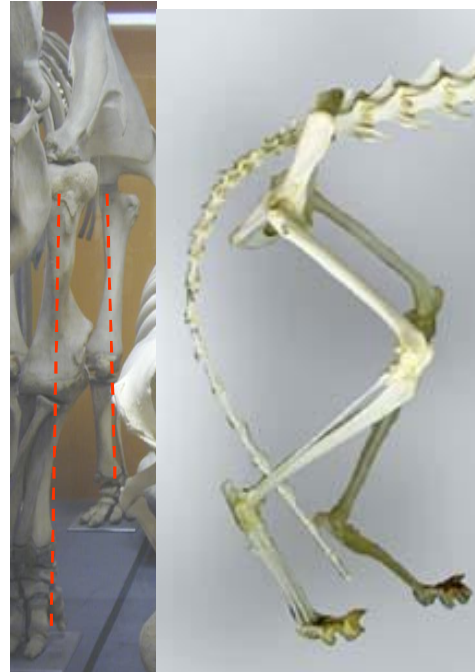
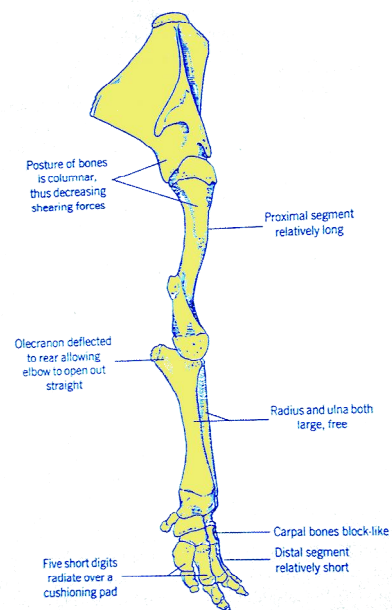
Blocchi che evitino torsioni ed iperestensioni o che immobilizzano l'arto in posizione

Morfologia, funzione e dimensioni corporee

Dimensioni:

Ovvia influenza sull'adattamento ecologico

Meno ovvia ma altrettanto profonda influenza sulla forma generale e sulle capacità di movimento



Gigantismo

Perché alcuni gruppi raggiungono grandi dimensioni ed altri no?

Perché alcuni gruppi non hanno mai prodotto giganti?

Quanto tempo impiega un gruppo ad evolvere forme di grandi dimensioni?

Gli organismi di grandi dimensioni sono avvantaggiati?

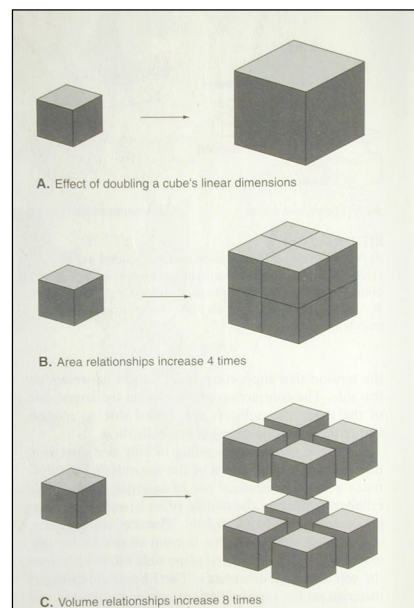
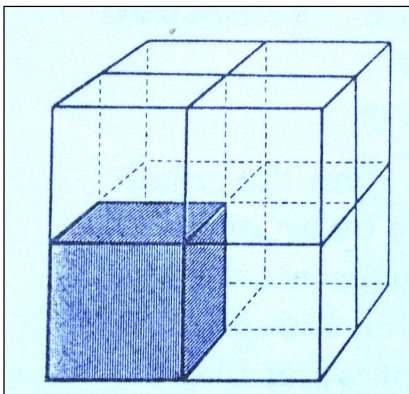
Vincoli meccanici

Peso e sezione ossa

Uno dei vincoli principali nell'acquisizione di grandi dimensioni sono i limiti alla robustezza delle ossa ed alla forza dei muscoli.

Man mano che le dimensioni aumentano, ossa, legamenti e muscoli degli arti sono sottoposti a sforzo (strain) crescente e si devono avere modificazioni della forma e delle proporzioni.

Proporzioni lineari, di superficie e di volume

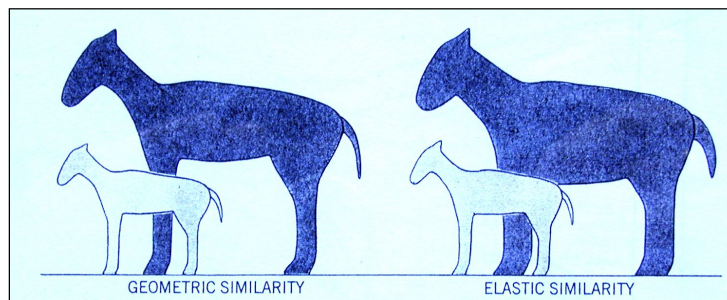


La forza che può essere esercitata da un muscolo è in rapporto con la sezione (che è un'area) La resistenza delle ossa è proporzionale all'area della sua sezione trasversale (una misura bidimensionale)

Al variare delle dimensioni il peso da sostenere o muovere varia in rapporto al volume

Anche le necessità metaboliche variano con il volume

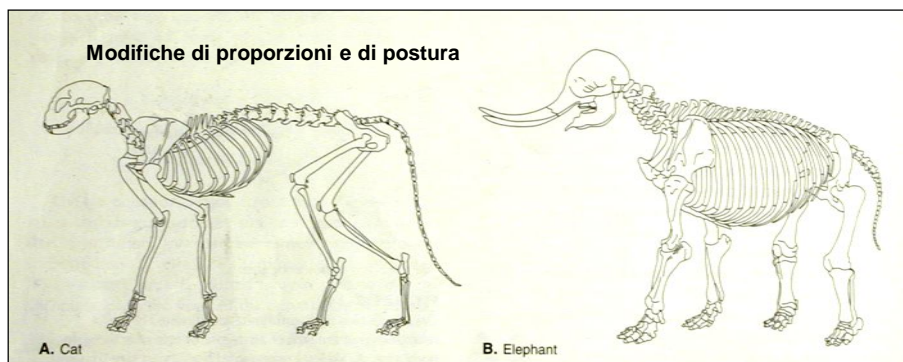
Quindi non può esservi un rapporto geometrico fra le proporzioni degli animali al variare delle dimensioni.



Quindi l'area delle sezioni delle ossa e dei muscoli deve essere maggiore proporzionalmente di più negli animali più grandi

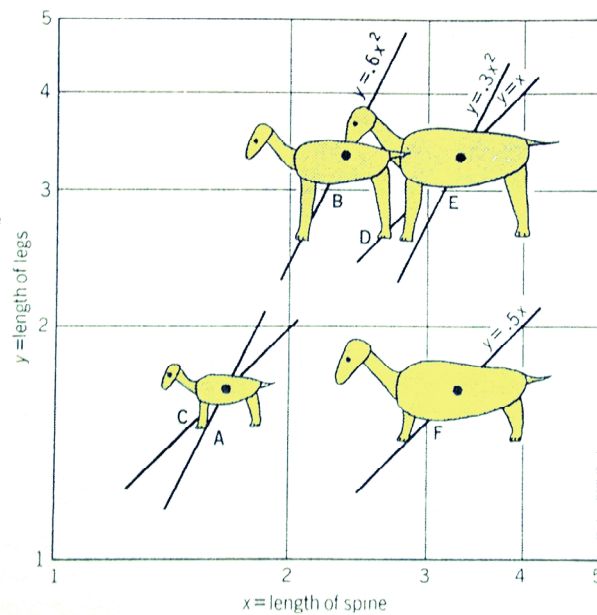
La somiglianza fra vertebrati di diverse dimensioni ma di simile struttura non è quindi geometrica, ma come minimo elastica.

Questo principio pone dei limiti alle dimensioni massime raggiungibili



In realtà non si ha nemmeno una somiglianza elastica, ma una deformazione dinamica. Con differenza di incremento delle varie componenti secondo le necessità metaboliche funzionali o l'adattamento.

es:
Il cervello o l'occhio aumentano poco di massa rispetto al tessuto muscolare



La locomozione è un altro fattore limitante, un animale dal peso ipotetico di 140 tonnellate, potrà anche stare in piedi, ma potrebbe rompersi le gambe semplicemente camminando. Questo perché durante la locomozione le forze si applicano secondo degli angoli rispetto alle ossa degli arti. Secondo alcuni studi l'animale più pesante in grado di camminare potrebbe al massimo pesare 100 t.

Per *Brachiosaurus* (circa 70-80t) è stata calcolata una falcata di 2,5m circa, corta in rapporto alla lunghezza delle zampe (3m) corrispondente ad un passo molto lento.

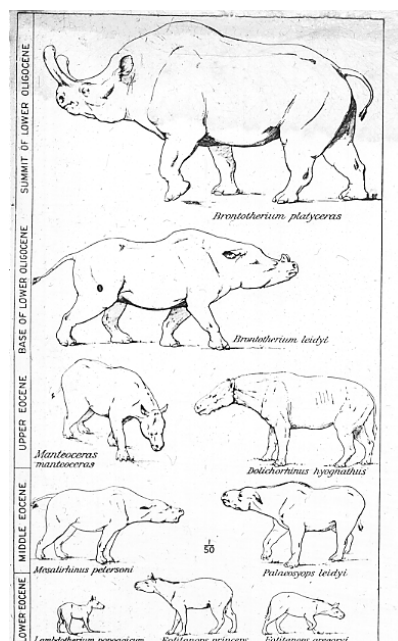
Nelle piante terrestri, il continuo apporto di materiale di sostegno consente il raggiungimento di enormi dimensioni, ed il limite è rappresentato soprattutto dalla capacità di portare in alto la linfa.

Perché poche forme giganti?

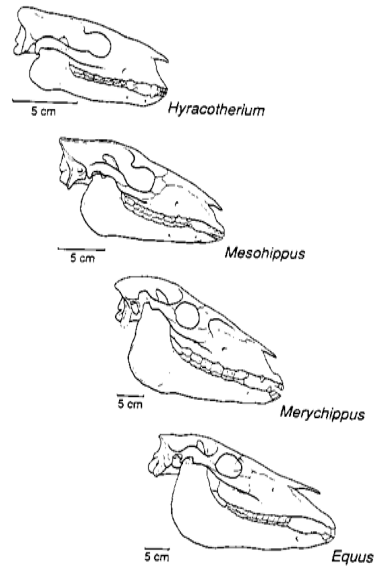
Gli animali contano pochi giganti in pochi gruppi. Probabilmente agiscono fattori limitanti di diverso tipo, ad es. negli Artropodi la muta dell'esoscheletro costringe a dei momenti di vulnerabilità e la respirazione tracheale in quelli terrestri ha dei limiti relativi alla diffusione dell'ossigeno.

Per i filtratori tentacolati o cigliati, è impossibile avere dimensioni troppo grandi perché sarebbe necessaria una superficie enorme per raccogliere il cibo. Certi bivalvi possono diventare grandi, ma al crescere delle dimensioni, la conchiglia deve diventare molto spesso per garantire la necessaria robustezza, e questo influisce sul peso e sulla muscolatura che ad es. muove le valve.

La Regola di Cope (1887) nel loro trend evolutivo le specie che si succedono nelle linee filetiche tendono all'acquisizione di maggiori dimensioni. Visto che questo sembra essere un fenomeno costante, si è indagato su quali siano i vantaggi dell'aumentare di dimensioni.



Secondo Stanley (1973) in realtà la regola di Cope non esprimerebbe un vantaggio effettivo dell'acquisizione di grandi dimensioni, ma semplicemente riflettere il fatto che le linee filetiche iniziano sempre con forme di piccole dimensioni rispetto al loro optimum ecologico.



L'evoluzione di forme di grandi dimensioni

L'acquisizione di grandi dimensioni tuttavia avviene con una notevole velocità in molte linee filetiche

Prosauropodi

Mammiferi Cretacico/Paleocenici

Cetacei

I grandi Molluschi (non Cefalopodi)
sembrano aver acquisito grandi dimensioni
in tempi più lenti

Megalomoidea (Bivalve) vissuto 100 milioni di anni dopo la
radiazione del gruppo

Piante terrestri dal Devoniano,

Felci giganti 50-60 milioni di anni dopo la espansione sulla
terraferma.

Sequoie dal Giurassico/Cretacico, 250 milioni di anni dopo la
espansione e 150 milioni di anni dopo la comparsa delle
Gimnosperme.

Vantaggi e svantaggi delle grandi dimensioni

Maggiore capacità di catturare la preda o
sfuggire ai predatori

Maggior successo riproduttivo

Ampliamento areale

Maggiore longevità individuale

Protezione dai predatori.

Tuttora i Rinoceronti e gli Elefanti hanno pochissimi predatori.

Anche se i carnivori dai denti a sciabola forse erano adattati proprio a predare alcuni rappresentanti di questa megafauna

Maggiori rischi di estinzione (connesso più alla specializzazione che alle grandi dimensioni).

Di solito occupano nicchie più ristrette e necessitano di maggiori quantità di cibo

Dopo le grandi crisi sopravvivono soprattutto
forme opportuniste di piccole dimensioni

Nell'estinzione di massa che segna il passaggio
Paleozoico/Mesozoico scompaiono i grandi Sinapsidi Dicinodonti e
Dinocefali lasciando i Dicinodonti più piccoli ed i Cinodonti

Lo stesso si verifica al passaggio Mesozoico/Cenozoico per
i Dinosauri e i Mammiferi

Secondo Stanley la longevità di una specie varia con il reciproco delle dimensioni, ossia le specie più piccole tendono a durare più a lungo di quelle più grandi.

Ad es. al passaggio Pliocene/Pleistocene, fra i Mammiferi le sole specie moderne che risalgono a oltre 3 milioni di anni fa sono di piccole dimensioni.

Tutte le forme grandi si evolvono successivamente.

Secondo Benton questo non è un artefatto dovuto alla fossilizzazione, perché le forme grandi si conservano meglio di quelle piccole.

Riassumendo: Linee filetiche di organismi di grandi dimensioni:

Minore durata dei taxa

Tasso di speciazione più lento

Tassi di estinzione più alti

Quindi minore resistenza in condizioni di stress.

La scarsa durata delle specie di grandi dimensioni sarebbe un effetto, una caratteristica soggetta a selezione a livello di specie e non di individuo.

TEORIA DELL'EFFETTO:

Le caratteristiche a livello di specie (durata adattamento ecologico s.l.) sarebbero effetti incidentali dei caratteri evolutisi a livello di individuo (preferenze alimentari o di habitat).

Secondo questa teoria, la selezione naturale a livello di organismo favorirebbe e l'acquisizione di grandi dimensioni, che a sua volta produce tassi di estinzione più alti a livello di specie.

Quest'ultimo sarebbe quindi un'effetto incidentale della selezione a livello individuale.

Si tratta di ipotesi interessanti, ma molto controverse e da verificare.