

APPARATO SCHELETRICO

208 OSSA (scheletro osseo)

ARTICOLAZIONI

OSSA

- MIDOLLO OSSEO (partecipa alla produzione di sangue)

OSSA

IMPARI: situate sulla mediana del corpo (es. scatola cranica)

- ETMOIDE
- FRONTALE
- OCCIPITALE
- PARIETALE
- SFENOIDE
- TEMPORALE

PARI: poste ai lati della linea mediana (es. cassa toracica)

- COSTOLE

LUNGHE: prevale la lunghezza sulla larghezza e spessore (es. femore)

- PARTE CENTRALE

- DIAFISI

- CAVITA' DIAFISARIA(le pareti sono composte da TESSUTO OSSEO COMPATTO)
 - MIDOLLO OSSEO

- ESTREMITA'

- EPIFISI

- Composta da TESSUTO OSSEO SPUGNOSO

- TAVOLE DI MANOUVRIER: forniscono le misure medie delle ossa lunghe umane, in base al sesso e all'altezza del soggetto

BREVI: le tre dimensioni sono all'incirca uguali (es. astragalo)

- Sono costituite da TESSUTO OSSEO SPUGNOSO circondato da uno strato sottile di TESSUTO COMPATTO
- no MIDOLLO OSSEO

PIATTE: lo spessore e' di gran lunga inferiore rispetto alle altre misure (es. scapola)

- Costituite da uno strato di TESSUTO SPUGNOSO frapposto tra 2 lamine di TESSUTO COMPATTO
 - LAMELLA: costituita da FIBRILLE COLLAGENE racchiusa in una sostanza cementante che contiene SALI MINERALI
 - All'int. Delle lamelle si trovano piccole cavita' che contengono
 - CELLULE OSSEE

- CAVITA' MAGGIORI
 - VASI
 - NERVI
 - MIDOLLO OSSEO

STRUTTURA E ASPETTO

- SOSTANZA INORGANICA 55.28%
 - FOSFATO DI CALCIO 83.89-85.90%
 - FOSFATO(SALI DELL' ACIDO FOSFORICO)
 - CARBONATO DI CALCIO 9.06-11.00%
 - FOSFATO DI MAGNESIO 1.04-1.84%
 - FLUORURO DI CALCIO 3.20-0.70%
 - FLUORURO (SALI DELL' ACIDO FLUORIDRICO)
- SOSTANZA ORGANICA 26.82%
- **ACQUA** 17%

OSSA PRIMARIE: si originano direttamente dalla trasformazione del Tessuto Connettivo in osso.

OSSA SECONDARIE: contengono centri di ossificazione che trasformano la **CARTILAGINE** in TESSUTO OSSEO

TESSUTI

Tutti i tessuti del corpo umano derivano da tre foglietti germinativi primari dell'embrione primitivo:

- ECTODERMA
- ENDODERMA
- MESODERMA

I tessuti del corpo umano sono:

- TESSUTO CONNETTIVO
- TESSUTO EPITELIALE
- TESSUTO MUSCOLARE
- TESSUTO NERVOSO

I diversi tipi di tessuto sono composti da tre identici componenti:

- CELLULE
- SOSTANZA INTERCELLULARE
- LIQUIDO

TESSUTO CONNETTIVO

Provvede al collegamento, sostegno e nutrimento dei tessuti dei vari organi.

E' costituito da:

- **CELLULE CONNETTIVALI**
 - FIBROCITI O FIBROBLASTI
 - ISTOCITI
 - PLASMACELE
 - MASTCELLULE
 - CELLULE ADIPOSE
 - CELLULE ENDOTELIALI
- **SOSTANZA FONDAMENTALE**
 - UNA PARTE OMOGENEA: ANISTA
 - UNA PARTE DIFFERENZIATA: **FIBRE**

Vi sono diversi tipi di tessuto connettivo:

T. CONNETTIVO FIBRILLARE

- **LASSO**: ricco di sostanza ANISTA
- **DENSO O COMPATTO**: con scarsa sostanza ANISTA.

T. CONNETTIVO ELASTICO

- Costituito in prevalenza da fibre elastiche.

T. CONNETTIVO RETICOLARE

- Costituito in prevalenza da fibre reticolari. Forma il tessuto di connessione delle cellule specifiche di molti organi ed anche le guaine che avvolgono le fibre muscolari o i capillari sanguigni.

Viene anche detto

- **TESSUTORETICOLO-ENDOTELIALE**

T. ADIPOSO

- E' costituito da cellule contenente grasso
- LOCALIZZAZIONE
 - 50% E' accumulato nel tessuto connettivo sottocutaneo dove svolge un'azione di copertura e coibente (evita la dispersione di calore interno)
 - 45% Lo ritroviamo nelle cavita' addominali
 - 5% Lo ritroviamo nel tessuto muscolare.

GRASSO

E' insolubile in acqua, la base chimica e' rappresentata da acidi grassi a catena piu' o meno lunga

- ACIDO ACETICO
- ACIDO BUTIRICO
- ACIDO PROPIONICO
- ACIDO STEARICO
- ACIDO PALMITICO

A seconda della presenza e del numero di doppi legami si suddividono:

- **SATURI**: senza doppi legami tra gli atomi della catena di carbonio
- **INSATURI**: con doppi legami tra gli atomi della catena di carbonio

- **POLINSATURI**: con molti legami tra gli atomi della catena di carbonio

T. ENDOTELIALE

- E' costituito principalmente da cellule endoteliale in un corpo umano, l'endotelio complessivamente raggiunge un peso di 1,5 kg, coprendo un'area di 600 m².

T. CARTILAGINEO

- E' costituito da fibre connettivali
 - **IALINA**: La parte ext e' costituita da tessuto connettivale compatto.

E' il tessuto delle

- CARTILAGINI COSTALI
- NASO
- LARINGE
- TRACHEA
- BRONCHI
- **ELASTICA**: E' particolarmente ricco di fibre elastiche forma il padiglione auricolare dell'orecchio ext.
- **FIBROSA**: E' ricca di fibre collagene, e' la cartilagine dei menischi del ginocchio.

T. OSSEO

- E' costituito da fibre collagene unite a una sostanza calcificante.
 - **SPUGNOSO**: Le lamelle sono intrecciate fra loro a formare una rete 3D.
 - **COMPATTO**: Le lamelle sono addossate parallelamente le une alle altre.

All'interno della sostanza fondamentale sono presenti numerose cavita' nelle quali sono raccolte

- CELLULE
- NERVI
- MIDOLLO OSSEO:
 - E' un tessuto connettivo molle e grasso; ha un ruolo importante nell'ossificazione ed e' il piu' importante organo emopoietico nell'adulto (3.5-6%)
 - CELLULE EMATICHE (MIDOLLO ROSSO)
 - MEGACARIOCITI (MIDOLLO GELATINOSO)
 - CELLULE ADIPOSE (MIDOLLO GIALLO)
- VASI SANGUIGNI
 - ARTERIE
 - ARTERIOLE
 - CAPILLARI
 - VENULE
 - VENE

SANGUE:

- PARTE LIQUIDA-PLASMA RICCO DI ACQUA
- PARTE CORPUSCOLARE-CELLULE

- ERITROCITI O GLOBULI ROSSI
 - Hanno la funzione di trasportare
 - OSSIGENO alle cellule
 - ANIDRIDE CARBONICA ai polmoni
- MONOCITI
- LEUCOCITI O GLOBULI BIANCHI
 - GRANULOCITA NEUTROFILO 97.5%
 - GRANULOCITA EOSINOFILO 1.5%
 - GRANULOCITA BASOFILO 1%
- LINFOCITI: sono dei leucociti dalle dimensioni di 7-12mm, con un nucleo rotondeggiante, 1 citoplasma scarso e pochi granuli

LINFA

- E' il liquido circolante nel sistema linfatico. E' costituita da una parte plasmatici e una parte corpuscolata, costituita da globuli bianchi. Le cellule caratteristiche della linfa sono i linfociti. Al giorno la linfa che circola e' valutabile in 2-4 litri.

CELLULE

- NUCLEO
- CITOPLASMA
- MEMBRANA CELLULARE

NUCLEO

STRUTTURA

- DOPPIA MEMBRANA che lo separa dal CITOPLASMA
- MATERIALE FILAMENTOSO: CROMATINA
 - PROTEINE
 - ACIDI NUCLEICI
 - NUCLEOLI

FUNZIONE: dirige la sintesi proteica e quindi l'attivit  cellulare.

PROTEINE

- PROTEINE SEMPLICI: costituite da soli amminoacidi
- PROTEINE FIBROSE: insolubili nei solventi acquosi
 - COLLAGENE (costituente essenziale del TESSUTO CONNETTIVO)
 - ELASTINA (componente principale delle fibre elastiche e delle pareti vasali)
 - CHERATINA (componente essenziale dell'epidermide)
- PROTEINE GLOBOSE O GLOBURALI: solubili in acqua e cristallizzabili
 - PROTAMINE
 - ISTIONI
 - ALBUMINE
 - GLOBULINE
 - PROLAMINE

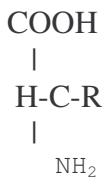
- PROTEINE CONIUGATE
 - GRUPPO PROTEICO
 - GRUPPO PROSTETICO

COSTITUENTI ELEMMENTARI:

- CARBOBIO
- OSSIGENO
- IDROGENO
- AZOTO
- ZOLFO
- FOSFORO
- FERRO
- RAME

I COSTITUENTI ESSENZIALI SONO GLI AMMINOACIDI

Struttura generale



Gli amminoacidi normalmente contenuti nelle proteine sono venti:

1. acido aspartico (monoamminodicarbossilico)
2. acido glutammico (monoamminodicarbossilico)
3. alanina (monoamminomonocarbossilico)
4. arginina (diamminomonocarbossilico)
5. asparagina
6. cisteina (monoamminomonocarbossilico)
7. fenilalanina (monoamminomonocarbossilico)
8. glicina (o *glicocola*)
9. glutammina
10. isoleucina
11. istidina
12. leucina
13. lisina (diamminomonocarbossilico)
14. metionina
15. prolina (iminoacido)
16. serina (monoamminomonocarbossilico)
17. tirosina
18. treonina
19. triptofano (monoamminomonocarbossilico)
20. valina

ACIDI NUCLEICI

Sono macromolecole polimeriche

- ZUCCHERO

- BASE AZOTATA
- GRUPPI FOSFATO

Vi sono due tipi di acidi nucleici

- DNA
 - ZUCCHERO: DESOSSIRIBOSIO
 - ADENINA
 - GUANINA
 - CITOSINA
 - TIMINA
- } BASI AZOTATE
- RNA
 - RIBOSIO-ZUCCHERO
 - ADENINA
 - GUANINA
 - CITOSINA
 - URACILE
- } BASI AZOTATE

CITOPLASMA:

Sostanza viscosa presente all'interno della cellula principalmente formato da acqua

MEMBRANA CELLULARE:

Delimita esternamente la cellula, separando il comportamento intracellulare da quello extracellulare.

E' costituita da un doppio strato lipidico di spessore 5nm contenente una quantita' di proteine

- LIPIDI
 - FOSFOLIPIDI (70% DEL PESO LIPIDICO TOTALE)
 - COLESTEROLO (20%)
 - GLICOLIPIDI (5%)

Svolge due funzioni essenziali

- FILTRO
- SUPERFICIE DI COMUNICAZIONE: permette lo scambio di informazioni tra l'ambiente intra-extracellulare

FIBRE

FIBRE COLLAGENE: sono formate da un insieme di filamenti detti protofibrille, ciascuna protofibrilla e' fatta di tanti parti che si ripetono costantemente nella struttura con periodo di 64/1000000 di mm.

Lo spessore e' di un decimillesimo di mm. Non resistono alla bollitura

FIBRE RETICOLARI: Composte da filamenti molto sottili, che si intrecciano formando un reticolo

FIBRE ELASTICHE: Composte da cilindri o nastroforni, provvisti di una certa elasticita'. La struttura delle fibre elastiche non e periodica come quella delle fibre collagene; resistono alla bollitura.

TESSUTO EPITELIALE

E' specializzato nella protezione, assorbimento e secrezione

- EPITELIO DI RIVESTIMENTO O PAVIMENTOSO
- EPITELIO GHIANDOLARE
 - GHIANDOLE ENDOCRINE
 - GHIANDOLE ESOCRINE
- EPITELIO SENSORIALE E' costituito da cellule che ricevono le informazioni di senso

TESSUTO MUSCOLARE

- TESSUTO MUSCOLARE LISCIO O AUTOMATICO
- TESSUTO MUSCOLARE STRIATO
- TESSUTO MUSCOLARE CARDIACO

TESSUTO NERVOSO

- NEURONI
 - SENSORIALI: partecipano all'acquisizione di stimoli, trasportando le informazioni dagli organi sensoriali al sistema nervoso centrale.
 - INTERNEURONI: all'interno del sistema centrale, integrano i dati forniti dai neuroni sensoriali e li trasmettono ai neuroni motori:
 - Trasmettono i messaggi alle cellule effettrici

APPARATO ARTICOLARE

E' il sistema di organi che ha la funzione di congiungere, attraverso le articolazioni, le ossa dello scheletro del corpo

- TENDINI
 - COLLAGENE 87%
 - ELASTINA <5%
- LEGAMENTI
 - COLLAGENE 80%
 - ELASTINA 5%

L'osso e' un materiale che combina elevata resistenza, alto modulo elastico, grande leggerezza e deformabilita'.

Nella tabella (1.1-I) sono riportate le caratteristiche meccaniche dell'osso, confrontate con quelle dell'acciaio inossidabile.

MATERIALE	TENSIONE DI ROTTURA FLESSIONE (σ)	MODULO DI ELASTICITA' E
OSSO COMPATTO	0.2 GN m ⁻²	11 GN m ⁻²
OSSO SPONGIOSO	4 MN m ⁻²	0.3 GN m ⁻²
ACCIAIO AL CARBONIO	1.4 GN m ⁻²	210 GN m ⁻²
ACCIAIO INOSSIDABILE	1.5 GN m ⁻²	205 GN m ⁻²

TABELLA 1.1-I: Caratteristiche meccaniche dell'osso e di due tipi di acciaio.

I valori riportati in tabella per l'osso compatto non sono molto rappresentativi del suo reale comportamento, in quanto si dimostra che i risultati sperimentali variano notevolmente a seconda della direzione in cui vengono tagliati i provini (tab. 1.1-II). I valori del carico di rottura e del modulo di elasticita' dipendono dalla velocita' di applicazione del carico (tab. 1.1-III) (fig. 1.1.1). Ricordando che l'energia assorbita dall'osso e' proporzionale all'area della superficie sottesa dalla curva di carico nel diagramma tensioni-deformazioni, si vede subito che all'aumentare della velocita' di applicazione del carico aumenta anche l'energia assorbita.

TRAZIONE		
MODULO DI ELASTICITA' E	Longitudinale	17.6GN m ⁻²
	Trasversale	13.6GN m ⁻²
TENSIONE DI ROTTURA σ	Longitudinale	135MN m ⁻²
	Tangenziale	50MN m ⁻²
	Radiale	50MN m ⁻²
COMPRESSIONE		
MODULO DI ELASTICITA' E	Longitudinale	18.2GN m ⁻²
	Trasversale	11.7GN m ⁻²
TENSIONE DI ROTTURA σ	Longitudinale	205MN m ⁻²
	Tangenziale	130MN m ⁻²

TABELLA 1.1-II : Proprieta' meccaniche dell'osso compatto del femore in funzione della direzione di sollecitazione.

VELOCITA' DI DEFORMAZIONE (EPSILON)'	0.001	0.01	0.1	1.0	S ⁻¹
E (trazione)	24.2	25.3	26.4	-	GN m ⁻²
E (compressione)	18.5	20.0	24.0	27.5	GN m ⁻²
Sigma (trazione)	130	150	170	-	MN m ⁻²
Sigma (compressione)	180	210	230	250	MN m ⁻²

TABELLA 1.1-III: Caratteristiche meccaniche dell'osso compatto in funzione della velocita' di applicazione della deformazione

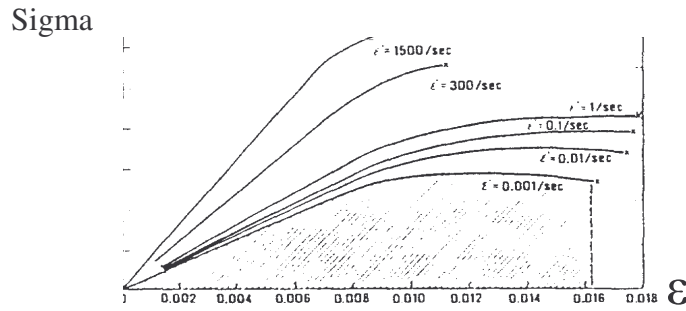
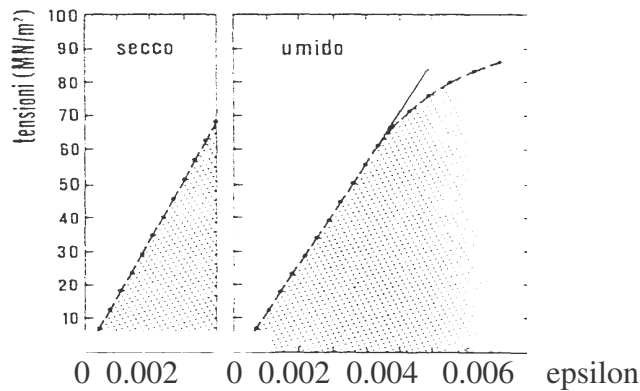


Fig. 1-1-1 Curve tensioni-deformazioni dell'osso corticale a diverse velocita' di deformazione . Si e' indicato con (sigma) la tensione, con (epsilon) la deformazione unitaria, con (epsilon)' la derivata della deformazione rispetto al tempo. L'area sottesa da ciascuna curva, come ad esempio quella tratteggiata, rappresenta l'energia di deformazione per unita' di volume.

La fig. 1.1.2 confronta le curve tensioni-deformazioni relative a osso secco ed umido: si osserva innanzitutto che l'osso secco presenta comportamento elastico fino a rottura, mentre quello umido presenta un'ampia zona di comportamento plastico. Pertanto l'osso umido richiede una energia di deformazione a rottura assai maggiore dell'osso secco.

Dal punto di vista biomeccanico l'osso e' un materiale composito, cioe' costituito da fibre immerse in una matrice di collagene. Le fibre sono disposte con regolarita', parallele fra di loro, ed orientate secondo la direzione prevalente dei carichi.



RICHIAMI DI MECCANICA DELLE ARTICOLAZIONI PORTANTI.

Le articolazioni maggiormente sollecitate sono quelle portanti, cioe' l'anca, il ginocchio e la tibio-tarsica.

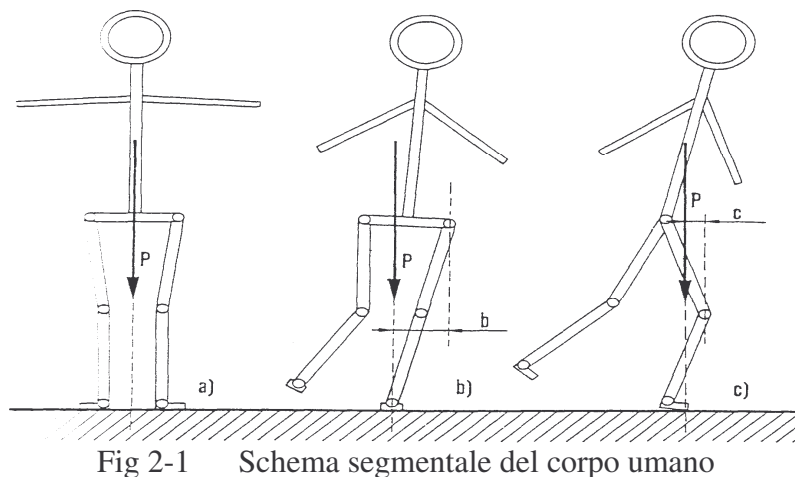


Fig 2-1 Schema segmentale del corpo umano

- a) appoggio simmetrico
- b) appoggio unipodale in vista frontale
- c) appoggio unipodale in vista laterale

In fig 2-1-a e' rappresentato il modello segmentale di un uomo in posizione eretta, con appoggio simmetrico su due piedi. In tali condizioni il vettore peso P passa per il punto medio tra i due piedi e si scarica in misura uguale su ciascun arto inferiore. Nelle figure 2-1-b, 2-1-c sono rappresentate rispettivamente le viste frontale e laterale del modello durante un passo.

Con riferimento alla fig. 2-1-b, dato che una gamba e' sollevata, e quindi tutto il peso deve essere sopportato da quella che appoggia sul terreno, l'anca corrispondente risulta compressa innanzitutto dal peso P. Poiche' pero' la linea d'azione del peso P ha un braccio di leva b rispetto al centro di rotazione dell'anca, questa deve anche esercitare un momento M di senso orario pari a P b.

Per poter esercitare questo momento rispetto al centro dell'anca, i muscoli pelvi-trocanterici si inseriscono sul trocantere, secondo lo schema di fig. 2-2.

Pertanto nella posizione unipodale tali muscoli dovranno esercitare uno sforzo traente pari a:

$$T = P \cdot b/a$$

E quindi sulla testa del femore verra' esercitato un carico verticale:

$$R_{vert} = P \cdot (1 + b/a \cdot \cos(\alpha))$$

Una componente orizzontale:

$$R_{oriz} = P \cdot b/a \cdot \sin(\alpha)$$

Ed una risultante:

$$R = (R_{oriz}^2 + R_{vert}^2)^{1/2}$$

Poiche' nell'espressione della risultante R il peso P viene moltiplicato per un fattore che e' sempre maggiore di 1, risulta chiaramente che la testa femorale nella posizione unipodale e' comunque caricata da una forza di entita' superiore al peso del corpo. L'entita' del fattore moltiplicativo della forza P dipende dalla geometria del sistema.

Pertanto il giunto d'anca e' sempre molto caricato, in condizioni statiche tre o quattro volte il peso del corpo. L'aggiunta di fattori dinamici, sempre presenti in tutte le attivita' umane, non puo' che peggiorare questa situazione di carico.

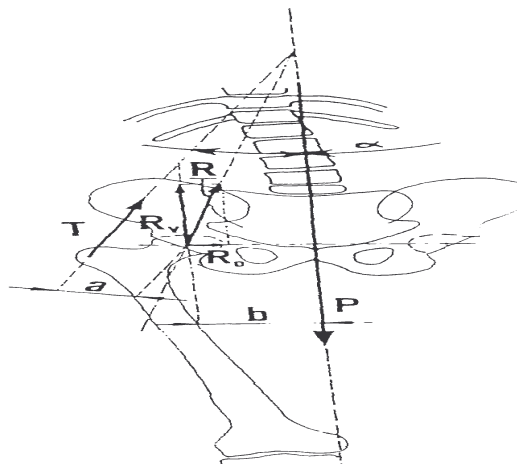


Fig 2-2 Schema meccanico semplificato dell'articolazione d'anca.

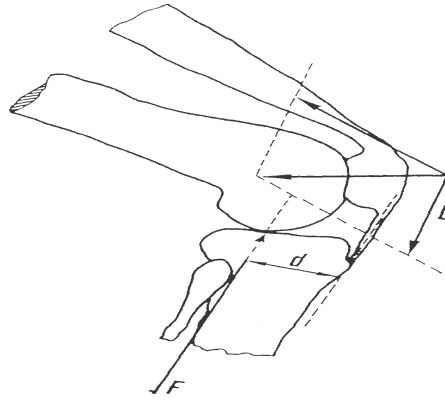


Fig 2-1-c: Schema meccanico semplificato dell'articolazione del ginocchio.

Per quanto riguarda il ginocchio si osservi la fig 2-1-c. In posizione di ginocchio flesso, la forza peso P possiede il braccio di leva c rispetto al punto che schematizza il ginocchio. Come per l'anca, pure il ginocchio deve esercitare un momento $C = P c$, anch'esso di senso orario, e cio' viene effettuato, come si vede in fig 2-4, mediante il tiro L del legamento rotuleo, che assume il valore

$$L = (P c) / d$$

La reazione che la tibia trasmette al femore attraverso il punto di reciproco contatto vale pertanto:

$$F = P + L = P (1 + c/d)$$

Quindi anche nel caso del ginocchio la forza F che sollecita l'articolazione e' superiore al peso del corpo, ma mentre per l'anca il fattore maggiorativo dipendeva solo dalla geometria del sistema, per il ginocchio il fattore maggiorativo dipende dalla posizione assunta dal corpo ed assume quindi valori diversi a seconda dell'attivita' che si svolge

TIPO ATTIVITA'	FORZE SUL GINOCCHIO
CAMMINATA IN PIANO	3.02 x P
SALITA DI RAMPA	3.97 x P
DISCESA DI RAMPA	3.95 x P
SALITA DI SCALE	4.25 x P
DISCESA DI SCALE	3.83 x P

APPARATO MUSCOLARE

- ACQUA 75%
- PROTEINE 20% le piu' importanti sono MIOSINA E ACTINA
- GLICIDI 0.5-1.5% il piu' importante e' il glicogeno: e' un polimero del glucosio ed e' solubile in acqua e appare come una polvere bianca
 - POLIMERI: sono macromolecole, ovvero molecole con elevato peso molecolare
 - POLISACCARIDI-GLUCIDI detti anche CARBOIDRATI o IDRATI di CARBONIO
 - CARBONIO
 - IDROGENO
 - OSSIGENO

Tra i glucidi il piu' importante e' il GLUCOSIO

- FRUTTOSIO
 - AMIDO
 - SACCAROSIO
 - CELLULOSA
 - GLICOGENO
-
- PROTEINE-PROTIDI
 - DNA-RNA che costituiscono gli acidi nucleici
 - SINTESI:
 - POLIADDIZIONE
 - POLICONDENSAZIONE
-
- GRASSI
 - NEUTRI
 - COLESTEROLO
 - FOSFOLIPIDI
-
- SALI MINERALI 5%
 - MACROELEMNTI
 - CALCIO
 - FOSFORO
 - MAGNESIO
 - SODIO
 - POTASSIO
 - CLORO
 - ZOLFO

 - MICROELEMENTI
 - FERRO
 - RAME
 - ZINCO
 - FLUORO

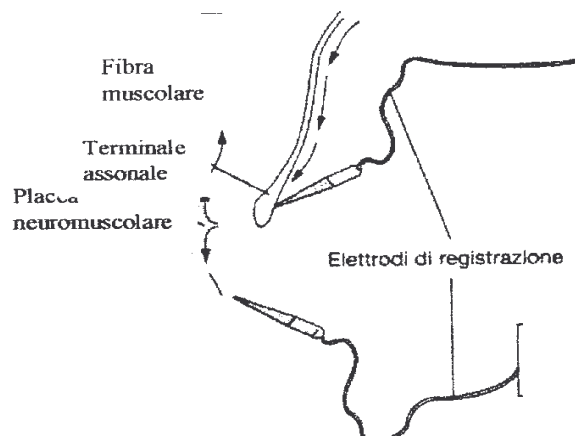
- IODIO
- SELENIO
- CROMO
- COBALTO
- MANGANESE
- MOLIBDENO
- SILICIO
- NICHEL
- CADMIO
- VANADIO

- **ENZIMI**: E' una proteina o un complesso di proteine in grado di accelerare una specifica reazione chimica, chimicamente si parla di un catalizzatore biologico.
- **SOSTANZE**
 - ESTRATTIVE AZOTATE
 - (es.CREATINA) sintesi tra gli amminoacidi
 - GLICINA
 - ARGININA
 - METIONINA
 - NON ESTRATTIVE AZOTATE –(ACIDO LATTICO)
 - PIGMENTI- (MIOGLOBINA)

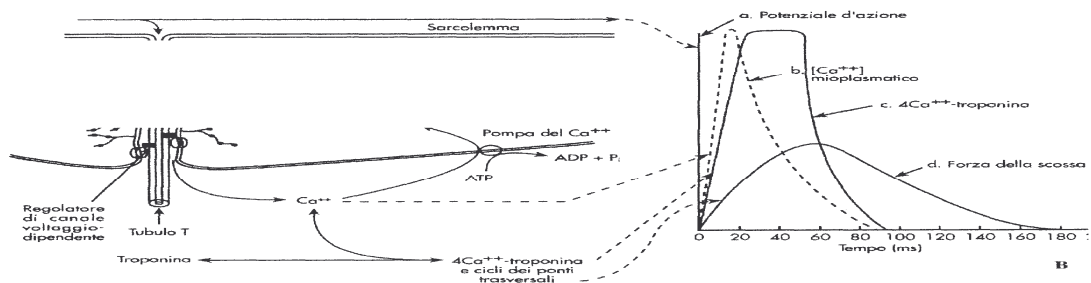
STRUTTURA MUSCOLO SCHELETRICO: Partendo dall'interno troviamo

- SARCOMERO (ACTINA E MIOSINA)
- SARCOPLASMA delle MIOFIBRILLE (citoplasma delle singole fibre muscolari)
- SARCOLEMMA (membrana delle singole fibre muscolari)
- ENDOMISIO (membrana interposta tra le singole fibre)
- PERIMISIO (sacco connettivo contenente i gruppi di fibre)
- MOTONEURONE (connessione tendinea interna)
- EPIMISIO (tessuto muscolare esterno)
- TESSUTO CONNETTIVO (tendine)
- PERIOSTIO (inserzione ossea del tendine)

SCOSSA SEMPLICE



- PA dal MN raggiunge la placca neuromuscolare
- Rilascio di ACh e depolarizzazione della membrana muscolare: potenziale di placca -sempre soprasoglia
- Propagazione del PA lungo la fibra muscolare (nei due versi) e verso l'interno (tubuli T)
- Accoppiamento elettromeccanico tra tubuli T e reticolo sarcoplasmatico -> rilascio di Ca nel sarcoplasma
- Il Ca si lega alla troponina -> liberazione siti attivi sul filamento di actina
- Accoppiamento actina-miosina e rilascio di fosfato -> "colpo di forza", scorrimento dei filamenti, rilascio di ADP (-> stato di rigor)
- ATP che si lega alla miosina permette il distacco dalla actina e l'inizio di un nuovo ciclo (punto 5), ATP idrolizzato in ADP e P (funzione ATP-asi della miosina) che restano legati alla miosina.
- Riassorbimento attivo del Ca nel reticolo sarcoplasmatico (Ca-ATPasi) -> siti attivi tornano ad essere bloccati-> rilassamento muscolare



membrane e proteine che partecipano alla regolazione del Ca^{++} mioplasmatico nel muscolo scheletrico. I potenziali d'azione si propagano lungo il sarcolemma (B, a) e depolarizzano le membrane dei tubuli T che contengono elementi voltaggio- sensibili che regolano l'apertura dei canali del Ca^{++} nelle contigue membrane del reticolo sarcoplasmatico. Un impulso di ioni calcio (B, b) diffonde fuori dal reticolo sarcoplasmatico ed entra nel mioplasma mentre il canale è aperto. Nel mioplasma, il Ca^{++} si lega alla troponina (B, c) e inizia il ciclo dei ponti trasversali (B, d) oppure si lega alle pompe del Ca^{++} che lo trasferiscono di nuovo nel reticolo sarcoplasmatico dove gran parte del calcio si associa in modo reversibile alle proteine che lo fissano con bassa affinità.

L'unità motoria



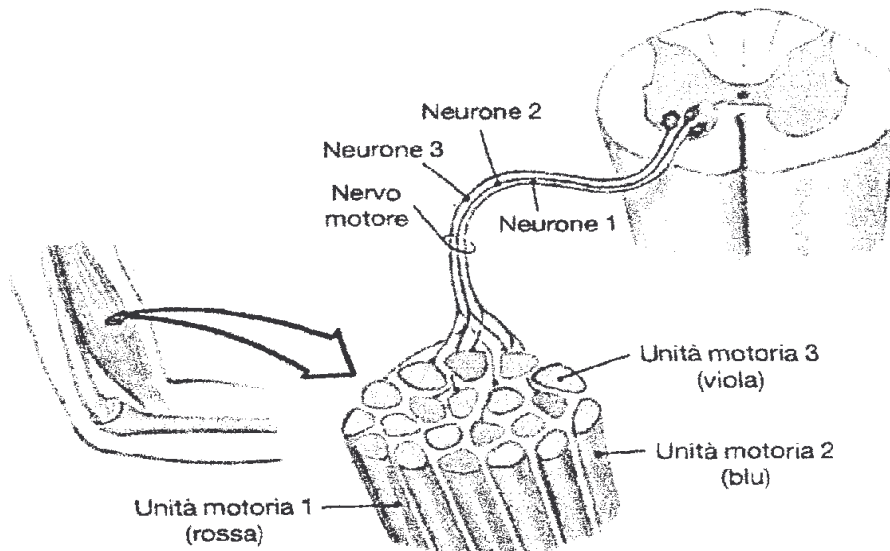
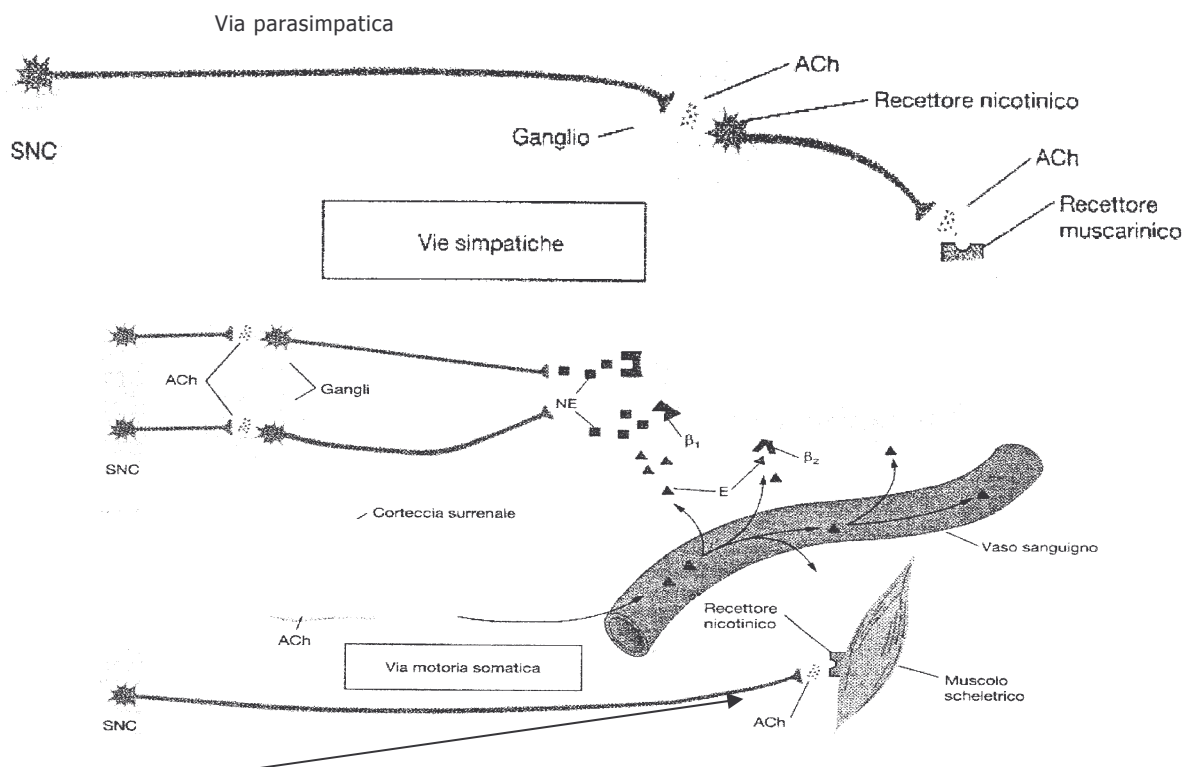


Figura Un muscolo è costituito da molte unità motorie

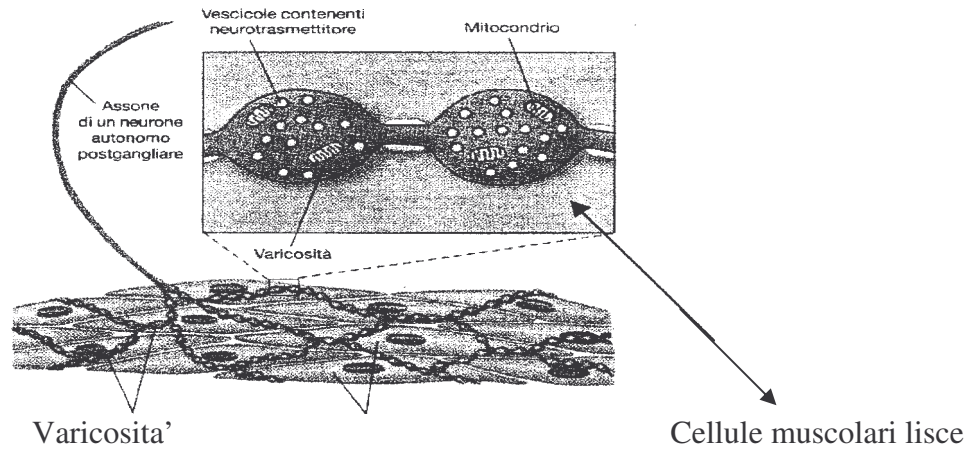
Un muscolo può contenere molte unità motorie di tipo diverso.

- L'unità motoria è costituita da un motoneurone e da tutte le fibre muscolari da esso innervate (da poche unità a diverse migliaia)
- Le fibre muscolari di un'UM sono tutte dello stesso tipo (toniche o fasiche)
- L'UM è la minima unità contrattile
- Le fibre di un'UM sono generalmente distribuite omogeneamente nel volume muscolare, mescolate a fibre di altre UM.

NEUROTRASMETTITORI E RECETTORI



ACh= acetilcolina NE= norepinefrina=noradrenalina E=epinefrina=adrenalina



Rilascio di neurotrasmettitore attraverso varicosità piuttosto che vere e proprie sinapsi => azione paracrina

CONTROLLO MOTORIO

Classi di movimento:

- **Riflessi**: risposte motorie stereotipate a determinati stimoli (di stiramento muscolare cutanei, dolorifici...)
- **Ritmici**: movimenti periodici, automatici (es. respirazione, locomozione, masticazione)
- **Posturali**: movimenti automatici obiettivi al mantenimento dell'equilibrio.
- **Volontari**: "goal-oriented", es. afferrare un oggetto.

FUSO NEUROMUSCOLARE

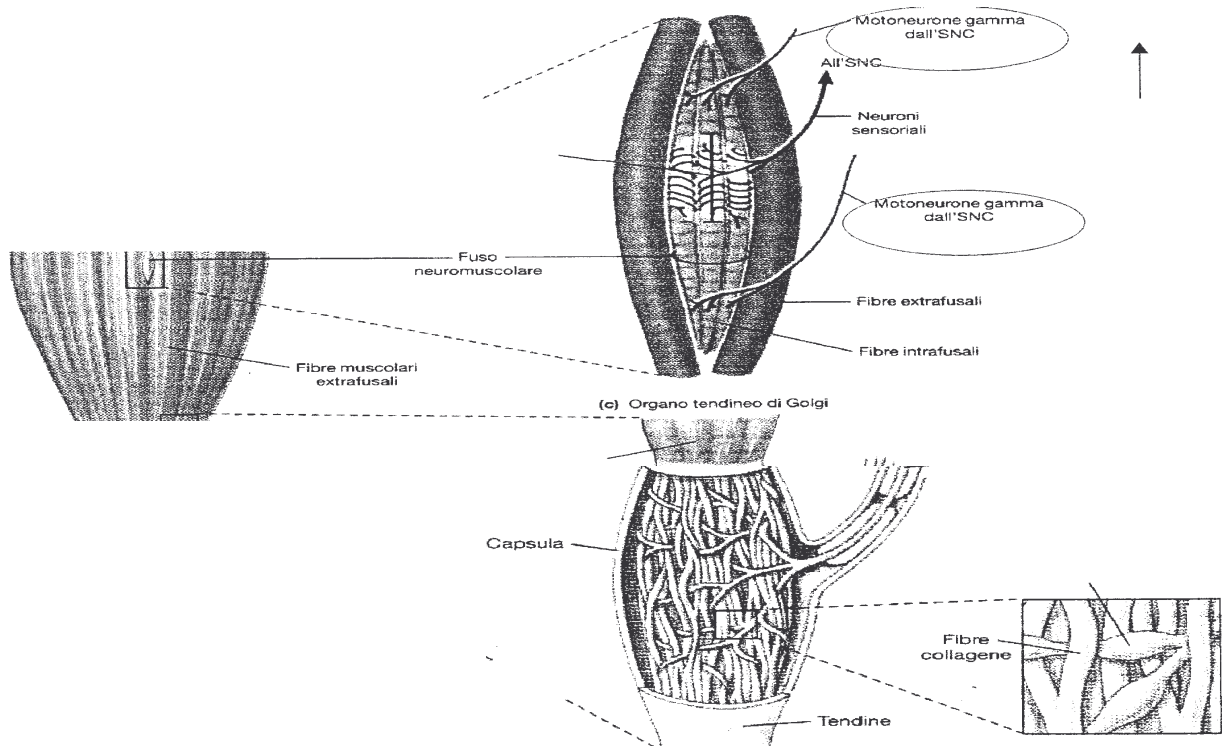


Figura-Recettori sensoriali muscolari (a) Sparsi tra le normali fibre contrattili (fibre extrafusali) del muscolo si trovano i recettori per lo stiramento detti fusi neuromuscolari. Gli organi tendinei del Golgi sono recettori che collegano il muscolo e il tendine. La contrazione delle fibre extrafusali è controllata dai motoneuroni alfa, mentre la contrazione delle fibre dei fusi è controllata dai motoneuroni gamma. Gli organi tendinei di Golgi non si contraggono. (b) La regione centrale delle fibre intrafusali è priva di miofibrille e non può contrarsi. Le terminazioni dei nervi sensoriali avvolgono la regione centrale e si attivano quando la sezione centrale del fuso muscolare viene allungata (stirata). La estremità delle fibre intratusali contengono miofibrille che si contraggono in risposta a comandi dei motoneuroni gamma. (c) L'organo tendineo di Golgi è costituito da neuroni sensoriali intrecciati a fibre collagene. Se le fibre collagene vengono stirate, esse schiacciano i neuroni sensoriali e innescano potenziali di azione.

- **Il fuso neuromuscolare**, disposto parallelamente alle fibre muscolari (extrafusali), ne subisce e ne segnala lo stiramento: recettore di lunghezza. Dispone di innervazione efferente motoria gamma.
- **Il recettore tendineo di Golgi**, disposto in serie alle fibre muscolari ne subisce e ne segnala la forza di contrazione: recettore di forza.

PERCEZIONE DELL'INTENSITA' DI STIMOLAZIONE

Legge di Weber:

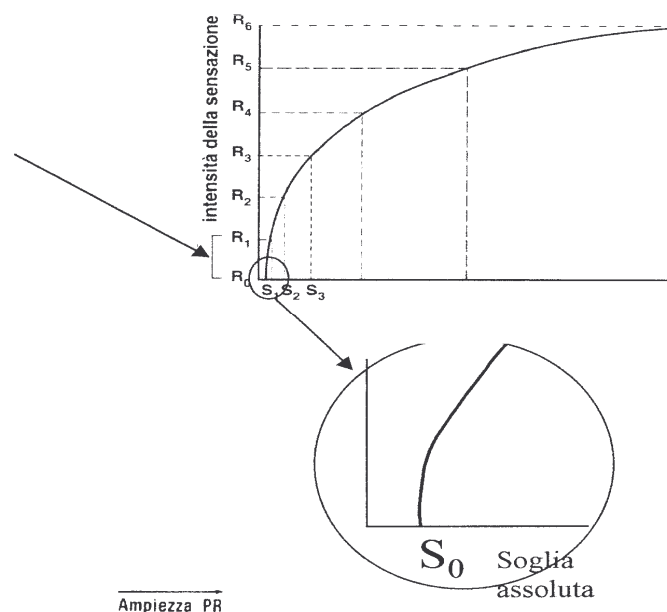
$$(\Delta)S = K * (\Delta)I/I \quad (\Delta)I/I = 1/30 \text{ ca.}$$

- S=sensazione
- I= Intensità di stimolazione (luce pressione, temperatura...)
- K, K'= fattori di proporzionalità costanti

Legge di Weber-Fechner:

$$\text{Intensità di sensazione: } S = K' \log(I)$$

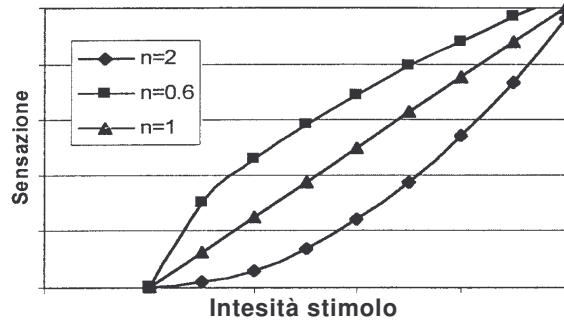
Incremento unitario=differenza minima percettibile a livello di sensazione $4S$, l'aumento necessario di intensità dello stimolo ΔI dipende dal valore di partenza I ed è detto soglia differenziale



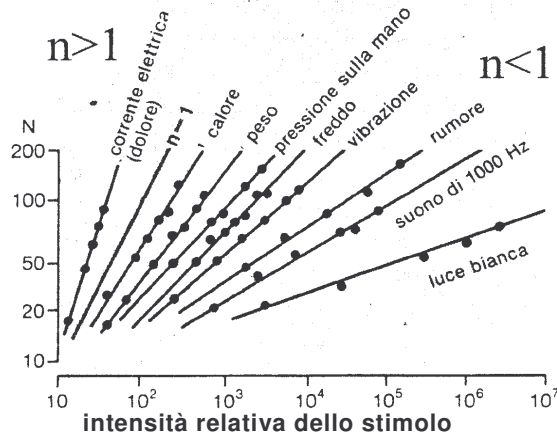
Legge di Stevens:

$$S=K(I-I_0)^n$$

Per $n < 1$ assomiglia alla curva logaritmica



Le curve esponenziali diventano rette su scala bilogarithmica



L'intensità della sensazione è qui misurata con il metodo dell'intensità intermodale tramite la forza esercitata su un dinamometro a mano (ordinate).