

www.fisiokinesiterapia.biz

Bioingegneria della riabilitazione

Analisi Del Movimento

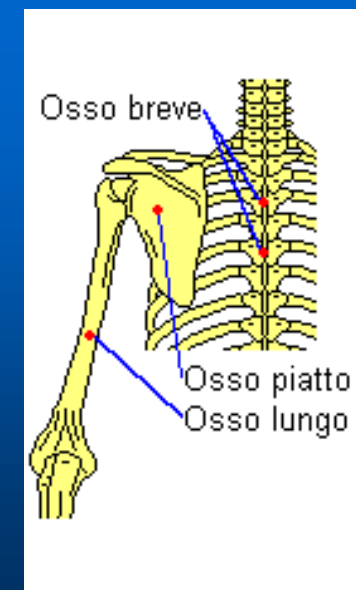
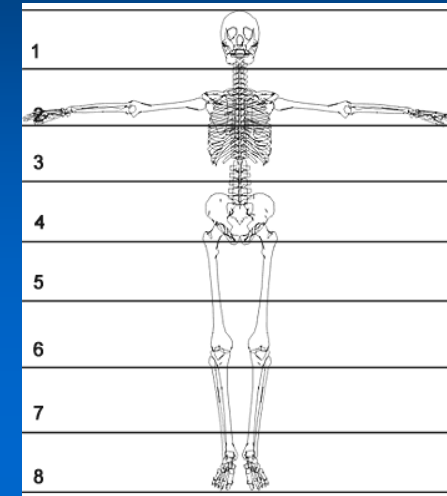
Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

Costituiscono lo scheletro l'insieme delle strutture ossee del corpo aventi funzione di sostegno e di protezione dei tessuti molli.

Le ossa, grazie alla connessione con il sistema muscolare, funzionano da leve consentendo il movimento.

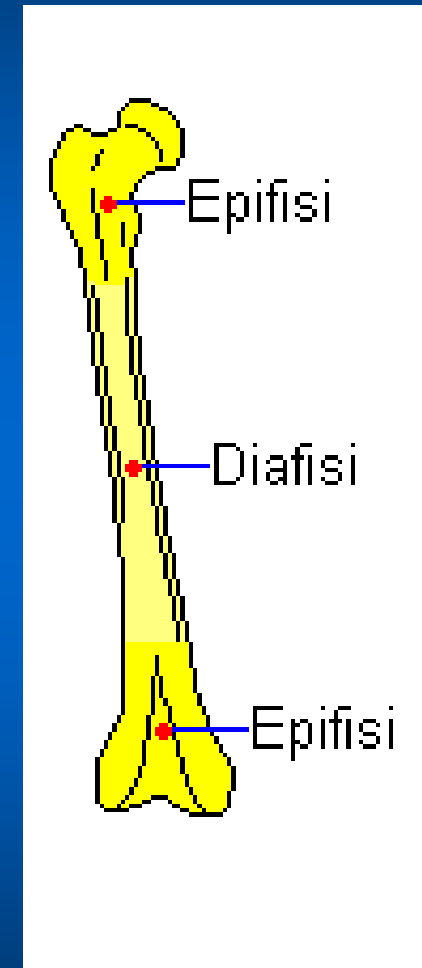
Si dividono in:

- ossa lunghe: se la lunghezza prevale sulle altre dimensioni;
- ossa piatte o larghe: se la larghezza e la lunghezza prevalgono sullo spessore;
- ossa brevi: se le tre dimensioni sono pressoché uguali.



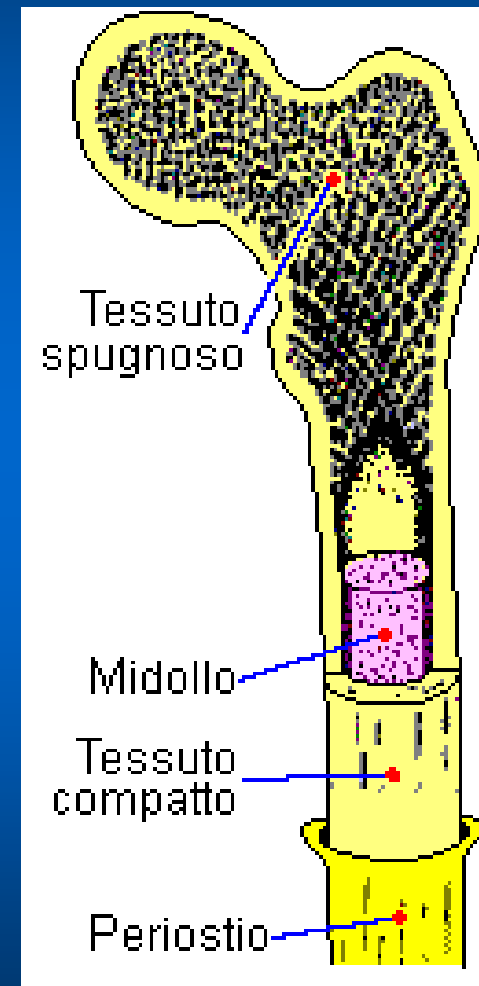
Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

- Delle ossa lunghe viene convenzionalmente definita diafisi o corpo la parte principale ed epifisi le due parti estreme (Figura).
- La definizione di creste, linee, spine, tuberosità, bozze viene utilizzata per definire le varie sporgenze che un osso presenta. Il termine apofisi, spesso utilizzato per sostituire tutti quelli precedenti, dovrebbe essere riferito a sporgenze particolarmente voluminose e marcate.
- Le cavità presenti nelle ossa possono essere articolari e non, a seconda se fanno parte o meno di un'articolazione.
- Le cavità non articolari possono offrire inserzione ai tendini oppure accogliere organi o rendere l'osso più leggero senza diminuirne la resistenza.



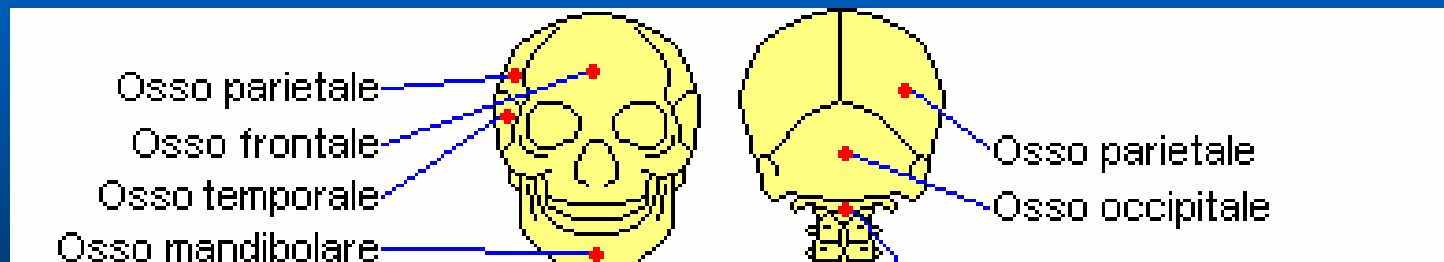
Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

- La **CONFORMAZIONE INTERNA DELLE OSSA** presenta tre tipi di tessuto osseo (Figura):
- tessuto osseo compatto: risultante dalla sovrapposizione di numerose lamelle ossee;
- tessuto osseo spugnoso: costituito da tante piccole cavità, delimitate dall'intreccio di lamelle ossee;
- tessuto osseo reticolare: simile al precedente ma con cavità maggiori.
- L'osso è una struttura dinamica in continua trasformazione, infatti è provvisto di vasi arteriosi e venosi, vasi linfatici e nervi.



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

- In relazione alla loro **DISPOSIZIONE SCHELETRICA** le ossa costituiscono:
- **TESTA:** situata superiormente al collo e articolata mediante l'osso occipitale alla prima vertebra cervicale (atlante) si suddivide in:
 - - **Neurocranio:** parte superiore e posteriore costituita da otto ossa, quattro impari (frontale, etmoide, sfenoide, occipitale) e due pari (temporali e parietali).
 - - **Splancnocranio:** parte anteriore costituita da quattordici ossa, due impari (mandibola e vomere) e sei pari (mascellari superiori, zigomatiche, lacrimali, cornetti inferiori, nasali, palatine).



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

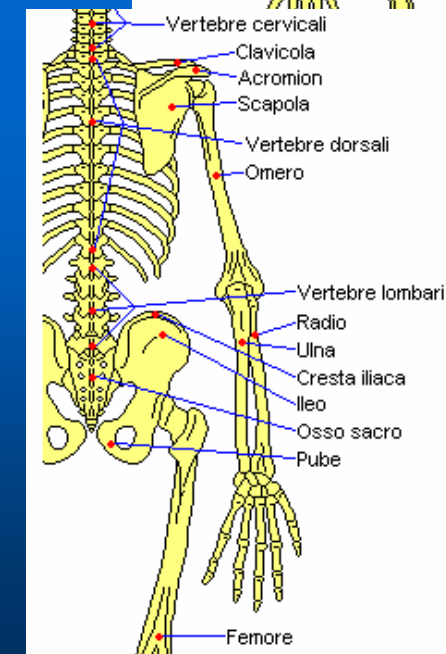
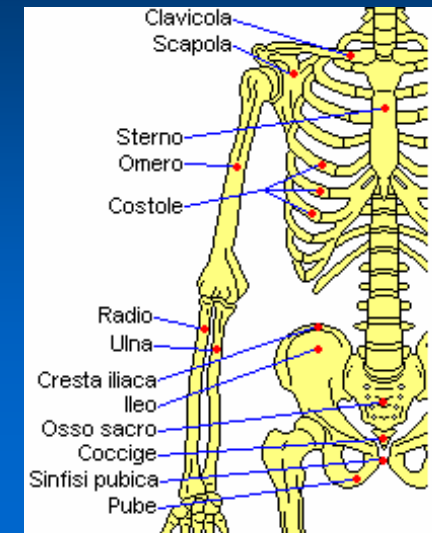
TRONCO, formato da:

Colonna vertebrale: insieme delle vertebre lungo la linea mediana posteriore. si suddivide in:

- - tratto cervicale (collo): composto da 7 vertebre (le prime due sono l'atlante e l'epistrofeo);
- - tratto dorsale (dorso): composto da 12 vertebre;
- - tratto lombare (lombi): composto da 5 vertebre;
- - tratto sacrale (sacro): composto da 5 vertebre;
- - tratto coccigeo (coccige): composto da 4-5 vertebre (saldate).

Ossa del cinto toracico: È formato da:

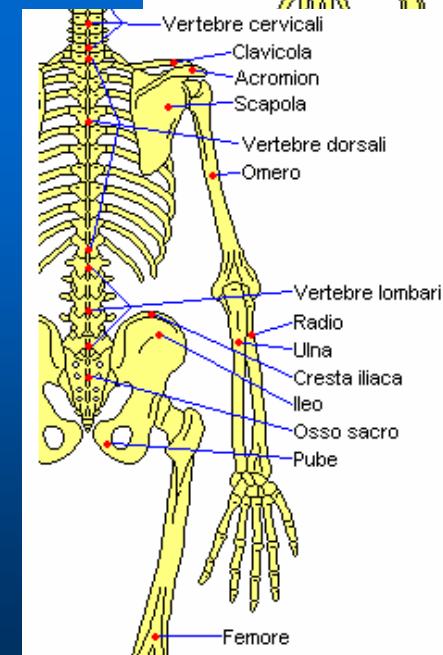
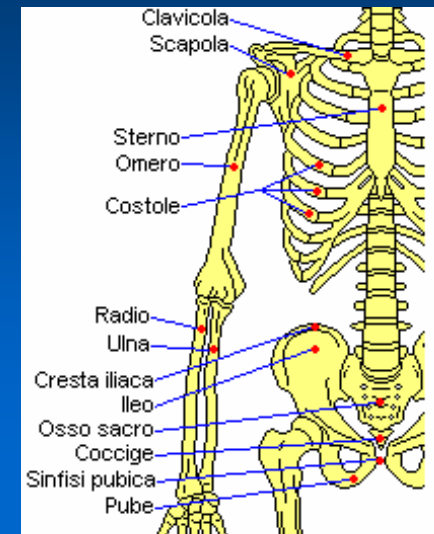
- clavicola:
- scapola:
- Gabbia toracica:
- - Bacino: complesso osseo, formato dalle due ossa iliache e dall'osso sacro, su cui si articolano gli arti inferiori e la colonna vertebrale. La parte inferiore dell'osso iliaco viene denominata pube.



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

ARTO SUPERIORE:

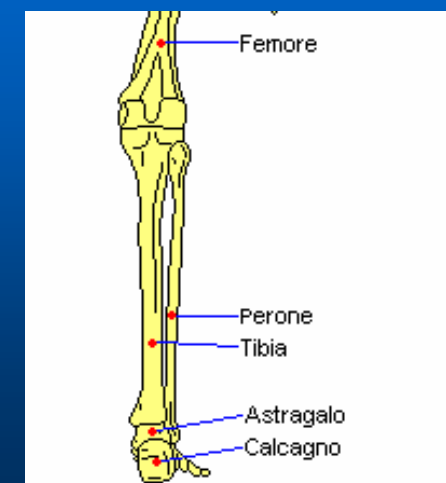
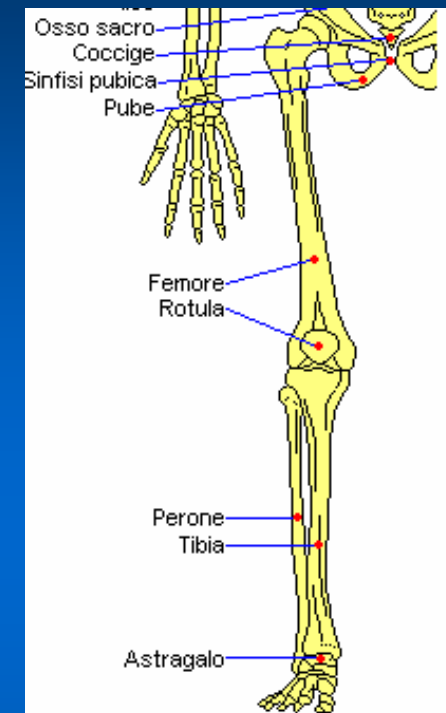
- - Omero: osso lungo costituente la parte scheletrica del braccio. Si articola tra la cavità glenoidea della scapola e l'una e radio dell'avambraccio.
- - Radio: osso lungo che, insieme all'ulna, costituisce la parte scheletrica dell'avambraccio. Si articola tra l'omero, l'ulna ed il carpo.
- - Ulna: osso lungo che, insieme al radio, costituisce lo scheletro dell'avambraccio. Si articola sul radio e tra l'omero ed il carpo.
- - Carpo: regione della mano compresa tra l'articolazione del polso ed il metacarpo. Si compone di otto ossa: scafoide, semilunare, piramidale, piriforme, trapezio, trapezoide, grande osso e uncinato.
- - Metacarpo: regione della mano che congiunge il carpo alle falangi. Dal punto di vista scheletrico è composta da cinque ossa.
- - Falangi: segmenti ossei che compongono le dita della mano. Sono tre per ogni dito. Fa eccezione il pollice che ne ha due.



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Ossa

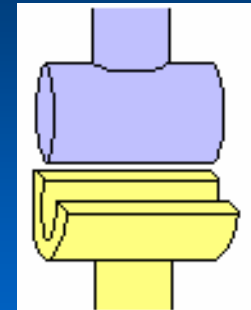
ARTO INFERIORE:

- Femore: osso lungo della coscia che si articola tra l'osso iliaco, tibia e rotula.
- Rotula: osso piatto della regione anteriore del ginocchio.
- Tibia: osso lungo che, insieme al perone, costituisce la parte scheletrica della gamba. Si articola tra il femore e rotula (ginocchio) ed il perone e l'astragalo (caviglia).
- Perone: osso lungo che insieme alla tibia costituisce la parte scheletrica della gamba. Situato esternamente alla tibia, si articola tra la parte superiore di questa e l'astragalo del piede.
- Tarso: regione del piede compresa tra l'articolazione della caviglia ed il metatarso. Si compone di sette ossa: astragalo, calcagno, scafoide, cuboide e le tre ossa cuneiformi.
- Metatarso: regione del piede che congiunge il tarso alle falangi. E' composto da cinque ossa.
- Falangi: Sono tre per ogni dito. Fa eccezione l'alluce che ne ha due.

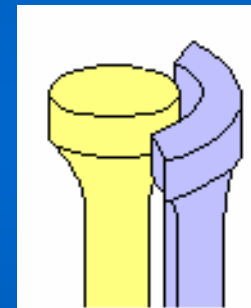


Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Articolazioni

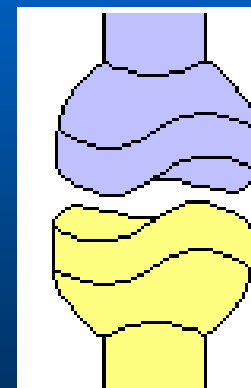
- Le articolazioni costituiscono il sistema di connessione tra due o più segmenti ossei.
- Nell'esame di una articolazione vanno presi in considerazione le superfici articolari e i mezzi di connessione.
- DIARTROSI, articolazioni mobili, possono avere diversa forma ed effettuare diversi movimenti:
- Trocleo-artrosi, una gola concava (troclea) entro la quale si inserisce un una faccia convessa a forma di rocchetto (es.: tra la troclea omerale e l'ulna). Consente movimenti di flessione ed estensione.
- Trocoide, un cilindro osseo avvolto da un anello fibroso che scorre su una superficie leggermente cava (es.: tra il capitello del radio e l'ulna). Consente movimenti di pronazione e di supinazione.
- A sella, due superfici aventi ognuna due curvature, una concava e l'altra convessa (es.: tra il carpo ed metacarpo del pollice; tra lo sterno e la clavicola)



Trocleo-artrosi



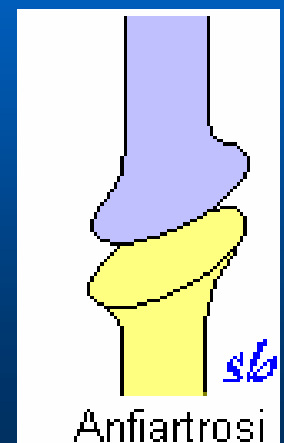
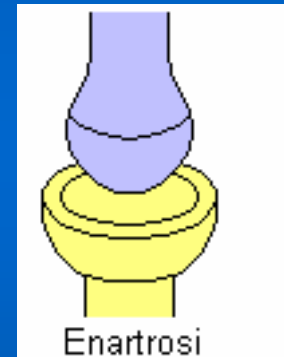
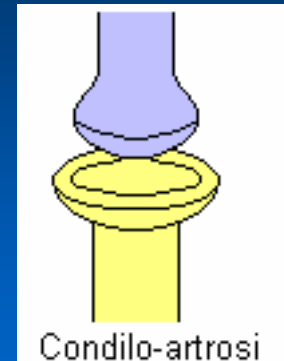
Trocoide



A sella

Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Articolazioni

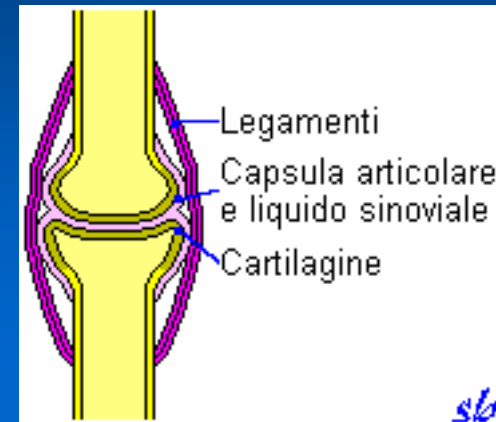
- Condilo-artrosi, una sporgenza convessa allargata (ovoidale) entro una superficie concava anch'essa allargata (es.: tra il radio e il carpo; tra il metacarpo e le falangi);
- Enartrosi, superficie sferica (testa) entro una cavità (es.: l'articolazione dell'anca; tra la scapola e l'omero).
- ANFIARTROSI, articolazioni semimobili, sono generalmente costituite da superfici ossee pianeggianti o quasi, con l'interposizione di un disco cartilagineo (es.: tra le vertebre). Consentono piccoli movimenti in tutti i sensi.
- SINARTROSI, immobili, non hanno una vera e propria meccanica articolare. A seconda se tra le due ossa è interposto tessuto cartilagineo oppure tessuto connettivale semplice si dividono in sicondrosi e in suture (es.: tra le ossa del cranio).



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Articolazioni

I MEZZI DI CONNESSIONE

- la capsula articolare, manicotto di tessuto connettivo denso, che si inserisce tra i segmenti ossei in connessione rivestendo completamente l'articolazione;
- i legamenti, cordoni fibrosi che uniscono un capo osseo con l'altro. All'interno o all'esterno della capsula articolare;
- I tendini dei muscoli, insieme alla capsula articolare ed ai legamenti, permettono all'articolazione una maggiore stabilità;
- le cartilagini articolari, generalmente cartilagine ialina o fibrosa, rivestono le superfici articolari. In alcune articolazioni si frappone anche un disco cartilagineo (es.: articolazione del ginocchio). La cartilagine articolare è soffice, compressibile, estensibile e deformabile.
- la membrana sinoviale secerne un liquido vischioso che ha lo scopo di facilitare lo scorrimento tra le due superfici a contatto.



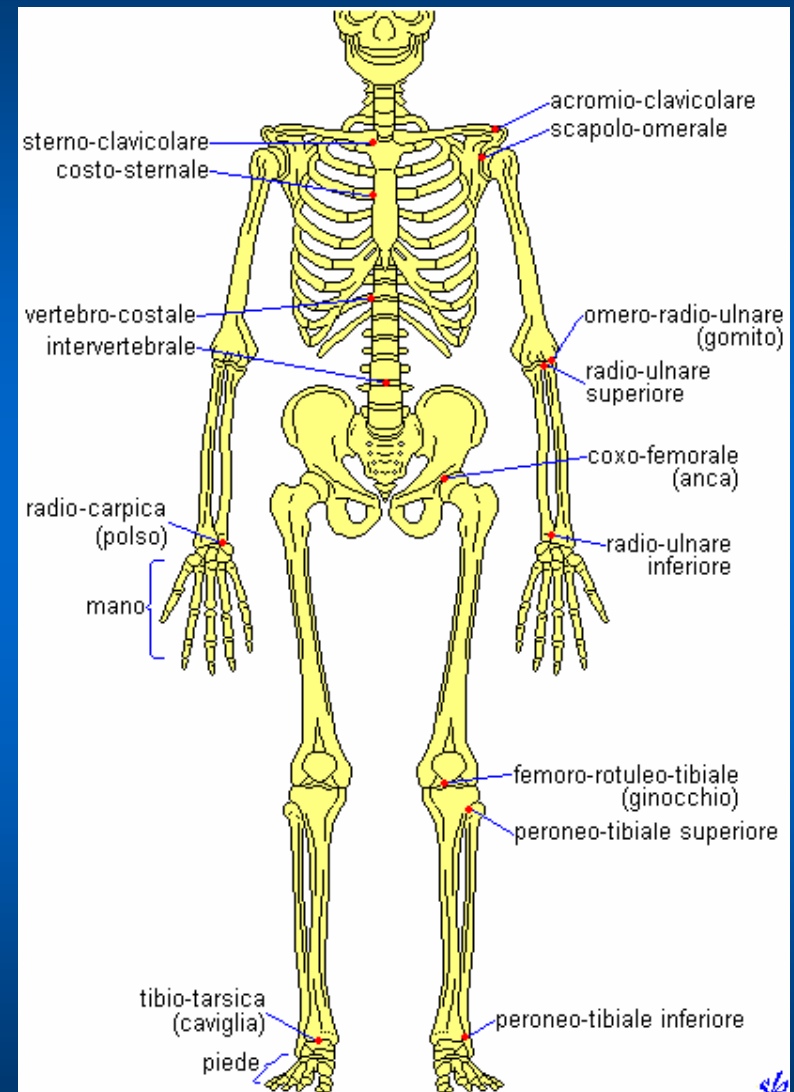
Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Articolazioni

Articolazioni del busto:

- - articolazioni del capo (occipito-atlantoidea ed atlanto-epistrofea);
- - articolazioni della colonna vertebrale
- - articolazioni vertebro-costali;
- - articolazioni costo-sternali.

Articolazioni degli arti superiori:

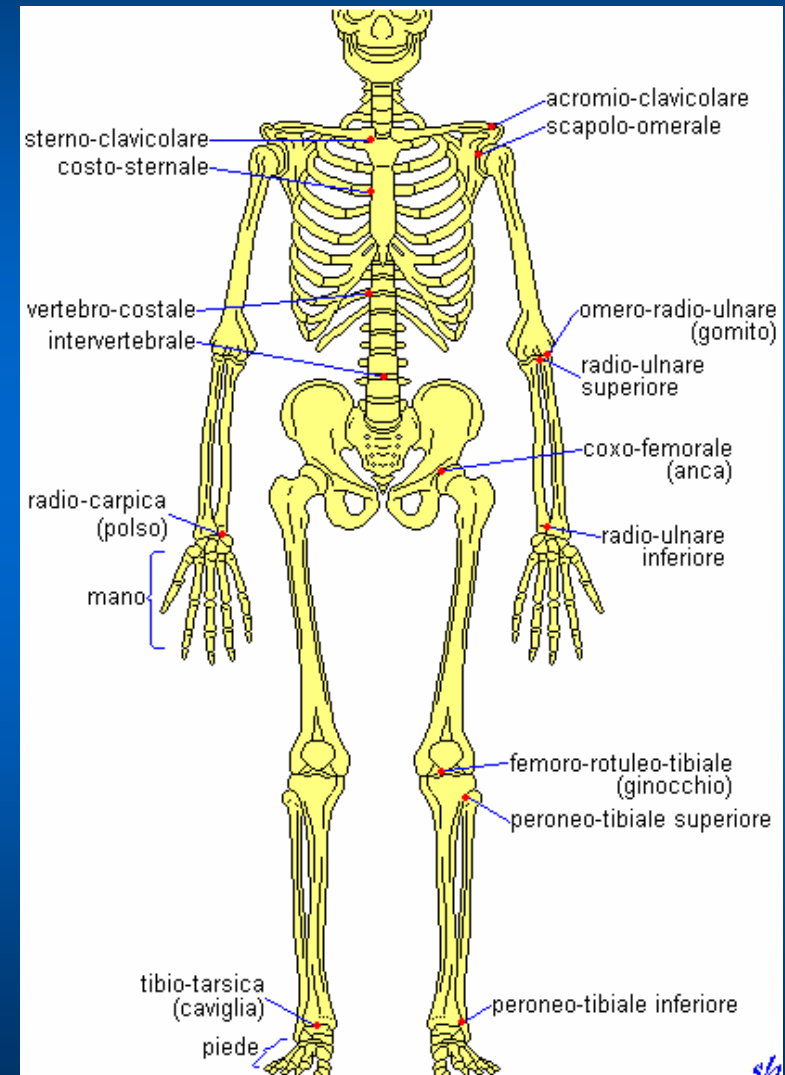
- - complesso articolare della spalla (sterno-clavicolare, acromio-clavicolare e scapolo-omerale);
- - articolazione del gomito (omero-radio-ulnare superiore);
- - articolazione del polso (radio-carpica e radio-ulnare inferiore);
- - articolazioni della mano.



Fisiologia Articolare (Cenni) : Le Articolazioni

Articolazioni degli arti inferiori:

- - articolazione dell'anca (coxo-femorale);
- - articolazione del ginocchio (femoro-rotuleo-tibiale);
- - articolazione della caviglia (tibio-tarsica e peroneo-tibiale inferiore);
- - articolazioni del piede.
- In generale il nome di un articolazione e' dato dai nomi delle ossa adiacenti, a partire dalle prossimali



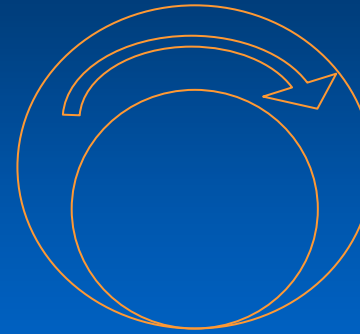
I Movimenti delle Articolazioni

Un'articolazione biossea ammette fino a tre tipi di movimento:

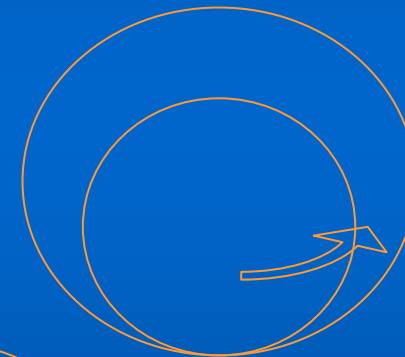
- Traslazione
- Rotolamento
- Spin

Classificazione in base al punto di contatto:

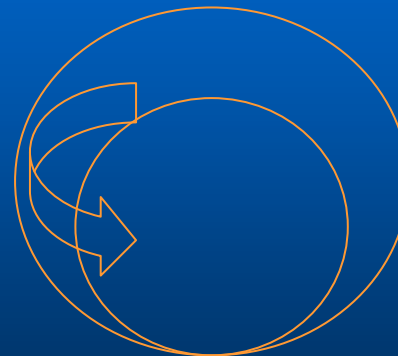
- Traslazione (cambiano i punti di contatto di 1 articolazione)
- Rotolamento (cambiano i punti delle due articolazioni)
- Spin (non cambiano i punti di contatto)
- Max: 5 DOF



$$P(0) \neq P(t) \neq Q(t) \neq Q(0)$$



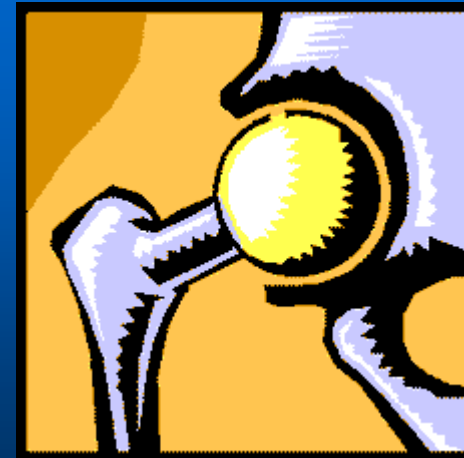
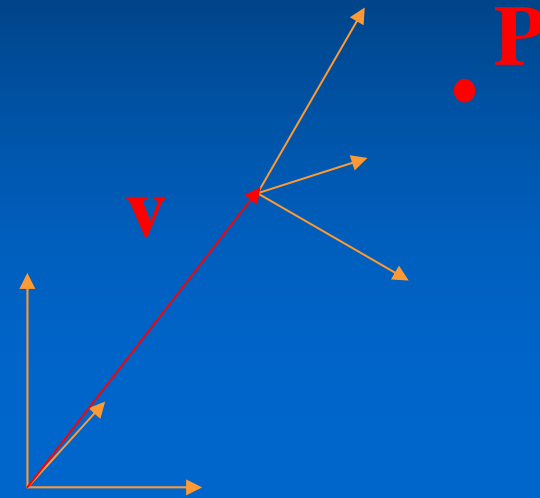
$$P(0) = P(t) \neq Q(t)$$



$$P(t) = Q(t) = P(0)$$

Movimenti Effettivi

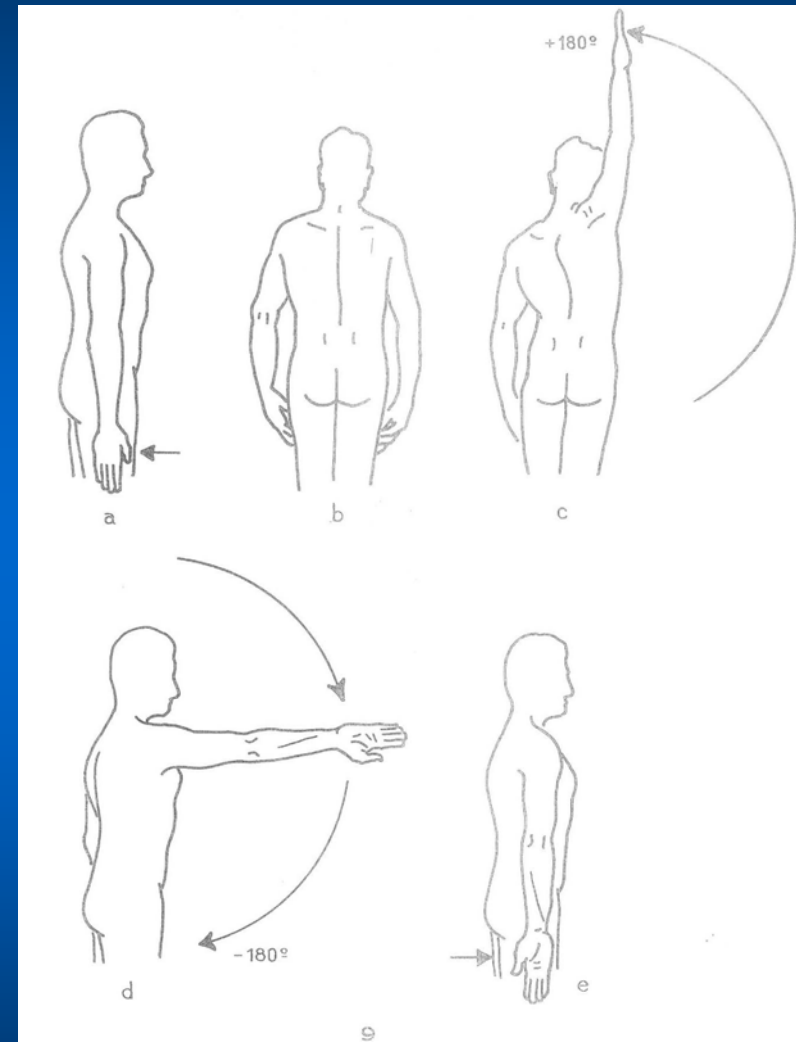
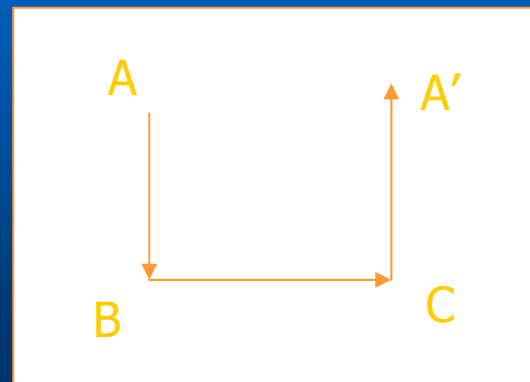
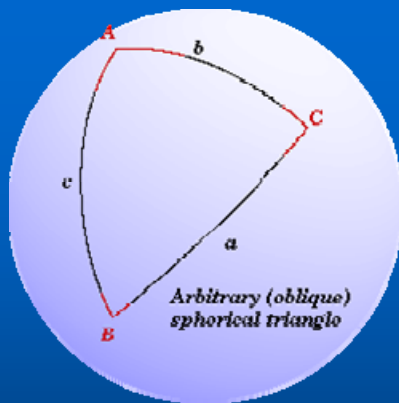
- Legamenti, capsule e tendini vincolano l'articolazione a seguire determinate traiettorie che sono combinazioni dei movimenti elementari precedenti.
- Una enartrosi come la gleno-omerale, che teoricamente ammette 5 gradi di libertà, ha 3 effettivi movimenti
- Rappresentazione del movimento mediante approssimazioni di giunti ideali
- (DIFFICOLTA DI RAPPRESENTAZIONE di giunti sferici)



Paradosso di Codman

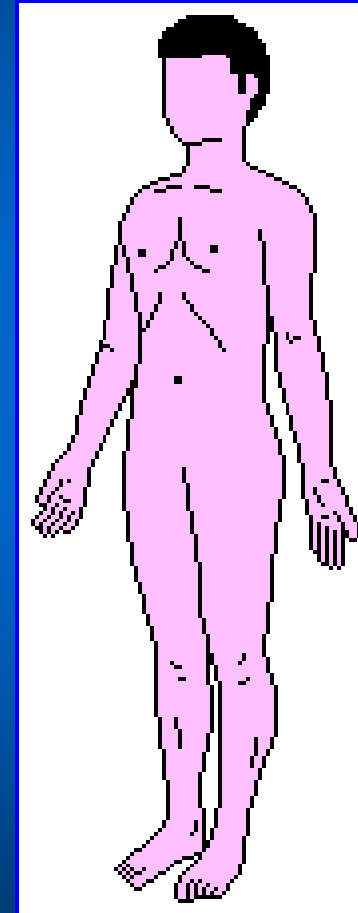
Esempio di vincolo non olonomo e conseguente movimento.

La differenza delle curvature su glenoide testa omerale realizza movimenti che chiudono percorsi su una delle due due superfici ma non sull'altra.



Posizione Anatomica

Si tratta della raffigurazione del corpo umano che siamo abituati a vedere sui libri di testo sin dall'infanzia. Per Posizione Anatomica si intende convenzionalmente il corpo umano in posizione eretta, talloni uniti e punte dei piedi divaricate a circa 45° , le braccia distese, leggermente allontanate dal tronco, con i palmi delle mani rivolti in avanti.



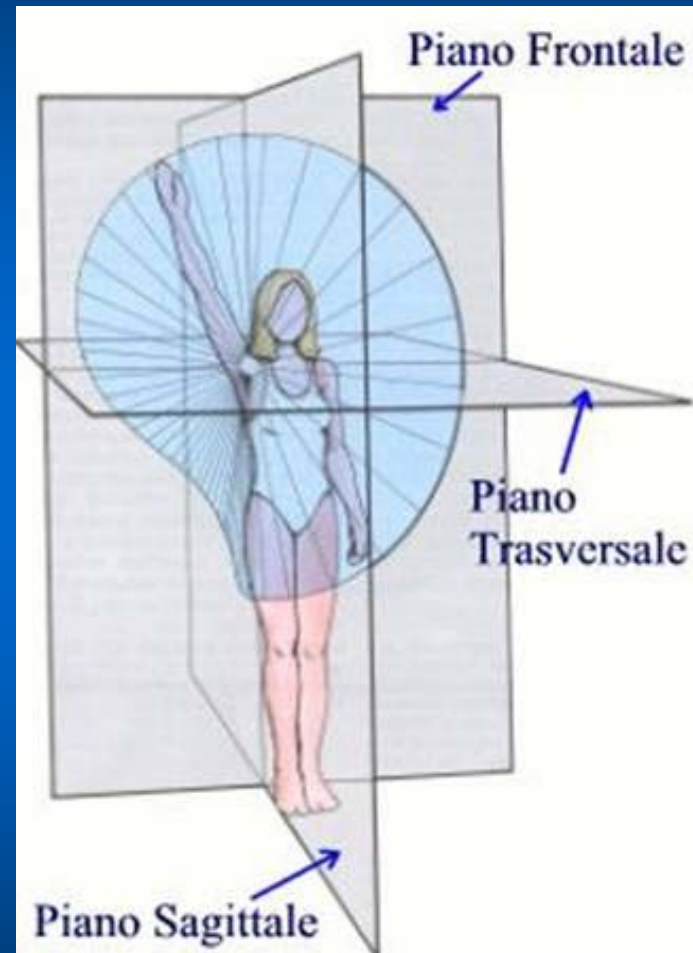
Piani Anatomici

Relativamente al movimento e quindi la sua corretta interpretazione, il corpo umano è diviso in 3 piani anatomici:

- **Piano Frontale** (l'asse X nella rappresentazione Cartesiana)
- **Piano Sagittale o Mediano** (l'asse Y nella rappresentazione Cartesiana)
- **Piano Trasversale o Orizzontale** (l'asse Z nella rappresentazione Cartesiana)

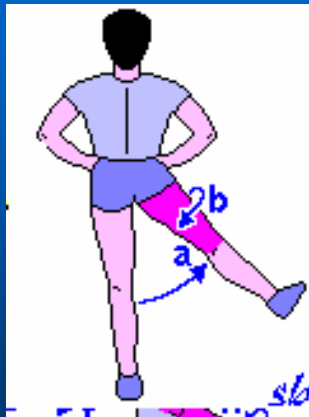
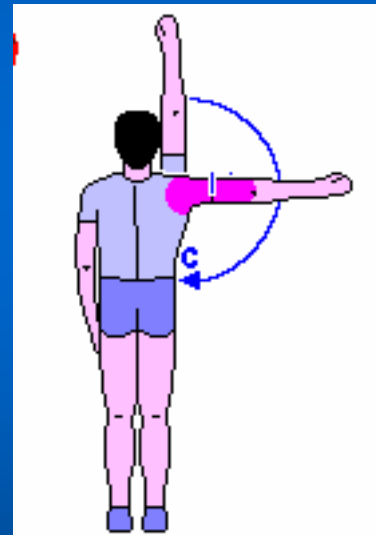
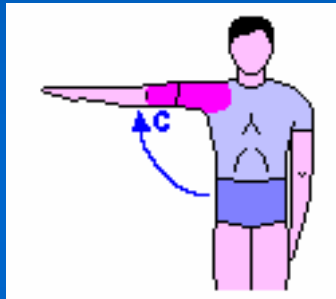
Ognuno di questi divide il corpo in due metà:

- Anteriore e Posteriore sul Piano Frontale
- Destra e Sinistra sul Piano Sagittale
- Inferiore e superiore sul Piano Trasversale



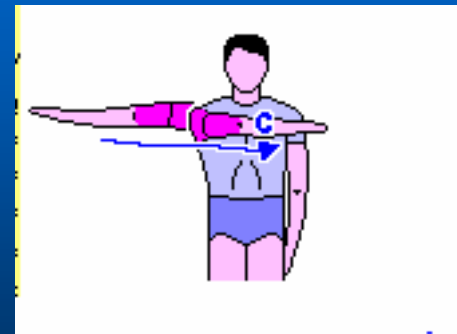
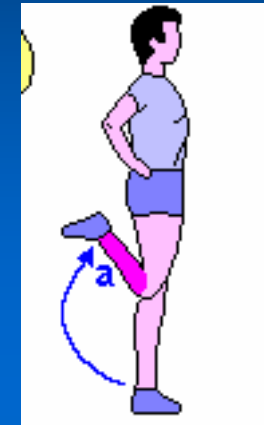
Adduzione - Abduzione

- I movimenti eseguiti sul piano frontale si definiscono di **abduzione** (quando un arto si allontana dal piano sagittale del corpo) e di **adduzione** (quando un arto si avvicina al piano sagittale del corpo).



Flessione - Estensione

- I movimenti eseguiti sul piano sagittale si definiscono di **flessione** (quando un arto si avvicina al tronco-piano frontale-), per i quali intervengono i muscoli flessori e di **estensione** (quando l'arto si allontana dal tronco-piano frontale-), per i quali intervengono i muscoli estensori.



Rotazioni

- I movimenti eseguiti sul piano trasversale sono tutti quelli che prevedono una rotazione assiale, quindi **intrarotazione** (quando avviene una rotazione verso l'interno del tronco) ed **extrarotazione** (quando la rotazione avviene verso l'esterno del tronco),
- **circonduzione** (quando l'osso di una articolazione può eseguire movimenti angolari nelle diverse direzioni).
- Pronosupinazioni, torsioni, etc



Letteratura

Atlanti di kinesiologia:

- FISIOLOGIA ARTICOLARE - SCHEMI COMMENTATI DI MECCANICA UMANA
KAPANDJI, I.A. Ed. Marrapese, DEMI Srl, Roma 1983, pp. 215 Prima edizione italiana dalla IV edizione francese, I ristampa 1983. Il primo volume tratta dell'ARTO SUPERIORE: la spalla, il gomito, la prono-supinazione, il polso, la mano.
- FISIOLOGIA ARTICOLARE - SCHEMI COMMENTATI DI MECCANICA UMANA
KAPANDJI, I.A. Ed. Marrapese, DEMI Srl, Roma 1983, pp. 236 Prima edizione italiana della IV edizione francese, 1a ristampa 1983. Il secondo volume tratta dell'ARTO INFERIORE: l'anca, il ginocchio, la caviglia, il piede, la volta plantare.
- FISIOLOGIA ARTICOLARE - SCHEMI COMMENTATI DI MECCANICA UMANA
KAPANDJI, I.A. Ed. Marrapese, DEMI Srl, Roma 1983, pp. 260 Prima edizione italiana della IV edizione francese, I ristampa 1983. Il terzo volume tratta del TRONCO E RACHIDE: il rachide nel suo insieme, l'arcata pelvica e le articolazioni sacroiliache, il rachide lombare, il rachide dorsale e la respirazione, il rachide cervicale.

Sistemi di analisi del movimento

- L'analisi del movimento, che può essere effettuata con mezzi alquanto rudimentali, come metri, goniometri etc. dispone negli ultimi anni di apparecchiature elettroniche sofisticate che rendono le misure valutative sempre più affidabili.
- Esistono in commercio vari modelli di sistemi di "tracking" del movimento, che tuttavia presentano limitazioni sia per la componente funzionale e strutturale (scarsa indossabilità e quindi scarso confort) che per gli elevati costi. Essi sono classificabili in tre categorie:
 - Sistemi INSIDE-IN
 - Sistemi INSIDE – OUT
 - Sistemi OUTSIDE -IN

Sistemi INSIDE-IN

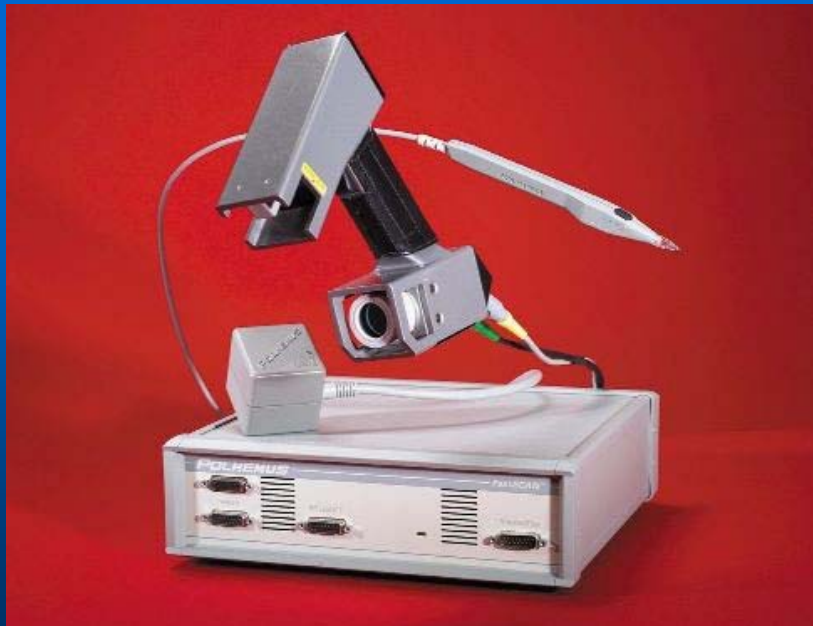
- I sistemi INSIDE-IN, dove sia il sensore che la sorgente sono applicati sul corpo, come sensori piezoresistivi, piezoelettrici e quelli ad effetto Hall. Un esempio è dato dai vari guanti in commercio contenenti sensori di flessione di tipo piezoresistivo. Questi sistemi sono particolarmente indicati nel "tracking" di articolazioni di dimensioni limitate e sono considerati semi-invasivi per l'ingombro dei sensori. I modelli commerciali sono il Mattel Powerglove e simili ed i sistemi goniometrici della Biometrics Ltd.



Il *data-glove* è un vero e proprio guanto, dotato però di sensori in grado di registrare il movimento della mano e delle dita e di inviare al computer le relative informazioni. Accompagnato da un software in grado di interpretare questi dati, il *data-glove* si trasforma in una interfaccia abbastanza naturale e potente.

Sistemi INSIDE-OUT

- Sistemi INSIDE-OUT dove i sensori sono applicati direttamente sul corpo e reagiscono ad una sorgente esterna. Questi sistemi pur consentendo di ottenere informazioni 3D, presentano una accuratezza ed un "range" di lavoro generalmente limitati dall'uso della sorgente. Alcuni esempi di sistemi INSIDE-OUT sono i sensori magnetici e gli accelerometri piezoelettrici.



Il **3D SPACE FASTRAK** calcola con accuratezza la posizione e l'orientamento di un piccolo ricevitore durante i suoi spostamenti nell'ambiente. Questo dispositivo elimina virtualmente il problema della latenza, poichè fornisce una misurazione dinamica, real-time con sei gradi di libertà per la misurazione della posizione (le coordinate cartesiane X,Y,Z) e orientamento (azimuth, elevazione, e rotazione) ed è il più accurato sistema di tracciamento elettromagnetico sul mercato.

Sistemi OUTSIDE-IN

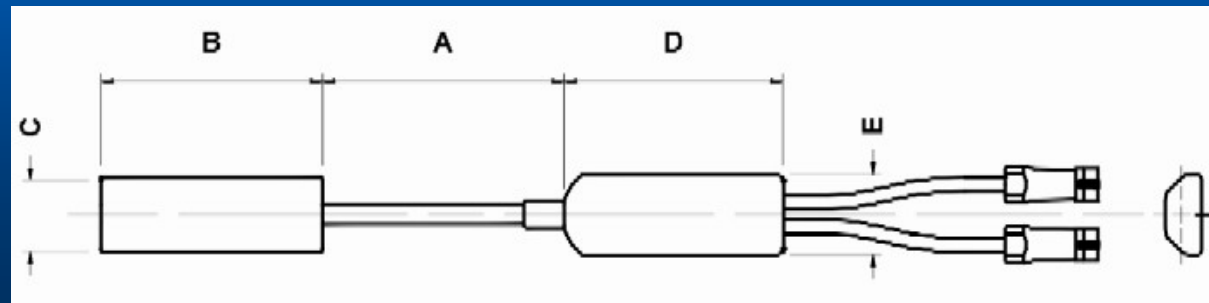
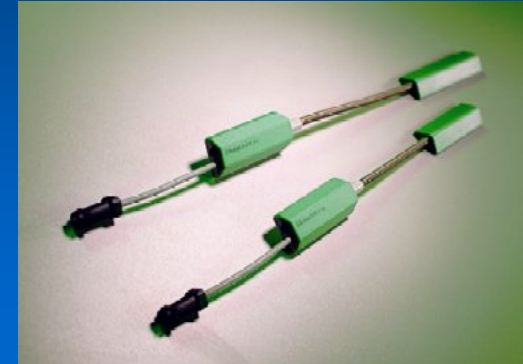
- I sistemi OUTSIDE-IN impiegano sensori esterni (tipicamente videocamere) che sono sollecitati da sorgenti o da marker applicati sul corpo. Questi sistemi pur essendo non invasivi, operano in limitato "work-space". Essi hanno, inoltre, bisogno di hardware e software sofisticati e sono perciò costosi. Esempi commerciali sono il Vicon della Motion System, l'ELITE della BTS e lo SMART della eMotion



Un sistema optoelettronico ELITE 2002 (a 8 telecamere e 100 Hz) che misura le coordinate tridimensionali di **marker**, elementi di materiale catarifrangente. L'apparecchiatura misura le coordinate tridimensionali dei marker e dalla loro conoscenza è possibile calcolare traiettorie, grandezze angolari (e quindi angoli di flessione-estensione, abdo-adduzione e extra-intra rotazione delle principali articolazioni), velocità, accelerazioni e conoscere in dettaglio la cinematica del movimento Fisso, non trasportabile, zone d'ombra

(Elettrogoniometri)

- Sistema di elettrogoniometri (Biometrics) a 8 canali di acquisizione
- Software di visualizzazione
- Goniometri monoassiali (bianchi) e biassiali (verdi) posizionabili
- Il sistema e' in grado di rilevare l'angolo tra i piani inferiori delle estremità (monoassiale) e tra i piani mediani delle estremità (biassiali)
- E' necessaria una calibrazione iniziale (0°)
- La lettura dell'angolo e' indipendente dalla curva della molla



Colonna Vertebrale

La colonna vertebrale, considerata nel suo complesso è trattata come una curva continua.

La scelta di certe classi di movimenti permessi ha portato all'utilizzo di un numero finito di variabili di stato

I movimenti permessi alla colonna sono di tre tipi:

- Abduzioni-abduzioni
- Flessioni-estensioni
- Torsioni

ES: posizionare gli elettrogoniometri
E valutare i range angolari di flessione ed adduzione



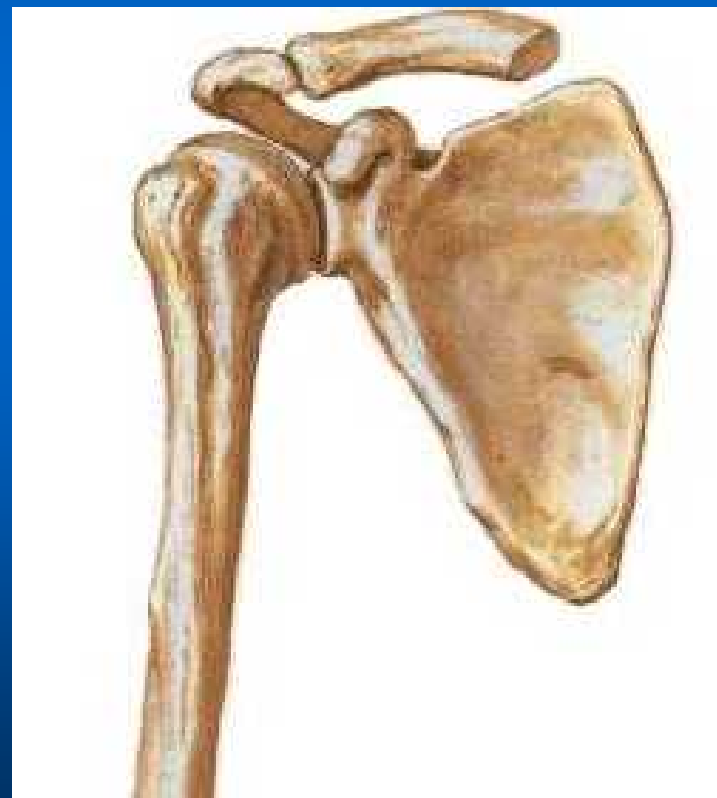
Articolazione Gleno-Omerale

Si tratta di un'articolazione a superfici ovoidali (testa omerale e cavità glenoidea).

Tenuto conto dei vincoli ossei e legamentosi, considerando le due superfici sferiche di stessa curvatura, si ottiene un sistema a tre gradi di libertà.

I movimenti permessi si dicono

- Adduzione-Abduzione
 - Flessione-Estensione
 - Rotazione
 - Cenni alla singolarità della gleno-omerale
-
- ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare i range angolari di flessione ed adduzione



Complesso Scapolo-Toracico

Non si tratta di una vera e propria articolazione, ma esiste un moto relativo tra i due segmenti ossei.

In particolare sono permessi movimenti di:

- Adduzione/Abduzione
- Elevamento/depressione
- Rotazione

ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare il range angolare di rotazione



Articolazione Omero-Radio-Ulnare

E' caratterizzata da superfici articolari complesse, ma il sistema delle capsule e dei legamenti permette due soli DOF.

I movimenti sono detti:

- Flessione/Estensione
- Pronazione/Supinazione

ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare il range angolare di flessione



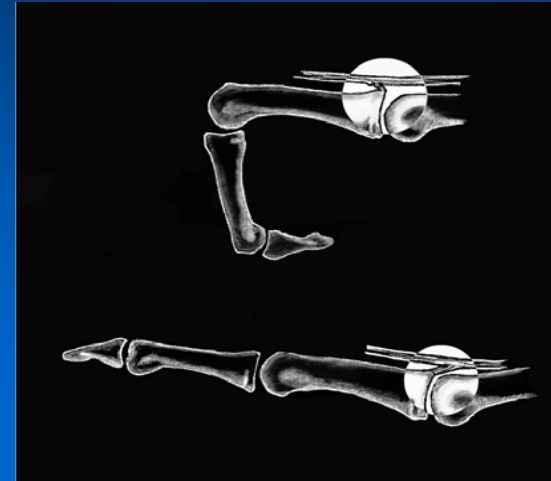
Articolazioni della mano

1. Trapezio Metacarpale (2 DOFs)
2. Metacarpo falangea (2 DOFs)
3. Interfalangea (1 DOF).



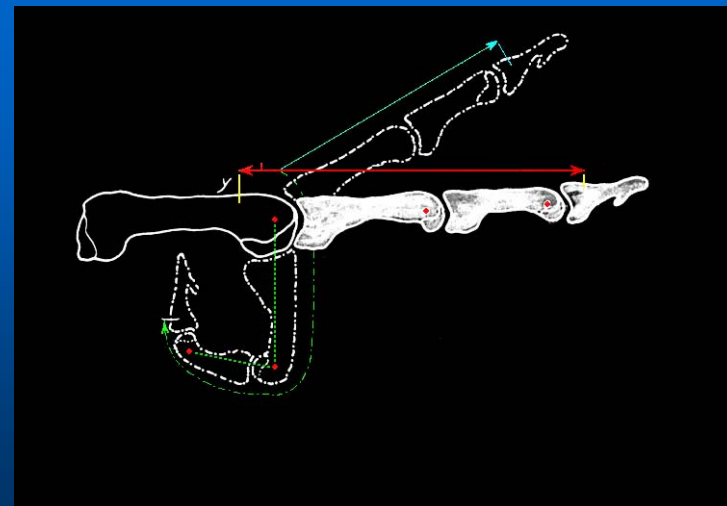
L'articolazione Interfalangea

- Due per dito lungo e una per il pollice
- Un solo grado di libertà (flessione)
- ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare il range angolare di flessione



L'articolazione Metacarpo-falangea

- Una per Dito
- Due gradi di libertà'
- ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare il range angolare di flessione e adduzione per un dito lungo



L'articolazione Trapezio- Metacarpica

- L'articolazione trapezio-metacarpica e' situata alla base del metacarpo del pollice ed e' responsabile dell'opposizione di questo rispetto al palmo
- Possiede due gradi di liberta:
Flessione ed adduzione
- ES: posizionare gli elettrogoniometri e valutare i range angolari di flessione ed adduzione

