

Dr. Vittorio Bertone

Lab Anatomia Comparata e Citologia

Dipartimento di Biologia & Biotecnologie "Lazzaro Spallanzani"

Apparato Scheletrico

GENERALITA'

Funzioni dello scheletro

- 1) **SOSTEGNO** - Sostiene le parti molli del corpo (tutti i tessuti tranne osso e cartilagine); la disposizione delle ossa dà forma al tutto
- 2) **MOVIMENTO** - Fornisce inserzione ai muscoli. Lo scheletro è costruito per il movimento; le ossa agiscono come leve (passive), i muscoli come forza (attivi).
- 3) **PROTEZIONE** - Protegge le parti delicate del corpo (cervello nel cranio, midollo spinale negli archi neurali della colonna vertebrale, cuore e polmoni nella gabbia toracica).
- 4) **RISERVA** - Sede di accumulo di Sali di Ca^{++} (per la trasmissione nervosa, contraz. muscolare, coagulaz. sangue) e P .

Tramite il paratormone (paratiroidi) → osteolisi

Tramite la calcitonina (cell. parafollicolari) → deposizione osso

- 5) **EMOPOIESI** - Il midollo di alcune ossa (ossa lunghe, sterno, creste iliache etc...) produce le cellule del sangue

Lo scheletro è costituito da:

1. Cartilagine

2. Osso

C. ialina: associata più intimamente all'osso, è costituita da **condroblasti** che generano una matrice che finisce per circondarli, trasformandoli in **condrociti** globosi che occupano uno spazio detto **lacuna**. La matrice contiene collagene (→resistenza) e proteoglicani che intrappolano H₂O (→ elasticità). Riveste le superficie delle articolazione, costituisce la cartilagine costale, parte dello scheletro del naso e della laringe, gli anelli bronchiali.

-- di aspetto bianco opalescente, fortemente idratata

-La maggior parte delle cartilagini è ricoperta dal pericondrio (membrana duplice connettivale molto vascolarizzata). Le cartilagini articolari sono prive di pericondrio

C. fibrosa: intermedia tra la ialina e la elastica, priva di pericondrio → costituisce l'anello fibroso dei dischi intervertebrali, i menischi, e si interpone nelle sinfisi

C. elastica: La cartilagine si accresce per apposizione e x accrescimento interstiziale

- ha un colore giallastro ed è molto flessibile

- Costituisce il padiglione auricolare, parte della laringe (epiglottide)

Zone ossee
ematopoietiche

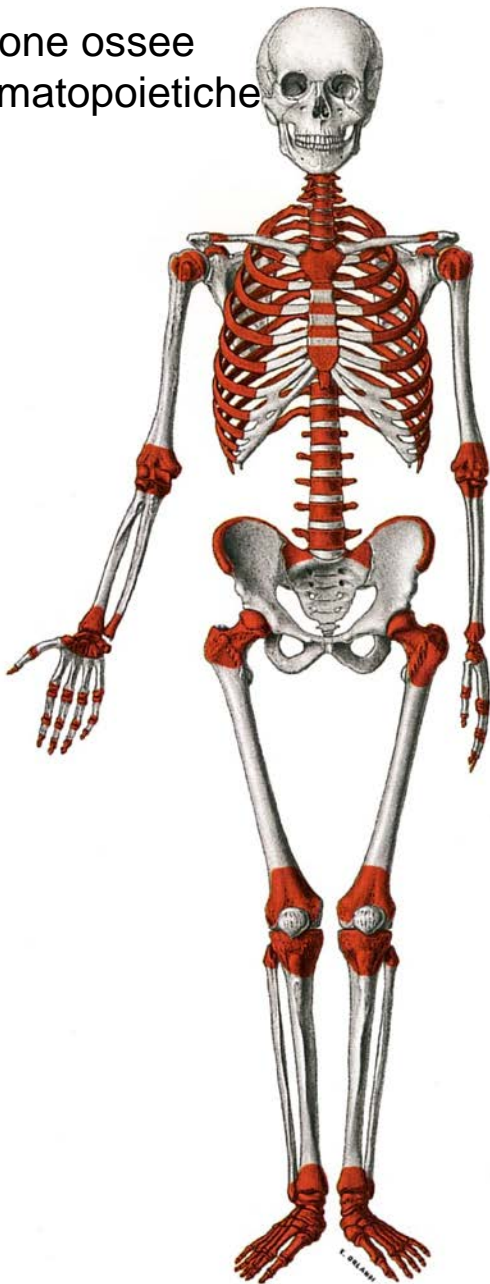
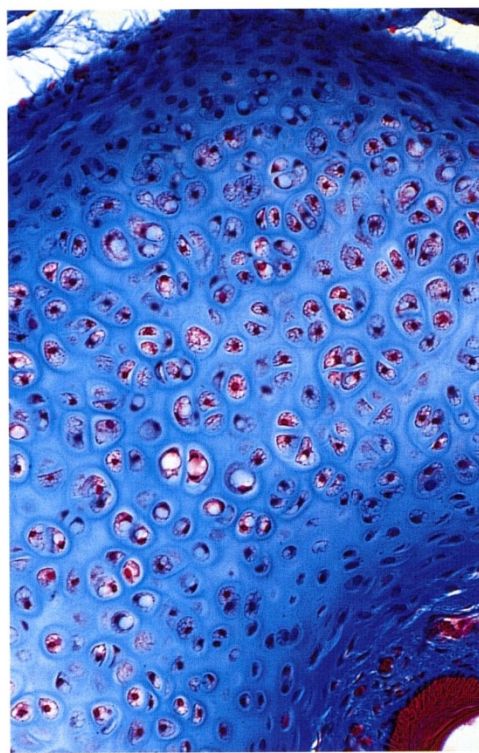


Fig. 1.11 - Emopoiesi nell'adulto. In rosso sono rappresentate le sedi in cui è presente il "midollo rosso" nelle ossa, che svolge le funzioni emopoietiche.



Cartilagine elastica

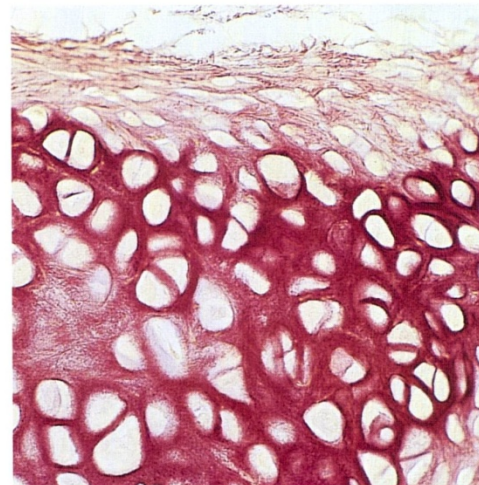


Fig. 3.33 - Sezione di cartilagine elastica (epiglottide di cane). Si noti come il tipo particolare di colorazione (orceina) abbia evidenziato la presenza delle fibre elastiche, che risultano più abbondanti nelle zone profonde.

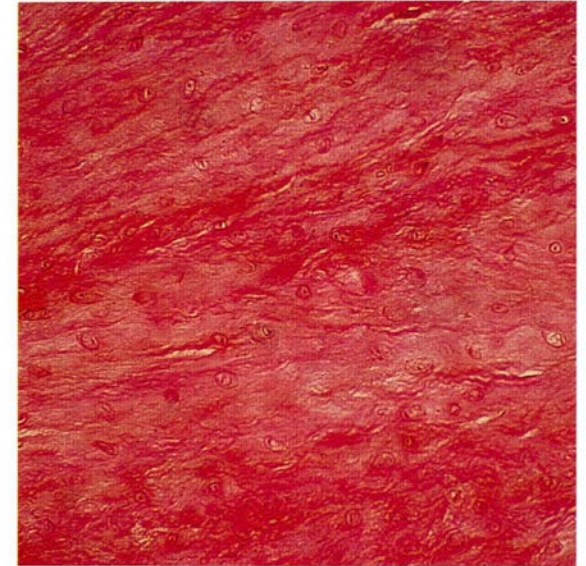


Fig. 3.34 - Sezione di cartilagine fibrosa della sinfisi pubica. I grossi fasci di fibre collagene penetrano fra i condrociti e vengono parzialmente mascherati dalla componente amorfa della matrice extracellulare.

Cartilagine fibrosa

2. OSSO

Forma specializzata di tessuto connettivo caratterizzato dalla mineralizzazione della matrice extracellulare (90%) che conferisce all'osso **leggerezza, durezza e resistenza** [costituito x il 10% da acqua]

Per il 60% la matrice è inorganica, costituita da fosfato di calcio (idrossiapatite), carbonato di Ca, Na, K, P, F etc.

Il 40% della matrice è organica: collagene tipo I, + GAG

Tessuto dinamico, sottoposto a costante rimodellamento (concentrazione di Ca^{++} nel plasma → omeostasi)

Rivestito da un **periostio** (connettivale, denso) molto vascolarizzato, i cui vasi penetrano all'interno

Può essere presente un **endostio** a rivestire le cavità interne

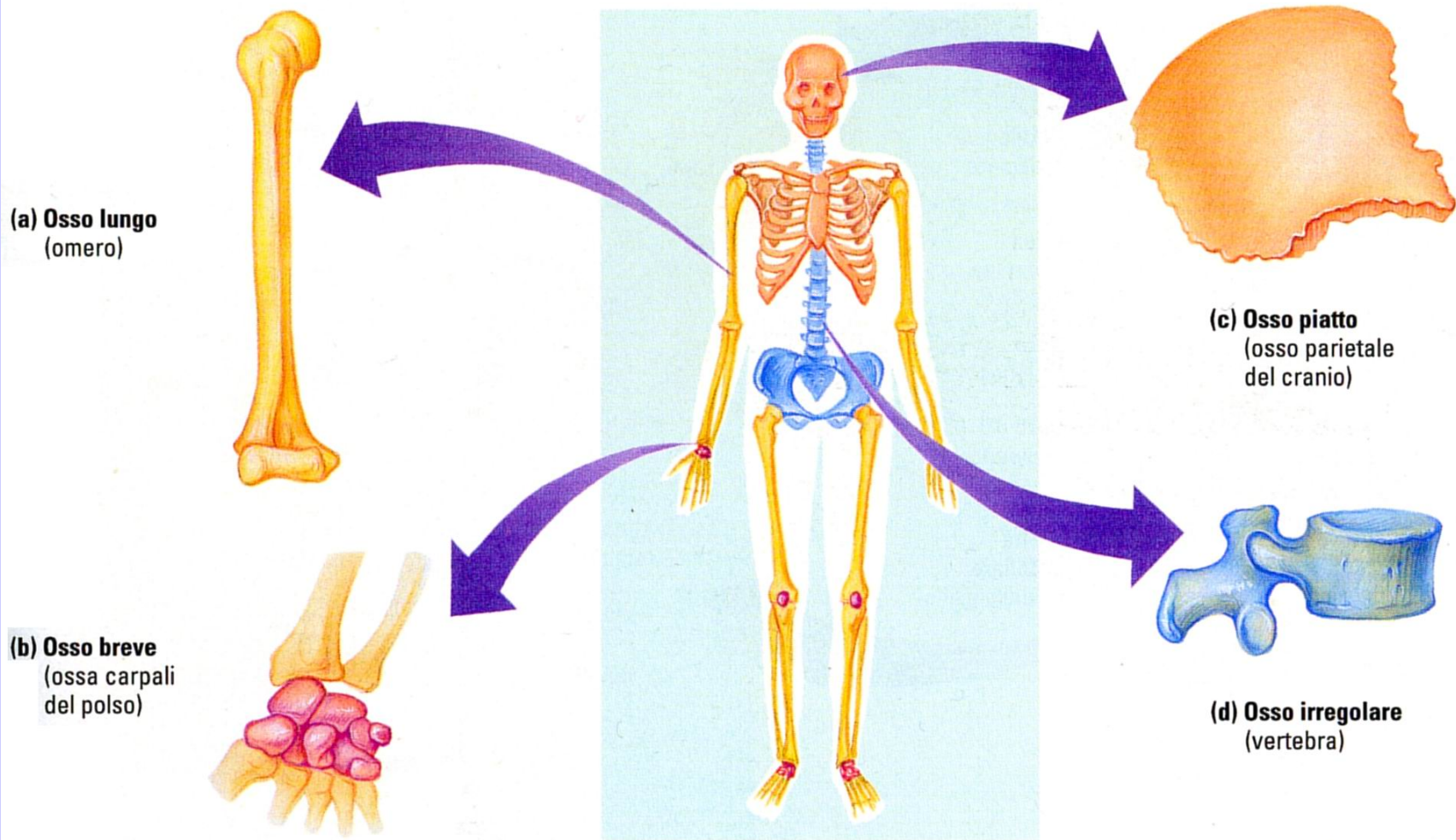
Classificazione delle ossa

Lo scheletro umano è composto da **206 ossa**

2 architetture principali { **osso compatto**
osso spugnoso

Dimensioni e forme molto varie: dall'osso pisiforme al femore

1. **Ossa Lunghe:** corpo (diafisi) ed estremità (epifisi), per la maggior parte costituite di osso compatto → ossa degli arti
2. **Ossa Brevi:** cubiche, spugnose → polso e caviglia
3. **Ossa Piatte:** laminari, 2 strati compatti con in mezzo 1 spugnoso, → cranio, scapola, coste e sterno
4. **Ossa Irregolari:** vertebre, osso dell'anca



(a) Osso lungo
(omero)

(b) Osso breve
(ossa carpali
del polso)

(c) Osso piatto
(osso parietale
del cranio)

(d) Osso irregolare
(vertebra)

- 1- **LUNGHE**: posseggono due estremità (epifisi) e un corpo (diafisi); sono costituite da osso compatto;
- 2- **BREVI**: sono cuboidali, per lo più costituite da osso spugnoso
- 3- **PIATTE**: sono lamine di osso compatto con interposiz. di osso spugnoso
- 4- **IRREGOLARI**: hanno forma varia e più o meno complessa

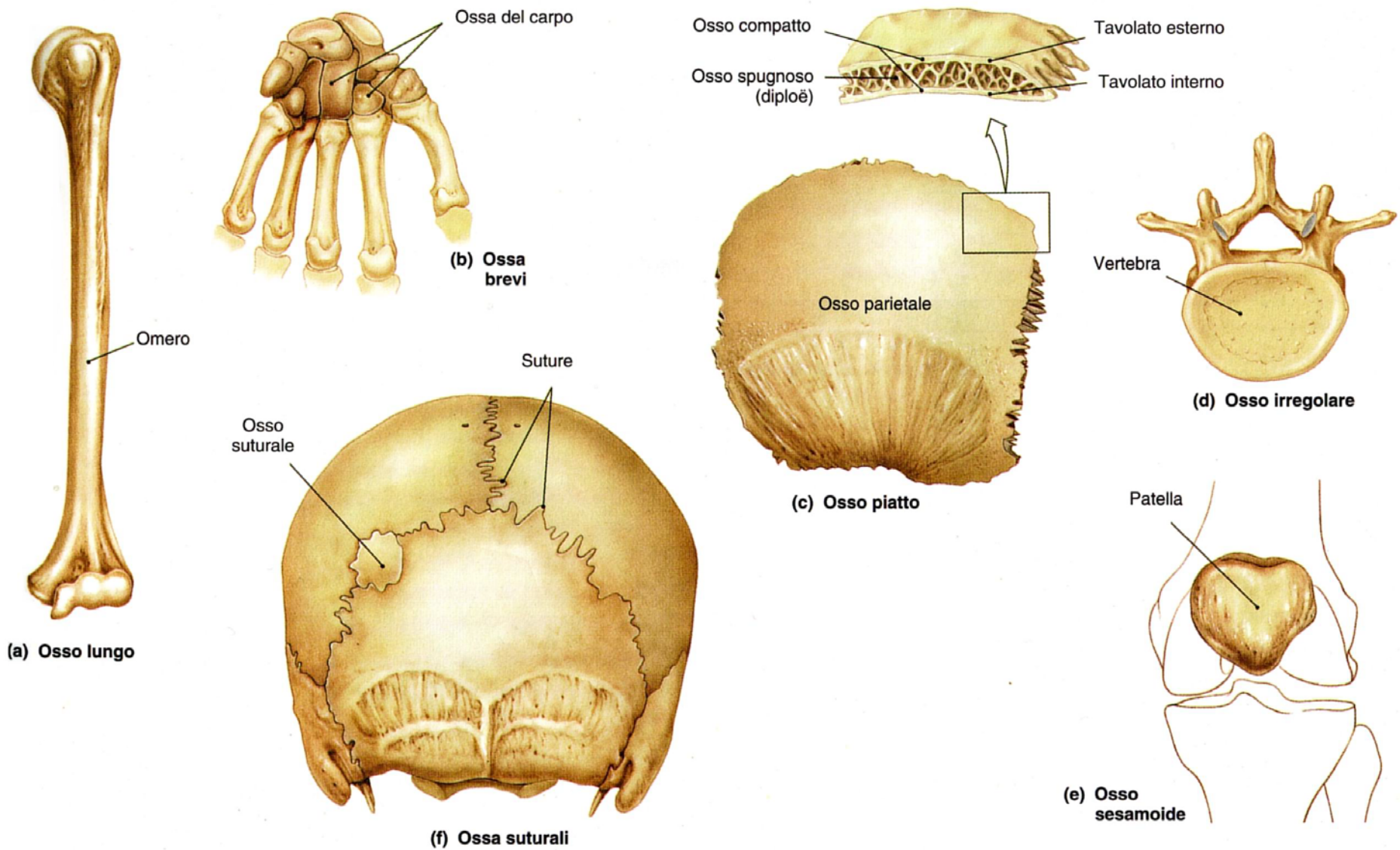


FIGURA 5.13 FORMA DELLE OSSA

Le ossa possono essere classificate in base alla loro forma. (a) Ossa lunghe. (b) Ossa corte. (c) Ossa piatte, in superficie e in sezione. (d) Osso irregolare. (e) Osso sesamoide. (f) Osso suturale.

Struttura microscopica dell'osso

Come gli altri tessuti connettivi è formato da:

matrice extracellulare organica

+ cellule specializzate

La matrice crescendo finisce per inglobare le cellule che la producono

Le **cellule specializzate** producono la **matrice extracellulare** composta da fibre proteiche di collagene e proteoglicani. E' solida e resistente perché attorno alle fibre [elastiche] si deposita il calcio (carbonato e fosfato → idrossiapatite) [duro ma friabile]

Per l'elevato contenuto in collagene **l'osso dà una reazione acidofila**, al contrario della **cartilagine ricca in condroitinsolfato che dà una reazione basofila**

Alcyan Blu → cartilagine
Rosso di Alizarina → osso



Fig. 1. Skeleton of a rat fetus, 20 days gestation, stained with alcian blue-alizarin red S. The cartilaginous portion of the skeleton is stained blue and the bony skeleton is stained red.

L'osso è un tessuto connettivo specializzato, costituito da cellule (osteociti) e una matrice molto dura mineralizzata.

Gli osteoblasti sono le cellule progenitrici, responsabili della sintesi e della mineralizzazione della matrice;
gli osteoclasti sono cellule a funzione macrofagica, responsabili della demolizione dell'osso. (→ rimodellamento)

Gli osteociti si trovano all'interno di lacune, disposte a formare delle lamelle concentriche in 3 ordini successivi intorno ai vasi sanguigni che si ramificano nella matrice, definendo l'unità strutturale detto **OSTEONE** o **Sistema di Havers**

Attraverso i sali di calcio non possono avvenire scambi nutritizi, per cui gli osteociti comunicano tra loro e con i vasi sanguigni tramite sottili canalicoli, a loro volta molto ramificati.

L'osso compatto contiene vasi sanguigni e viene anche detto lamellare, mentre l'osso spugnoso no.

Cellule dell'osso

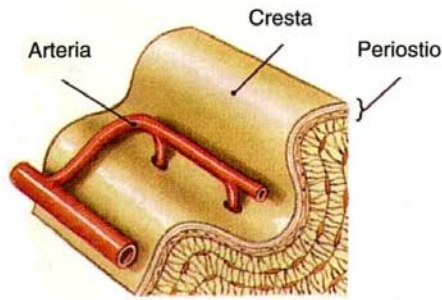
Cellule osteoprogenitrici: staminali, attive solo in crescita e riparazione

Osteoblasti: producono collagene e proteoglicani, sono ricche in RER e Golgi, accumulano ioni Ca^{++} e PO_4^- e vari enzimi in vescicole che rilasciano per formare i cristalli di **idrossiapatite** → mineralizzazione della matrice. Essi producono osso (ossificazione o osteogenesi) tramite giunzioni comunicanti che stabiliscono contatti tra processi cellulari emessi da osteoblasti vicini, deponendo poi della nuova matrice ossea per connetterli stabilmente

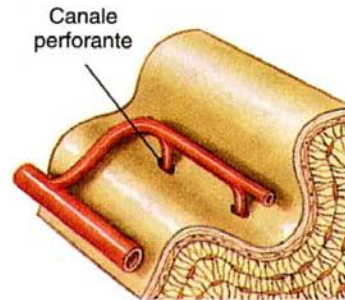
Osteociti: cellula matura completamente avvolta dalla matrice e accolti in lacune ossee e canalicoli che contengono i processi citoplasmatici. A differenza della cartilagine, gli osteociti restano in contatto tra loro tramite i loro processi citoplasmatici siti all'interno dei canalicoli

Osteoclasti: Cellule responsabili del riassorbimento dell'osso, grandi e multinucleate; producono un ambiente acido che decalcifica la matrice, rilasciano enzimi che ne digeriscono le componenti proteiche; alcuni prodotti di degradazione vengono fagocitati

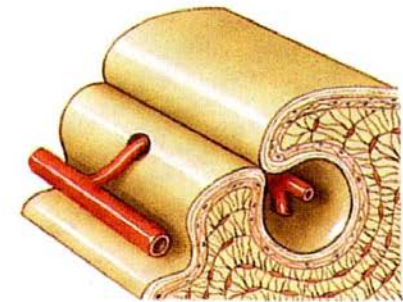
Crescita per apposizione dell'osso



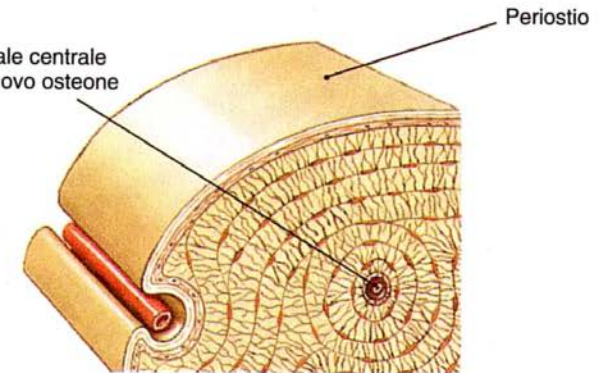
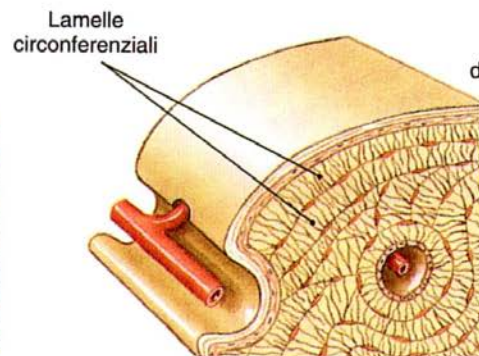
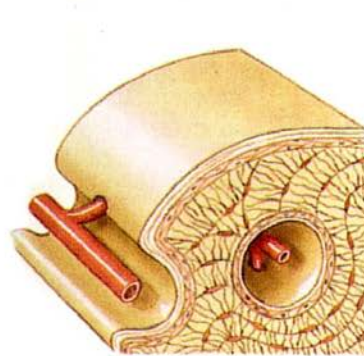
Stadio 1: La formazione di osso produce sulla superficie dell'osso creste parallele ai vasi sanguiferi.



Stadio 2: Le creste si ampliano e formano una profonda tasca.

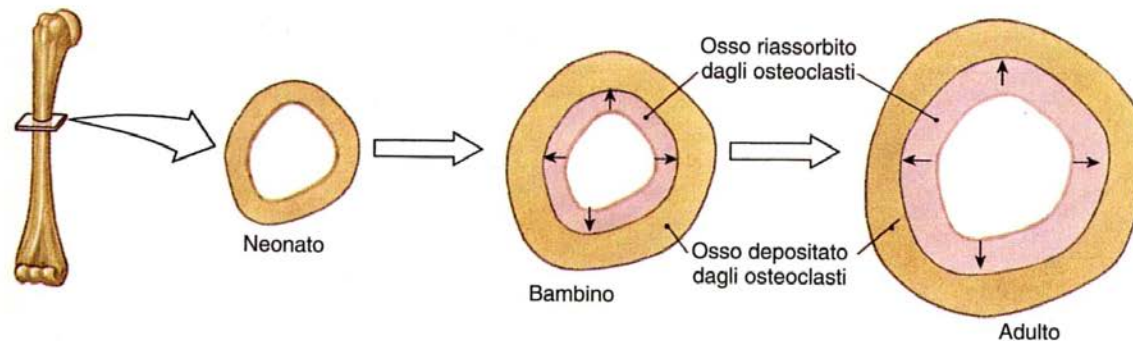


Stadio 3: Le creste si incontrano e si fondono intrappolando i vasi sanguiferi all'interno dell'osso.



Stadi 4-6: La deposizione di osso procede quindi verso i vasi, formando un tipico osteone. Nel frattempo, altre lamelle circolari vengono depositate e l'osso continua a crescere di diametro, così come vengono inglobati ulteriori vasi.

(a) Stadi di accrescimento osseo per apposizione



(b) Crescita per apposizione e rimodellamento

L'osso è un tessuto dinamico e attivo in risposta soprattutto a due fattori:

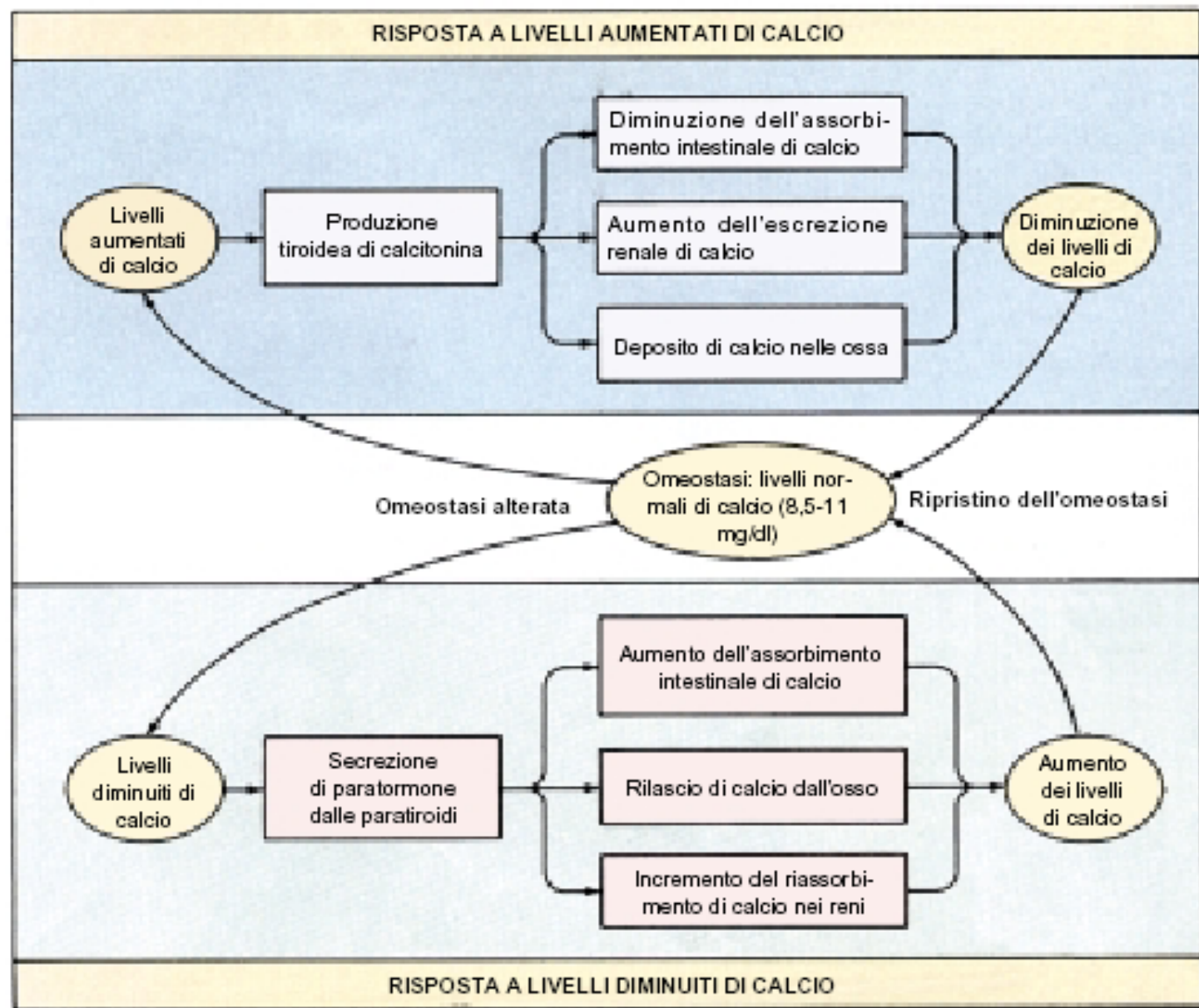
A - il livello del calcio nel sangue

B - il carico meccanico dovuto alla forza di gravità e alle sollecitazioni meccaniche muscolari

Lo scheletro risponde all'esercizio fisico, alla sollecitazione muscolare e alla forza di gravità rafforzandosi, viceversa si indebolisce.

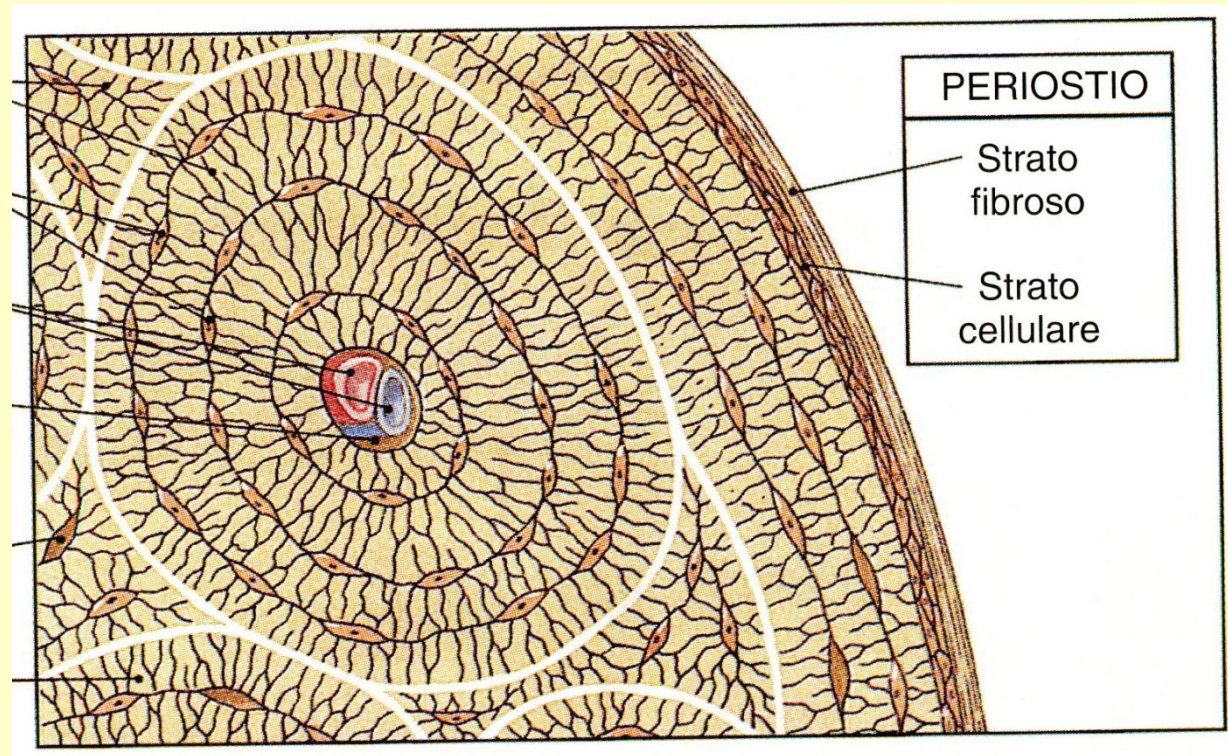
Con l'invecchiamento si presenta l'**osteoporosi** che porta a fragilità delle ossa soprattutto delle vertebre e del femore; concause sono la menopausa (nelle donne), il fumo, le carenze alimentari, la scarsa mobilità

Figura 7.11 - Regolazione omeostatica della concentrazione di ioni calcio.



Le ossa sono avvolte dal **periostio** formato da uno strato esterno fibroso e uno interno osteogenico, perché formato da cellule per la crescita dell'osso e la produzione di nuovo osso nei processi di riparazione.

OSTEONE

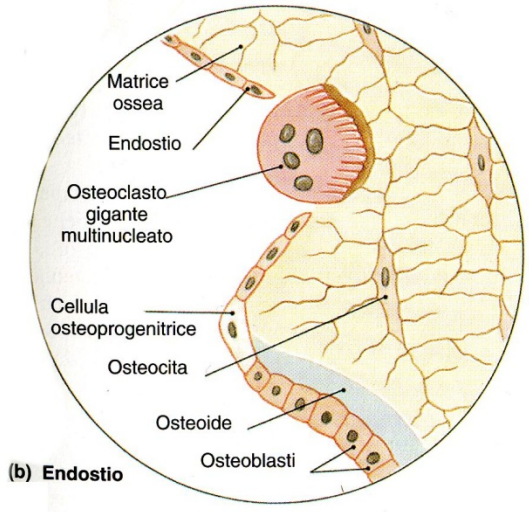
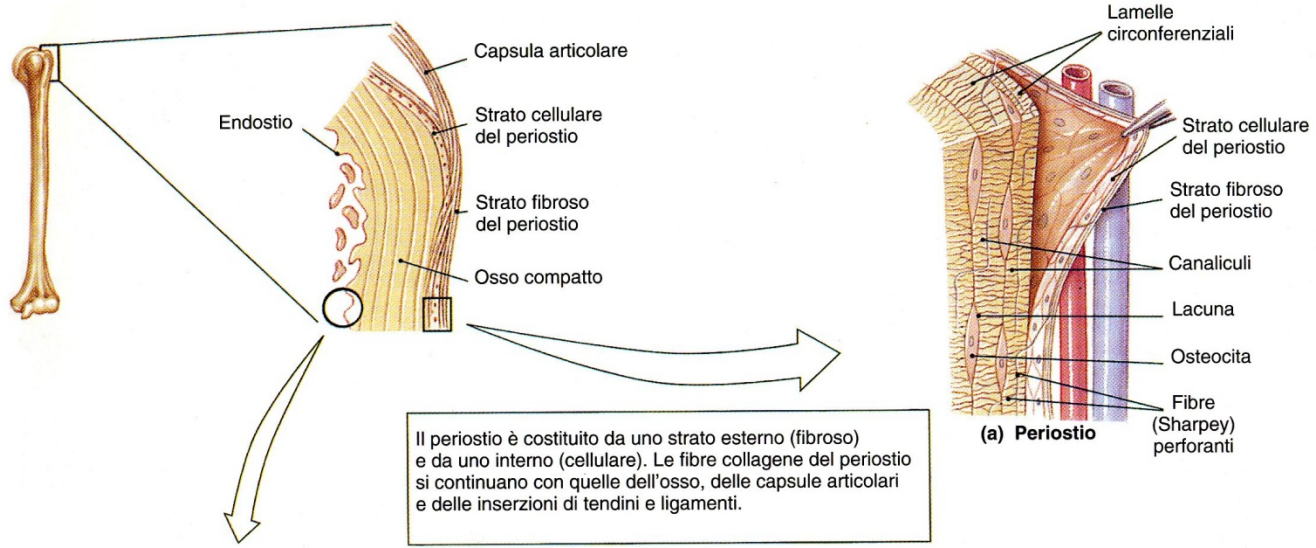


In prossimità di articolazioni il periostio contribuisce alla interazione con i tendini e i legamenti delle stesse.

Periostio e Endostio

Il tessuto osseo è separato dagli altri tessuti da un **periostio** connettivale fibroso;

quando l'osso circonda un altro tessuto le superfici ossee interne sono rivestite da un **endostio**



L'endostio è uno strato cellulare incompleto. Contiene cellule epiteliali, osteoblasti, cellule osteoprogenitrici ed osteoclasti.

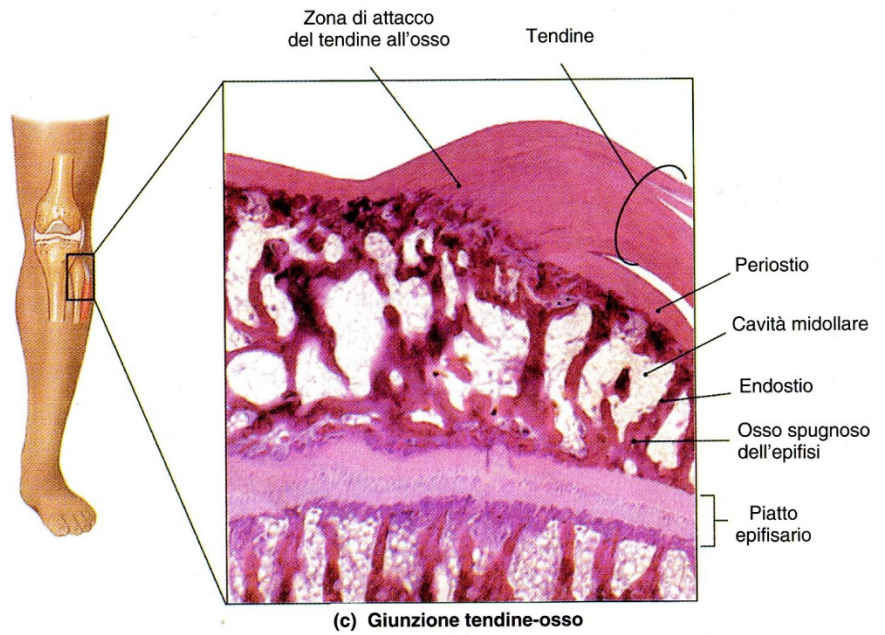


FIGURA 5.4 IL PERIOSTIO E L'ENDOSTIO
 Rappresentazione schematica del periostio e dell'endostio e loro associazione con altre strutture ossee. Sezione istologica che mostra periostio e endostio. (a) Il periostio. (b) L'endostio. (c) Giunzione tendine-osso. (MO × 100)

Aspetti strutturali dei due tipi di osso

L'osso spugnoso è composto da una rete di trabecole formate da lamelle sottili che non formano sistemi haversiani; si trova sempre nella parte interna delle ossa.

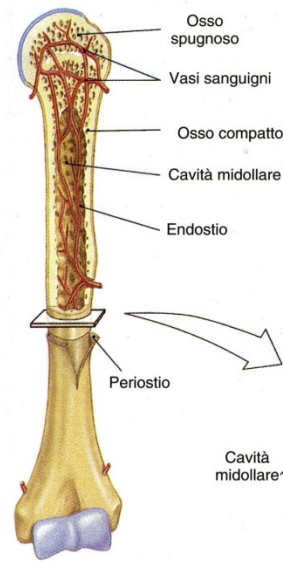
L'osso compatto è formato da colonne ossee parallele formate dai tipici sistemi haversiani; riveste sempre la superficie delle ossa.

Differenze funzionali tra osso compatto e osso spugnoso

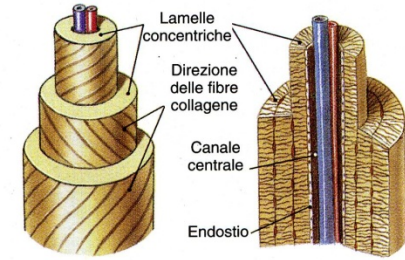
l'osso spugnoso si trova in zone in cui le ossa non subiscono forti sollecitazioni, ma arrivano da diverse direzioni; l'osso spugnoso rende lo scheletro più leggero e permette ai muscoli di muovere le ossa più Agevolmente

l'osso compatto è più spesso e si trova in regioni molto sollecitate ma da poche direzioni.

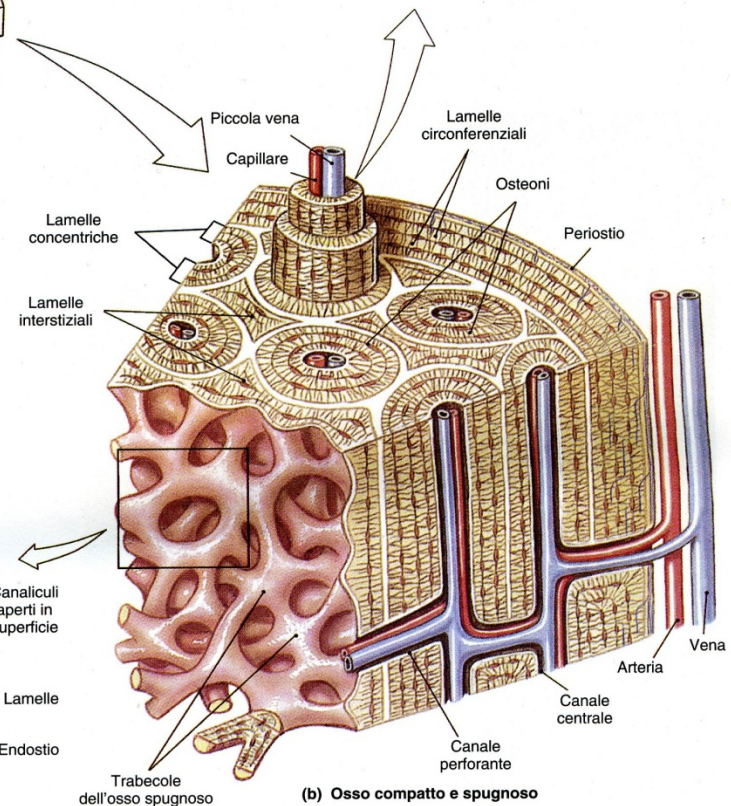
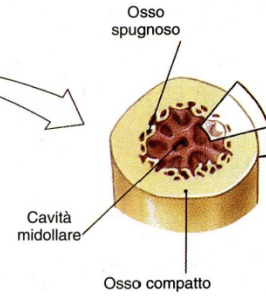
Osso compatto



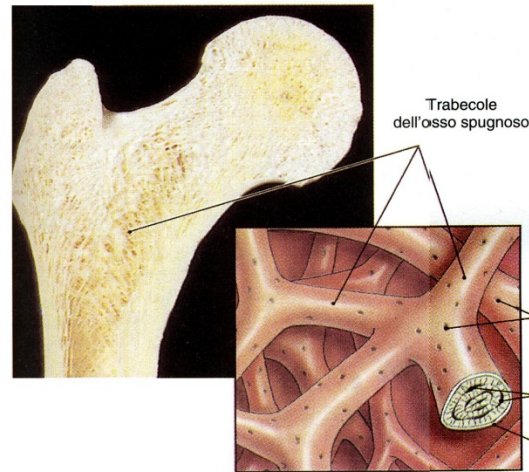
(a) L'omero



(c) Osteone



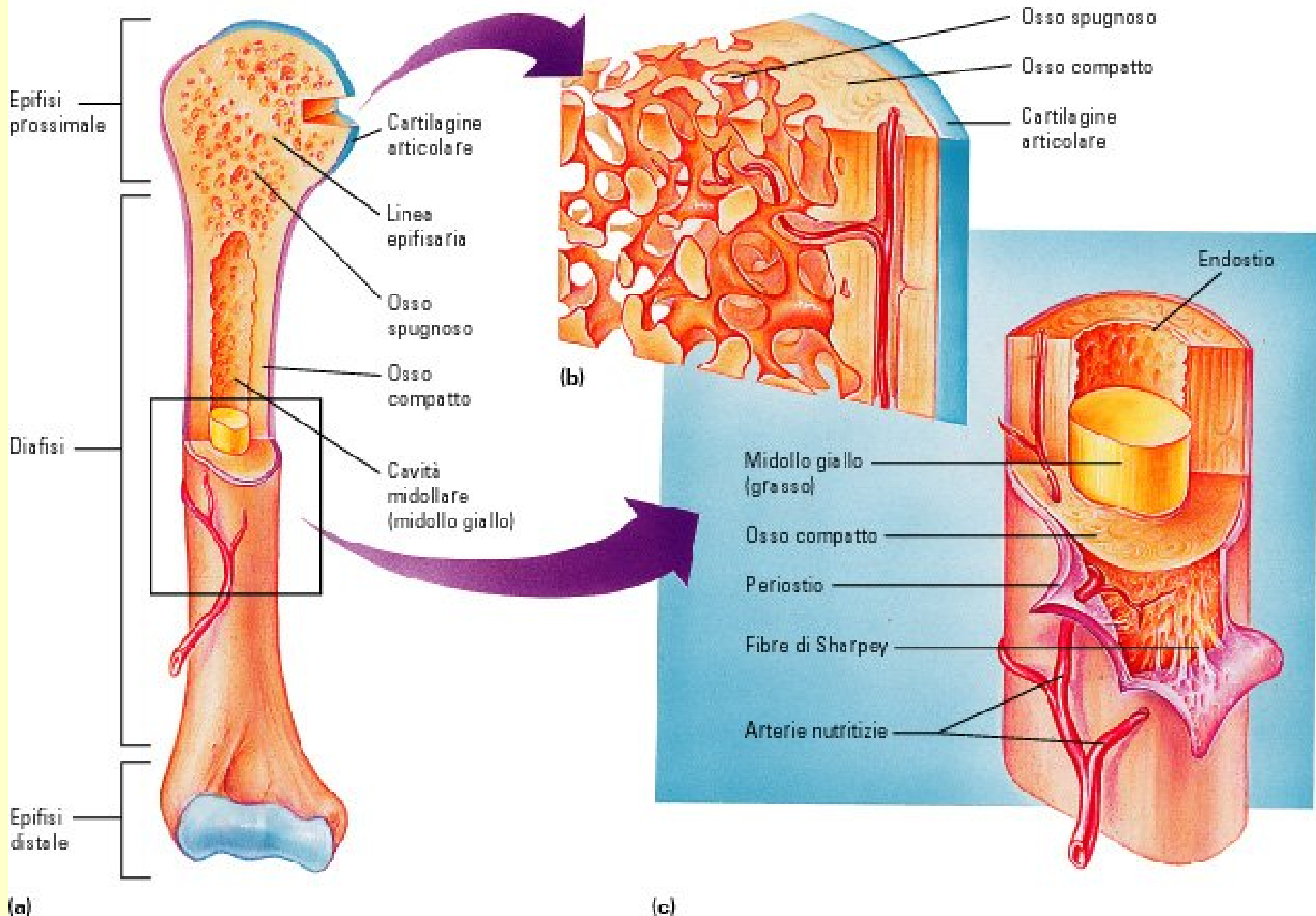
(b) Osso compatto e spugnoso

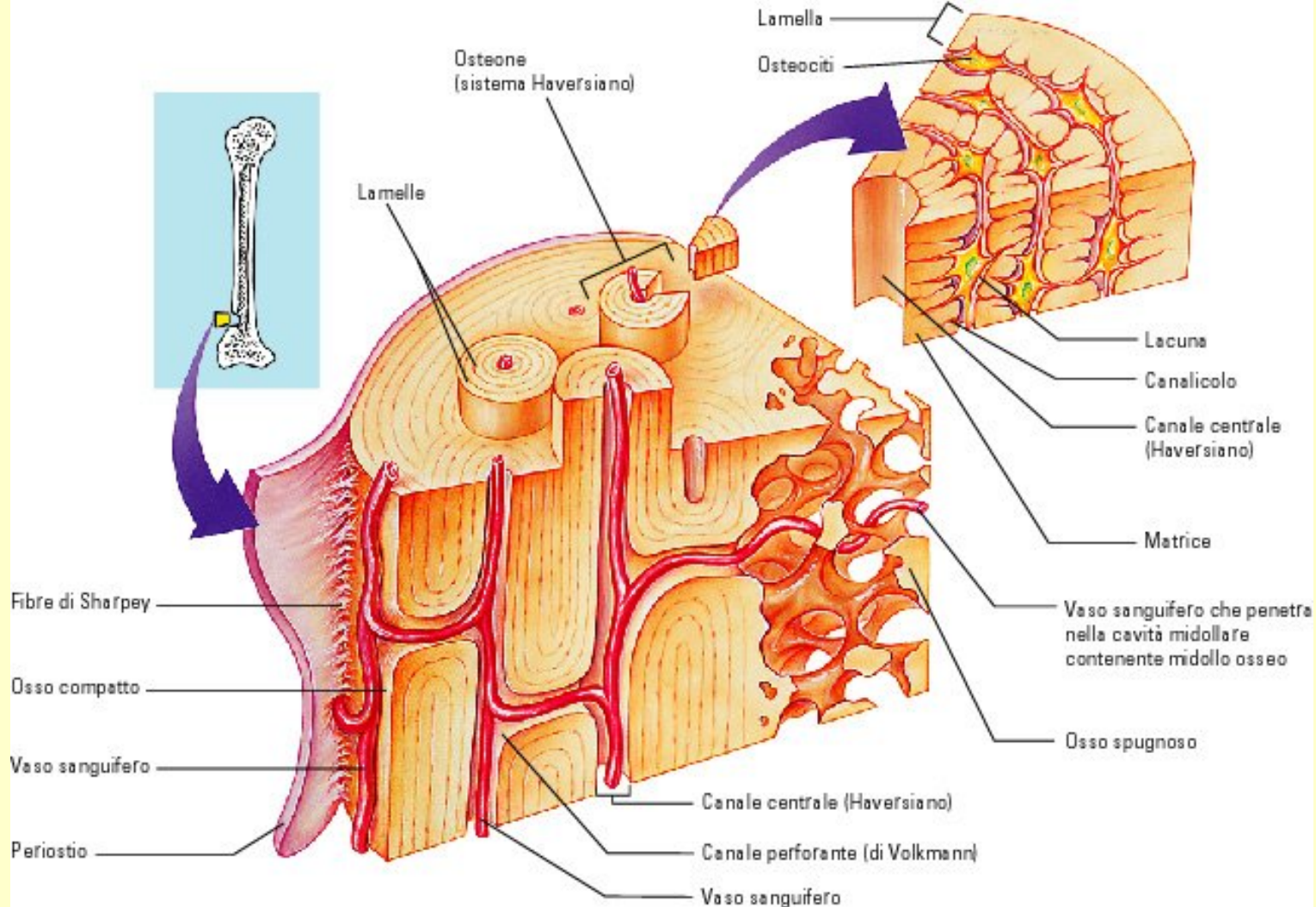


(d) Osso spugnoso

Gli osteociti si trovano in lacune fra lamelle concentriche che circondano un canale centrale che contiene vasi e nervi (canale di Havers); il canale e le lamelle formano il **Sistema Haversiano** o **OSTEONE**.

Struttura ossa lunghe





Gli osteociti e la matrice costituiscono le lamelle ossee disposte a formare gli **osteoni nell'osso lamellare** e le **trabecole nell'osso spugnoso**.

La composizione di base è uguale nei due tipi di osso, ma è diversa la loro disposizione tridimensionale.

Vascularizzazione

Le ossa sono molto ricche di vasi sanguigni che partono dal periostio e penetrano nei canali haversiani

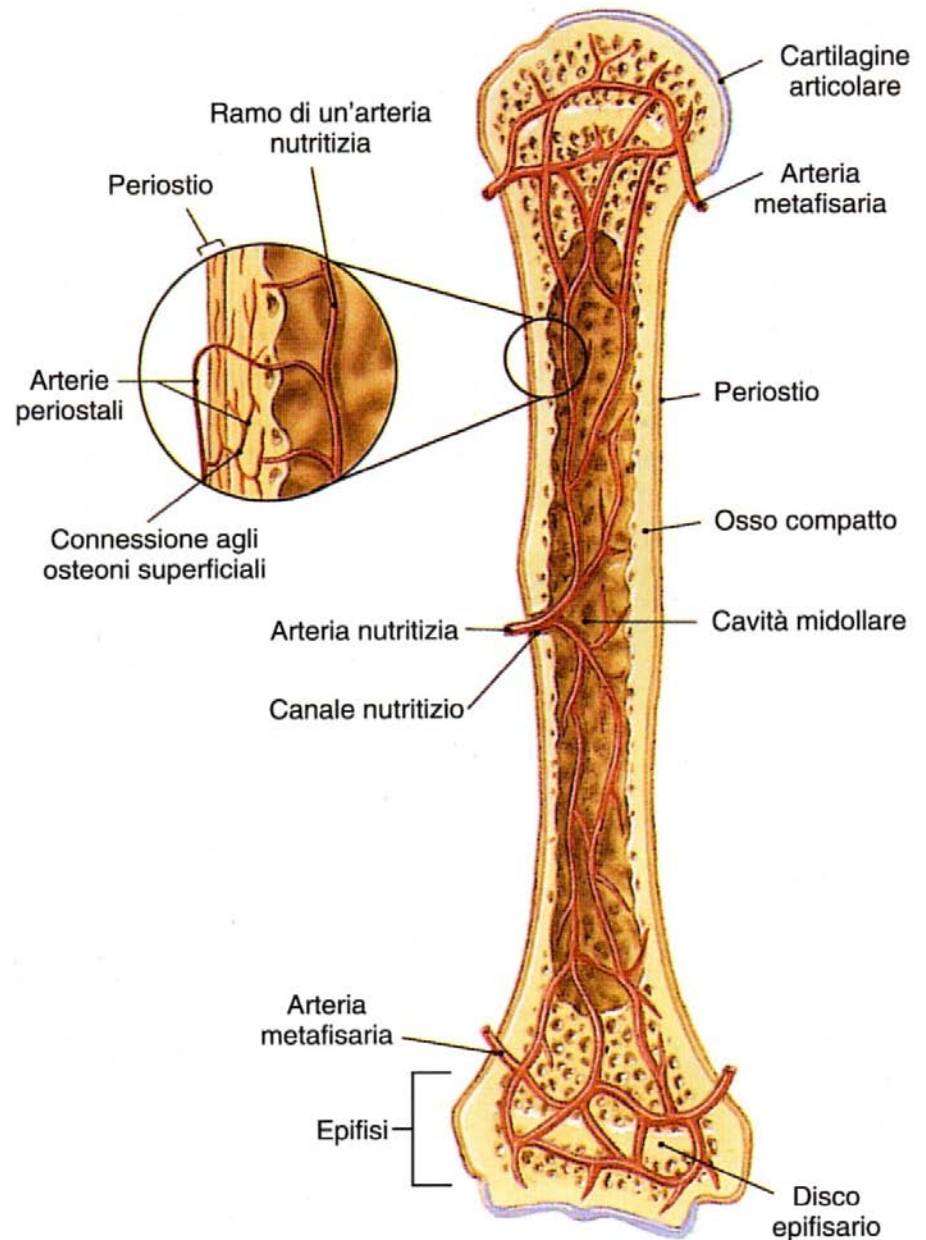
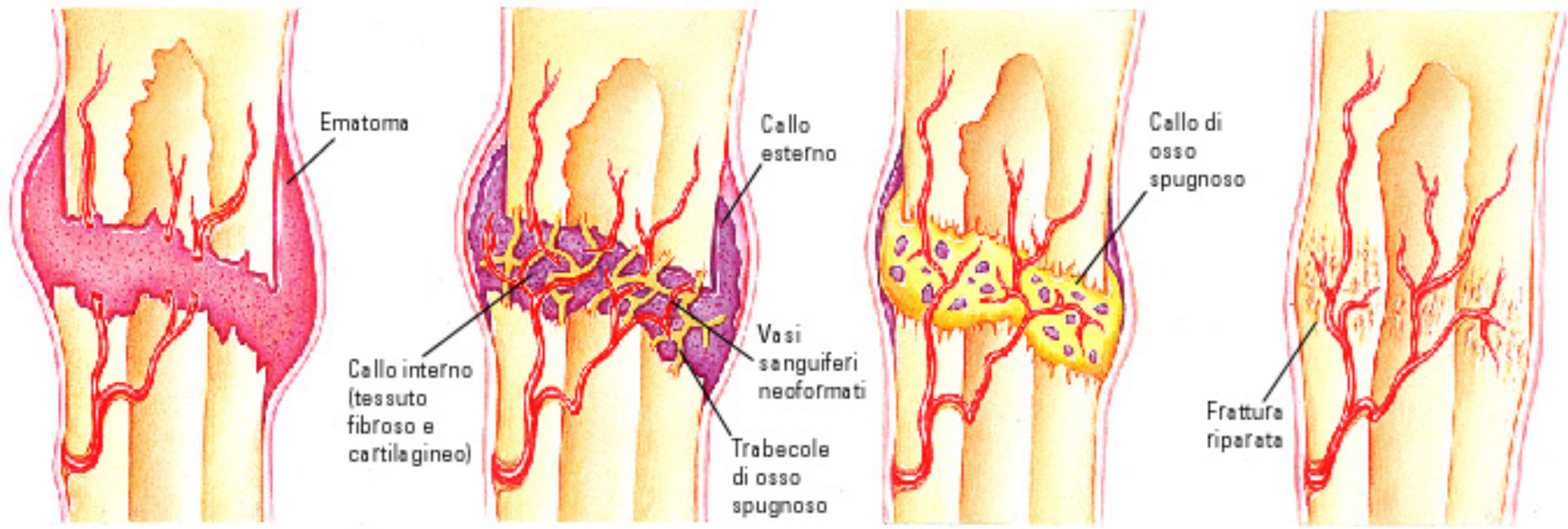


FIGURA 5.10 VASCOLARIZZAZIONE SANGUIFERA DI UN OSSO MATURO

Disposizione dei vasi ematici nell'omero.

Processo di riparazione dell'osso

Determinato dalla vascolarizzazione della zona, dalla formazione di un callo osseo e dalla sua sostituzione con nuovo osso



1. Formazione dell'ematoma

2. Formazione del callo fibrocartilagineo

3. Formazione del callo osseo

4. Rimodellamento osseo

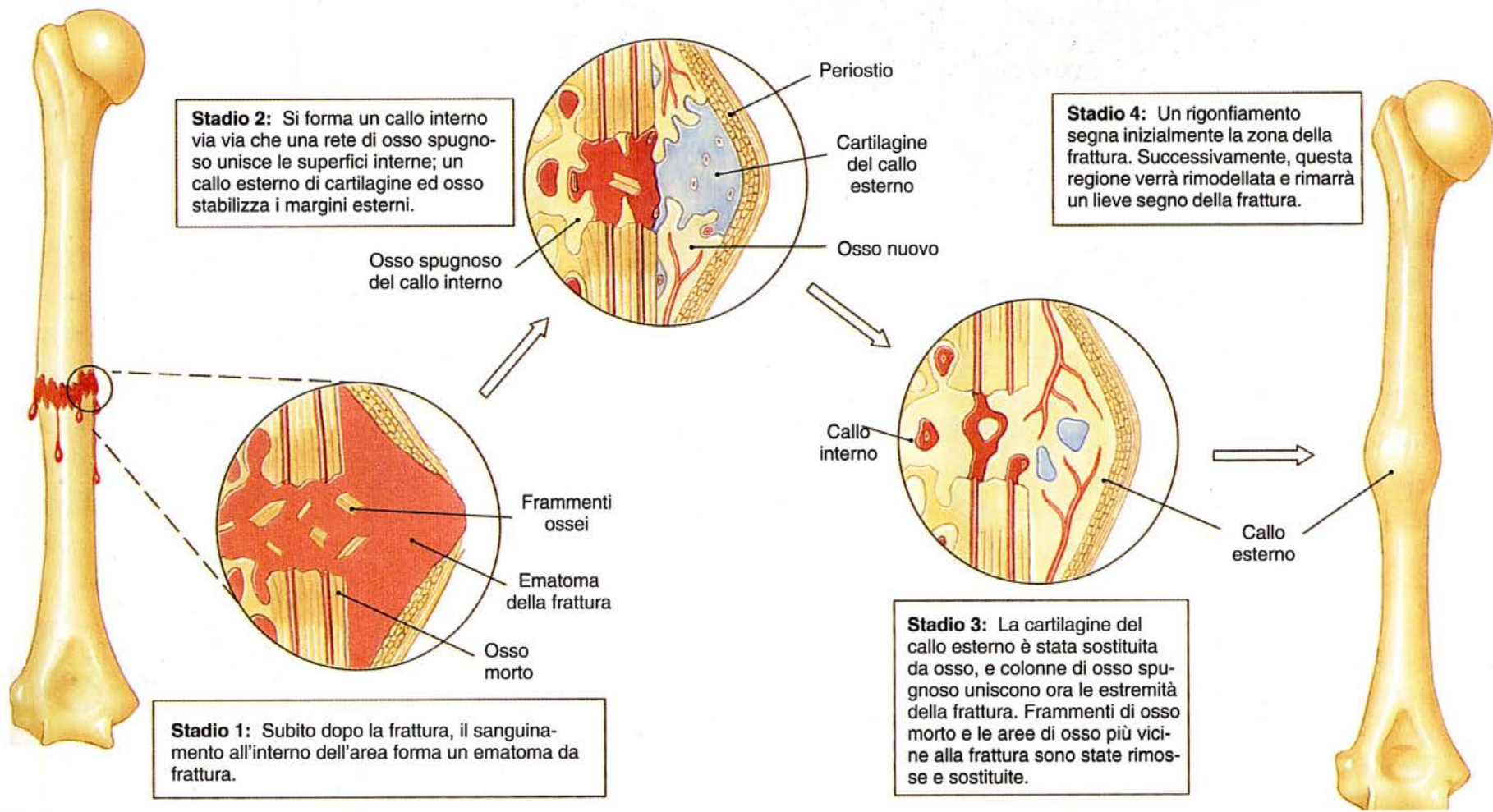
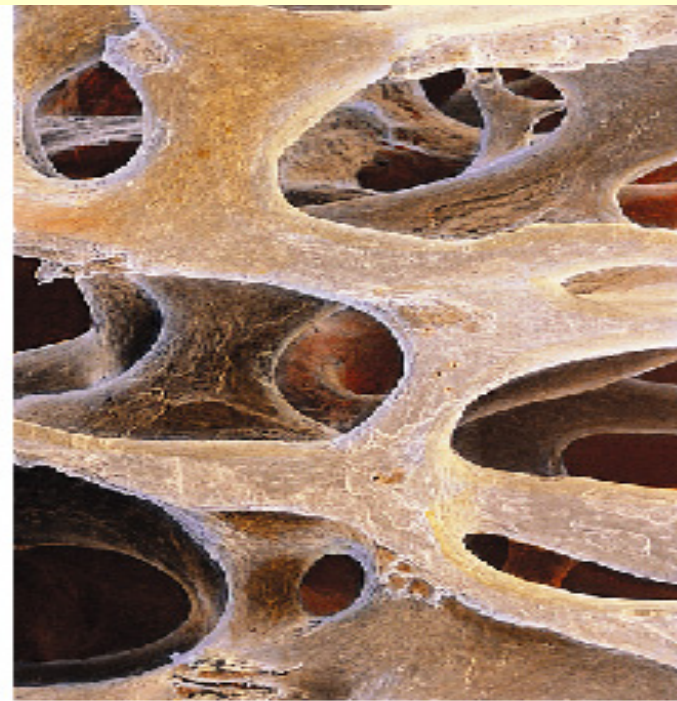


FIGURA 5.11 RIPARAZIONE DELLA FRATTURA
 Stadi della riparazione di una frattura.



Osso osteoporotico



Osso normale

Con l'invecchiamento si presenta l'**osteoporosi** che porta a fragilità delle ossa soprattutto delle vertebre e del femore; concause sono la menopausa (nelle donne), il fumo, carenze alimentari, la scarsa mobilità

Diversi **ormoni** influenzano la formazione, l'accrescimento e il rimodellamento dell'osso, stimolando o gli osteoblasti o gli osteoclasti, sono:

Ormone Somatotropo dell'ipofisi

Tiroxina della tiroide

Tirocalcitonina delle cellule C della tiroide

Paratormone delle paratiroide

Estrogeni e testosterone delle gonadi

calcemia

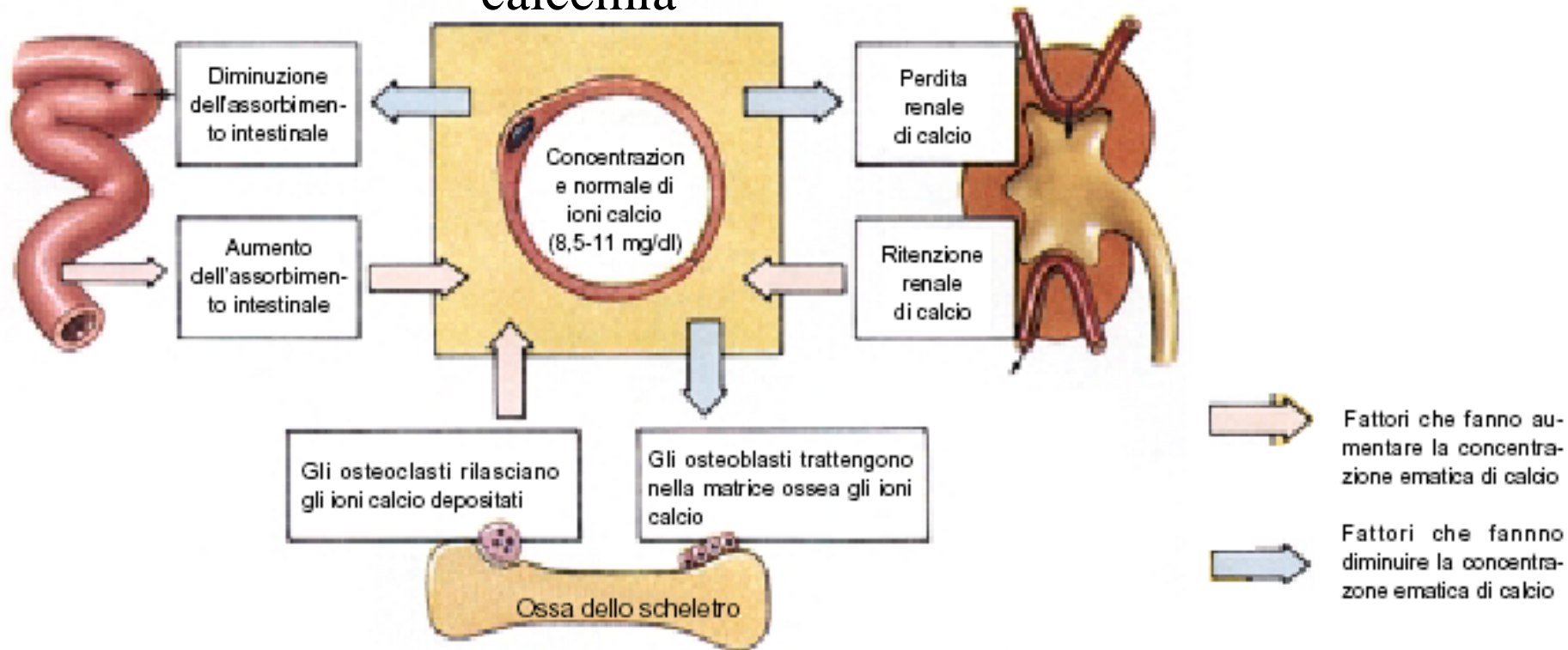


Figura 7.10 - Fattori che alterano la concentrazione di ioni calcio nei liquidi corporei.

Modalità di ossificazione

L'osso origina sempre da un tessuto connettivo (mesenchima) preesistente

1. Intramembranosa o Dermica o Diretta: avviene quando osteoblasti si differenziano all'interno del mesenchima o in un tessuto connettivo fibroso. Ciò avviene di solito negli strati profondi del derma → ossa dermiche o membranose.

Esempi: ossa piatte cranio, mandibola, clavicola, ossa sesamoidi (patella)

1. Endocondrale: inizia con un modello cartilagineo. Tipica delle ossa lunghe, dove le estremità cartilaginee crescono per apposizione, con una regione in accrescimento che coincide con le metafisi (zona intermedia tra diafisi ed epifisi)

Le ossa della base del cranio, le vertebre, il bacino e gli arti si formano con un processo duplice:

Formazione dell'osso

Ossificazione 1- diretta (membranosa) 2- indiretta (endocondrale)



Fig. 1. Skeleton of a rat fetus, 20 days gestation, stained with alcian blue-alizarin red S. The cartilaginous portion of the skeleton is stained blue and the bony skeleton is stained red.

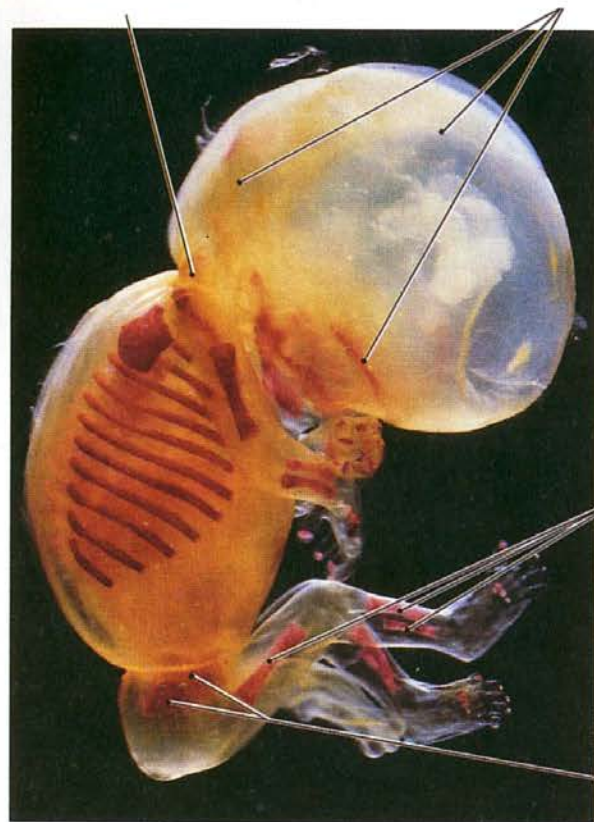
1- l'osso si forma direttamente da osteociti immersi in una matrice connettivale.

2- Inizialmente si forma uno scheletro cartilagineo che attraverso dei centri di ossificazione viene poi sostituito da osso; riguarda la gran parte delle ossa

BLU = Porzioni cartilaginee

L'ossificazione endocondrale rimpiazza le cartilagini del cranio embrionale

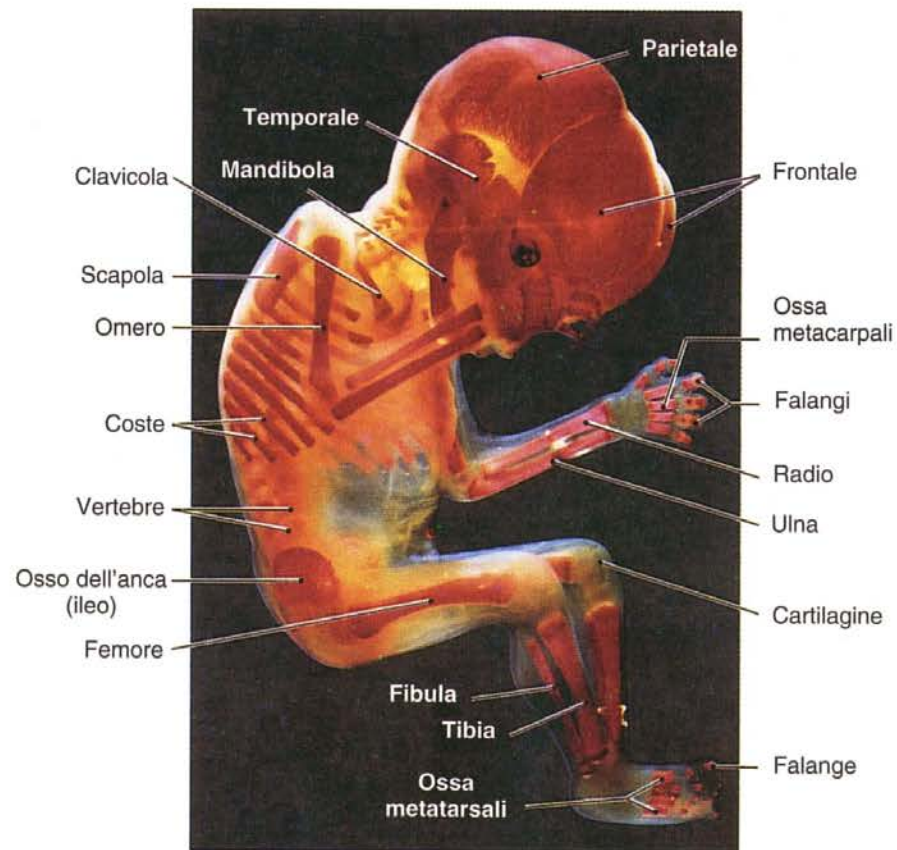
L'ossificazione intramembranosa dà origine alle ossa della volta del cranio



(a)

Centri di ossificazione primaria delle diafisi (scheletro dell'arto inferiore)

Futuro osso dell'anca



(b)

FIGURA 5.6 OSSIFICAZIONE FETALE INTRAMEMBRANOSA ED ENDOCONDRALE

Questi feti umani di 10 e 16 settimane sono stati diafanizzati e colorati per mostrare lo sviluppo degli elementi scheletrici. (a) A 10 settimane il cranio fetale mostra chiaramente sia osso membranoso che osso cartilagineo, ma i margini che indicano i limiti delle future ossa del cranio devono ancora essere stabiliti. (b) A 16 settimane il cranio fetale mostra i margini irregolari delle future ossa craniche. La maggior parte degli elementi dello scheletro appendicolare si forma attraverso ossificazione endocondrale. Confrontare l'aspetto delle ossa del carpo e del tarso a 16 settimane ed a 10 settimane.

10 settimane

16 settimane

La superficie delle ossa può presentare

✓ **sporgenze**: processi o apofisi

✓ **rientranze** o depressioni: fosse, canali, cavità

definibili

articolari : quando costituiscono connessioni fra ossa contigue

non articolari: quando costituiscono un punto di attacco per legamenti e/o muscoli

Processi ossei

Processo: prominenza ossea rilevante

Còndilo: processo di forma tonda/ovale

Tubercolo: processo tondeggiante piccolo

Tuberosità: processo tondeggiante cospicuo

Trocantére: processo cospicuo, di forma varia

Cresta: rilievo osseo sottile

Spina: processo sottile e appuntito

Testa: porzione ossea tondeggiante, che poggia su una parte più stretta, detta collo.

Tabella 5.2 Termini anatomici generali per varie formazioni delle ossa

Termini	Descrizione
Corpo	La parte principale
Testa	Estremità slargata (spesso arrotondata)
Collo	Restringimento tra testa e corpo
Margine o bordo	Margine
Angolo	Piegatura
Ramo	Porzione che si dirama dal corpo (al di là di un angolo)
Condilo	Superficie articolare liscia arrotondata
Faccetta	Piccola superficie articolare liscia e pianeggiante
Rilievi	
Linea	Rilievo basso
Cresta	Rilievo prominente
Spina	Rilievo molto alto
Sporgenze	
Processo	Sporgenza prominente
Tubercolo	Protuberanza piccola e arrotondata
Tuberosità	Protuberanza più larga di un tubercolo
Trocantere	Tuberosità nella regione prossimale del femore
Epicondilo	Vicino o sopra un condilo
Lingula	Processo schiacciato a forma di lingua
Uncino	Processo a forma di uncino
Corno	Processo a forma di corno

Aperture

Forame	Buco
Canale o meato	Canale
Fessura	Fessura
Seno o labirinto	Cavità

Depressioni

Fossa	Termine generico per una depressione
Incisura	Depressione sul margine di un osso
Fovea	Piccola fossetta
Doccia o solco	Depressione profonda e angusta

TABELLA 7-2 Termini usati per descrivere particolarità ossee.

Termine	Significato	Termine	Significato
Angolo	Un angolo	Margine	Bordo di un osso piatto o porzione di osso piatto o bordo di un'area piatta
Corpo	Parte principale di un osso	Meato	Apertura di un canale
Condilo	Protuberanza rotonda; si adatta a una fossa su un altro osso formando un'articolazione	Collo	Una porzione ristretta, usualmente alla base di una testa
Cresta	Linea moderatamente in rilievo; generalmente una sede per l'attacco dei muscoli	Incisione	Depressione a V nel margine o bordo di un'area piatta
Epicondilo	Protuberanza vicino e sopra a un condilo; spesso ha l'apparenza di una «protuberanza al di sopra di una protuberanza»; attacco per i muscoli	Processo	Un'area rialzata o estroflessione
Faccetta	Superficie piatta che forma un'articolazione con un'altra faccetta anch'essa piatta	Ramo	Porzione arcuata di un osso, simile a un corno d'ariete
Fessura	Una lunga fenditura per vasi e nervi	Seno	Cavità all'interno di un osso
Forame	Foro rotondo per vasi e nervi	Spina	Simile a una cresta ma più rialzata; un processo rilevato e, a volte, appuntito; attacco per i muscoli
Fossa	Depressione; spesso accetta un osso che si articola	Solco	Scanalatura o depressione allungata
Testa	Epifisi ben distinta delle ossa lunghe, separata dal fusto da una porzione ristretta (o collo)	Trocantere	Grossa protuberanza per attacco di muscolatura (più grossa di un tubercolo o tuberosità)
Linea	Simile a una cresta ma non troppo rialzata (è spesso poco apprezzabile)	Tuberosità	Protuberanza rialzata, oblunga, generalmente serve per l'attacco di muscoli. Una tuberosità più piccola è chiamata tubercolo