



*Centro Studi  
Colombo*

*Anatomia e fisiologia degli animali e dell'uomo*

*1<sup>^</sup>parte*



# 6 ANATOMIA E FISIOLOGIA DEGLI ANIMALI E DELL'UOMO

## 6.1 Principali apparati e rispettive funzioni

Negli organismi pluricellulari, cellule di vari tessuti sono organizzate a formare strutture, dette **organi**, deputate a svolgere determinate funzioni. Diversi organi, d'altra parte, concorrono, portando ciascuno il proprio contributo, allo svolgimento delle funzioni fondamentali alla sopravvivenza dell'organismo: l'insieme degli organi che cooperano allo svolgimento di una di tali funzioni costituisce un **apparato** (o **sistema**). I principali apparati dell'organismo animale, ed in particolare dei mammiferi, sono:

apparato locomotore
apparato tegumentario
apparato digerente
apparato respiratorio
apparato circolatorio
apparato urogenitale
sistema nervoso
sistema endocrino
sistema immunitario

A questi vanno aggiunti gli *organi di senso*, che hanno la funzione di raccogliere informazioni sull'ambiente esterno trasmettendole al sistema nervoso.

### 6.1.1 APPARATO LOCOMOTORE

L'insieme degli organi che costituiscono l'**apparato locomotore** svolge funzioni di sostegno dell'organismo, di protezione di alcuni organi e di produzione e amplificazione del movimento dell'intero organismo e/o delle sue parti. L'apparato scheletrico, inoltre, funge da riserva di ioni minerali. Nell'insieme dell'apparato locomotore si distinguono tre sotto-apparati:

- l'apparato scheletrico
- l'apparato articolare
- l'apparato muscolare

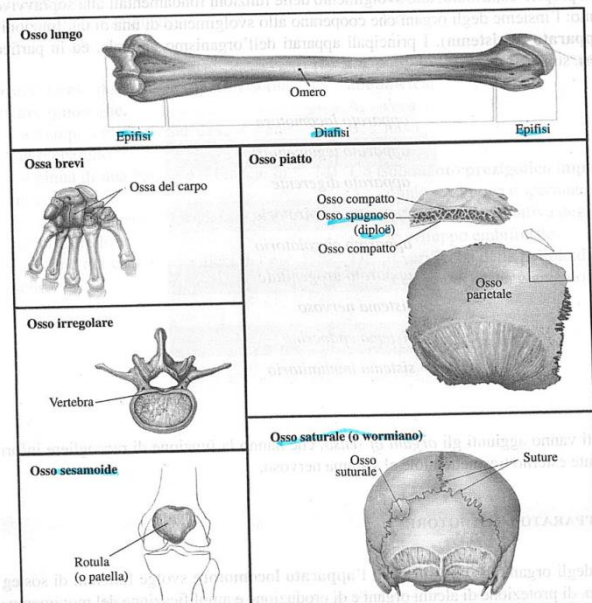
#### APPARATO SCHELETRICO

L'**apparato scheletrico** dei Vertebrati è costituito dalle **ossa**, organi rigidi e resistenti, formati da tessuto osseo e da alcune cartilagini, più flessibili ed elastiche, costituite da tessuto cartilagineo. L'apparato scheletrico ha funzioni di sostegno, di protezione (es. il cranio accoglie e protegge l'encefalo) e di trasmissione delle forze generate dall'apparato muscolare. Lo scheletro dei Vertebrati è situato all'interno dell'organismo (è un *endoscheletro*) ed è ricoperto da altri organi e tessuti che costituiscono le cosiddette **parti molli**.

Lo scheletro dell'uomo adulto è costituito da circa 206 ossa (alle quali si aggiungono, nell'adulto, 32 denti), che differiscono tra di loro per forma e dimensioni.

In base alla forma, si distinguono (Fig. 6.1):

- **ossa lunghe**, di forma allungata, costituite da una parte centrale, grosso modo cilindrica, detta **diafisi** (percorsa da una cavità, il **canale midollare**, nella quale è contenuto il midollo osseo), e da due estremità rigonfie, dette **epifisi** (formate da tessuto osseo spugnoso rivestito da una lamina)

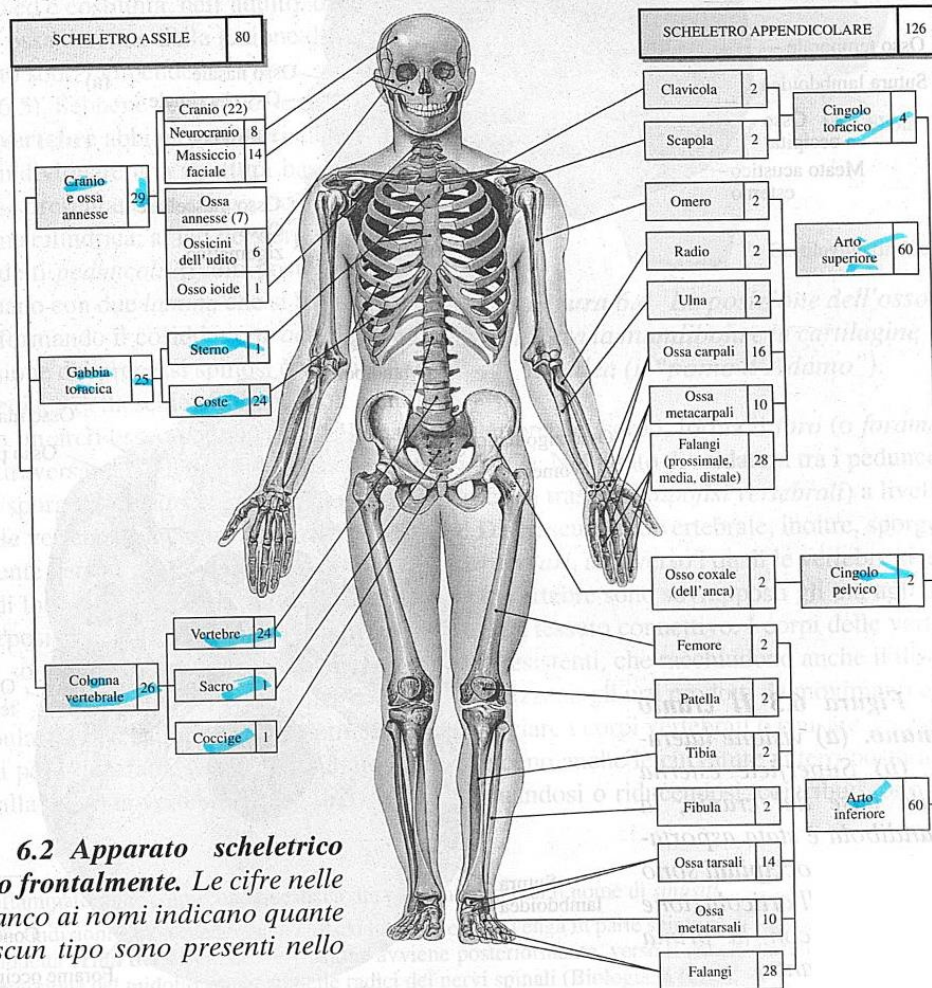


□ Figura 6.1 Tipi di osso.

na di tessuto osseo compatto), coinvolte nell'articolazione con altre ossa; sono esempi di ossa lunghe quelle del braccio (omero) e dell'avambraccio (radio e ulna);

- **ossa brevi** o **ossa corte**, in cui le tre dimensioni si equivalgono, formate da tessuto osseo spugnoso rivestito da una lamina di tessuto osseo compatto; ne sono esempi le ossa che costituiscono il carpo, nel polso;
- **ossa piatte**, a forma di piastra, costituite da due lamine di tessuto osseo compatto che racchiudono un sottile strato di tessuto osseo spugnoso; ne sono esempi le ossa della scatola cranica;
- **ossa irregolari**, di forma complessa; ne sono esempi le vertebre;
- **ossa sesamoidi**, di forma approssimativamente discoidale, situate nei tendini; ne è un esempio la rotula (o patella) del ginocchio;
- **ossa suturali** o **ossa wormiane**, piccole ossa sovranumerarie che possono trovarsi in corrispondenza delle articolazioni che connettono le ossa del cranio (chiamate *suture*).

Sia nel canale midollare delle ossa lunghe, sia nelle cavità midollari dell'osso spugnoso è presente un tessuto connettivo, chiamato genericamente **midollo osseo**: essendo ricco di vasi sanguigni appare



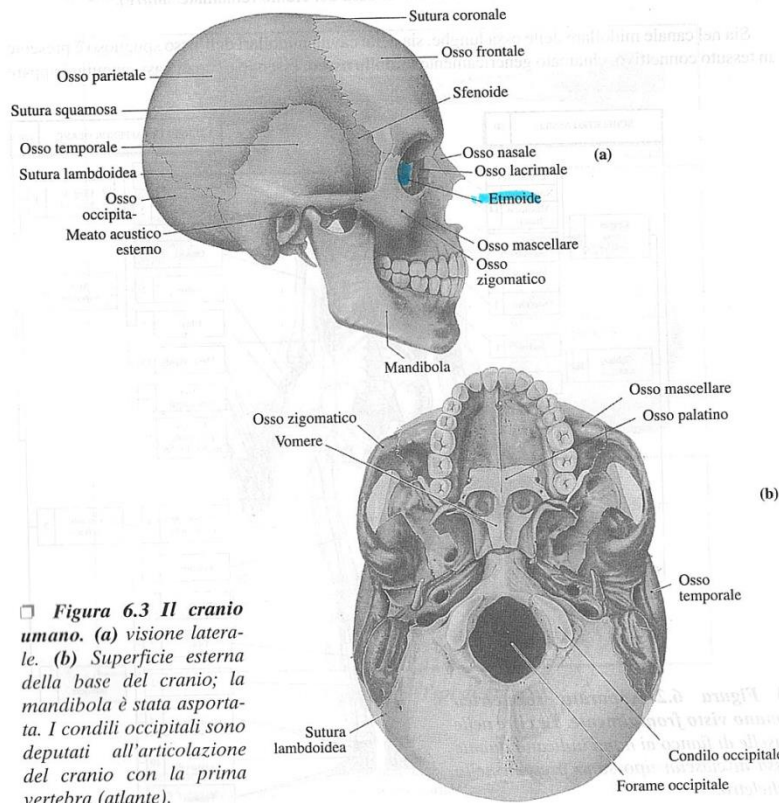
□ **Figura 6.2** Apparato scheletrico umano visto frontalmente. Le cifre nelle caselle di fianco ai nomi indicano quante ossa di ciascun tipo sono presenti nello scheletro.

di colore rosso. Esso è l'organo deputato alla produzione delle cellule del sangue (emopoiesi). Con l'invecchiamento, una parte del midollo rosso viene sostituito da tessuto adiposo, di colore giallastro (dove il nome di midollo giallo). Nello scheletro dei Vertebrati si distinguono due parti (Fig. 6.2):

- lo **scheletro assile**, posto lungo l'asse centrale del corpo e costituito dal cranio, dalla mandibola, dalla colonna vertebrale, dall'osso ioide, dalle costole e dallo sterno;
- lo **scheletro appendicolare**, comprendente le ossa degli arti (braccia, mani, gambe, piedi) e le ossa che costituiscono i due *cinti* o *cingoli* che uniscono gli arti allo scheletro assile: *cinto pettorale* o *toracico*, per gli arti superiori, e *cinto pelvico*, per gli arti inferiori.

### ■ SCHELETRO ASSILE

Il **cranio** è la struttura ossea della testa ed è costituito da 8 ossa craniche (*osso frontale, occipitale, due parietali, due temporali, sfenoide, etmoide* (Fig. 6.3), unite fra di loro da articolazioni fisse, det-



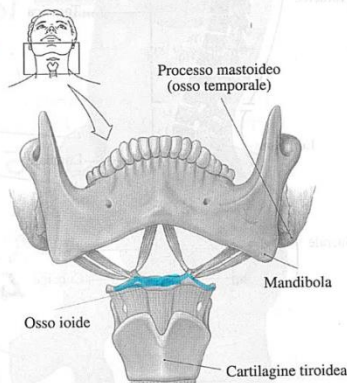
□ **Figura 6.3 Il cranio umano.** (a) visione laterale. (b) Superficie esterna della base del cranio; la mandibola è stata asportata. I condili occipitali sono deputati all'articolazione del cranio con la prima vertebra (atlante).

te *suture*) che delimitano una cavità (*teca cranica*) nella quale è contenuto l'encefalo e da 14 ossa che costituiscono la porzione facciale del cranio (tra queste ricordiamo le due *ossa mascellari*, che formano la volta del palato ed il pavimento e parte delle pareti delle cavità nasali, le due *ossa nasali*, che completano le pareti laterali delle cavità nasali, la *mandibola*, che costituisce l'unico osso mobile del cranio e delimita la parte inferiore della bocca). Dello scheletro del cranio fanno parte anche le tre coppie di ossicini uditivi, situati nella cassa del timpano, cavità posta nell'osso temporale (Biologia 6.1.8).

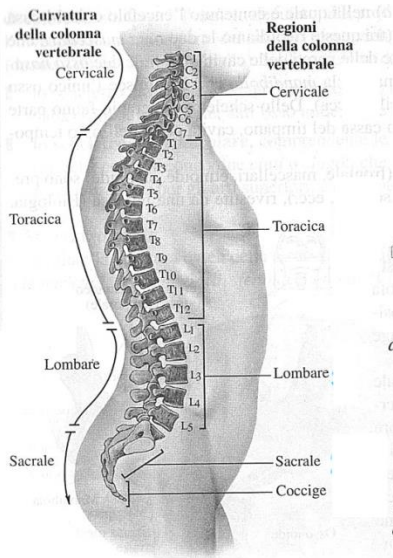
Nello spessore di alcune delle ossa del cranio (frontale, mascellari, etmoide, sfenoide) sono presenti cavità, chiamate *seni* (seni frontali, seni mascellari, ecc.), rivestite da una mucosa (Biologia, § 2.8.1) e comunicanti con le vie respiratorie<sup>2</sup>.

L'**osso ioide** è un osso relativamente sottile, a forma di semicerchio aperto posteriormente, posto nel collo subito sotto la mandibola. Non si articola con alcun altro osso, in quanto è mantenuto in posizione da muscoli, e serve a tenere aperta la laringe (Fig. 6.4).

La **colonna vertebrale** forma l'asse verticale dello scheletro ed è costituita, nell'adulto, da 24 vertebre e da due ossa derivate dalla fusione di vertebre che nel neonato sono indipendenti: l'*osso sacro* ed il *coccige* (Fig. 6.5). Sebbene nelle diverse regioni della colonna le **vertebre** abbiano caratteristiche specifiche, si può individuare una struttura base comune (Fig. 6.6). Esse presentano un *corpo*, posto anteriormente, di forma cilindrica; ai lati del corpo si staccano due steli, detti *peduncoli*, rivolti posteriormente, che si continuano con due *lamine* che si fondono posteriormente formando il cosiddetto *processo spinoso* (la successione dei processi spinosi è visibile lungo la linea mediana della schiena). Peduncoli e lamine delimitano un arco osseo che, insieme alla parte posteriore del corpo, forma il *foro* (o *forame*) *vertebrale*, attraversato dal midollo spinale (Biologia, § 6.1.7). Nel punto di saldatura tra i peduncoli e le lamine sporgono obliquamente all'indietro due processi trasversi (*apofisi vertebrali*) a livello dei quali, nelle vertebre toraciche, si articolano le coste. Da ciascun arco vertebrale, inoltre, sporgono verticalmente verso l'alto e verso il basso i *processi articolari*, attraverso i quali le vertebre si articolano fra di loro. Nella colonna vertebrale, i corpi delle vertebre sono sovrapposti gli uni agli altri con l'interposizione di **dischi intervertebrali**, formati da tessuto connettivo. I corpi delle vertebre adiacenti sono tenuti in posizione da legamenti molto resistenti, che racchiudono anche il disco intervertebrale<sup>3</sup>. I dischi intervertebrali attenuano e ammortizzano gli urti prodotti da movimenti come la deambulazione, il salto, ecc., che potrebbero danneggiare i corpi vertebrali o causare eccessive vibrazioni per l'encefalo. A questo risultato contribuiscono anche le curvature antero-posteriori presentate dalla colonna vertebrale (Fig. 6.5), che accentuandosi o riducendosi, contribuiscono ad



□ **Figura 6.4 La posizione dell'osso ioide tra la mandibola e la cartilagine tiroidea (il "pomo d'Adamo").**

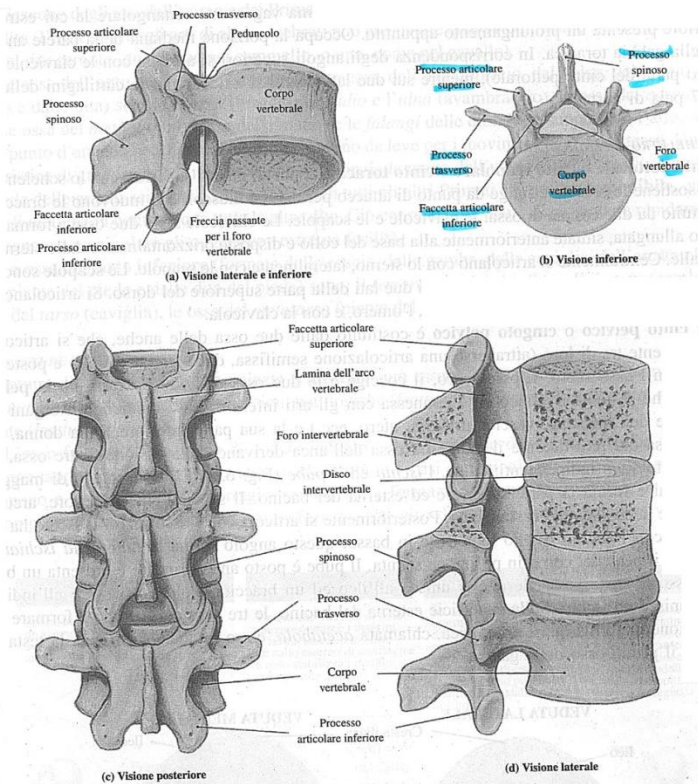


□ **Figura 6.5 La colonna vertebrale.** Vista laterale. La regione cervicale comprende 7 vertebre; la toracica, 12; la lombare, 5; la regione sacrale è costituita dall'osso sacro, derivato dalla fusione di 5 vertebre; la coccigea, dal coccige, derivato dalla fusione di 4. Sono evidenti la curvatura cervicale (a livello del collo, convessa anteriormente), la curvatura toracica (a livello della regione toracica, convessa posteriormente), la curvatura lombare (a livello della zona lombare, convessa anteriormente) e la curvatura pelvica o sacrale (a livello dell'osso sacro e del coccige, convessa posteriormente).

ammortizzare i colpi<sup>4</sup>. L'articolazione tra le vertebre, pur essendo limitata, è sufficiente a consentire alla colonna vertebrale movimenti di flessione, estensione, flessione laterale e torsione. Tra i peduncoli di due vertebre adiacenti si vengono a formare dei fori (*forami intervertebrali*), attraverso i quali fuoriescono i nervi spinali.

Le prime due vertebre cervicali presentano una struttura notevolmente diversa rispetto alle altre. La prima, chiamata **atlante**, si articola direttamente con l'osso occipitale del cranio e presenta sulla sua superficie superiore, ai lati del forame vertebrale, due infossature in cui si adattano due proiezioni del cranio, dette *condili occipitali*: questa articolazione permette i movimenti in su e giù del cranio. La seconda vertebra, chiamata **epistrofeo**, presenta sulla parte superiore del corpo, una sporgenza cilindrica (*dente dell'epistrofeo*) che va ad inserirsi all'interno del forame vertebrale dell'atlante e che funge da perno per le rotazioni laterali della testa.

Nei mammiferi, la **cassa toracica** o **gabbia toracica** è un "cesto" osseo formato dalle vertebre toraciche, da 12 paia di costole (maschi e femmine hanno un uguale numero di costole) e dallo sterno. Essa accoglie i polmoni, i bronchi, parte dell'esofago, il timo, il cuore, la porzione iniziale dell'aorta e la parte terminale delle vene cave. Le **costole** (o **coste**) sono ossa appiattite, nastriformi ed



□ **Figura 6.6 Vertebre.** (a) Vertebra vista lateralmente dal basso: attraverso il forame vertebrale passa il midollo spinale. (b) La stessa vertebra vista dal basso. (c) Tre vertebre adiacenti articolate fra di loro e separate dai dischi intervertebrali, viste posteriormente. (d) Le stesse tre vertebre viste lateralmente, la prima e parte della seconda sono state sezionate verticalmente. Attraverso i fori intervertebrali escono le radici dei nervi spinali

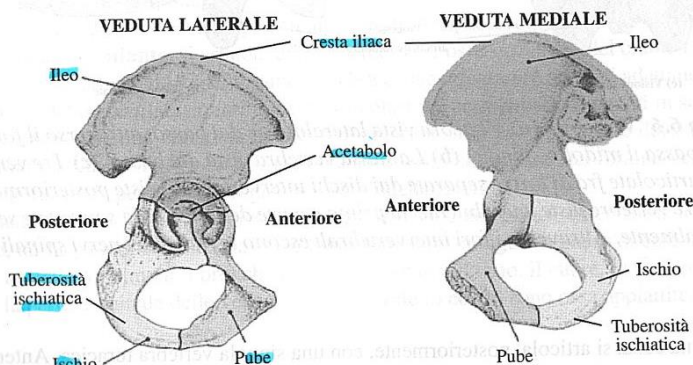
arcuate. Ciascuna costa si articola, posteriormente, con una singola vertebra toracica. Anteriormente, le costole (tranne le ultime due) si continuano con una cartilagine, detta *cartilagine costale*. Le prime 7 paia di costole si articolano, con le loro cartilagini, direttamente con lo sterno; le cartilagini delle 3 successive non si uniscono allo sterno, ma alla cartilagine della costola immediatamente sovrastante; le ultime due paia di coste non sono unite allo sterno e sono dette *coste fluttuanti*.

Lo **sterno** è un osso appiattito, allungato, di forma vagamente rettangolare la cui estremità inferiore presenta un prolungamento appuntito. Occupa la porzione mediana della parete anteriore della gabbia toracica. In corrispondenza degli angoli superiori si articola con le clavicole (che fanno parte del cinto pettorale), mentre sui due lati lunghi si articola con le cartilagini delle prime 7 paia di coste.

#### ■ SCHELETRO APPENDICOLARE

Il **cinto pettorale** o **cinto scapolare** o **cinto toracico** connette gli arti superiori con lo scheletro assiale, sostiene le braccia e funge da punto di attacco per diversi muscoli che muovono le braccia. È costituito da due coppie di ossa: le clavicole e le scapole. Le **clavicole** sono due ossa a forma di S molto allungata, situate anteriormente alla base del collo e disposte orizzontalmente dallo sterno alle spalle. Centralmente si articolano con lo sterno, lateralmente con le scapole. Le **scapole** sono due ossa piatte, di forma triangolare, poste ai due lati della parte superiore del dorso. Si articolano con l'osso che forma lo scheletro del braccio, l'omero, e con la clavicola.

Il **cinto pelvico** o **cingolo pelvico** è costituito dalle due ossa delle anche, che si articolano anteriormente tra di loro (attraverso una articolazione semifissa, detta *sinfisi pubica*) e posteriormente con l'osso sacro. L'osso sacro, il coccige e le due ossa delle anche formano la **pelvi** o **bacino**, che sostiene il tronco ed è connessa con gli arti inferiori. Essa contiene gli organi pelvici (parte dell'intestino, vescica urinaria, utero, ecc.) e la sua parte inferiore, nella donna, viene percorsa dal feto durante il parto. Le ossa dell'anca derivano dalla fusione di tre ossa, che nel neonato sono indipendenti: l'*ileo*, l'*ischio* ed il *pube* (Fig. 6.7). L'ileo è quello di maggiori dimensioni e forma la parte superiore ed esterna del bacino. Il suo margine superiore, arcuato, costituisce la cosiddetta **cresta iliaca**. Posteriormente si articola con l'osso sacro. L'ischio ha forma di L, con l'angolo rivolto indietro e in basso: questo angolo forma la **tuberosità ischiatica**, che regge il peso del corpo in posizione seduta. Il pube è posto anteriormente e presenta un braccio grosso modo orizzontale che si unisce all'ileo ed un braccio rivolto in basso e all'indietro che si unisce all'ischio. Sulla superficie esterna del bacino, le tre ossa concorrono a formare una depressione di forma quasi emisferica, chiamata *acetabolo*, entro la quale si articola la testa del femore, il primo osso della gamba.



□ **Figura 6.7** Veduta laterale e mediale dell'osso dell'anca. Sono evidenziati i limiti delle tre ossa (ileo, ischio e pube) dalla cui fusione deriva l'osso dell'adulto. Tutte e tre le ossa concorrono a costituire la cavità dell'acetabolo, nella quale si articola la testa del femore.

Ciascuno degli arti dell'uomo e dei Primati è costituito da una trentina di ossa e termina con cinque dita (l'estremità degli arti di altri vertebrati può presentare quattro dita, come nel maiale, tre, come nel rinoceronte, due, come nel cammello, o uno, come nel cavallo).

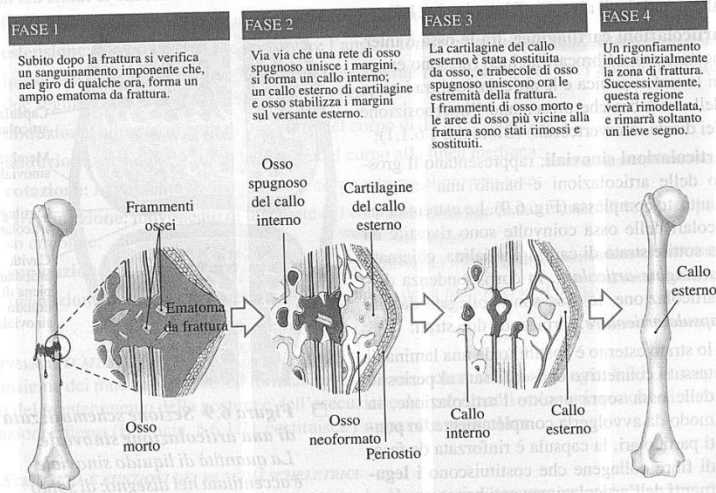
Le ossa dell'**arto superiore** (formato dal braccio, dall'avambraccio, dal polso, dal palmo della mano e dalle dita) sono: l'*omero* (braccio), il *radio* e l'*ulna* (avambraccio), le ossa del *carpo* (polso), le ossa del *metacarpo* (palmo della mano) e le *falangi* delle dita. Esse supportano l'arto, offrono il punto d'attacco per diversi muscoli e fungono da leve per i movimenti dell'arto stesso. Una caratteristica di grandissima importanza che differenzia la mano dell'uomo e delle grandi scimmie (e il piede delle grandi scimmie) dalle estremità di tutti gli altri Primati è il **pollice opponibile**, capace cioè di mettersi in contatto con tutte le altre dita. Ciò consente alla mano di circondare rapidamente, impugnare e manipolare gli oggetti con estrema facilità.

Le ossa dell'**arto inferiore** (formato dalla coscia, dalla gamba, dalla caviglia, dall'arcata plantare o pianta del piede e dalle dita del piede) sono: il *femore* (coscia), la *tibia* e il *perone* (gamba), le ossa del *tarso* (caviglia), le ossa del *metatarso* (pianta del piede) e le *falangi* delle dita dei piedi.

## FRATTURE E LORO RIPARAZIONE

La rottura di un osso viene denominata **frattura** e può essere determinata sia da traumi (*frattura traumatica*), sia da particolari condizioni patologiche (*frattura patologica*), sia avvenire spontaneamente (*frattura spontanea*).

L'osso fratturato è in grado di andare incontro ad un processo di riparazione, che avviene in diverse tappe (Fig. 6.8). Al momento della frattura, i vasi sanguigni dell'osso e del periostio si rompono e si verifica una emorragia, seguita dalla formazione di un coagulo e di un ematoma, accompagnato da infiammazione e tumefazione. Nel giro di pochi giorni, l'ematoma viene inva-



□ **Figura 6.8** Principali tappe della riparazione fisiologica di una frattura.

so sia da vasi sanguigni di nuova formazione, sia da osteoblasti (Biologia, § 2.8.2), che formano nuovo tessuto osseo spugnoso nelle vicinanze dei vasi, sia da fibroblasti che formano tessuto fibrocartilagineo nelle zone da essi più lontane, sia da granulociti che rimuovono il coagulo e frammenti cellulari, sia da osteoclasti che riassorbono eventuali frammenti ossei. Lo spazio vuoto creato dalla frattura viene riempito in un tempo più o meno lungo da tessuto fibrocartilagineo, con formazione di un **callo cartilagineo**. Successivamente, questo callo, attraverso un processo di ossificazione endocrale (Biologia, § 2.8.2), viene sostituito da tessuto osseo, con formazione di un **callo osseo**. Inizialmente la quantità di tessuto osseo prodotta è superiore al necessario, ma i processi di rimaneggiamento riportano ad un risultato finale che è un osso molto simile a quello originario. La riparazione della frattura è tanto più rapida quanto più le estremità dell'osso fratturato rimangono vicine: la *riduzione delle fratture*, cioè gli interventi che mirano a riavvicinare i monconi ossei, unitamente all'uso di ingessature o di chiodi o piastre metalliche, ha quindi la funzione di accelerare la guarigione, oltre che di mantenere allineate le parti fratturate.

## APPARATO ARTICOLARE

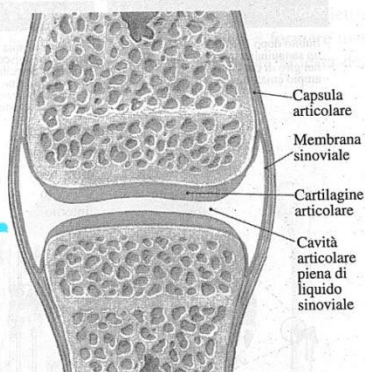
L'**apparato articolare** comprende le **articolazioni**, cioè le strutture anatomiche attraverso cui le ossa sono connesse fra di loro e che ne condizionano i movimenti.

### TIPICI DI ARTICOLAZIONI

In base al tipo di tessuto che unisce le ossa che le formano, le articolazioni possono essere classificate in:

- **articolazioni fibrose**: le ossa sono a stretto contatto e unite saldamente da tessuto connettivo fibroso (ne sono esempi le *suture* tra le ossa del cranio o le suture che uniscono le radici dei denti alle pareti degli alveoli) (Biologia, § 6.1.3);
- **articolazioni cartilaginee**: tra le ossa è interposto tessuto fibrocartilagineo (ne sono esempi la sinfisi pubica e le articolazioni tra i corpi delle vertebre che presentano l'interposizione dei dischi intervertebrali) (Biologia, § 6.1.1);
- **articolazioni sinoviali**: rappresentano il grosso delle articolazioni e hanno una struttura piuttosto complessa (Fig. 6.9). **Le estremità articolari delle ossa coinvolte sono rivestite da un sottile strato di cartilagine ialina, chiamato cartilagine articolare.** In corrispondenza dell'articolazione, **le ossa sono collegate da una capsula articolare**, formata da due strati:

- lo strato esterno è costituito da una lamina di tessuto connettivo denso, fissata al periostio delle ossa sopra e sotto l'articolazione, in modo da avvolgerla completamente; in punti particolari, la capsula è rinforzata da fasci di fibre collagene che costituiscono i **legamenti** dell'articolazione: essi hanno una lunghezza fissa e non sono elastici, per cui en-



□ **Figura 6.9** Sezione schematizzata di una articolazione sinoviale.

La quantità di liquido sinoviale è accentuata nel disegno: di solito esso rappresenta un velo che ricopre le superfici articolari.



trano in tensione quando l'articolazione raggiunge la massima escursione e, a quel punto, impediscono movimenti eccessivi;

- lo strato interno è costituito da un rivestimento di tessuto connettivo lasso, vascolarizzato, chiamato **membrana sinoviale**; essa ricopre tutte le superfici interne dell'articolazione, ad eccezione delle cartilagini articolari.

Si viene così a delimitare una cavità chiusa denominata *cavità sinoviale*, entro la quale la membrana sinoviale secerne un liquido vischioso (per la presenza di mucopolisaccaridi), detto **liquido sinoviale**, con funzioni di lubrificazione e di nutrizione delle cartilagini articolari.

In alcune articolazioni (es. ginocchio) sono presenti degli anelli fibrocartilaginei, chiamati *menischi*, che si interpongono tra le superfici articolari e fungono da cuscinetti proteggendo le superfici articolari.

In base all'ampiezza dei movimenti consentiti, le articolazioni si suddividono in:

- **sinartrosi**: articolazioni non mobili (ne sono esempi le suture delle ossa craniche e le articolazioni dei denti con gli alveoli dentali);
- **anfartrosi**: articolazioni parzialmente mobili (ne sono esempi le articolazioni tra le vertebre e la sinfisi pubica);
- **diartrosi**: articolazioni totalmente mobili (ne sono esempi le articolazioni sinoviali, quali quelle dell'omero con la scapola, quella del ginocchio, quelle tra le falangi delle dita, ecc.).

#### ■ PRINCIPALI TIPI DI MOVIMENTO

La presenza delle articolazioni consente alle varie parti dell'organismo di muoversi le une rispetto alle altre, dando luogo a diversi tipi di movimenti. I principali sono (Fig. 6.10):

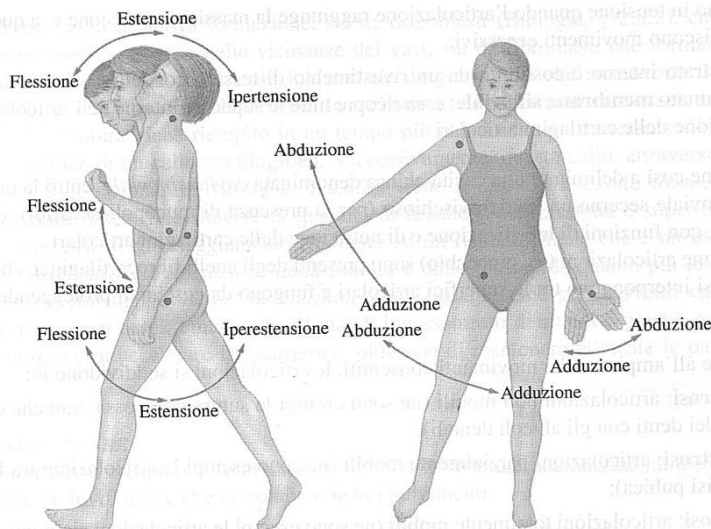
- **flessione**: movimento che riduce l'angolo formato tra due segmenti ossei;
- **estensione**: movimento che fa aumentare l'angolo formato da due segmenti ossei;
- **iperestensione**: movimento che accentua fortemente l'estensione, per cui l'angolo formato dai due segmenti ossei supera l'angolo piatto (180°);
- **abduzione**: allontanamento di una parte del corpo dalla linea mediana;
- **adduzione**: avvicinamento di una parte del corpo alla linea mediana;
- **rotazione**: movimento di una parte del corpo attorno al proprio asse;
- **circonduzione**: movimento di una parte del corpo in modo che la sua estremità segua un percorso circolare;
- **supinazione**: movimento con cui si volge il palmo della mano all'insù;
- **pronazione**: movimento con cui si volge il palmo della mano verso il basso.

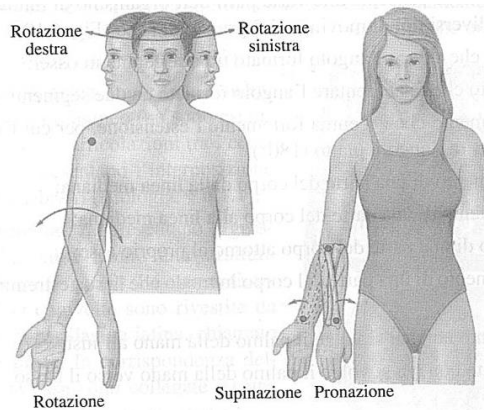
#### APPARATO MUSCOLARE

L'insieme dei muscoli scheletrici, formati da tessuto muscolare striato (Biologia, § 2.8.3), responsabili del mantenimento della postura e dell'esecuzione dei movimenti volontari, nonché di numerose reazioni riflesse (Biologia, § 6.1.7), costituisce l'**apparato muscolare**.

#### ■ STRUTTURA E FUNZIONI DEI MUSCOLI SCHELETRICI

Un **muscolo scheletrico** è un organo costituito da diversi tipi di tessuto: muscolare striato, diversi tipi di connettivo, vasi sanguigni e terminazioni nervose. Alla sua formazione possono concorrere





□ **Figura 6.10** I principali tipi di movimento.

migliaia di fibrocellule muscolari (Figura 2.40), ciascuna avvolta da un sottile strato di tessuto connettivo (*endomizio*); diverse fibrocellule sono organizzate in fasci, anch'essi avvolti da connettivo (*perimio*); molti fasci concorrono alla formazione del muscolo. Ciascun muscolo è separato dai muscoli adiacenti e mantenuto in posizione da uno strato di tessuto connettivo fibroso chiamato *fascia*. La fascia, il perimio e l'endomio possono prolungarsi oltre l'estremità delle fibrocellule, formando un cordone, chiamato **tendine**. Le fibre collagene (Biologia, § 2.8.2.) del tendine si intrecciano e si continuano con quelle del periostio delle ossa o del connettivo delle strutture sulle quali il muscolo è inserito. In altri casi, il connettivo che riveste i muscoli si continua in larghe lamine fibrose, dette *aponevrosi* o *aponeurosi*, che si connettono al rivestimento di muscoli adiacenti, collegando così due o più muscoli tra di loro.

Di solito, un'estremità di un muscolo scheletrico è legata ad una struttura relativamente fissa (di norma un osso) e l'altra estremità, dopo che il muscolo o il suo tendine hanno scavalcato un'articolazione, si inserisce su di una struttura mobile. L'estremità fissa è detta *origine del muscolo*, mentre quella mobile è detta *inserzione*. Quando il muscolo si contrae, l'inserzione viene tirata verso l'origine. Alcuni muscoli possono avere più di un'origine o più di un'inserzione (possono cioè presentare biforcazioni). Ad esempio il muscolo bicipite del braccio possiede due capi, cioè due origini (legate a punti diversi della scapola) ed una inserzione (sul radio). Alcuni muscoli hanno una forma ad anello (non hanno quindi né un'origine, né un'inserzione): essi sono posti in corrispondenza di orifizi dell'organismo (es.: bocca, ano, pupilla, ecc.) e la loro contrazione o il loro rilassamento fanno variare l'apertura dell'orifizio. Essi prendono il nome di **sfinteri**. Del meccanismo che porta alla contrazione delle fibrocellule muscolari si è trattato in Biologia, § 2.8.3.

Di solito i muscoli scheletrici non si contraggono isolatamente, bensì a gruppi. Ad esempio il movimento di staccare il braccio dal fianco e di sollevarlo orizzontalmente (abduzione, vedi sopra) è il risultato principalmente della contrazione del muscolo deltoide, che per tale motivo, in questo caso, funge da *motore primario* o **muscolo agonista**. Mentre esso si contrae, però, si contraggono anche muscoli vicini, che con la loro contrazione mantengono in posizione la spalla, rendendo più preciso e potente l'effetto del muscolo agonista. I muscoli che si contraggono collaborando con il motore primario sono detti **muscoli sinergisti**.

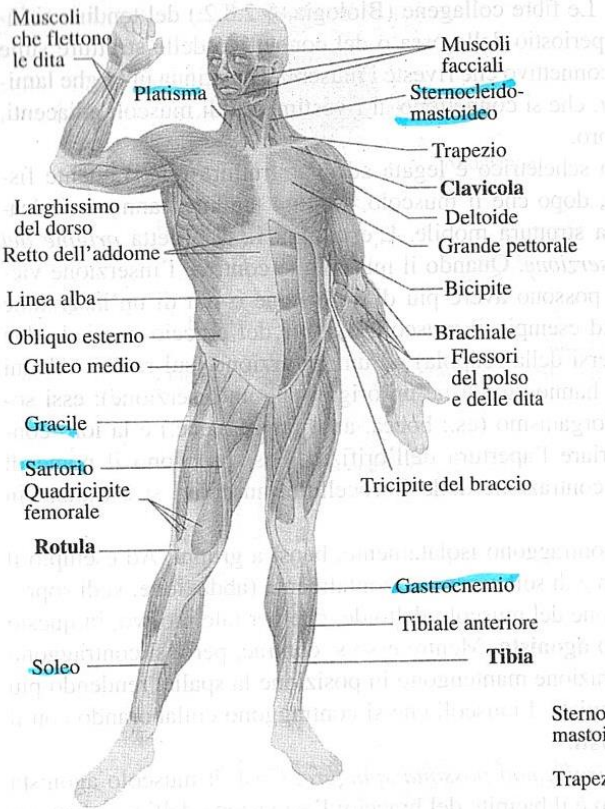
D'altra parte, *i muscoli possono solo tirare, non possono spingere*. Così, il muscolo agonista della flessione dell'avambraccio sul braccio è il bicipite del braccio; l'estensione dell'avambraccio (cioè il movimento inverso della flessione) è causata dal tricipite del braccio: questi due muscoli agiscono in *modo antagonistico* l'uno rispetto all'altro. Il muscolo che, contraendosi, produce un movimento opposto a quello provocato da un agonista è detto **muscolo antagonista**. Se entrambi i muscoli si contraggono simultaneamente, la parte interessata rimane immobile. La gradualità e la precisione dei movimenti dipendono quindi dalla capacità dell'antagonista (o degli antagonisti) di rilassarsi man mano che l'agonista si contrae. Queste complesse interazioni sono rigorosamente controllate dal sistema nervoso centrale.

I principali muscoli superficiali del corpo umano sono illustrati nelle Figure 6.11 e 6.12.

Un gruppo particolare di muscoli è rappresentato dai **muscoli mimici** o **muscoli facciali**. Essi sono localizzati sotto la cute del volto e del cuoio capelluto e sono responsabili della mimica facciale. Molti di essi collegano le ossa del cranio con il tessuto connettivo sottocutaneo di zone precise della cute.

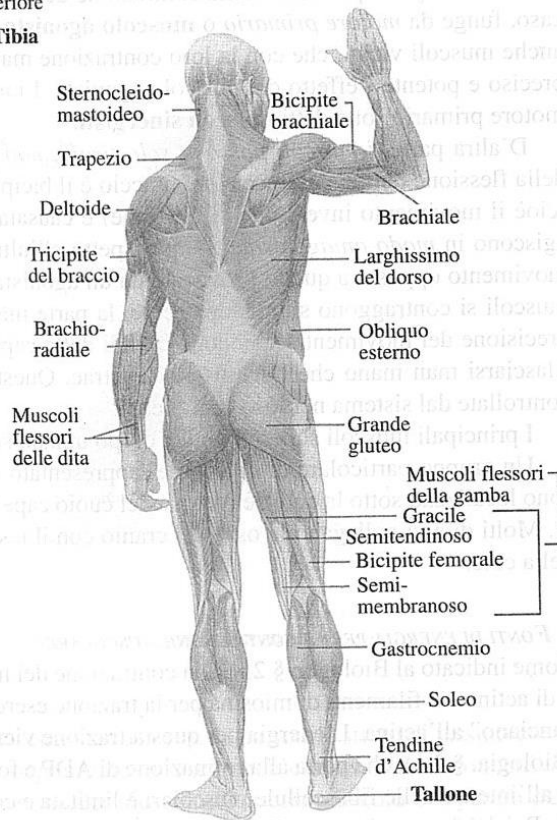
#### ■ FONTI DI ENERGIA PER LA CONTRAZIONE MUSCOLARE

Come indicato al Biologia, § 2.8.3, la contrazione dei muscoli è dovuta allo slittamento dei filamenti di actina sui filamenti di miosina per la trazione esercitata dalle teste della miosina quando si "agganciano" all'actina. L'energia per questa trazione viene fornita alla miosina dall'idrolisi dell'ATP (Biologia, § 3.1), che porta alla formazione di ADP e fosfato inorganico. La quantità di ATP presente all'interno delle fibrocellule muscolari è limitata e consente la contrazione per pochissimi secondi. Poiché le membrane cellulari sono impermeabili all'ATP e ai composti ad esso equivalenti, l'ATP deve in ogni caso essere *rigenerato all'interno della cellula muscolare*.



□ **Figura 6.11 Muscoli superficiali del corpo umano. Vista anteriore. In neretto, i nomi delle ossa.**

□ **Figura 6.12 Muscoli superficiali del corpo umano. Vista posteriore. In neretto i nomi delle ossa.**



I meccanismi attraverso cui l'ATP viene rigenerato nelle fibrocellule sono sostanzialmente tre:

- 1) la formazione di ATP a partire da ADP e fosfocreatina;
- 2) la formazione di ATP utilizzando l'energia derivata dalla parziale demolizione del glucosio in assenza di ossigeno (*glicolisi*, Biologia, § 3.4.1);
- 3) la formazione di ATP utilizzando l'energia derivata dal trasferimento degli elettroni da diversi composti ossidati fino all'ossigeno (*respirazione cellulare e fosforilazione ossidativa*, Biologia, § 3.4.2 e 3.4.3, processi che avvengono nei mitocondri).

Poiché anche la quantità di fosfocreatina presente nel muscolo è limitata, il primo meccanismo è in grado di sostenere una intensa contrazione solo per poche decine di secondi. D'altra parte, la parziale demolizione del glucosio in assenza di ossigeno (glicolisi) è un processo in grado di estrarre solo una piccola parte dell'energia contenuta nelle molecole del glucosio: occorrono quindi grandi quantità di glucosio per ottenere una sufficiente quantità di ATP. La produzione di ATP attraverso questo processo è tuttavia molto rapida: il glucosio utilizzato è anzitutto quello presente all'interno delle fibrocellule all'inizio della contrazione, immagazzinato sotto forma di *glicogeno* (polisaccaride formato da unità di glucosio, Chimica, § 13.3.1). Esso viene esaurito nel giro di pochi minuti di contrazione. La glicolisi è quindi utilizzata per quegli esercizi muscolari che richiedono molta potenza, ma tempi molto brevi. La glicolisi dà come prodotto finale acido lattico, che si accumula nelle fibrocellule e passa nel sangue, che lo trasporta al fegato. Qui l'acido lattico viene ritrasformato in glucosio utilizzando l'energia derivata dall'ATP, che nelle cellule del fegato viene prodotto attraverso la respirazione cellulare e la fosforilazione ossidativa, quindi con consumo di ossigeno. Per questo motivo, si suol dire che il muscolo, ottenendo energia attraverso la glicolisi in assenza di ossigeno, e quindi producendo acido lattico, contrae un **debito di ossigeno** che l'organismo paga attraverso il fegato.

La produzione di ATP attraverso la respirazione cellulare e la fosforilazione ossidativa è un processo molto efficiente, in grado di produrre molte molecole di ATP dalla completa ossidazione di relativamente poche molecole di composti ossidati; tuttavia è un processo lento: essa può protrarsi per tempi molto lunghi (finché il sangue apporta al muscolo che si contrae una sufficiente quantità di ossigeno e di composti da ossidare), ma non è in grado di sostenere contrazioni molto intense.

I muscoli sottoposti a uno sforzo intenso per un periodo prolungato vanno incontro ad *affaticamento*. La **fatica muscolare** consiste in una diminuzione o addirittura nella perdita della capacità di contrarsi: la causa più frequente ne è l'accumulo di acido lattico all'interno delle fibrocellule.

Poiché la produzione di ATP dalla fosfocreatina e attraverso la glicolisi sono processi che avvengono in assenza di ossigeno, essi permettono la contrazione muscolare in condizioni di *anaerobiosi*; la respirazione cellulare richiede invece condizioni di *aerobiosi*. Il muscolo dipende dal sistema circolatorio per l'apporto di ossigeno; tuttavia, soprattutto i muscoli che, per la loro funzione, devono contrarsi a lungo, sia pure con relativamente bassa intensità, posseggono al proprio interno una proteina, la **mioglobina**, capace di legare reversibilmente l'ossigeno (Biologia, § 6.1.5). Il suo colore rosso contribuisce al colore di molti muscoli. Questa proteina ha per l'ossigeno un'affinità maggiore rispetto all'emoglobina. Nel muscolo a riposo, la mioglobina lega a sé l'ossigeno liberato dall'emoglobina, formando così un deposito di ossigeno all'interno delle fibrocellule. Quando la contrazione fa diminuire la concentrazione dell'ATP all'interno della fibrocellula, si attiva la respirazione che consuma ossigeno e ne fa diminuire la pressione parziale all'interno delle cellule. In queste condizioni la mioglobina libera l'ossigeno che diventa disponibile per la respirazione.

Le caratteristiche delle fibrocellule e il loro corredo enzimatico variano a seconda della funzione del muscolo: i muscoli che devono sostenere contrazioni prolungate, anche se non particolarmente intense, come i muscoli che mantengono la postura (es. muscoli lunghi del dorso), utilizzano come fonte di energia la respirazione e le loro fibrocellule sono ricche di mioglobina e di mitocondri, hanno un diametro relativamente piccolo in modo da ridurre lo spazio percorso dalle molecole dei substrati da ossidare e possiedono una rete di capillari sanguigni molto fitta. Questi muscoli appaiono intensamente colorati di rosso per la presenza di mioglobina, mitocondri ed emoglobina. La loro velocità di contrazione è piuttosto bassa, per cui si parla di *fibre rosse* o di *fibre a contrazione lenta*. Invece i muscoli, la cui funzione richiede contrazioni rapide e intense, sono formati da fibrocellule ricche di glicogeno e di enzimi della glicolisi, povere di mioglobina e di mitocondri, di diametro piuttosto grosso e relativamente poco vascularizzate. Esse sono dette *fibre bianche* o *fibre a contrazione veloce* (ne sono un esempio i muscoli pettorali dei polli). Molti muscoli umani contengono entrambi i tipi di fibre, sia pure con prevalenza dell'uno o dell'altro tipo.

La muscolatura scheletrica è molto sensibile all'esercizio fisico e all'inattività. I muscoli sottoposti ad intensa attività tendono ad aumentare di volume per aumento del numero di filamenti di actina e miosina presenti nelle fibrocellule (e non per aumento del numero di fibrocellule): si verifica cioè una *ipertrofia* del muscolo, accompagnata anche dall'aumento dei capillari sanguigni che irrano il muscolo. Il tipo di allenamento, inoltre, modifica il tipo di enzimi presenti all'interno delle fibrocellule, il numero di mitocondri e le caratteristiche della loro contrazione.

Se l'attività fisica viene sospesa, la rete capillare e le dimensioni delle fibrocellule diminuiscono, con conseguente *atrofia* del muscolo. È quanto si verifica ad esempio nei casi di prolungata immobilizzazione degli arti (es. ingessature). Fenomeni analoghi, ma più intensi, si verificano nei casi in cui le fibre nervose motrici che giungono al muscolo vengono interrotte (vedi anche Biologia, § 2.8.3).

## 6.1.2 APPARATO TEGUMENTARIO

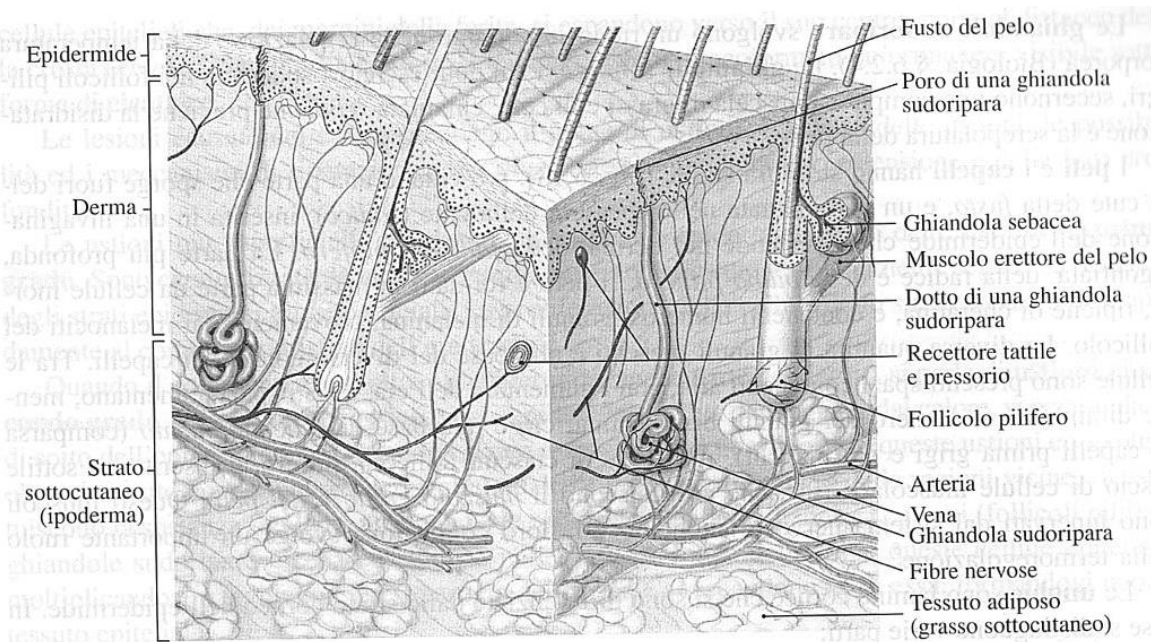
L'**apparato tegumentario** ha come funzione principale quella di rivestire l'organismo, di proteggerlo dai traumi e dall'invasione di agenti patogeni e di evitare una eccessiva perdita di acqua. Esso svolge inoltre un importante ruolo nella regolazione della temperatura corporea (Biologia, § 6.2.4).

L'apparato tegumentario è costituito dalla *cute* e dagli *annessi cutanei*.

### CUTE

La *cute* è il rivestimento esterno del corpo umano ed è costituita da due strati: l'*epidermide* e la *derma* (Fig. 6.13).

L'**epidermide** costituisce lo strato più superficiale della cute ed è rappresentata da un *epitelio pluristratificato* (Biologia, § 2.8.1), le cui cellule sono dette **cheratinociti**: lo strato più profondo, *strato basale*, è costituito da cellule relativamente poco differenziate, in attiva proliferazione, appoggiate su di una sottile membrana basale. Lo strato più superficiale, *strato corneo*, è costituito da cellule morte, che vanno incontro ad una continua desquamazione e che vengono man mano sostituite da cellule degli strati più profondi. Ciò si verifica perché, in seguito alla moltiplicazione, le cellule dello strato basale si staccano dalla membrana basale e vengono sospinte verso l'esterno. Man mano che passano da uno strato all'altro, le cellule vanno dapprima incontro ad un processo di differenziamento, appiattendosi e sintetizzando grandi quantità di una par-



□ **Figura 6.13** *Struttura della cute umana*

ticolare proteina, la **cheratina**, dotata contemporaneamente di notevole resistenza meccanica, di notevole flessibilità e di scarsissima solubilità in acqua. La cheratina si accumula all'interno delle cellule, occupandole completamente, per cui esse vanno incontro a morte, dando origine allo strato corneo.

Tra le cellule dello strato basale sono inserite particolari cellule, i **melanociti**, che producono ed iniettano nei cheratinociti un pigmento scuro, la **melanina**, responsabile della colorazione della pelle. La melanina svolge un'importantissima funzione nell'assorbire le radiazioni ultraviolette che altrimenti danneggerebbero le cellule degli strati profondi dell'epidermide.

Il **derma**, posto al di sotto dell'epidermide, è composto da tessuto connettivo fibroso, denso, la cui matrice è costituita soprattutto da fibre di collagene e da fibre elastiche, che conferiscono resistenza e flessibilità alla cute. Il derma contiene vasi sanguigni, che portano nutrimento alla pelle, e numerose terminazioni nervose che rappresentano i *recettori* sensoriali per il *tatto*, il *dolore* e la *temperatura*. Nel derma sono inseriti anche alcuni annessi cutanei: le ghiandole sudoripare e i follicoli piliferi.

Al di sotto del derma è posto il **tessuto sottocutaneo**, formato da tessuto connettivo lasso (Biologia, § 2.8.2) e da tessuto adiposo (Biologia, § 2.8.2). Quest'ultimo, oltre a servire da deposito di grassi di riserva, svolge anche un importante ruolo di isolante nei confronti delle variazioni della temperatura esterna.

#### **ANNESI CUTANEI**

Gli **annessi cutanei** sono strutture differenziate derivate dall'epidermide. Nell'uomo essi sono rappresentati dalle *unghie*, dalle *ghiandole sudoripare*, dai *capelli* e dai *peli* con i rispettivi *follicoli piliferi* nei quali sboccano le *ghiandole sebacee*. Degli annessi cutanei fanno parte anche le *ghiandole mammarie*, deputate, nella donna, alla produzione del latte. Negli animali, oltre ai precedenti, vanno annoverati tra gli annessi cutanei le corna, gli zoccoli, le squame, che rivestono alcuni mammiferi e alcuni rettili.

Le **ghiandole sudoripare** svolgono un ruolo importante nella regolazione della temperatura corporea (Biologia, § 6.2.4). Le **ghiandole sebacee**, i cui dotti escretori sboccano nei follicoli piliferi, secernono una complessa miscela di grassi e di cere, chiamata *sebo*, che previene la disidratazione e la screpolatura della pelle.

I **peli** e i **capelli** hanno struttura simile (Fig. 6.13): presentano una parte che sporge fuori della cute detta *fusto*, e un parte situata nello spessore della cute (*radice*), inserita in una invaginazione dell'epidermide che si estende nel derma, detta *follicolo pilifero*. La parte più profonda, rigonfiata, della radice è detta *bulbo pilifero*. Il pelo è formato in massima parte da cellule morte, ripiene di cheratina, e contenenti numerosi granuli di melanina, provenienti dai melanociti del follicolo. La diversa quantità di granuli presenti è alla base del diverso colore dei capelli. Tra le cellule sono presenti spazi contenenti aria; con l'aumentare dell'età, questi spazi aumentano, mentre diminuisce il numero dei granuli di melanina: ciò è alla base dell'*incanutimento* (comparsa di capelli prima grigi e poi bianchi). Alla base di ciascun follicolo pilifero, è inserito un sottile fascio di cellule muscolari lisce, che costituiscono il *muscolo erettore del pelo*. Questi muscoli sono innervati dal sistema nervoso autonomo e la loro contrazione svolge un importante ruolo nella termoregolazione<sup>5</sup>.

Le **unghie** sono lamine cornee che si sono differenziate dallo strato corneo dell'epidermide. In esse si distinguono varie parti:

- la *lamina* o *placca ungueale*, che costituisce il corpo dell'unghia e che con la sua faccia profonda aderisce alla cute sottostante;
- la *radice*, nascosta da un sottile ripiegamento cutaneo;
- la *matrice ungueale*, che è la piccola porzione di epidermide posta all'inizio della radice, deputata alla continua formazione del materiale corneo dell'unghia.

#### FERITE ED USTIONI

Le lesioni traumatiche che causano l'interruzione della continuità del rivestimento della cute prendono il nome di **ferite**. Se non intervengono processi infettivi, causati da germi patogeni entrati nei tessuti danneggiati attraverso la soluzione di continuità della cute, le ferite si *rimarginano* spontaneamente. Il processo è diverso a seconda dell'entità della lesione.

Se la ferita è poco profonda e interessa la sola epidermide, le cellule epiteliali dello strato basale ai margini della ferita vengono stimolate a moltiplicarsi e colmano la soluzione di continuità del rivestimento epiteliale.

Se la lesione interessa anche il derma e il tessuto sottocutaneo, vengono inevitabilmente rotti dei vasi sanguigni con una conseguente perdita di sangue (emorragia), che coagula nella ferita (Biologia, § 6.1.5). Il coagulo di fibrina, che intrappola piastrine e cellule del sangue, insieme al liquido interstiziale che fuoriesce e si secca, forma una crosta, che copre e protegge i tessuti sottostanti. La liberazione di diverse sostanze a livello della ferita richiama fibroblasti (Biologia, § 2.8.2), che iniziano a formare fibre collagene e tendono ad unire i margini della ferita. Quanto più questi sono vicini, tanto più rapida è la guarigione: è questo il motivo per cui lesioni cutanee molto aperte devono essere suturate. Al di sotto della crosta, nuovi vasi sanguigni penetrano nell'area della lesione, mentre granulociti e macrofagi (Biologia, § 2.8.2) provvedono a rimuovere cellule morte e detriti. Quando il processo di ricostruzione del tessuto connettivo si è completato, la proliferazione delle cellule epiteliali che, dai margini della ferita, si espandono verso il suo centro, porta al distacco della crosta (*escara*). Se la ferita è estesa, il tessuto connettivo neoformato può rimanere visibile sotto forma di **cicatrice**.

Le lesioni causate dal calore prendono il nome di **ustioni**. L'effetto delle ustioni, le possibilità ed i meccanismi di riparazione sono diversi a seconda della loro estensione e della loro profondità.

Le ustioni più superficiali, che danneggiano la sola epidermide, sono dette **ustioni di primo grado**. Sono caratterizzate da **bruciore e arrossamento della cute**, eventualmente seguiti da distacco degli strati epidermici più superficiali. La proliferazione delle cellule dello strato basale porta rapidamente al completo ripristino dell'epidermide.

Quando il danno interessa, oltre all'epidermide, anche parte del derma, si parla di **ustioni di secondo grado**. Il liquido che fuoriesce dai capillari del derma, danneggiati dal calore, si accumula al di sotto dell'epidermide morta dando origine a **vesciche**. La guarigione di queste ustioni coinvolge, oltre al tessuto connettivo del derma, nel quale i fibroblasti, migrando dalle regioni vicine, ricostituiscono la sostanza fondamentale, anche le cellule epiteliali degli annessi cutanei (follicoli piliferi, ghiandole sudoripare e sebacee), situate nelle parti profonde del derma: queste cellule epiteliali, moltiplicandosi, raggiungono la superficie del derma e si espandono su di essa, formandovi nuovo tessuto epiteliale.

Le ustioni che danneggiano l'epidermide, il derma e gli annessi cutanei sono dette **ustioni di terzo grado**. La parte lesa assume un colore che può andare dal rosso scuro al nero o al bianco. In questi casi la guarigione può avvenire solo per migrazione di cellule dalla periferia della lesione e richiede un intervento medico per la rimozione dei tessuti necrotizzati e, se, come spesso succede, l'area colpita è molto estesa, l'eventuale copertura con lembi di pelle prelevati da regioni sane (autoinnesti) o ottenuti attraverso coltura *in vitro* di frammenti di cute. L'area ustionata deve essere protetta non solo perché è facile preda di processi infettivi, ma perché rappresenta anche una zona attraverso cui avviene una intensa evaporazione di liquidi, per cui l'organismo tende a disidratarsi.

### 6.1.3 APPARATO DIGERENTE

L'apparato digerente è deputato alla digestione e all'assorbimento degli alimenti.

#### NUTRIZIONE UMANA

Per crescere e moltiplicarsi, ma anche solo per mantenersi, l'organismo umano, come tutti gli esseri viventi, ha bisogno di materia e di energia: materia per costruire i composti che costituiscono le sue cellule, energia sia per effettuare queste sintesi, sia per compiere gli altri tipi di lavoro che i diversi organi e tessuti sono chiamati a svolgere. L'uomo è un **organismo eterotrofo**: non è infatti capace di trasformare composti inorganici in composti organici, ma deve prelevare dall'ambiente composti organici già sintetizzati da altri organismi, da cui trarre il materiale per sintetizzare i propri componenti. L'uomo è anche un **organismo chemiotrofo**: i composti organici prelevati dall'ambiente costituiscono infatti anche la fonte di energia per i suoi fabbisogni. All'organismo sono necessari anche composti inorganici (acqua e sali): questi vengono prelevati come tali dall'ambiente e direttamente utilizzati. I composti organici ed inorganici prelevati dall'ambiente sono gli **alimenti** di cui l'organismo si nutre e che, nel loro insieme, costituiscono la **dieta**.

Per essere utilizzata, la miscela di composti diversi variamente strutturati (organici: carboidrati, lipidi, proteine, acidi nucleici, ed inorganici), che costituisce la dieta, deve anzitutto essere sminuzzata ed omogeneizzata meccanicamente. D'altra parte essa è costituita in larghissima parte da molecole complesse, spesso di grossissime dimensioni. Per divenire utilizzabili dall'organismo queste devono venir scisse (idrolizzate) nei composti più semplici che le costituiscono: i carboidrati (oligo e polisaccaridi) in monosaccaridi, i lipidi in acidi grassi e glicerolo, le proteine in amminoacidi, ecc. Solo questi composti relativamente semplici possono essere assorbiti e distribuiti a tutto l'organismo. Il processo di sminuzzamento e di idrolisi degli alimenti costituisce la **digestione**; i prodotti della digestione vanno incontro all'**assorbimento**.

L'uomo è un **organismo onnivoro**, in quanto può nutrirsi di alimenti sia di origine vegetale, sia di origine animale. Tuttavia la dieta deve non solo consentire di introdurre e di assorbire una quantità di alimenti sufficiente a sopperire ai bisogni di materia e di energia dell'organismo, ma anche avere una composizione qualitativa tale da rifornirlo di tutti quei composti che esso non è in grado di produrre a partire da altri composti organici, ma che sono necessari al suo funzionamento e alla sua crescita.

Attraverso la complessa rete di reazioni chimiche che costituiscono il **metabolismo** (Biologia, § 3.4), monosaccaridi, acidi grassi, glicerolo, amminoacidi derivati dalla digestione di oligo e polisaccaridi, di lipidi e di proteine, una volta assorbiti sono in parte ossidati dalle cellule producendo anidride carbonica e acqua e liberando energia che viene immagazzinata sotto forma di un particolare composto, l'**adenosintrifosfato** o **ATP**, e utilizzata poi per compiere i vari tipi di lavoro. D'altra parte, gli enzimi che fanno parte del patrimonio dell'organismo umano fanno sì che i monosaccaridi introdotti con la dieta possano anche essere utilizzati per sintetizzare gli oligo ed i polisaccaridi tipici dell'organismo, gli acidi grassi possano essere utilizzati per sintetizzare i lipidi propri dell'organismo e gli amminoacidi per sintetizzare le proteine specifiche dell'organismo. Infine, i monosaccaridi possono essere trasformati in lipidi o dar origine ad alcuni amminoacidi; gli acidi grassi possono essere utilizzati per sintetizzare alcuni composti di grande importanza (colesterolo, ormoni sessuali, ecc.), ma non per formare carboidrati; alcuni amminoacidi possono essere trasformati in monosaccaridi, altri in acidi grassi. Queste possibilità di interconversione consentono una certa elasticità nella composizione qualitativa della dieta, ma con dei forti limiti. Anzitutto, l'organismo umano non è in grado di produrre una quantità sufficiente di gruppi amminici per produrre tutti gli amminoacidi di cui ha bisogno per sintetizzare le proprie proteine, per cui non può tollerare a lungo una dieta completamente priva di proteine. Inoltre, se è vero che le interconversioni cui si è sopra accennato consentono all'uomo di sintetizzare gli scheletri carboniosi di gran parte dei composti organici di cui ha bisogno, è tuttavia vero che esso non è in grado di sintetizzare alcuni composti essenziali per il funzionamento dell'organismo. Tra questi composti che l'organismo non è in grado di produrre<sup>6</sup> vi sono alcuni amminoacidi (**amminoacidi essenziali** o **amminoacidi indispensabili**), alcuni acidi grassi insaturi (**acidi grassi essenziali** o **acidi grassi indispensabili**) e le **vitamine** (gruppo eterogeneo di composti necessari in quantità relativamente piccole, perché la loro funzione è quella di essere trasformati in coenzimi<sup>7</sup>): tutti questi composti devono necessariamente essere introdotti come tali con la dieta.

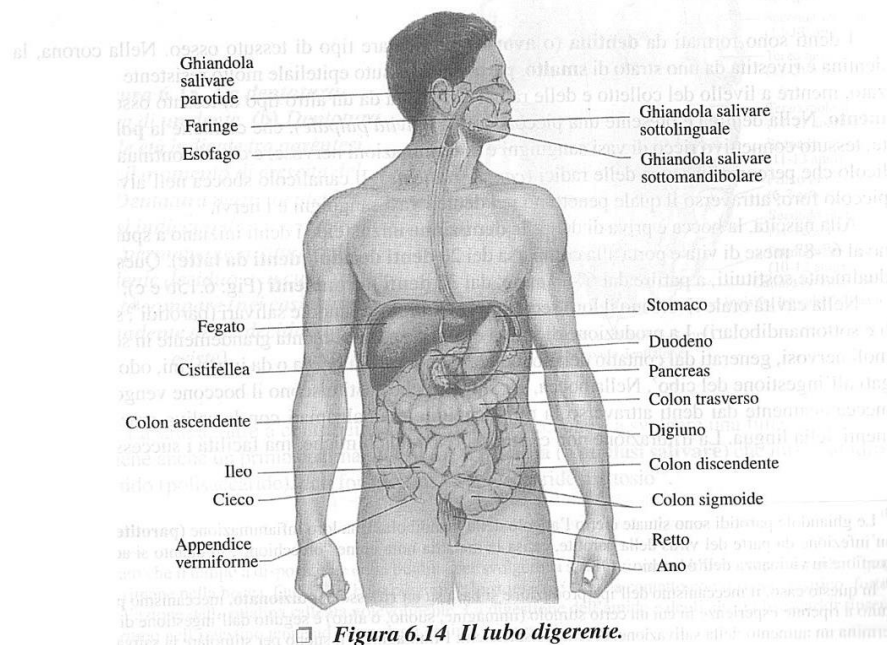
La quantità di alimenti necessaria all'organismo umano varia con l'età e soprattutto con l'entità del lavoro fisico svolto. Essa è sostanzialmente determinata dalla quantità di energia di cui l'organismo ha bisogno: fino a non molto tempo fa questa quantità veniva misurata in **kilocalorie** (kcal),

oggi viene misurata in **kilojoule** (kJ). La quantità di energia di una dieta corrisponde alla quantità di energia che i componenti della dieta **libererrebbero** se fossero completamente ossidati a CO<sub>2</sub> ed acqua. Il **fabbisogno calorico** di un uomo adulto che compie un moderato lavoro fisico si aggira tra **10.500 e 12.500 kJ al giorno** (2500-3000 kcal). Indipendentemente dalla composizione della dieta, i composti introdotti in eccesso rispetto al fabbisogno energetico e alle necessità di biosintesi dell'organismo vengono di solito trasformati in grassi.

Una dieta equilibrata, però, come già sopra accennato, non si limita a fornire all'organismo una quantità sufficiente di energia: deve anche fornire una quantità sufficiente di proteine (in quanto fonte di gruppi amminici in generale e di amminoacidi indispensabili), di acidi grassi indispensabili, di vitamine e di sali inorganici. Non tutti gli alimenti sono ugualmente ricchi dei diversi tipi di sostanze di cui l'organismo ha bisogno: le carni sono ricche soprattutto in proteine, la cui composizione in amminoacidi corrisponde al fabbisogno dell'organismo umano, mentre parte delle proteine di origine vegetale ha una composizione alquanto diversa; i grassi animali hanno un basso contenuto in acidi grassi insaturi e soprattutto di acidi grassi indispensabili; i vegetali e la frutta sono ricchi di vitamine, di sali inorganici e di cellulosa (che non viene digerita, perché l'apparato digerente dell'organismo umano non produce enzimi capaci di idrolizzarla, ma che costituisce le "fibre" che facilitano i movimenti peristaltici dell'intestino: vedi sotto).

### STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DELL'APPARATO DIGERENTE

L'apparato digerente comprende un lungo condotto, il **tubo digerente**, ed alcune ghiandole (**ghiandole salivari, fegato, pancreas**), i cui secreti si riversano nel tubo digerente contribuendo alla digestione degli alimenti.



□ **Figura 6.14 Il tubo digerente.**

Il tubo digerente (Fig. 6.14) inizia con la bocca, prosegue con la faringe, l'esofago, lo stomaco, l'intestino tenue (suddiviso in duodeno, digiuno e ileo), l'intestino crasso (che comprende cieco, colon, sigma e retto) e sbocca all'esterno con l'orificio anale (o ano).

#### ■ BOCCA E DENTI

La bocca (o **cavità orale**) è delimitata superiormente dal **palato** (il cui scheletro è formato dalle ossa mascellari e dall'osso palatino, Fig. 6.3b), sul bordo del quale è inserita l'**arcata dentaria superiore**, costituita, nell'adulto, da **16 denti**; lateralmente dalle guance, e inferiormente dalla **mandibola** (nella quale è inserita l'**arcata dentaria inferiore**, anch'essa costituita, nell'adulto, da **16 denti**) e dalla **lingua**. La bocca è rivestita da un epitelio (**mucosa orale**), che, soprattutto in corrispondenza della lingua, contiene particolari terminazioni nervose, le **papille gustative**, che percepiscono i sapori dei cibi (Biologia, § 6.1.8). Attorno a ciascun dente, la mucosa orale forma le **gengive**.

I **denti** sono gli organi più mineralizzati dell'organismo umano. Ciascun dente è inserito in una cavità dell'osso mascellare o della mandibola detta **alveolo dentale**. In ciascun dente si distinguono tre parti (Fig. 6.15a):

- la **corona** (la parte visibile del dente) che ha forma diversa a seconda del tipo di dente (appiattita ed affilata negli incisivi; appuntita nei canini; allargata con diverse cuspidi nei premolari e nei molari);
- il **colletto**, che forma la transizione tra corona e radice, attorno al quale la mucosa orale forma le **gengive**;
- una o più **radici**, che si inseriscono nell'alveolo e sono ancorate alle sue pareti da legamenti di tessuto connettivo.



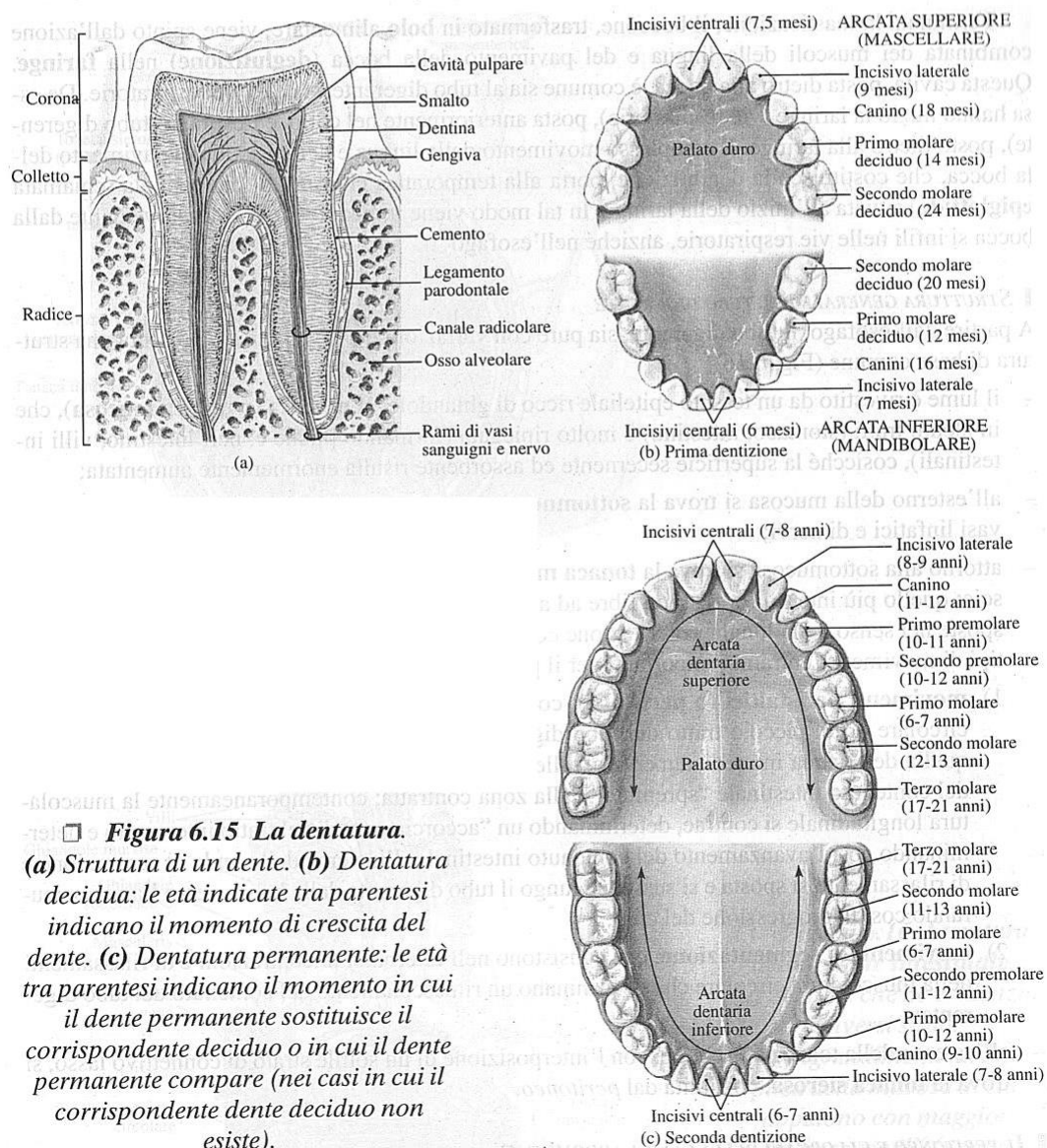
I denti sono formati da **dentina** (o **avorio**), particolare tipo di tessuto osseo. Nella corona, la dentina è rivestita da uno strato di **smalto**, particolare tessuto epiteliale molto resistente e mineralizzato, mentre a livello del colletto e delle radici è rivestita da un altro tipo di tessuto osseo, detto **cemento**. Nella dentina è presente una piccola cavità (*cavità pulpale*), che contiene la **polpa** del dente, tessuto connettivo ricco di vasi sanguigni e di terminazioni nervose, e che si continua in un canalicolo che percorre ciascuna delle radici (*canale radicolare*). Il canalicolo sbocca nell'alveolo con un piccolo foro, attraverso il quale penetrano nel dente i vasi sanguigni e i nervi.

Alla nascita, la bocca è priva di denti; la **dentizione** inizia (cioè i denti iniziano a spuntare) attorno al 6°-8° mese di vita e porta alla comparsa dei 20 **denti decidui** (**denti da latte**). Questi sono gradualmente sostituiti, a partire dal 6°-7° anno, dai 32 **denti permanenti** (Fig. 6.15b e c).

Nella cavità orale riversano il loro secreto (la **saliva**) le ghiandole salivari (parotidi<sup>8</sup>, sottolinguali e sottomandibolari). La produzione di saliva è continua, ma aumenta grandemente in seguito a stimoli nervosi, generati dal contatto dei cibi con la mucosa della bocca o da immagini, odori, suoni legati all'ingestione del cibo<sup>9</sup>. Nella bocca, gli alimenti che costituiscono il boccone vengono triturati meccanicamente dai denti attraverso la **masticazione** e amalgamati con la saliva grazie ai movimenti della lingua. La triturazione non comporta reazioni chimiche, ma facilita i successivi proces-

<sup>(8)</sup> Le ghiandole parotidi sono situate dietro l'angolo della mandibola. Una loro infiammazione (**parotite**), causata da un'infezione da parte del virus della parotite, causa la malattia nota come "orecchioni", in quanto si accompagna a gonfiore in vicinanza dell'orecchio.

<sup>(9)</sup> In questo caso, il meccanismo dell'iperproduzione si basa su un **riflesso condizionato**, meccanismo per cui, in seguito a ripetute esperienze in cui un certo stimolo (immagine, suono, o altro) è seguito dall'ingestione di cibo che determina un aumento della salivazione, diventano sufficienti l'immagine o il suono per stimolare la salivazione.



□ **Figura 6.15 La dentatura.**  
**(a)** Struttura di un dente. **(b)** Dentatura decidua: le età indicate tra parentesi indicano il momento di crescita del dente. **(c)** Dentatura permanente: le età tra parentesi indicano il momento in cui il dente permanente sostituisce il corrispondente deciduo o in cui il dente permanente compare (nei casi in cui il corrispondente dente deciduo non esiste).

si digestivi. La saliva, oltre a contribuire a fluidificare il boccone e a svolgere una funzione lubrificante, contiene anche un primo enzima digestivo, la **ptialina** (o **amilasi salivare**) che inizia ad idrolizzare l'amido (polisaccaride), con formazione del disaccaride maltosio<sup>10</sup>.

<sup>(10)</sup> Va osservato che il tempo a disposizione della ptialina per svolgere la sua funzione è il breve tempo durante il quale il boccone rimane nella bocca. Quando il bolo raggiunge lo stomaco e viene a contatto con il succo gastrico, fortemente acido, l'azione della ptialina rallenta notevolmente. La digestione dell'amido e degli altri polisaccaridi riprenderà a pieno ritmo nell'intestino tenue ad opera degli enzimi ivi presenti.

Terminata la masticazione, il boccone, trasformato in **bolo alimentare**, viene spinto dall'azione combinata dei muscoli della lingua e del pavimento della bocca (**deglutizione**) nella **faringe**. Questa cavità, posta dietro alla bocca, è comune sia al tubo digerente, sia alle vie respiratorie. Da essa hanno inizio la laringe (vie respiratorie), posta anteriormente nel collo, e l'esofago (tubo digerente), posto dietro alla laringe. Il complesso movimento della lingua e dei muscoli del pavimento della bocca, che costituisce la deglutizione, porta alla temporanea chiusura di una valvola (chiamata **epiglottide**) situata all'inizio della laringe. In tal modo viene impedito che il bolo proveniente dalla bocca si infili nelle vie respiratorie, anziché nell'esofago<sup>11</sup>.

#### ■ STRUTTURA GENERALE DEL TUBO DIGERENTE

A partire dall'esofago, il tubo digerente, sia pure con variazioni nei diversi tratti, presenta una struttura di base comune (Fig. 6.16):

- il lume è rivestito da un tessuto epiteliale ricco di ghiandole, la **mucosa** (o **tonaca mucosa**), che in alcuni tratti (stomaco, intestino) è molto ripiegata (formando pliche e, nell'intestino, villi intestinali), cosicché la superficie secernente ed assorbente risulta enormemente aumentata;
- all'esterno della mucosa si trova la **sottomucosa**, tessuto connettivo ricco di vasi sanguigni, di vasi linfatici e di nervi;
- attorno alla sottomucosa si trova la **tonaca muscolare**, costituita da due strati di muscolatura liscia: quello più interno formato da fibre ad andamento circolare, quello più esterno da fibre disposte nel senso della lunghezza. L'azione combinata di questi due tipi di fibre dà origine a due tipi di movimenti, entrambi importanti per il processo della digestione:

1) **movimenti peristaltici** (o **peristalsi**): complessa serie di movimenti in cui la muscolatura circolare di un piccolo tratto del tubo digerente si contrae, restringendone il lume, mentre quella della zona immediatamente a valle si rilassa, permettendone la dilatazione da parte del contenuto intestinale "spremuta" dalla zona contratta; contemporaneamente la muscolatura longitudinale si contrae, determinando un "accorciamento" del tratto interessato e determinando così l'avanzamento del contenuto intestinale; l'insieme delle onde di contrazione e di rilassamento si sposta e si sussegue lungo il tubo digerente dalla bocca verso l'ano, assicurando così la progressione del cibo;

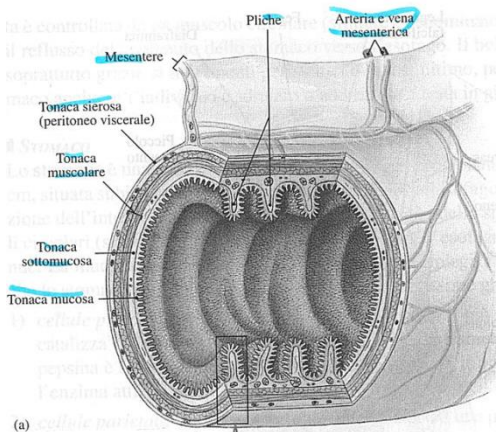
2) **movimenti di segmentazione**, che consistono nell'alternarsi di contrazioni e di rilassamenti della muscolatura circolare che determinano un rimescolamento del contenuto del tubo digerente;

- all'esterno della tonaca muscolare, con l'interposizione di un sottile strato di connettivo lasso, si trova la **tonaca sierosa**, costituita dal *peritoneo*.

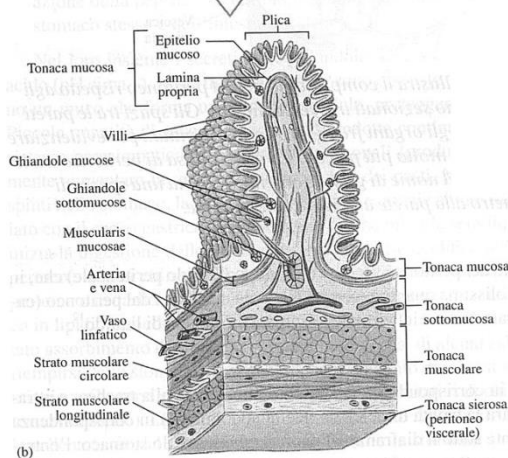
#### ■ IL PERITONEO E GLI ORGANI DELLA CAVITÀ ADDOMINALE

Il **peritoneo** è la sierosa (Biologia § 2.8.1) che riveste sia la cavità addominale (*peritoneo parietale*), sia buona parte della superficie degli organi in essa contenuti. Alcuni organi, come il pancreas, i reni ed i grandi vasi sanguigni (aorta, vena cava inferiore) aderiscono alla parete posteriore della cavità addominale, altri, come il retto, la vescica e l'utero (nella donna) sono situati sul fondo della cavità: questi organi sono ricoperti rispettivamente sul davanti e al di sopra dal peritoneo parietale. Altri, come lo stomaco, l'intestino tenue, il colon trasverso, il sigma si trovano invece all'interno della cavità

<sup>(11)</sup> Quando occasionalmente questo succede, si dice che il cibo "va di traverso". Il contatto del cibo con l'epitelio che riveste la laringe (mucosa laringea) stimola la tosse.



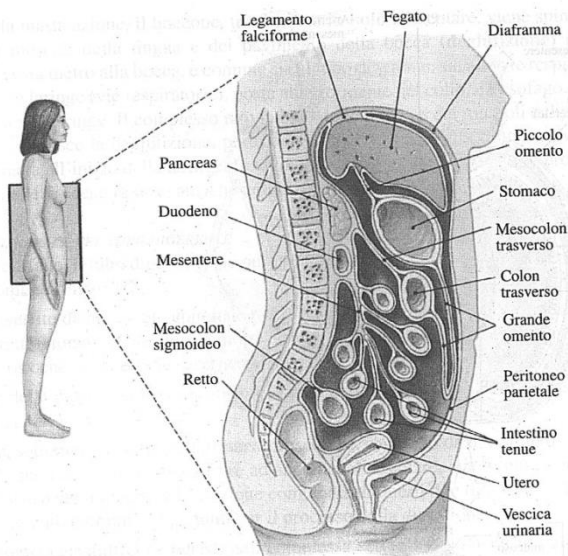
(a)



(b)

□ **Figura 6.16 Struttura della parete intestinale.**  
**(a) Sezione che ne evidenzia i diversi strati.**  
**(b) Ingrandimento di una plica della mucosa in cui appaiono con maggior chiarezza i villi (per un ulteriore ingrandimento, vedi Fig. 6.18).**

addominale. Il peritoneo parietale si distacca dalla parete superiore o posteriore formando una piega che raggiunge questi organi, li avvolge e "ritorna indietro" su se stesso riportandosi al punto di partenza. Tali organi risultano quindi "appesi" alla parete della cavità addominale attraverso queste estroflessioni del peritoneo, che prendono il nome di **mesi** (*mesentere* nel caso dell'intestino tenue; *mesocolon* nel caso del colon, Fig. 6.17) e sono quindi dotati di una notevole mobilità. Tra i due foglietti peritoneali che formano i mesi corrono i vasi sanguigni, i vasi linfatici ed i nervi destinati o pro-



□ **Figura 6.17 Sezione sagittale che illustra il comportamento del peritoneo rispetto agli organi della cavità addominale (che sono sezionati trasversalmente).** Gli spazi tra le pareti dell'addome e gli organi addominali e tra gli organi fra di loro sono accentuati per evidenziare l'andamento del peritoneo: in realtà sono molto più piccoli. La grossa ansa di peritoneo tra lo stomaco e il colon trasverso prende il nome di grande omento e forma una specie di "grembiale" dietro alla parete anteriore dell'addome.

venienti da questi organi. La superficie del peritoneo secerne un liquido (liquido peritoneale) che, in condizioni normali, è presente in piccolissima quantità, per cui la cavità racchiusa dal peritoneo (**cavità peritoneale**) può essere considerata una cavità virtuale, occupata da un velo di liquido<sup>12</sup>.

#### ■ ESOFAGO

L'**esofago** percorre la cavità toracica in corrispondenza del **mediastino**, dietro alla trachea, e attraversa il muscolo diaframma (che separa la cavità toracica da quella addominale) in corrispondenza di un foro, detto **iato**<sup>13</sup>. Immediatamente sotto il diaframma l'esofago sbocca nello stomaco: l'entrata è controllata da un muscolo circolare (sfintere), denominato **cardias**, che normalmente impedisce il reflusso del contenuto dello stomaco verso l'esofago. Il bolo alimentare procede lungo l'esofago soprattutto grazie ai movimenti peristaltici di quest'ultimo, per cui è in grado di raggiungere lo stomaco anche se l'individuo è sdraiato o addirittura a testa in giù.

<sup>(12)</sup> L'inflammazione del peritoneo viene detta **peritonite** e può essere causata da processi infettivi originati dal tubo digerente (ad es. dall'appendice). Tali infezioni sono molto pericolose, perché il processo infettivo, attraverso la cavità peritoneale, può rapidamente estendersi a gran parte degli organi addominali. In altre condizioni, può verificarsi un'eccessiva produzione di liquido da parte del peritoneo, liquido che non riesce ad essere riassorbito con sufficiente rapidità per cui si accumula distendendo la cavità addominale. Questa situazione patologica è indicata con il nome di **ascite**.

<sup>(13)</sup> In alcuni casi, in seguito all'allargamento del foro, una porzione della parte superiore dello stomaco o dell'intestino crasso può penetrare nella cavità toracica: si verifica così un'**ernia iatale**, che può causare fastidiosi disturbi.

#### ■ STOMACO

Lo **stomaco** è una zona dilatata del tubo digerente, grossolanamente a forma di fagiolo, lunga 25-30 cm, situata subito sotto il diaframma. In esso sbocca l'esofago e da esso parte il duodeno (prima porzione dell'intestino tenue). Sia l'ingresso che l'uscita dello stomaco sono controllati da due muscoli circolari (sfinteri): il **cardias** posto allo sbocco dell'esofago e il **piloro** all'inizio dell'intestino tenue. La mucosa dello stomaco (**mucosa gastrica**), ripiegata in creste che si distendono man mano che lo stomaco si riempie di cibo, presenta numerosissime ghiandole formate da tre tipi di cellule:

- 1) **cellule principali**, che secernono enzimi digestivi, il più importante dei quali è la **pepsina**, che catalizza l'idrolisi delle proteine, dando origine a frammenti (peptidi) di minori dimensioni; la pepsina è secreta sotto forma di precursore inattivo, il **pepsinogeno**, che viene trasformato nell'enzima attivo (attivato) nel lume gastrico ad opera dell'acido cloridrico;
- 2) **cellule parietali**, che secernono **acido cloridrico** ed una particolare sostanza, il **fattore intrinseco**, necessario per l'assorbimento della vitamina B<sub>12</sub><sup>14</sup>;
- 3) **cellule G**, che sono in realtà ghiandole endocrine che, sotto lo stimolo dei peptidi formati per azione della pepsina, secernono l'ormone **gastrina**, che stimola la secrezione e la motilità dello stomaco stesso e dell'intestino.

Nel loro insieme i secreti delle ghiandole dello stomaco formano il **succo gastrico**, fortemente acido (pH circa 1). Nella mucosa gastrica sono disposte tra le ghiandole **cellule mucose**, che producono un muco che forma un velo sulle cellule, proteggendole dall'azione dell'acido e della pepsina. Piccole quantità di succo gastrico sono prodotte continuamente, ma stimoli nervosi provenienti dal sistema parasimpatico (nervo vago) e ormonali (produzione dell'ormone **gastrina**) fanno grandemente aumentare la secrezione al momento dei pasti. Man mano che i boli alimentari vengono sospinti nello stomaco, la sua parete si distende e, grazie ai movimenti della parete, il cibo viene mescolato con il succo gastrico, dando origine ad una miscela semiliquida, chiamata **chimo**. Nello stomaco inizia la digestione delle proteine grazie alla forte acidità e all'azione della pepsina. La durata della permanenza del chimo nello stomaco dipende dalla sua composizione: un chimo liquido, o ricco in proteine o in carboidrati rimane nello stomaco per un tempo relativamente più breve di un chimo ricco in lipidi. In media la permanenza si aggira sulle 3 ore. A livello dello stomaco si verifica un limitato assorbimento di alimenti, soprattutto di acqua, di alcuni sali, di alcool e di alcuni farmaci. Con il riempirsi dello stomaco, il contenuto viene sospinto dai movimenti peristaltici verso il piloro, che comincia a rilassarsi e a lasciar passare piccoli quantitativi di chimo verso la prima parte dell'intestino tenue (duodeno). La motilità dello stomaco è sotto il controllo sia del sistema nervoso simpatico (che la rallenta), sia del sistema parasimpatico (che la stimola). Un eccessivo riempimento del duodeno genera stimoli nervosi che, attraverso un arco riflesso, rallentano la contrazione (peristalsi) dello stomaco. Il piloro, normalmente, impedisce il reflusso del contenuto del duodeno verso lo stomaco.

Una alterazione della normale progressione degli alimenti è rappresentata dal **vomito**: la stimolazione o l'irritazione di alcune zone del tubo digerente (faringe, stomaco, intestino) o anche impul-

<sup>(14)</sup> La carenza di fattore intrinseco causa il mancato assorbimento della vitamina, generando quindi un'avitaminosi. Poiché la vitamina B<sub>12</sub> è necessaria per la sintesi del gruppo eme dell'emoglobina, contenuta nei globuli rossi, l'avitaminosi determina una particolare forma di anemia (**anemia perniciosa**).

si del sistema nervoso centrale generati da immagini, odori, sapori, emozioni o infine l'azione di alcuni farmaci (**farmaci emetici**) o di alcune tossine presenti negli alimenti possono stimolare il centro nervoso del vomito, situato nel midollo allungato, dal quale partono stimoli che generano una complessa risposta motoria che porta allo svuotamento incoercibile dello stomaco attraverso l'esofago, la faringe e la cavità orale.

### ■ **INTESTINO TENUE**

L'intestino tenue, lungo 2,5-3 metri, è la principale sede della digestione e dell'assorbimento di tutti i principali nutrienti. Comprende tre porzioni: il duodeno, il digiuno e l'ileo, che sbocca nel colon.

Il **duodeno** rappresenta la prima porzione dell'**intestino tenue**. In esso sboccano il condotto (chiamato **coledoco**), che convoglia la bile, prodotta dal fegato e immagazzinata nella **cistifellea**, e il **dotto pancreatico**, che riversa nel lume intestinale il prodotto di secrezione del pancreas, il succo pancreatico.

La **bile** è un liquido che non contiene enzimi digestivi, ma porta nel duodeno i **sali biliari** (derivati dal colesterolo) che svolgono un ruolo di grandissima importanza nella digestione dei grassi, perché sono **sostanze tensioattive**, che, interagendo con le goccioline di grasso presenti nel chimo e grazie ai movimenti della parete intestinale che ne rimescolano il contenuto, le emulsionano, riducendole a micelle di piccolissime dimensioni: aumenta così enormemente la superficie dell'interfaccia tra i grassi e la soluzione acquosa costituita dai succhi digestivi, nella quale sono presenti gli enzimi (**lipasi**) che idrolizzano i lipidi.

La bile è prodotta dal fegato in modo continuativo e, nell'intervallo tra i pasti, viene immagazzinata in una vescichetta posta al di sotto del fegato, la **cistifellea**, che la concentra.

Il **succo pancreatico**, prodotto dalla porzione esocrina del **pancreas**, contiene vari enzimi digestivi, ciascuno dei quali agisce su uno specifico gruppo di composti. I principali enzimi pancreatici sono:

- la **tripsina** e la **chimotripsina** (secrete come precursori inattivi, attivati nel lume intestinale), che digeriscono le proteine dando origine a piccoli peptidi e ad amminoacidi liberi;
- la **lipasi pancreatico**, che degrada i grassi neutri, liberando acidi grassi e monogliceridi (monocilgliceroli);
- l'**amilasi pancreatico**, che idrolizza i polisaccaridi ad eccezione della cellulosa, formando disaccaridi;
- la **ribonucleasi**, che degrada l'acido ribonucleico (RNA);
- la **desossiribonucleasi**, che degrada l'acido desossiribonucleico.

La mucosa del duodeno produce numerosi enzimi che idrolizzano peptidi, oligo- e disaccaridi, presenti nel chimo: essi, in cooperazione con gli enzimi del succo pancreatico e con il contributo dei sali biliari per quanto riguarda l'emulsificazione dei grassi, completano la digestione delle diverse classi di composti presenti nel cibo. I succhi digestivi presenti nel duodeno contengono basi (bicarbonati) che neutralizzano l'acidità del succo gastrico in modo da consentire l'attività degli enzimi digestivi pancreatici ed enterici (Tabella 6.1). Lungo tutto l'intestino, cellule specializzate della mucosa producono muco, che ha la duplice funzione di proteggere le cellule dall'azione degli enzimi digestivi e fungere da lubrificante per lo scorrimento del chimo.

Cellule della mucosa del duodeno e del digiuno hanno anche una funzione endocrina, in quanto secernono ormoni (che nel loro insieme costituiscono il cosiddetto **enterogastrone**) che regolano la funzionalità dell'apparato digerente: **colecistochinina**, che inibisce l'attività dello stomaco, stimola quella del pancreas, la produzione di bile da parte del fegato e la contrazione della cistifellea; **secretina**, che potenzia le azioni della colecistochinina; **peptide insulinotropo glucosio-dipendente**, che inibisce l'attività gastrica e stimola la secrezione di insulina da parte del pancreas.

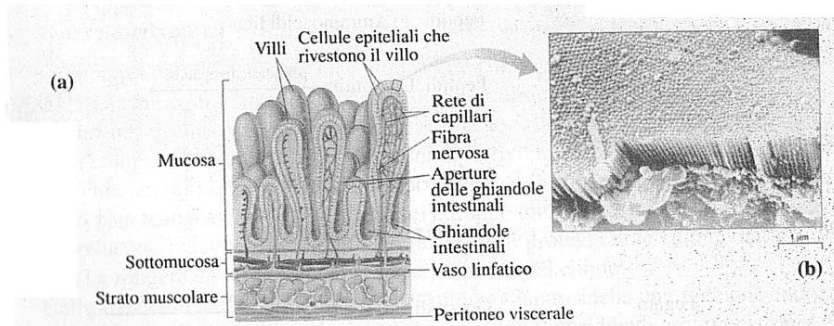
**Tabella 6.1 Riassunto dei processi digestivi**

	Porzione del tubo digerente	Origine degli enzimi	Tipo di reazione digestiva
C A R B O I D R A T I	Bocca	Ghiandole salivari	Amido $\xrightarrow{\text{ptialina}}$ Maltosio + Polisaccaridi di minori dimensioni
	Stomaco		L'azione della ptialina diminuisce fortemente a causa dell'acidità del succo gastrico
	Intestino tenue	Pancreas ed intestino	Amido e glicogeno non digeriti $\xrightarrow{\text{amilasi pancreatica}}$ Maltosio + Polisaccaridi di minori dimensioni
			Maltosio $\xrightarrow{\text{maltasi}}$ Glucosio + Glucosio
			Saccarosio $\xrightarrow{\text{saccarasi}}$ Glucosio + Fruttosio
		Lattosio $\xrightarrow{\text{lattasi}}$ Glucosio + Galattosio	
P R O T E I N E	Bocca		Nessun processo digestivo
	Stomaco	Ghiandole gastriche	Proteine $\xrightarrow{\text{pepsina}}$ Polipeptidi di piccole dimensioni
	Intestino tenue	Pancreas	Polipeptidi $\xrightarrow{\text{tripsina e chimotripsina}}$ Tripeptidi + Dipeptidi + Amminoacidi liberi
			Polipeptidi $\xrightarrow{\text{carbossipeptidasi}}$ Peptidi + Amminoacidi liberi
			Peptidi, Dipeptidi $\xrightarrow{\text{peptidasi, dipeptidasi}}$ Amminoacidi liberi
Bocca		Nessun processo digestivo	
Stomaco		Nessun processo digestivo	
L I P I D I	Intestino tenue	Fegato	Gocce di grassi $\xrightarrow{\text{sali biliari, movimenti peristaltici}}$ grassi emulsionati (micelle)
		Pancreas	Triacilgliceroli $\xrightarrow{\text{lipasi pancreatica}}$ Monoacilgliceroli + Acidi grassi

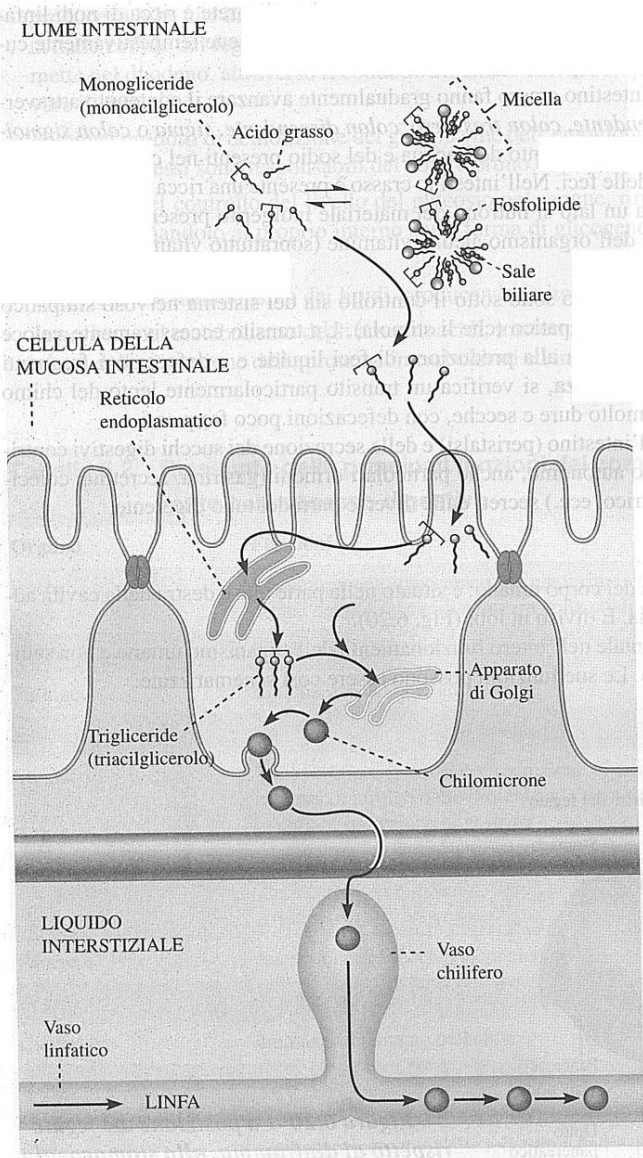
La mucosa che riveste l'intestino tenue è ripiegata in un grandissimo numero (milioni) di proiezioni, simili a minuscole dita, dette **villi intestinali**: la loro presenza aumenta enormemente la superficie a disposizione per l'assorbimento intestinale. Questa superficie è ulteriormente aumentata grazie al fatto che la membrana cellulare delle cellule dei villi, nella sua parte che si affaccia nel lume intestinale, presenta diverse centinaia di ripiegamenti (circa 600 per cellula), chiamati **microvilli**, che formano il cosiddetto **orletto a spazzola** di queste cellule (Fig. 6.18). Ciascun villo contiene una rete di capillari ed un vaso linfatico, chiamato **vaso chilifero**.

Questa enorme superficie permette che, a livello del **digiuno** e dell'**ileo**, abbia luogo l'assorbimento dei monosaccaridi, degli amminoacidi, degli acidi grassi e dei monoacilgliceroli derivati dalla digestione enzimatica di polisaccaridi, proteine e lipidi della dieta: a seconda dei composti, i meccanismi coinvolti sono diffusione semplice, diffusione facilitata oppure trasporto attivo. Zuccheri ed amminoacidi, che sono solubili in acqua, passano nel sangue dei capillari e, attraverso la **vena porta**, sono trasportati al fegato, che costituisce la prima tappa della loro utilizzazione da parte dell'organismo. Gli acidi grassi ed i monoacilgliceroli (insieme al colesterolo e alle vitamine liposolubili) nel lume intestinale sono presenti quasi esclusivamente sotto forma di micelle in combinazione con i sali biliari. I pochissimi acidi grassi e monoacilgliceroli liberi entrano nelle cellule dei villi per diffusione e vengono rimpiazzati da altri che si staccano dalle micelle: in tal modo, pian piano, tutti gli acidi grassi ed i monoacilgliceroli vengono assorbiti. All'interno delle cellule della mucosa intestinale dagli acidi grassi e dai monoacilgliceroli vengono risintetizzati trigliceridi. Questi, insieme a colesterolo e a fosfolipidi, formano piccolissime goccioline che vengono rivestite da proteine dando luogo a particolari lipoproteine, chiamate **chilomicroni** (Fig. 6.19). I chilomicroni passano nei capillari linfatici: dopo un pasto, la linfa che defluisce dall'intestino appare torbida, lattiginosa, per la presenza appunto dei chilomicroni. I linfatici provenienti dall'intestino confluiscono tra di loro e raggiungono un grosso vaso linfatico chiamato **dotto toracico**, che sbocca nella vena succlavia: la linfa proveniente dall'intestino viene così immessa nel sangue e distribuita a tutti i tessuti.

Non tutte le sostanze presenti negli alimenti vengono digerite dagli enzimi digestivi. In particolare la cellulosa dei vegetali non viene digerita perché l'intestino umano non produce alcun enzima in grado di idrolizzare i legami che uniscono fra di loro le unità di glucosio che la costituiscono. Tuttavia questi residui indigeriti svolgono una importante funzione, perché danno consistenza al contenuto intestinale e stimolano la motilità dell'intestino.



□ **Figura 6.18 Villi intestinali e microvilli.** (a) Schema del ripiegamento della mucosa intestinale a formare le ghiandole intestinali ed i villi intestinali. (b) Microfotografia al microscopio elettronico a scansione dei microvilli alla superficie delle cellule della mucosa intestinale.



□ **Figura 6.19 Assorbimento dei lipidi.**

## ■ **INTESTINO CRASSO**

Il materiale indigerito passa dall'ultima porzione dell'intestino tenue (ileo) all'**intestino crasso** (così chiamato perché presenta un diametro maggiore rispetto all'intestino tenue) attraversando la valvola ileo-ciecale. L'inserzione dell'ileo nel crasso avviene "ad angolo retto", a circa 7 cm dalla sua estremità, per cui si viene a creare un sacco a fondo cieco, che costituisce appunto il **cieco**. Dal

fondo del cieco si diparte un sottile prolungamento, l'**appendice**, la cui parete è ricca di nodi linfatici. La sua infiammazione è responsabile dell'**appendicite**, che, se non viene tempestivamente curata, può facilmente dar origine ad una peritonite.

I movimenti peristaltici dell'intestino crasso fanno gradualmente avanzare il contenuto attraverso il **colon** (distinto in *colon ascendente*, *colon trasverso*, *colon discendente*, *sigma* o *colon sigmoide*). A questo livello avviene il riassorbimento dell'acqua e del sodio presenti nel chimo, che assume gradualmente la consistenza delle feci. Nell'intestino crasso è presente una ricca **flora intestinale**, costituita da batteri, i quali da un lato si nutrono del materiale indigerito presente nel chimo, e dall'altro mettono a disposizione dell'organismo alcune vitamine (soprattutto vitamina K e vitamine del gruppo B)<sup>15</sup>.

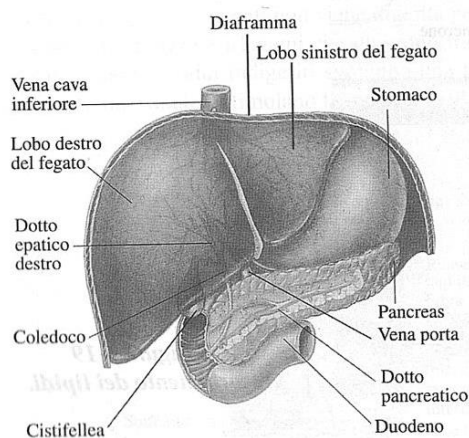
I movimenti peristaltici dell'intestino sono sotto il controllo sia del sistema nervoso simpatico (che li rallenta), sia del sistema parasimpatico (che li stimola). Un transito eccessivamente veloce del chimo lungo l'intestino crasso porta alla produzione di feci liquide e a defecazioni frequenti (**diarrea**)<sup>16</sup>. All'inverso, nella **stitichezza**, si verifica un transito particolarmente lento del chimo che porta alla produzione di feci molto dure e secche, con defecazioni poco frequenti.

Al controllo della motilità dell'intestino (peristalsi) e della secrezione dei succhi digestivi contribuiscono, oltre al sistema nervoso autonomo, anche particolari ormoni (gastrina, secretina, colecistochinina, peptide inibitorio gastrico, ecc.) secreti dalle diverse parti del tubo digerente.

## ■ **FEGATO**

Il **fegato** è la più grossa ghiandola del corpo umano; è situato nella parte alta e destra della cavità addominale subito sotto il diaframma. È diviso in lobi (Fig. 6.20).

Esso svolge un ruolo fondamentale nell'intero funzionamento dell'organismo umano e non semplicemente nel processo digestivo. Le sue funzioni possono essere così schematizzate:



□ **Figura 6.20** La posizione del fegato rispetto al diaframma, allo stomaco, al duodeno ed al pancreas.

<sup>(15)</sup> L'uso prolungato di antibiotici, che distruggono la flora intestinale, priva l'organismo dell'apporto delle vitamine da questa prodotte. Per tale motivo la somministrazione di antibiotici viene spesso accompagnata da quella di vitamine.

<sup>(16)</sup> Una diarrea prolungata porta alla disidratazione dell'organismo e alla perdita di sali: questa condizione è particolarmente pericolosa nei bambini.

- produce la bile, che interviene, come sopra accennato, nella digestione dei grassi; la bile prodotta dalle cellule del fegato (epatociti) viene convogliata nella *cistifellea*, che la concentra e la immette nel duodeno, attraverso il condotto chiamato *coledoco*, quando nel duodeno inizia ad arrivare il chimo<sup>17</sup>;
- elimina i prodotti di demolizione del gruppo eme dell'emoglobina (pigmenti biliari), riversandoli nella bile: essi sono responsabili del colore bruno delle feci;
- interviene nel controllo del livello del glucosio nel sangue, rimuovendolo quando è in eccesso (immagazzinandolo al proprio interno sotto forma di glicogeno) e liberandolo quando il livello ematico scende;
- interviene nel metabolismo dei lipidi, producendo le lipoproteine presenti nel sangue;
- interviene nel metabolismo degli amminoacidi, trasformando gli amminoacidi in eccesso provenienti dalla digestione delle proteine in carboidrati ed in acidi grassi e trasformando i gruppi am-



**Tabella 6.2 Riassunto delle principali funzioni dei componenti dell'apparato digerente nel processo digestivo**

Organo	Funzioni
Bocca	Sminuzzamento meccanico del cibo; rimescolamento con la saliva; inizio dell'idrolisi dei polisaccaridi ad opera della ptialina
Ghiandole salivari	Secrezione della saliva
Faringe	Conduzione del bolo all'esofago
Esofago	Conduzione del bolo allo stomaco
Stomaco	Rimescolamento del bolo; secrezione di acido cloridrico, pepsinogeno e fattore intrinseco; idrolisi delle proteine ad opera della pepsina; trasformazione del bolo in chimo; secrezione di gastrina
Intestino tenue	Idrolisi di tutte le classi di composti presenti negli alimenti; assorbimento di monosaccaridi, amminoacidi, lipidi, acqua, ioni, vitamine; secrezione dell'enterogastrone
Pancreas	Secrezione del succo pancreatico
Fegato	Produzione della bile; metabolismo dei composti assorbiti dall'intestino
Cistifellea	Immagazzinamento della bile
Colon (intestino crasso)	Assorbimento di acqua e ioni; trasformazione del chimo in feci; immagazzinamento delle feci
Retto	Immagazzinamento delle feci prima dell'espulsione
Ano	Controllo della defecazione

minici in eccesso in urea, che, immessa nel sangue, viene trasportata ai reni che la eliminano con le urine;

- sintetizza molte delle proteine del sangue, tra cui l'albumina ed i fattori della coagulazione del sangue (protrombina, fibrinogeno, ecc.);
- svolge funzioni di ghiandola endocrina producendo, sotto lo stimolo dell'ormone della crescita prodotto dall'ipofisi, diverse sostanze dotate di attività ormonale, indicate con il termine di **somatomedine** (Biologia, § 6.2.2);
- immagazzina il ferro e diverse vitamine;
- interviene nei processi di detossificazione dell'alcool e di molti medicinali e veleni penetrati nell'organismo.

#### 6.1.4 APPARATO RESPIRATORIO

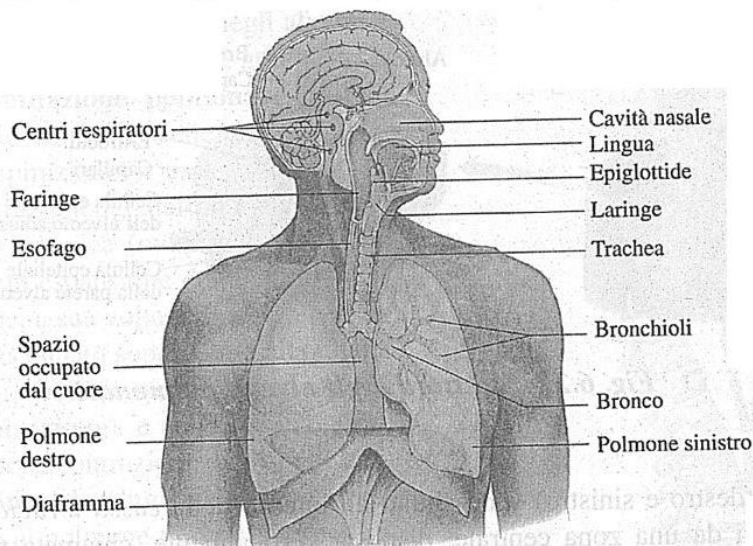
L'**apparato respiratorio** svolge la funzione di assicurare gli scambi di gas tra l'organismo e l'ambiente esterno. Questi scambi riguardano essenzialmente l'ossigeno ( $O_2$ ) e l'anidride carbonica ( $CO_2$ ) ed avvengono a livello dei polmoni. L'apparato respiratorio, in sinergia con l'apparato circolatorio, assicura che ogni cellula venga rifornita di ossigeno e che l'anidride carbonica venga eliminata dall'organismo.

Negli organismi monocellulari e nei piccoli organismi acquatici lo **scambio di gas** avviene per semplice diffusione tra l'ambiente e le cellule, ma quando lo spessore dell'organismo supera il millimetro, per assicurare scambi efficienti sono necessarie strutture specializzate (associate ad un sistema circolatorio che distribuisca i gas a tutte le cellule); l'acqua o l'aria che riforniscono di ossigeno le cellule devono inoltre essere continuamente rinnovate per evitare l'impoverimento di ossigeno e l'accumulo di anidride carbonica. Inoltre, le superfici in corrispondenza delle quali avvengono gli scambi gassosi devono essere mantenute umide, perché i gas diffondono dalla soluzione che bagna la superficie delle cellule attraverso le membrane cellulari. Questo problema non si pone negli animali acquatici, ma negli animali terrestri esistono diversi meccanismi che assicurano il mantenimento dell'umidità delle superfici (produzione di muco, presenza di particolari sostanze, ecc.). Negli animali primitivi di piccole dimensioni (ad esempio i lombrichi), gli scambi gassosi avvengono attraverso l'*intera superficie corporea*; negli insetti l'aria è portata all'interno dell'organismo attraverso un reticolo di *tubi tracheali* che presenta numerose aperture sulla superficie corporea. Negli animali acquatici sono presenti *branchie*, sottili strutture che si estendono dalla superficie corporea e sono sostenute dall'acqua che fluisce attraverso di esse, ma che all'aria collassano; nei vertebrati terrestri, invece, sono presenti *polmoni*, organi interni in comunicazione con l'esterno attraverso condotti che costituiscono le *vie aeree*.

Nell'uomo, dell'apparato respiratorio fanno parte anche organi che gli consentono di emettere suoni, articolati in parole. Questi organi, nel loro insieme, costituiscono l'**apparato di fonazione**.

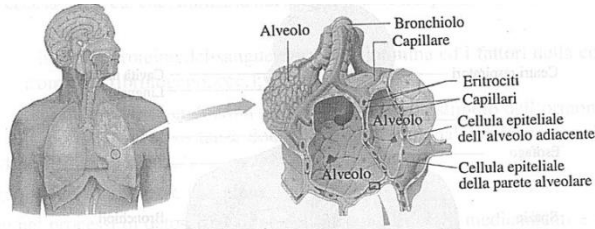
## STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DELL'APPARATO RESPIRATORIO

L'apparato respiratorio comprende le vie respiratorie e i polmoni (Fig. 6.21). Le **vie respiratorie** sono un insieme di condotti che convogliano l'aria dall'esterno ai polmoni. Esse comprendono: le cavità nasali, la bocca, la faringe, la laringe, la trachea e i bronchi. Le **cavità nasali** sono due, sono separate da un setto osteo-cartilagineo, detto **setto nasale**, e si aprono all'esterno attraverso due aperture, le **narici**. La bocca e la faringe sono cavità comuni sia all'apparato respiratorio, sia all'apparato digerente. La **faringe**, situata dietro al naso ed alla bocca, mette in comunicazione il naso e la bocca tra di loro e con la laringe e con l'esofago. La **laringe** è situata nel collo davanti all'esofago ed è mantenuta beante dalla cartilagine tiroidea (che forma il cosiddetto "pomo d'Adamo") e dal-



□ **Figura 6.21** L'apparato respiratorio dell'uomo.

l'osso ioide. L'accesso alla laringe può essere chiuso da una valvola cartilaginea situata dietro la lingua, l'**epiglottide**, che si chiude al passaggio degli alimenti dalla bocca all'esofago, impedendo che essi penetrino nella laringe. La laringe contiene le **corde vocali**, che svolgono un ruolo fondamentale nella fonazione. La laringe si continua nella **trachea**, "tubo" formato da una successione di anelli di cartilagine rivestiti all'interno da un epitelio ciliato nel quale sono presenti cellule secernenti muco. La trachea percorre la parte inferiore del collo davanti all'esofago ed entra nella cavità toracica, dove si biforca dando origine ai **bronchi** (destro e sinistro). Questi penetrano nei polmoni e vanno incontro a successive diramazioni formando condotti di diametro sempre più piccolo (**bronchioli**), che costruiscono l'**albero bronchiale**. Ciascun bronchiolo, infine, sbocca in una piccolissima vescicola, chiamata **alveolo polmonare** (Fig. 6.22). Ciascun alveolo è rivestito da un epitelio piatto molto sottile che è a diretto contatto con una fitta rete di capillari sanguigni (capillari polmonari) nei quali scorre il sangue venoso proveniente dai tessuti, impoverito di ossigeno e ricco in anidride carbonica: è a livello degli alveoli che avviene la **diffusione** dell'ossigeno dall'aria presente nella cavità dell'alveolo verso il sangue dei capillari e dell'anidride carbonica dal sangue verso l'aria dell'alveolo, secondo il gradiente di pressione parziale dei due gas. Arrivato nel sangue, l'ossigeno si lega all'**emoglobina** contenuta nei **globuli rossi** (l'emoglobina, combinata con l'ossigeno prende il nome di **ossiemoglobina**). Il sangue, arricchitosi di ossigeno e liberatosi di anidride carbonica, diventa sangue arterioso (per ulteriori dettagli, vedi anche Biologia § 6.1.5). I polmoni sono formati da circa 300 milioni di alveoli, che assicurano una superficie di scambio dei gas di circa 70 m<sup>2</sup>. A livello degli alveoli avviene anche l'eliminazione di alcune sostanze volatili eventualmente presenti nel sangue; ad esempio, una parte dell'alcool etilico introdotto con gli alimenti è eliminato attraverso questa via: la quantità di alcool che passa nell'alveolo è proporzionale alla sua concentrazione nel plasma. Ciò è alla base del funzionamento dell'**etilometro** utilizzato dalle forze dell'ordine per valutare l'eventuale stato di ubriachezza di un automobilista<sup>18</sup>.



□ Fig. 6.22 Struttura degli alveoli polmonari.

I due **polmoni** (destro e sinistro) sono situati all'interno della **cassa toracica** o **gabbia toracica** e sono separati da una zona centrale, disposta verticalmente, chiamata **mediastino**, nella quale si trovano la trachea e l'inizio dei bronchi, il timo, il cuore e i grossi vasi sanguigni che al cuore arrivano o dal cuore partono ed è percorsa dall'esofago. Ciascun polmone ha una forma grossolanamente conica e presenta un **apice polmonare** (che si trova al di sotto della clavicola) e una **base polmonare**, che appoggia sul diaframma (muscolo che separa la cavità toracica dalla cavità addominale), ed è diviso in lobi (**lobi polmonari**), che corrispondono alle grosse ramificazioni dell'albero bronchiale. A ciascun polmone arrivano, oltre al bronco corrispondente, anche vasi sanguigni provenienti dal ventricolo destro del cuore, le **arterie polmonari**.<sup>19</sup> Le arterie polmonari, correndo lungo i bronchi, si ramificano diminuendo man mano di diametro, fino a dar origine ai capillari che circondano gli alveoli. Da questi capillari hanno origine venule che, conflueno in vasi di dimensioni crescenti, formano le **vene polmonari** che sboccano nell'atrio sinistro del cuore. La porzione di ciascun polmone nella quale entrano i bronchi, le vene e le arterie polmonari prende il nome di **ilo polmonare**. Ciascun polmone, così come la parete interna della cavità toracica, è ricoperto da un sottile rivestimento epiteliale, la **pleura**. Tra la pleura parietale (che riveste la parete della cavità toracica) e quella che riveste il polmone esiste una "cavità virtuale" (**cavità pleurica**), nel senso che le due superfici sono separate da un sottilissimo strato di liquido lubrificante (il **liquido pleurico**)<sup>20</sup>. Poiché la gabbia toracica è rigida mentre il polmone è elastico e tende a retrarsi, all'interno della cavità pleurica esiste una pressione negativa che fa sì che, quando la gabbia toracica, in seguito alla contrazione dei muscoli respiratori, si espande nell'inspirazione, il polmone, sotto la pressione atmosferica, sia costretto a dilatarsi. Se, come può accadere in seguito ad una ferita, penetra aria nella cavità pleurica e quindi la pressione negativa scompare, il polmone si collassa e non è più in grado di funzionare: si è verificato un **pneumotorace**.<sup>21</sup>

<sup>(19)</sup> Questi vasi sanguigni, come tutti quelli che partono dal cuore e si dirigono verso i tessuti, sono delle arterie. Tuttavia contengono sangue che è arrivato al cuore provenendo dai tessuti ed è sangue venoso: paradossalmente, quindi, abbiamo qui arterie che contengono sangue venoso. Analogamente le vene polmonari che provengono dal polmone e vanno al cuore, pur essendo vene, contengono sangue arterioso, ricco di ossigeno.

<sup>(20)</sup> Nei processi infiammatori che colpiscono la pleura (**pleuriti**) la quantità di liquido pleurico può aumentare anche considerevolmente, dando luogo ad un **versamento pleurico**.

<sup>(21)</sup> Il pneumotorace, realizzato in condizioni strettamente controllate, è stato ampiamente utilizzato a scopo terapeutico per la cura della tubercolosi.

Lo scambio tra l'aria contenuta negli alveoli e quella dell'ambiente esterno avviene grazie al fenomeno della **ventilazione polmonare** (quello che, nel linguaggio comune, viene chiamato impropriamente "respirazione"): essa consiste nell'alternarsi di contrazioni del diaframma e dei muscoli della gabbia toracica (muscoli intercostali) che determinano un'espansione della cavità toracica (Fig. 6.23) che, a sua volta, attraverso il meccanismo cui si è accennato sopra, porta alla dilatazione dei polmoni, facendo quindi penetrare aria dell'esterno (**inspirazione**), e nel rilassamento di questi muscoli e nella contrazione di altri che causano la diminuzione del volume della cavità toracica, permettendo al polmone di retrarsi espellendo aria attraverso le vie respiratorie (**espirazione**). Durante il passaggio nelle vie aeree superiori (naso/bocca, faringe, laringe, trachea) l'aria inspirata viene filtrata, riscaldata e umidificata; l'aria espirata, calda e satura di vapor acqueo, quando la temperatura ambiente è bassa, raffreddandosi porta alla condensazione del vapor d'acqua, sotto forma di "nuvoletta". La dilatazione degli alveoli polmonari (e quindi l'efficienza degli scambi gassosi) è facilitata dal fatto che la tensione superficiale del velo di liquido che riveste la superficie degli alveoli (e quindi la resistenza alla dilatazione dell'alveolo) è diminuita dal cosiddetto **surfattante polmonare**, miscela di fosfolipidi tensioattivi prodotti dalle cellule che rivestono gli alveoli.



□ Figura 6.23 Movimenti della cassa toracica e del diaframma durante gli atti respiratori. A disegno pieno sono indicate le posizioni alla massima espirazione; con le linee tratteggiate sono indicate le posizioni alla massima inspirazione. Le frecce indicano la direzione dei movimenti durante l'inspirazione.

La frequenza e la profondità degli atti respiratori sono sotto il controllo del sistema nervoso, che agisce in parte in modo autonomo e in parte sotto il controllo della volontà. Nel sistema nervoso centrale esistono **centri respiratori**, situati nel midollo allungato, ai quali arrivano “segnali” captati da particolari recettori (**chemiocettori**, situati nell’arco aortico, nella carotide e nel midollo allungato) che “misurano” la concentrazione dell’ossigeno, dell’anidride carbonica e il pH nel sangue inviando stimoli nervosi ai centri respiratori quando si verificano variazioni di questi parametri. In caso di diminuzione del pH o della pressione dell’O<sub>2</sub> o di aumento di quella della CO<sub>2</sub>, dai centri respiratori partono impulsi nervosi che vanno ai muscoli respiratori facendo aumentare la frequenza degli atti respiratori. L’arresto degli atti respiratori prende il nome di **apnea** e può essere mantenuto volontariamente al massimo per qualche minuto.

Esistono alcuni tipi di atti respiratori “atipici”. La **tosse**, ad esempio, consiste in una inspirazione, seguita da una espirazione forzata iniziata a glottide chiusa: essa porta ad un violento movimento verso l’esterno dell’aria presente nelle vie aeree, che facilita l’espulsione di corpi estranei o di catarro. Anche la tosse è sotto controllo nervoso: lo stimolo nasce dall’epitelio che riveste le vie aeree e funziona come un riflesso, spesso difficilmente controllabile in modo volontario, che porta al colpo di tosse. Lo **sbadiglio**, d’altra parte, è una profonda inspirazione che si verifica per stimoli che hanno origine nel sistema nervoso centrale (ad esempio: bisogno di sonno).

### 6.1.5 APPARATO CIRCOLATORIO

Tutte le cellule degli organismi pluricellulari sono immerse in un liquido, detto **liquido interstiziale**, dal quale prelevano le sostanze nutritive, nel quale riversano le sostanze di scarto e dal quale ricevono stimoli e/o segnali, sotto forma di particolari composti chimici prodotti da altre cellule (ormoni, fattori di crescita, citochine), che regolano il loro funzionamento. Negli organismi costituiti da poche cellule, i processi di diffusione da soli sono in grado di assicurare l’apporto di nutrienti e l’eliminazione dei prodotti di scarto nei confronti dell’ambiente esterno. Negli organismi più complessi il compito di rifornire il liquido interstiziale di nutrienti provenienti dall’esterno, di rimuovere i prodotti di scarto, contribuendo ad assicurare la costanza della composizione del liquido interstiziale stesso (**omeostasi**), e di distribuire i composti chimici che rappresentano i segnali di funzionamento delle cellule, è svolto dal **sistema circolatorio** o **apparato circolatorio**.

Nel corso dell’evoluzione questo apparato ha acquistato una complessità crescente: partendo dai *sistemi circolatori aperti* degli Artropodi e di molti Molluschi, in cui non esiste separazione tra liquido interstiziale e liquido circolante, ma un unico liquido (*emolinfa*) che entra nel sistema circolatorio attraverso piccole aperture del cuore (costituito nelle forme più primitive da un’unica camera o da un semplice vaso contrattile) e fuoriesce alle estremità dei vasi, si è passati, a partire da Anellidi, Cefalopodi ed Echinodermi, a *sistemi circolatori chiusi*. In alcune delle forme più primitive di tali sistemi manca un vero e proprio cuore, ma sono i movimenti stessi dell’animale o la presenza di vasi contrattili ad assicurare la circolazione del liquido in cui è direttamente disciolta la proteina deputata al trasporto dell’ossigeno. A partire dai Vertebrati il sistema circolatorio presenta sempre un cuore. Nei Pesci, esiste un unico sistema di vasi; negli Anfibi compare un *doppio circuito* (circolazione polmonare e circolazione sistemica), nel quale però non esiste una netta separazione tra sangue venoso e sangue ossigenato, in quanto il cuore presenta due atri e un ventricolo; nei Rettili comincia a comparire un setto che divide parzialmente in due il ventricolo, ma è solo nei coccodrilli (un tipo di rettile), negli Uccelli e nei Mammiferi che il cuore presenta due atri e due ventricoli, assicurando così la netta separazione tra sangue arterioso e sangue venoso (*circolazione doppia e completa*), per cui il sangue passa due volte dal cuore facendo il giro completo del corpo: ciò consente una elevata efficienza nel trasporto di ossigeno e nutrienti ai tessuti e permette a questi organismi di mantenere un elevato ritmo metabolico e una temperatura corporea superiore a quella dell’ambiente.

Nell’organismo umano, le principali funzioni del sistema circolatorio sono:

- trasportare l’ossigeno dai polmoni a tutti i tessuti;
- trasportare sostanze nutritive dall’apparato digerente a tutte le cellule e ai tessuti di deposito;
- trasportare i prodotti di rifiuto dai tessuti agli organi deputati alla loro escrezione (reni e, in misura minore, polmoni e intestino);
- trasportare gli ormoni dalle ghiandole endocrine a tutti i tessuti;
- contribuire al mantenimento dell’equilibrio idrico dei tessuti;
- contribuire al mantenimento della costanza del pH del liquido interstiziale;
- contribuire a distribuire il calore prodotto dal metabolismo in tutto l’organismo, e quindi al mantenimento della costanza della temperatura corporea;
- contribuire alla difesa dell’organismo dall’azione di microrganismi patogeni.

Schematicamente, l’apparato circolatorio comprende:

- il *sangue*, che è un tessuto connettivo liquido, composto da cellule (globuli rossi, bianchi) o frammenti di cellule (piastrine) e da una parte liquida, il plasma;

- un sistema di *vasi sanguigni* (arterie, vene e capillari) attraverso i quali scorre il sangue sotto la spinta del cuore;
- un organo deputato al pompaggio del sangue, il *cuore*.

### STRUTTURA DELL'APPARATO CIRCOLATORIO

#### ■ SANGUE

Del **sangue** si è trattato in Biologia, § 2.8.2. Esso è l'unico tessuto liquido dell'organismo: in un individuo di 70 kg, il suo volume è di circa 5,6 L (l'8% del peso corporeo); per il 55% circa è costituito dal **plasma**; per il 45% dalla cosiddetta **parte corpuscolata**, formata dai globuli rossi, dai globuli bianchi e dalle piastrine.

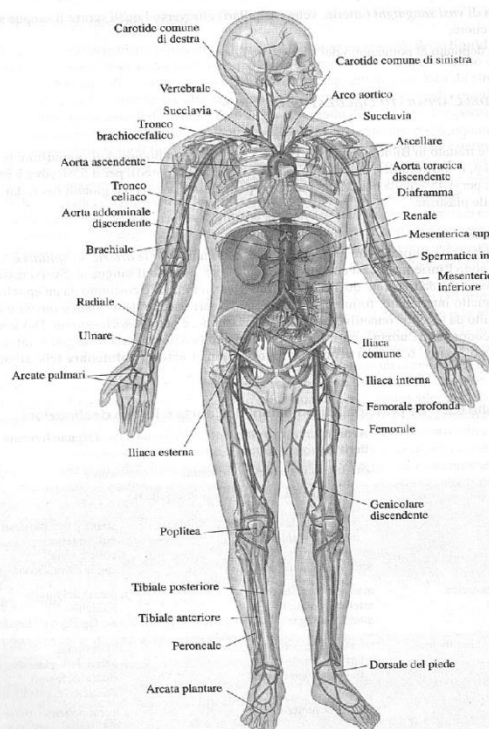
#### ■ VASI SANGUIGNI

Il sistema circolatorio comprende tre principali tipi di vasi sanguigni: le *arterie*, i *capillari* e le *vene*.

Le **arterie** sono l'insieme di vasi che, partendo dal cuore, portano il sangue ai diversi tessuti. La loro parete è costituita da tre strati: quello più interno (*tonaca intima*) è costituito da un epitelio, detto *endotelio*, quello intermedio, formato da cellule muscolari lisce, è detto *tonaca media* e quello esterno, costituito da tessuto connettivo ricco di fibre elastiche, è detto *tonaca esterna*. Dal ventricolo sinistro del cuore parte l'**aorta**, che, attraverso le sue ramificazioni, porta il sangue a tutti i tessuti (vedi Tabella 6.2 e Fig. 6.24); dal ventricolo destro origina l'**arteria polmonare** (che si ramifica

**Tabella 6.2** Le principali diramazioni dell'aorta e le loro destinazioni

Porzione dell'aorta	Arterie derivate	Organo irrorato
ascendente	arterie coronarie (destra e sinistra)	cuore
arco aortico	arteria anonima (o tronco brachio-cefalico) si divide in arteria succlavia destra arteria carotide destra arteria carotide sinistra arteria succlavia sinistra	spalla e braccio destri collo e testa collo e testa spalla e braccio sinistri
discendente toracica	arterie intercostali arterie bronchiali arterie esofagee	parete del torace bronchi esofago
discendente addominale	arteria diaframmatica arterie lombari arteria o tronco celiaco  arterie mesenteriche  arterie renali (destra e sinistra) arterie spermatiche interne (destra e sinistra) arterie iliache comuni (destra e sinistra)	diaframma pareti dell'addome stomaco, fegato pancreas, duodeno, milza  intestino tenue, parte dell'intestino crasso  reni  testicoli, ovaia pelvi, arti inferiori



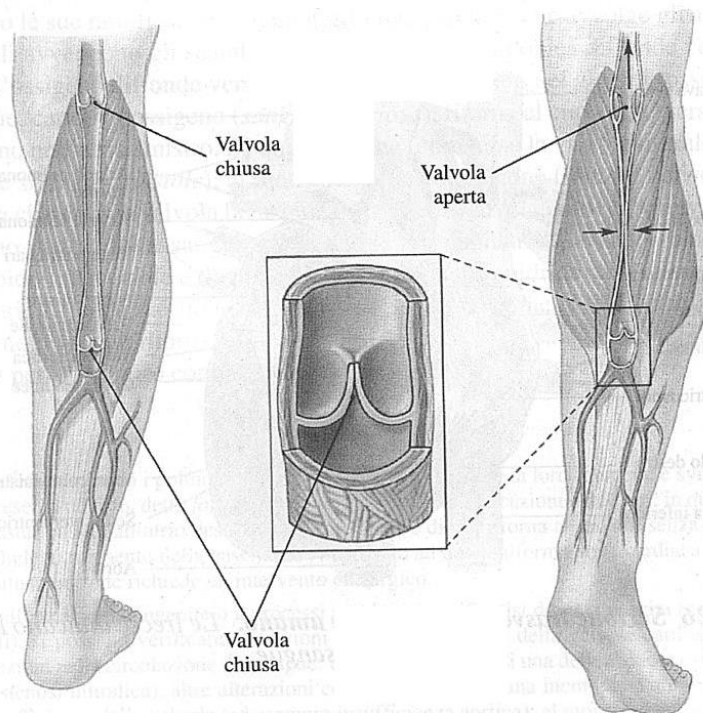
□ **Figura 6.24** L'albero arterioso della circolazione sistemica. Non sono rappresentate le arterie coronarie (che partono dall'aorta ascendente ed irrorano il cuore), e le diramazioni dell'aorta toracica (intercostali, bronchiali ed esofagee).

subito nelle arterie polmonari destre e sinistre). Il sangue può scorrere solo dai ventricoli verso le arterie per la presenza di valvole dette **valvole semilunari** (per la forma dei loro lembi): tra ventricolo sinistro e aorta si trova la *valvola aortica*; tra ventricolo destro e arteria polmonare, la *valvola polmonare*. Man mano che si allontanano dal cuore, le arterie si ramificano diminuendo di diametro e, quando penetrano in un organo, le sottili ramificazioni prendono il nome di **arteriole**.

La muscolatura liscia della parete delle arteriole può contrarsi, diminuendone così il diametro (**vasocostrizione**), o rilassarsi, aumentando così il loro diametro (**vasodilatazione**). Questi processi sono sotto il controllo del sistema nervoso autonomo e di diversi ormoni e contribuiscono alla regolazione sia della pressione arteriosa, sia della quantità di sangue che attraversa un dato organo o tessuto, adattandola alle esigenze metaboliche dell'organo o del tessuto stesso.

I **capillari** sono sottilissimi condotti, la cui parete è costituita da un solo strato di cellule endoteliali; hanno origine dalla ramificazione delle arteriole e formano una estesissima rete, che tocca praticamente tutte le cellule dell'organismo. Gli scambi di materiale tra sangue e tessuto interstiziale avvengono in corrispondenza dei capillari.

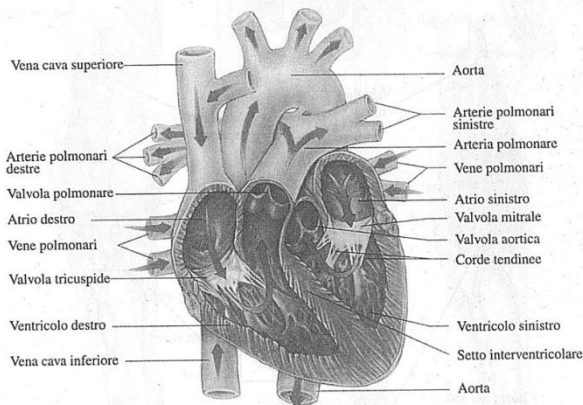
Le **vene** sono i vasi sanguigni che derivano dalla confluenza dei capillari; all'interno di ciascun organo esse confluiscono in vasi di diametro sempre maggiore. La loro parete presenta una tonaca intima formata da endotelio, una tonaca media che, rispetto alle arterie, presenta una minor componente muscolare, ed una tonaca esterna povera di fibre elastiche. La maggior parte delle vene di diametro superiore ai 2 millimetri, che trasportano sangue contro la forza di gravità (tipicamente le vene delle gambe o delle braccia), presentano al loro interno delle valvole a forma di semiluna o "a ni-



□ **Figura 6.25 Funzione delle valvole a nido di rondine nelle vene: non solo impediscono il reflusso del sangue causato dalla forza di gravità, ma, in cooperazione con la contrazione dei muscoli volontari adiacenti, concorrono a facilitare il ritorno del sangue al cuore.**

do di rondine" (Fig. 6.25), rivolte verso l'alto in modo da impedire il reflusso del sangue verso il basso<sup>22</sup> e, in cooperazione con l'azione di "spremitura" svolta dai muscoli volontari circostanti quando si contraggono, favoriscono il ritorno del sangue al cuore. In generale, le vene, man mano che confluiscono fra di loro, seguono in senso inverso il percorso delle arterie e prendono lo stesso nome (con eccezioni: ad es. le vene che raccolgono buona parte del sangue dal capo e corrono nel collo sono le *vene giugulari*). Le vene che originano dai polmoni sono dette *vene polmonari* e sboccano nell'atrio sinistro del cuore; quelle che derivano da tutti gli altri organi confluiscono in due grandi vene: la *vena cava superiore* (che raccoglie il sangue proveniente dalla testa e dagli arti superiori) e la *vena cava inferiore* (che raccoglie il sangue proveniente dall'addome e dagli arti inferiori), che sboccano nell'atrio destro del cuore.

■ **CUORE** Il cuore è un organo muscolare, poco più grosso di un pugno, cavo, posto nella cavità toracica, subito dietro lo sterno. È avvolto da una membrana di tessuto connettivo, detta **pericardio**; la faccia esterna del cuore e quella interna del pericardio sono rivestite da un sottile foglietto di endotelio, che delimita una sottilissima cavità, detta *cavità pericardica*, nella quale è contenuto un liquido che riduce al minimo l'attrito connesso alle contrazioni del cuore. La parete delle cavità cardiache è costituita da un particolare tipo di tessuto muscolare striato, il **miocardio**. All'interno, il miocardio è rivestito da un tessuto epiteliale, l'**endocardio**, che si continua con l'endotelio di rivestimento del lume dei vasi sanguigni. Il cuore comprende quattro cavità (Fig. 6.26): le due superiori sono dette, ri-



□ **Figura 6.26 Sezione trasversale del cuore umano.** Le frecce indicano la direzione del flusso del sangue.

<sup>(22)</sup> In seguito al mancato funzionamento di queste valvole, il sangue esercita una pressione eccessiva sulla parete delle vene, che, essendo dotata di una scarsa muscolatura e di poche fibre elastiche, si dilata, dando origine alle cosiddette **vene varicose** o **varici**.

spettivamente, **atrio destro** e **atrio sinistro** e sono separate da una sottile parete, detta **setto interatriale**,<sup>23</sup> le due inferiori sono il **ventricolo destro** e il **ventricolo sinistro**, separati dal **setto interventricolare**. L'atrio destro è in comunicazione con il ventricolo destro attraverso una valvola (formata da tessuto connettivo), chiamata **valvola tricuspide**, perché costituita da tre lembi, che consente il passaggio del sangue dall'atrio al ventricolo, ma non in senso inverso. L'atrio sinistro comunica con il ventricolo sinistro attraverso la **valvola bicuspidale** o valvola mitrale (perché formata da due lembi la cui forma ricorda quella della mitra, il copricapo dei vescovi)<sup>24</sup>. I lembi di queste due valvole sono trattenuti da sottili filamenti di tessuto connettivo, detti **corde tendinee** che vanno ad inserirsi nel miocardio dei ventricoli.

■ **CIRCOLAZIONE** Il sistema circolatorio risulta costituito da un doppio circuito di vasi sanguigni:

- la **circolazione polmonare** (o **piccolo circolo**), che porta il sangue dal ventricolo destro del cuore ai polmoni e da questi all'atrio sinistro;
- la **circolazione sistemica** (o **grande circolo**), che porta il sangue dal ventricolo sinistro del cuore ai tessuti e da questi all'atrio destro.

Il sangue che ritorna dai tessuti, impoverito di ossigeno e ricco di anidride carbonica, entra nell'atrio destro del cuore, di qui (attraverso la valvola tricuspide) passa nel ventricolo destro, che si dilata (**diastole**); al momento della contrazione dei ventricoli (**sistole**), la pressione generata fa chiudere la valvola tricuspide ed aprire la valvola polmonare, per cui il sangue passa nell'arteria polmonare<sup>25</sup>. Attraverso le sue ramificazioni raggiunge la rete capillare che avvolge gli alveoli polmonari, a livello dei quali avvengono gli scambi gassosi: l'anidride carbonica diffonde verso il lume degli alveoli, mentre l'ossigeno diffonde verso i capillari e, penetrando nei globuli rossi, si lega all'emoglobina. Il sangue, carico di ossigeno (**sangue arterioso**), ritorna al cuore attraverso le vene polmonari, che sboccano nell'atrio sinistro. Di qui, il sangue (attraverso la valvola mitrale) passa al ventricolo sinistro, che si dilata (**diastole**); al momento della contrazione (**sistole**) del ventricolo, la pressione generata fa chiudere la valvola bicuspidale ed aprire la valvola aortica. Attraverso le diverse arterie che nascono dall'aorta, il sangue raggiunge le reti capillari dei vari organi, dove l'ossigeno diffonde nel liquido interstiziale e di qui alle cellule, mentre l'anidride carbonica, prodotta dalle ossidazioni cellulari, diffonde dal liquido interstiziale al sangue, che si trasforma in **sangue venoso**. Attraverso le vene il sangue ritorna all'atrio destro (Fig. 6.27). Il sangue quindi passa due volte attraverso il cuore per fare il giro completo del corpo.

<sup>(23)</sup> Durante la vita fetale, quando i polmoni non sono funzionanti (perché la loro funzione è svolta dalla placenta), il setto interatriale presenta un foro, detto **forame ovale** che mette in comunicazione i due atri: in questo modo, il sangue proveniente dai tessuti passa dall'atrio destro a quello sinistro e di qui ritorna ai tessuti, senza passare dai polmoni. Questo foro si occlude al momento della nascita. Se, in seguito ad una malformazione cardiaca, questo non succede, si crea una grave situazione che richiede un intervento chirurgico.

<sup>(24)</sup> In seguito a malformazioni congenite o a processi patologici verificatisi dopo la nascita (ad esempio febbre reumatica, endocarditi), si possono verificare alterazioni nel funzionamento delle valvole cardiache, che hanno come conseguenze alterazioni nella circolazione del sangue. Un restringimento di una delle valvole è detto **stenosi** della valvola (ad esempio stenosi mitralica), altre alterazioni comportano invece una incompleta chiusura della valvola, che viene chiamata **insufficienza** della valvola (ad esempio insufficienza aortica); al momento della contrazione cardiaca, in questo caso si verifica un reflusso del sangue. Queste alterazioni delle valvole possono essere corrette chirurgicamente, spesso con il trapianto di valvole artificiali.

<sup>(25)</sup> Va rilevato che questa è l'unica arteria dell'organismo nella quale scorre sangue povero di ossigeno (**sangue venoso**).