

APPARATO DIGERENTE

Consente all'organismo di:

- assumere gli alimenti**
- digerirli**
- assimilarli**
- utilizzarli**
- espellere le sostanze non utilizzate**

E' costituito da vari organi:

APPARATO DIGERENTE: UCCELLI

BECCO

BOCCA

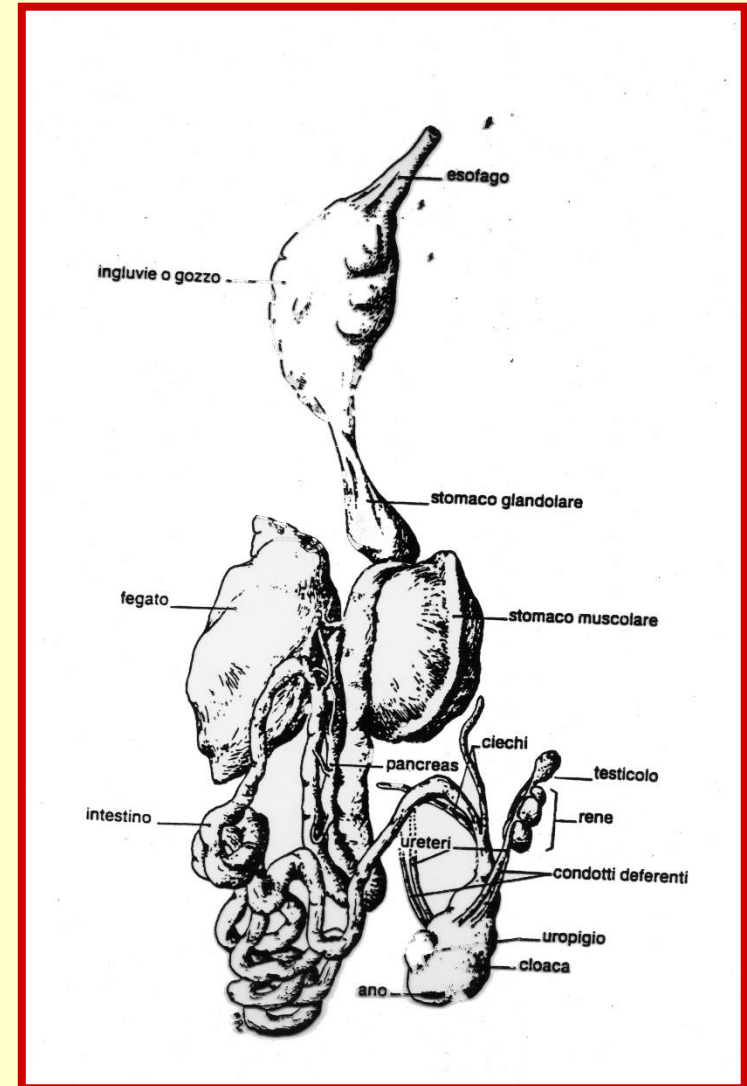
FARINGE o RETROBOCCA

ESOFAGO con INGLUVIE o GOZZO

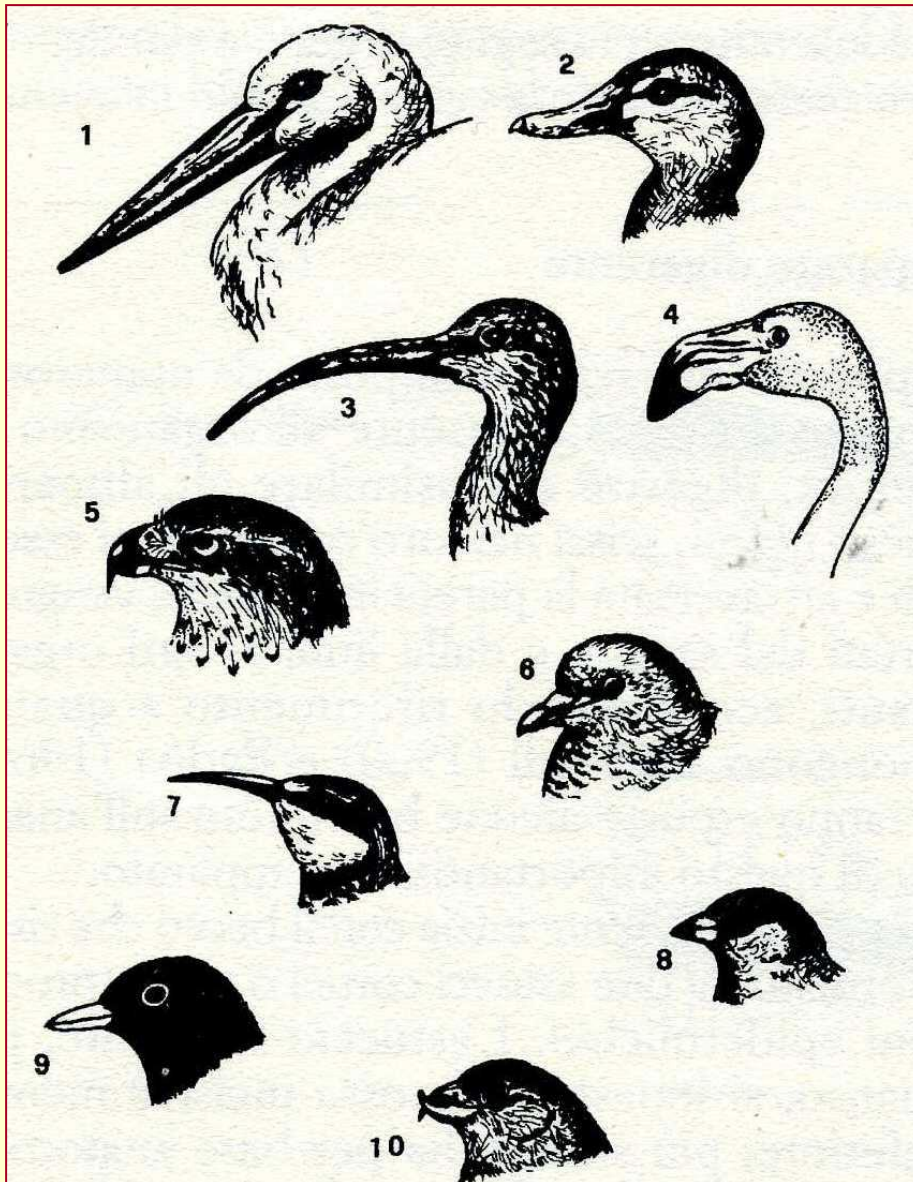
STOMACO ghiandolare

STOMACO MUSCOLARE o VENTRIGLIO

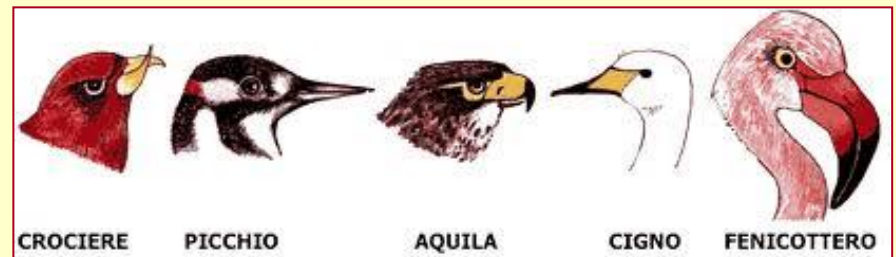
INTESTINO



BECCO formato da due astucci cornei (valve). Forma e dimensioni variano in base al regime alimentare. Nella valva inferiore è contenuta la parte della libera della lingua



1. Cicogna
2. Marzaiola
3. Chiurlo
4. Fenicottero
5. Astore
6. Tortora
7. Gruccione
8. Passero
9. Merlo
10. Crociere

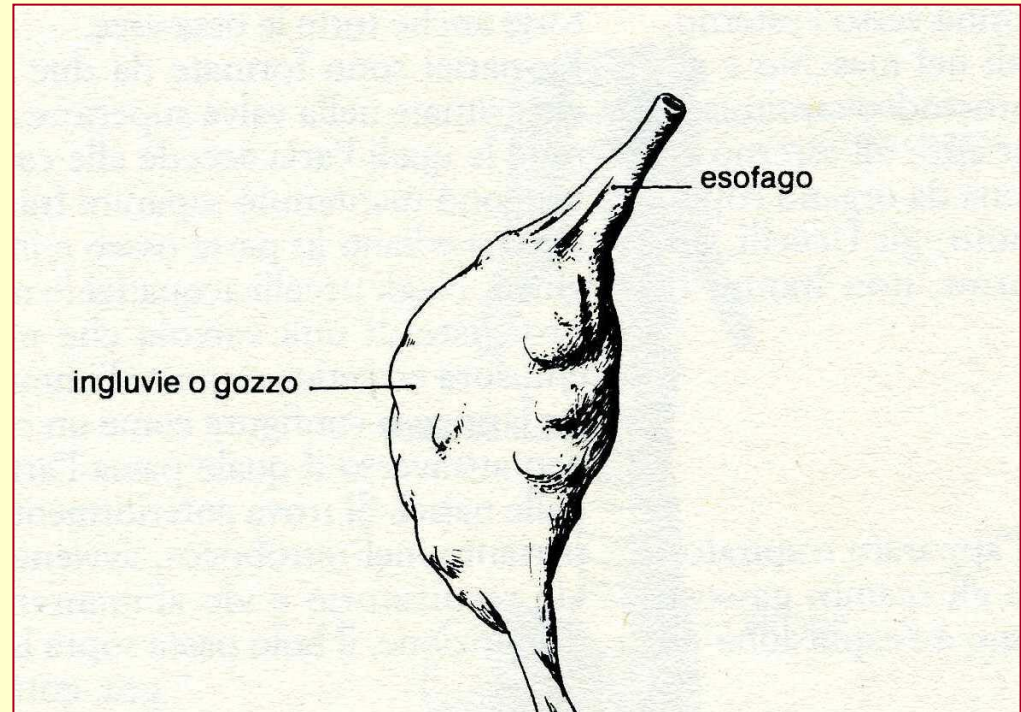


- **BOCCA** cavità comune alle prime vie respiratorie, con cui comunica attraverso una fessura posta tra le ossa palatine. In essa alloggia la base della lingua.

- **FARINGE** o **RETROBOCCA** non ben separata dalla bocca, ha come base scheletrica l'osso **ioide** sul quale si articola la lingua.
Sulla volta della faringe si aprono le **trombe di Eustachio** che la collegano all'orecchio medio.

- ESOFAGO

Tubo a lume virtuale che collega il retrobocca con lo stomaco ghiandolare. In prossimità della sua estremità inferiore presenta una dilatazione (**INGLUVIE** o **GOZZO**) in cui viene immagazzinato il cibo e, nei Colombiformi, viene prodotto il latte, sostanza bianca, grassa e caseosa con la quale entrambi i genitori nutrono i piccoli.



Composizione % del latte del gozzo

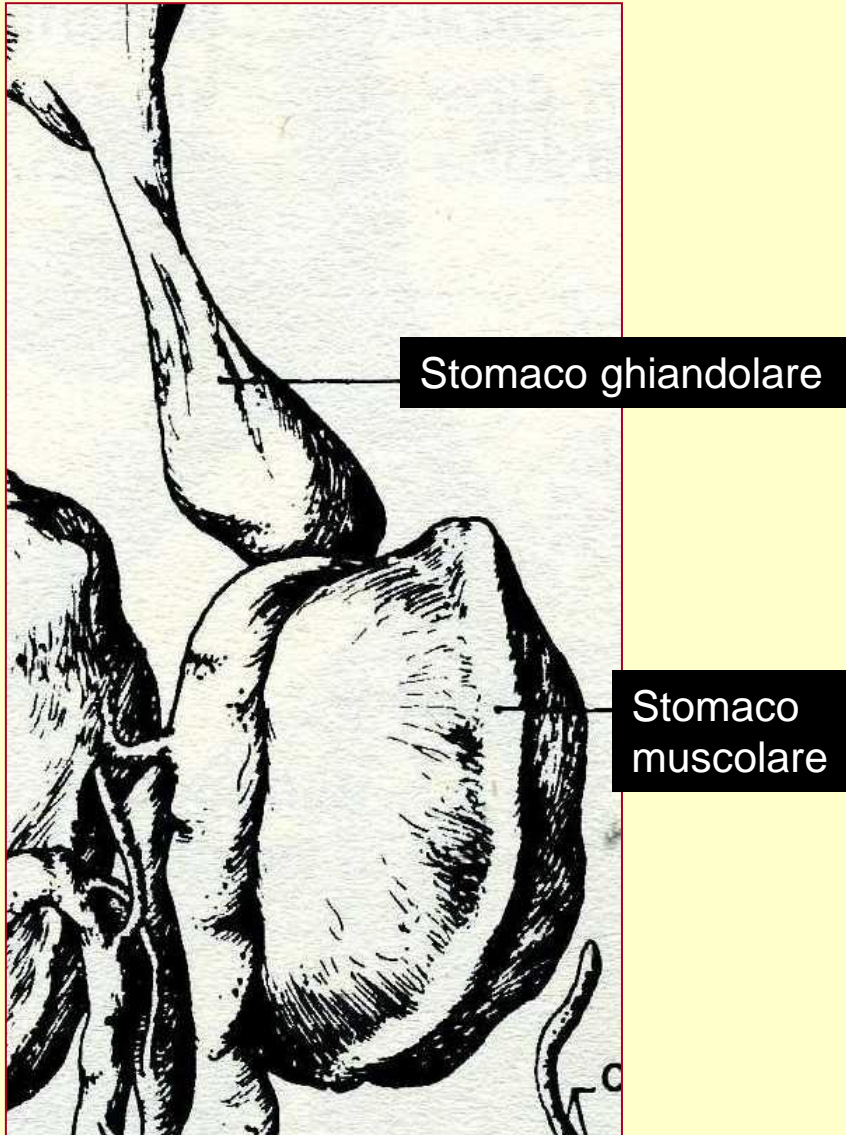
Acqua	67-82
Proteine	9-19
Grassi	7-14
Ceneri	1 - 2



- **STOMACO GHIANDOLARE** è provvisto di ghiandole acinose che producono succhi gastrici che si mescolano con il cibo

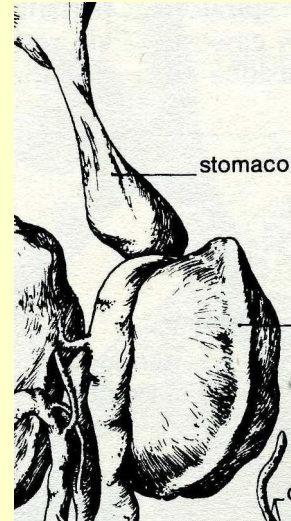
- **STOMACO MUSCOLARE** o **VENTRIGLIO** provvisto esternamente di notevoli masse muscolari lisce ed internamente di numerose pieghe cheratinizzate, provvede a tritare il cibo.

Nei Rapaci funge da serbatoio delle sostanze indigerite che vengono espulse sotto forma di **borre**



- **STOMACO GHIANDOLARE**

- **STOMACO MUSCOLARE** o **VENTRIGLIO** Assolve i compiti relativi alla masticazione. Nei Rapaci funge da serbatoio delle sostanze indigerite che vengono espulse sotto forma di borre



- **INTESTINO**

- **TENUE:** Duodeno
Ileo
Digiuno

- **CIECHI** Atrofici nei Rapaci. Unico nei colombi.

- **CRASSO:** Colon e Retto non sono distinti

- **CLOACA:** Coprodeo
Urodeo
Borsa di Fabrizio,
diverticolo ghiandolare, molto sviluppato nei giovani, che ha funzioni immunitarie

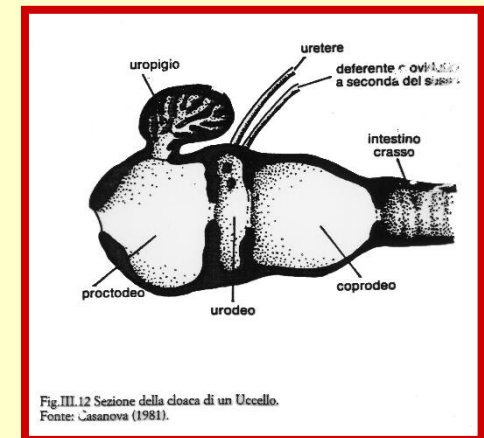


Fig. III.12 Sezione della cloaca di un Uccello.
Fonte: Casanova (1981).

GHIANDOLE ANNESSE ALL'APPARATO DIGERENTE

FEGATO

Trasforma gli zuccheri in glicogeno (carboidrato di riserva)
Secerne la bile che emulsiona i grassi.
Nei Colombiformi manca la cistifellea.

PANCREAS

Produce **insulina** (regolatore della glicemia)
Produce **succo pancreatico** con gli enzimi **amilasi**,
lipasi e **tripsina**

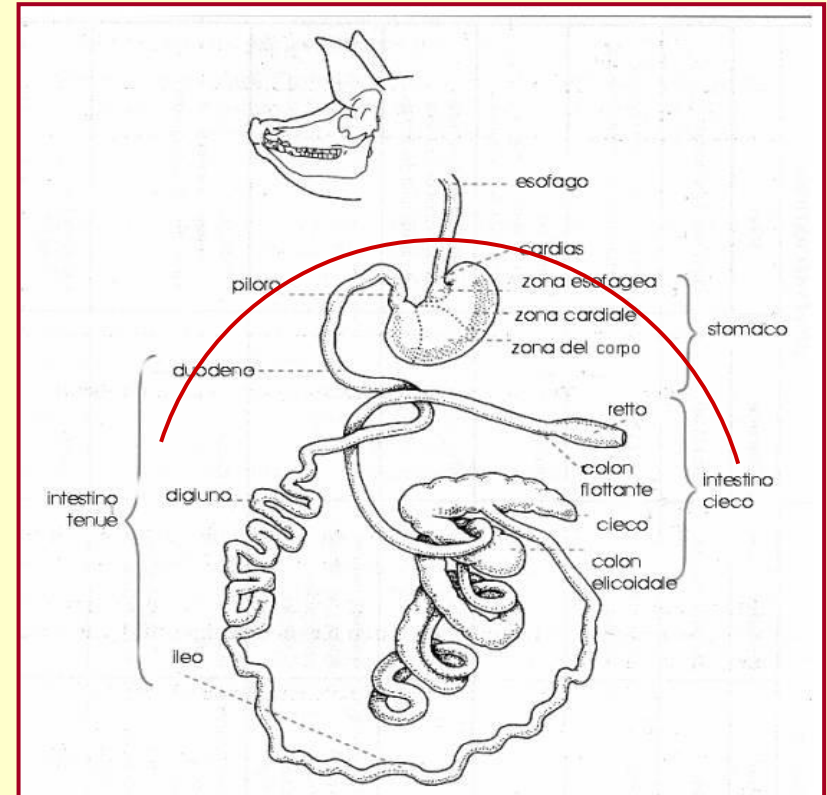
APPARATO DIGERENTE: MAMMIFERI

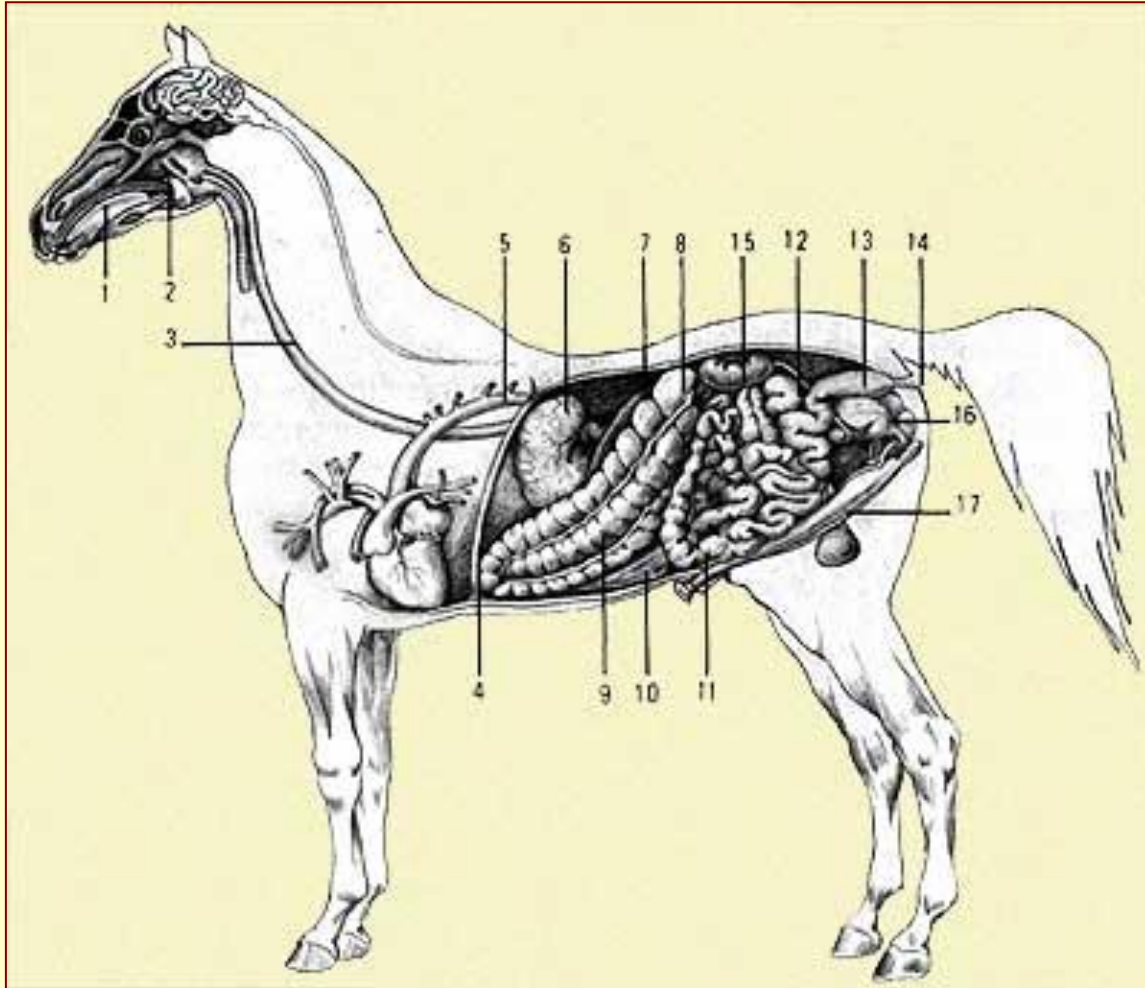
Il canale digerente è suddiviso dal muscolo diaframma in una parte prediaframmatica comprendente:

- **BOCCA**
- **FARINGE** o **RETROBOCCA**
- **ESOFAGO**

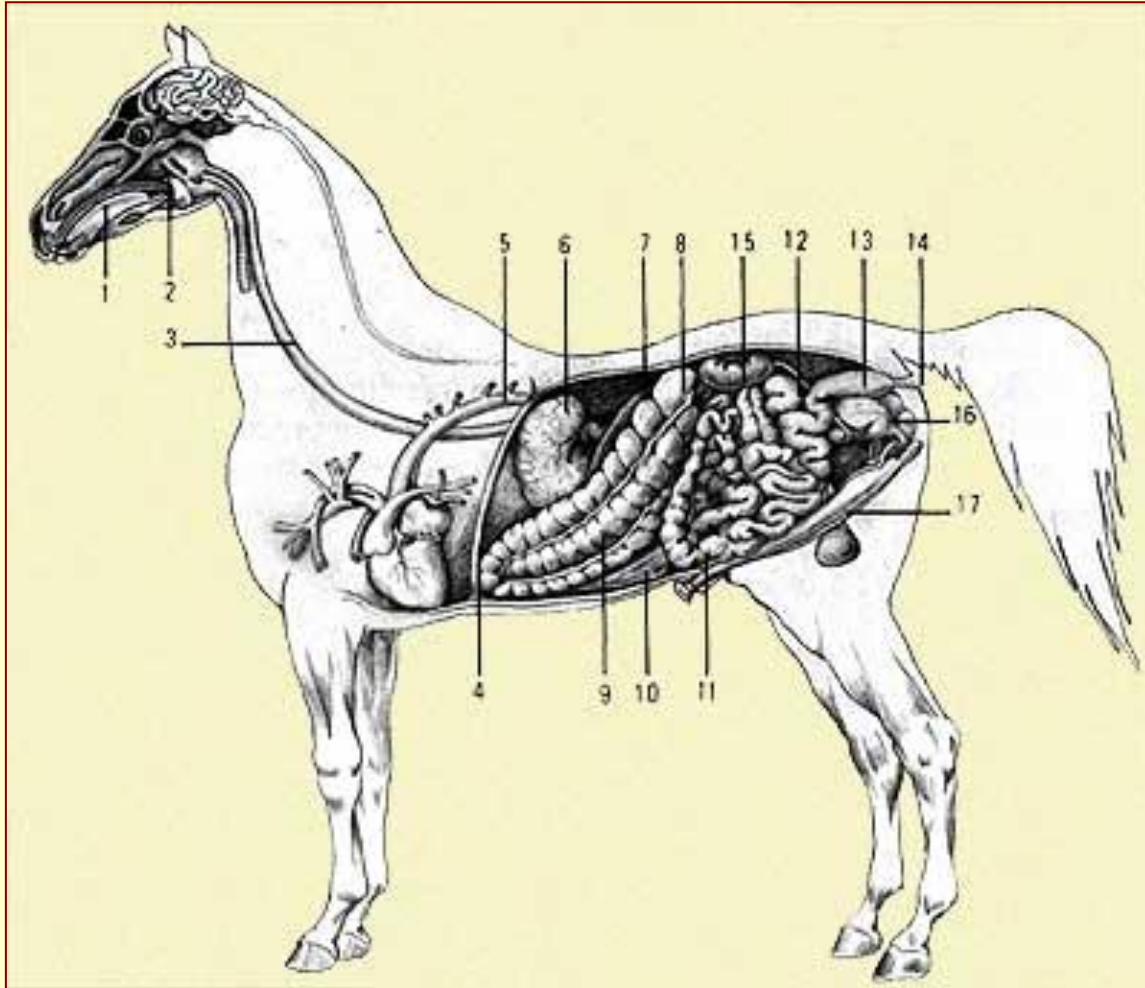
e in una addominale (retrodiaframmatica) che comprende:

- **STOMACO** O **STOMACI**
- **INTESTINO**





- 1 - Cavità boccale
- 2 - Faringe
- 3 - Esofago
- 4 - Diaframma
- 5 - Aorta
- 6 - Stomaco
- 7 - Milza
- 8 - Intestino colon
- 9 - Intestino colon
- 10 - Fegato
- 11 - Intestino tenue
- 12 - Intestino cieco
- 13 - Intestino retto
- 14 - Foro anale
- 15 - Rene
- 16 - Vescica
- 17 - Apparato genito urinario



- 1 - Cavità boccale
- 2 - Faringe
- 3 - Esofago
- 4 - Diaframma
- 5 - Aorta
- 6 - Stomaco
- 7 - Milza
- 8 - Intestino colon
- 9 - Intestino colon
- 10 - Fegato
- 11 - Intestino tenue
- 12 - Intestino cieco
- 13 - Intestino retto
- 14 - Foro anale
- 15 - Rene
- 16 - Vescica
- 17 - Apparato genito urinario

- **BOCCA**

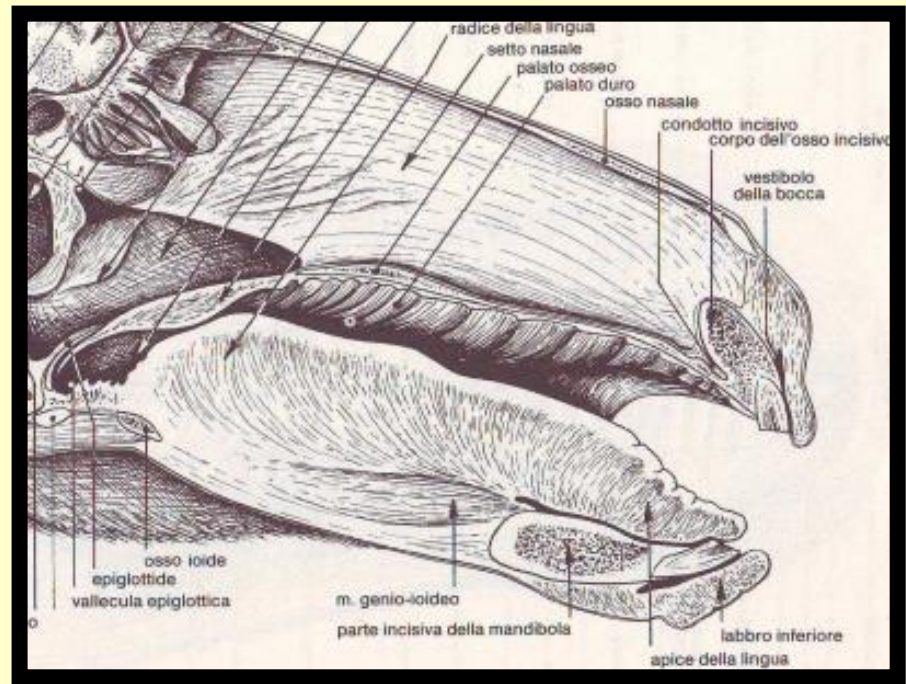
Permette la prensione, la masticazione, l'insalivazione, la deglutizione degli alimenti ed è la sede del gusto.

E' delimitata:

anteriormente dalle **labbra**

lateralmente dalle **guance**

dorsalmente dal **palato duro**



posteriormente dal **velo palatino** o **palato molle**

ventralmente dal **corpo della mandibola** e dal **pavimento del canale delle ganasce**

Labbra

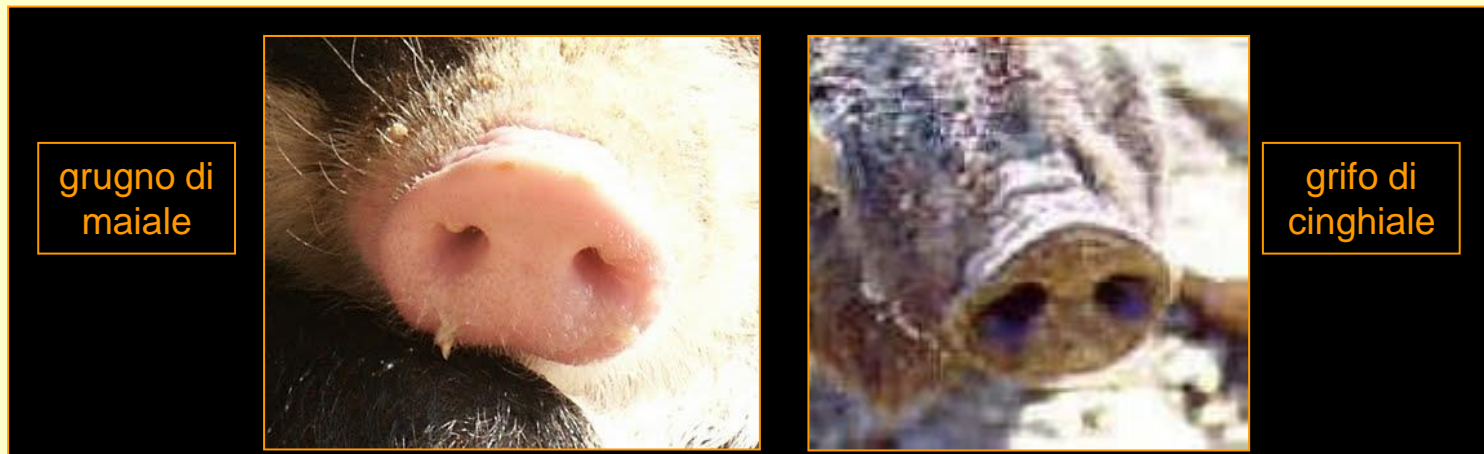
Pieghe muscolo-membranose che delimitano l'apertura o la rima boccale e sono unite alle estremità da **commessure**. Ciascun labbro ha una faccia esterna, pigmentata e rivestita da peli, ed una faccia interna (mucosa) rosea o pigmentata. La superficie esterna del labbro superiore continua dorsalmente senza una netta demarcazione con la regione nasale. Sono più sviluppate negli erbivori per coadiuvare il morso. Le labbra, molto mobili, fungono, per gli equini, gli ovini ed i caprini, da organo di prensione per introdurre l'alimento in cavità orale. Nei cavalli il labbro superiore è mobilissimo e più sviluppato dell'inferiore.



Nei bovini il labbro superiore costituisce insieme alle narici il **musello** regione glabra e umida ed assai poco mobile. L'inidoneità del labbro superiore alla prensione degli alimenti è sopperita dalla lingua.



Anche nei suini il labbro superiore costituisce una formazione unica con le narici, il **grugno**, anch'essa glabra, umida ed assai poco mobile. Per la ricerca e la prensione degli alimenti è utilizzato l'intero grugno



Guance

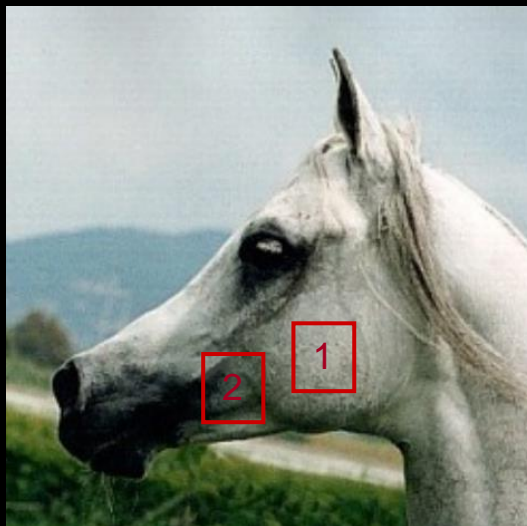
Occupano gran parte della faccia e in ognuna di esse si distinguono:

- piatto della guancia (**muscolo massetere**)
- tasca della guancia (**muscolo buccinatore**)

presentano

- una faccia esterna cutanea, che comprende uno strato muscolare che consente la masticazione (**muscolo massetere**) e di riportare il cibo tra le arcate dentarie (**muscolo buccinatore**),
- una faccia interna o vestibolare costituita da mucosa buccale che spesso forma delle pieghe in cui sboccano ghiandole salivari minori
- un margine superiore, inserito nell'osso mascellare
- un margine inferiore, inserito nell'osso mandibolare

1. Piatto della guancia
2. Tasca della guancia



1. muscolo massetere
2. Muscolo buccinatore

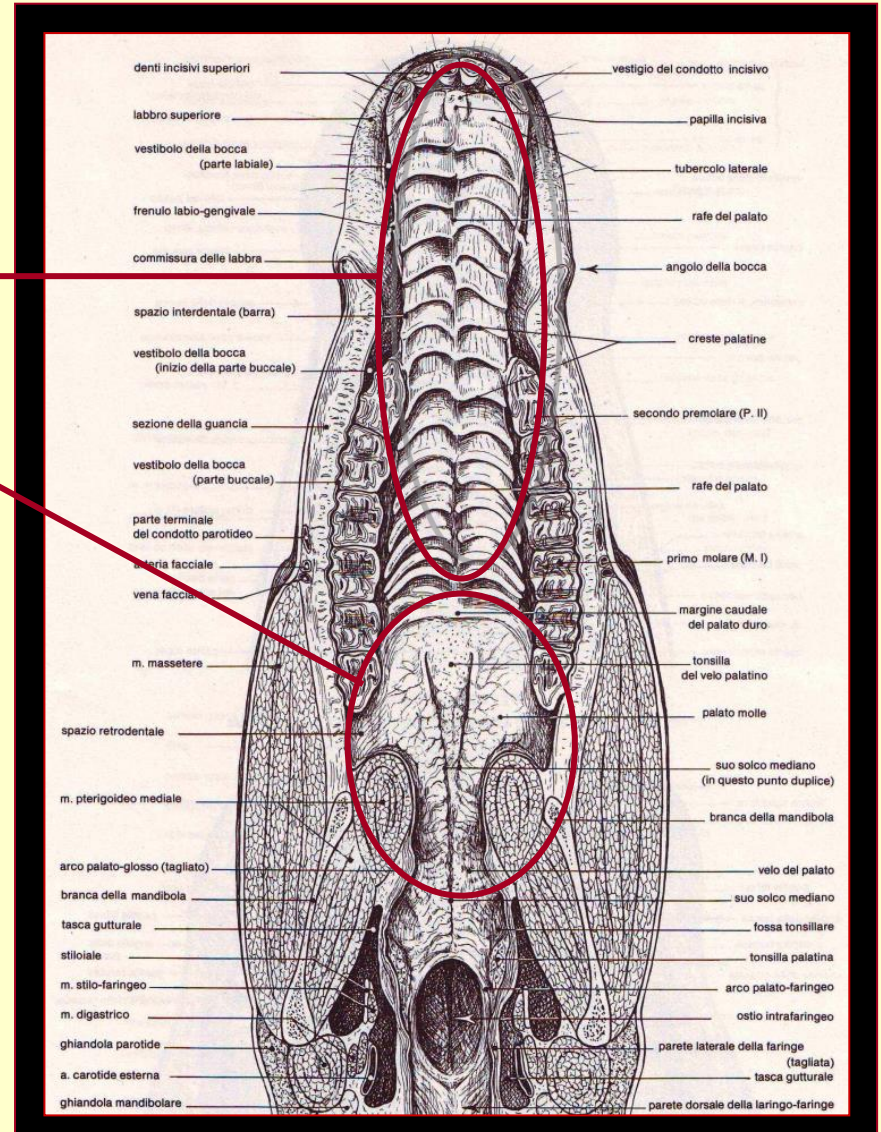
palato duro che ha per base ossea i processi palatini dell'incisivo, mascellare e palatino e continua lateralmente con le gengive e posteriormente col palato molle.

Palato duro

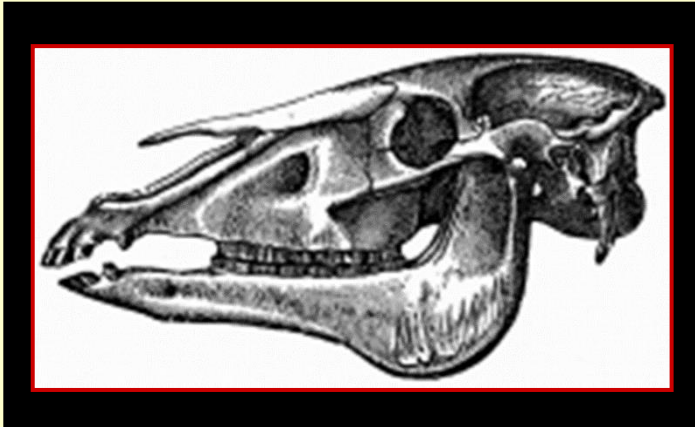
Palato molle

velo palatino o **palato molle**, struttura muscolo-membranosa mobile, importantissima nella deglutizione e nella respirazione. Presenta:

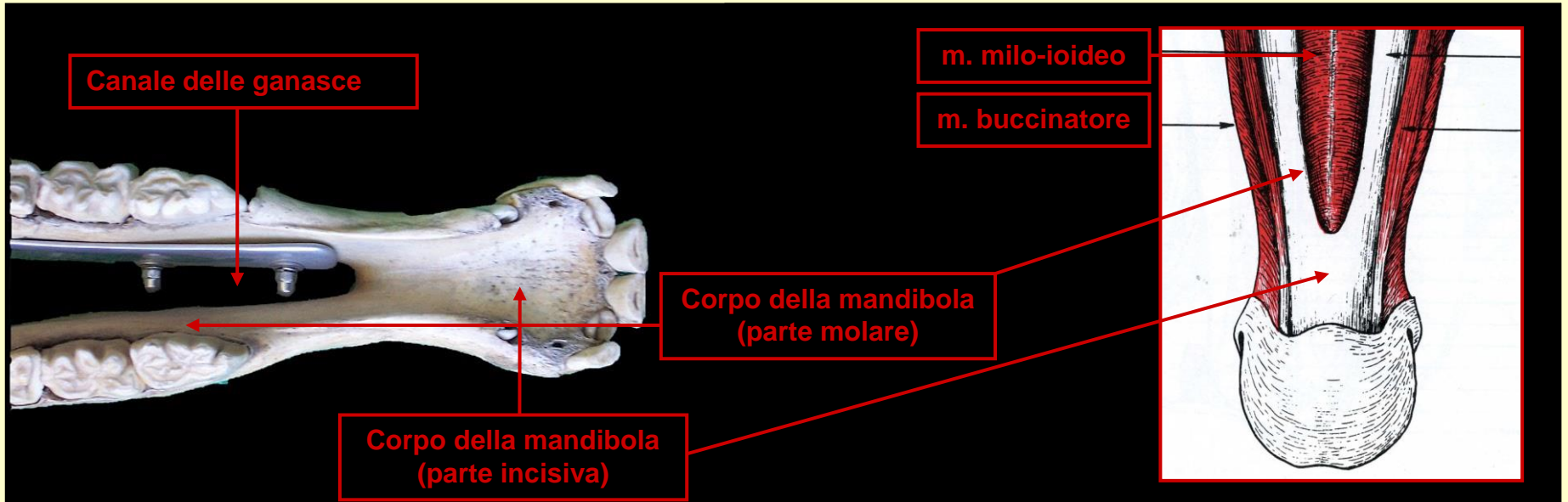
- faccia anteriore o orale, con mucosa di tipo buccale
- faccia posteriore o laringea, con mucosa di tipo respiratorio
- margine anteriore che continua con il palato duro
- margine posteriore, libero



Corpo della mandibola



Pavimento del canale delle ganasce



Il pavimento sottolinguale è delimitato dall'arcata dentale inferiore e ricoperto a riposo, dalla **lingua**, organo muscolare mobilissimo, appuntito, dotato di

- una base piramidale che si articola con l'apparato ioideo
- una parte libera che alloggia tra le branche della mandibola e si adagia sul pavimento

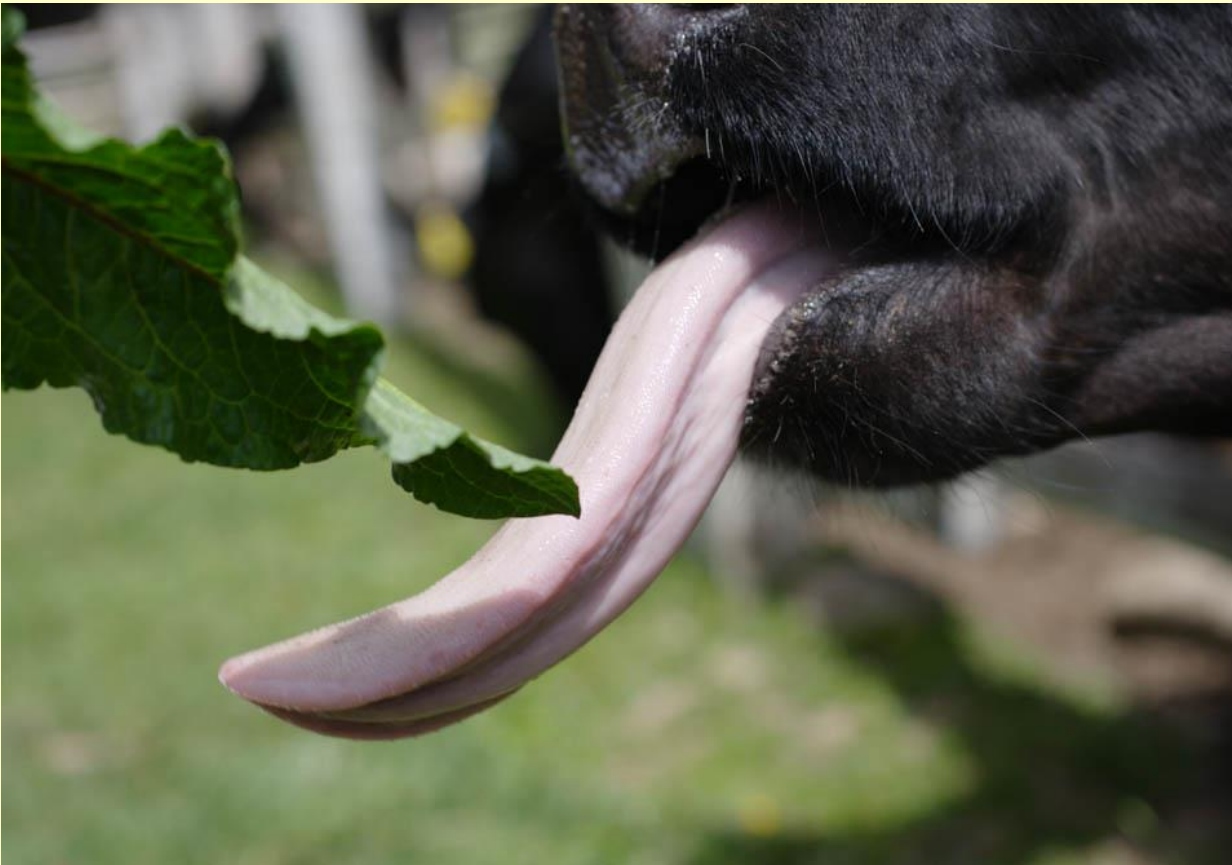
Apparato ioideo

Costituito da un'insieme di elementi ossei e cartilaginei, ancorati al neurocranio e sospesi tra le branche della mandibola per dare impianto alla lingua, alla faringe e alla laringe.

Si distingue un corpo e un sistema di sospensione, pari, composto dal cheratojale, dall'epijale, dallo stilojale e dal timpanojale.



La lingua è sostenuta nella cavità boccale dal prolungamento linguale dell'osso ioide e dai muscoli milo-ioidei, che formano parte del pavimento della bocca.

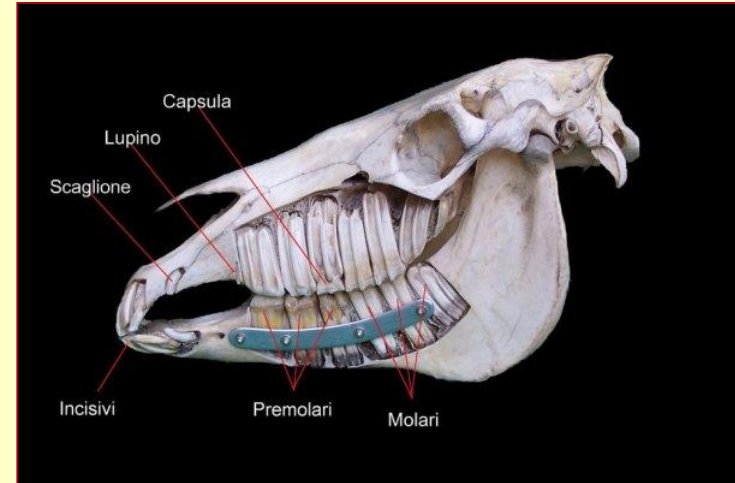


E' ricoperta da una mucosa con epitelio pavimentoso stratificato provvisto di papille in cui ha sede il senso del gusto.

Denti

Nella cavità boccale, infissi in alveoli del mascellare e della mandibola si trovano i **denti** diversi nella forma e nel numero a seconda del regime alimentare della specie.

Sono organi della prensione (in alcune specie) e della masticazione degli alimenti, spesso con funzione di difesa e attacco.

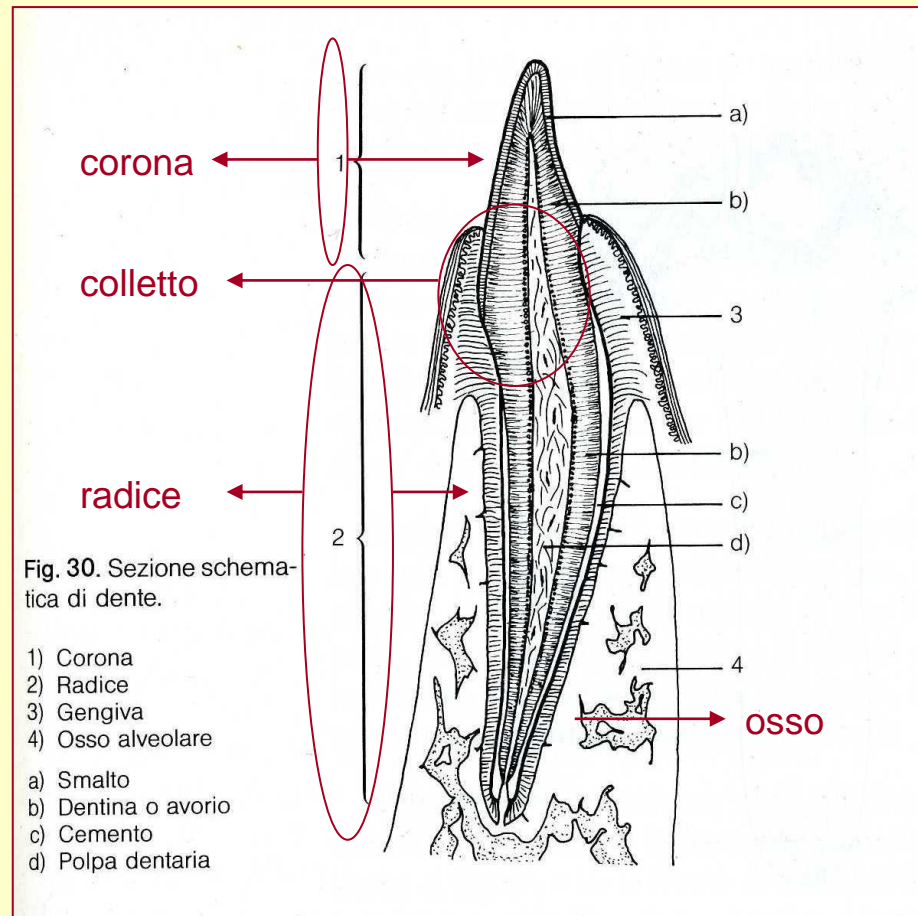


Possono essere a crescita definitiva, oppure a crescita continua (roditori, lagomorfi, ma anche zanne dei suidi)



Nei denti con crescita definitiva si riconoscono:

- **corona**, parte libera
- **radice**, parte infissa nell'alveolo
- **colletto**, strozzatura intermedia su cui si appoggia la mucosa gengivale

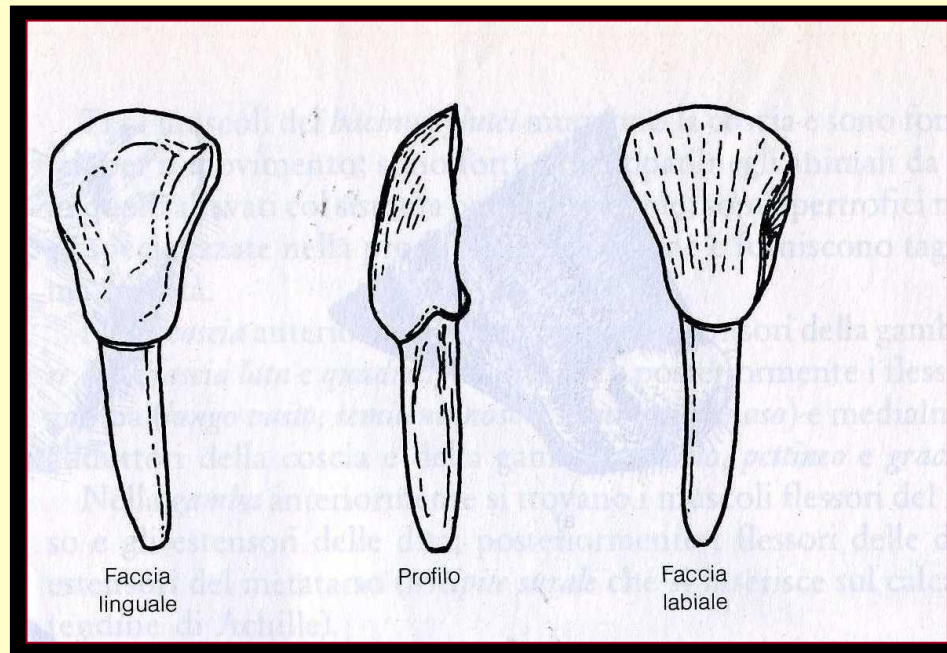


La **corona** presenta:

Faccia labiale o **vestibolare** o **boccale**, a contatto con le labbra;

Faccia linguale, a contatto con la lingua;

Margine o **faccia masticatoria d'occlusione**, superficie di contatto tra i denti omologhi delle due arcate



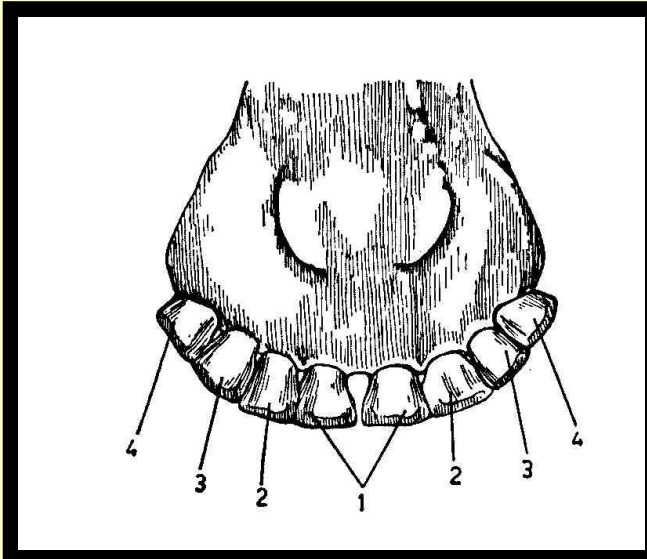
Incisivi di bovino

La **forma della corona può essere:**

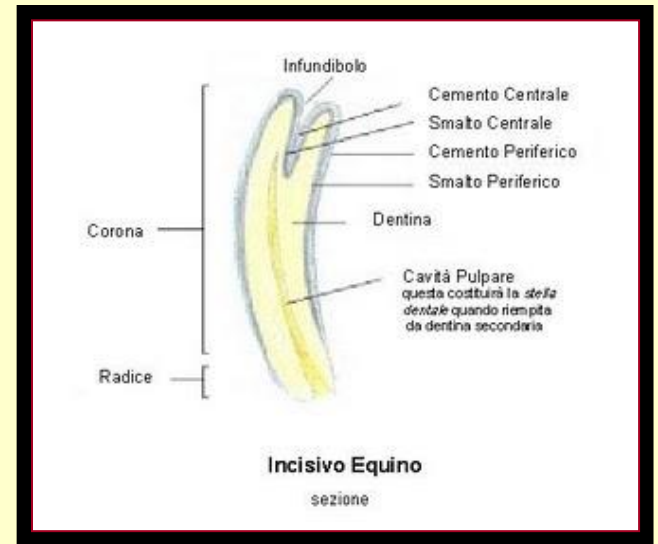
A **spatola** o **scalpello**, come negli incisivi

Conica semplice, come nei canini dei mammiferi domestici

Cuspidata a più punte (cuspidi), come nei premolari e molari



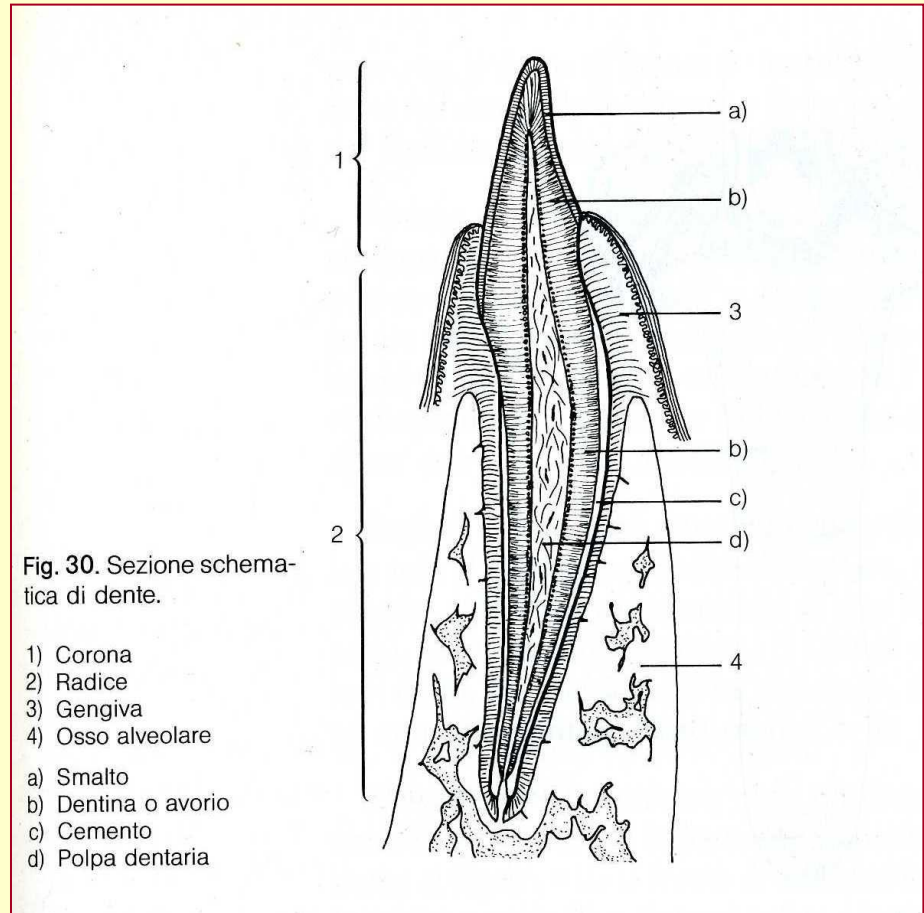
La corona può essere **a smalto ripiegato**, quando, come nei molari e premolari di cavallo e ruminanti (ad eccezione del 1° premolare) ed incisivi del cavallo, lo smalto si ripiega su sé stesso



Il loro numero e la loro forma sono caratteristici per ogni specie

Provvisi, all'interno, di **polpa dentaria**, tessuto molle, ricco di nervi e vasi sanguigni, sono costituiti da **dentina** (o **avorio**) rivestita da:

- **smalto**, a livello della corona
- **cemento**, a livello della radice



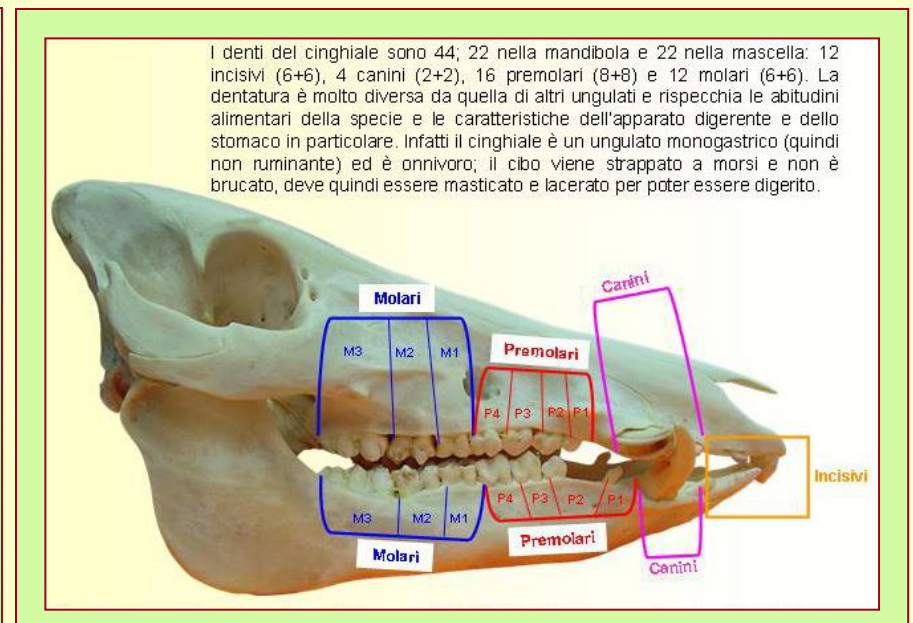
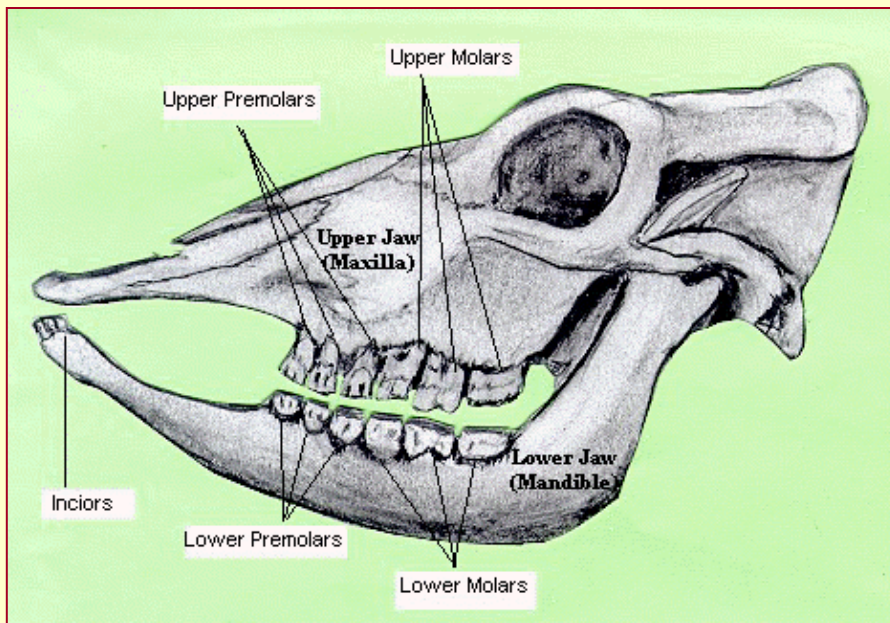
A seconda della forma e della posizione i denti si distinguono in:

Incisivi
Canini o **zanne**

con radice unica

Premolari
Molari

con radice multipla



Incisivi dalla forma a spatola o scalpello, servono per tagliare il cibo



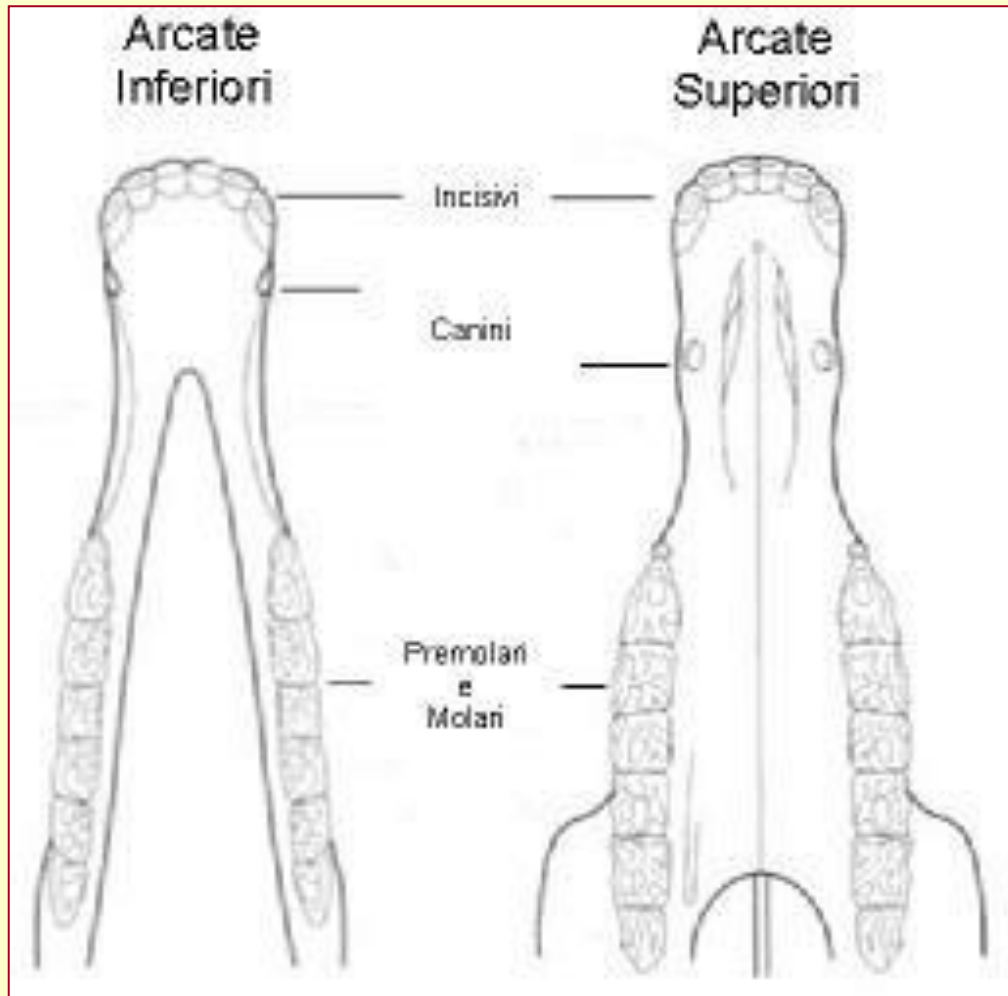
Incisivi di bovino (da latte e permanenti)

Canini, molto sviluppati nei carnivori, hanno forma conica, servono per strappare e lacerare il cibo.

Nel cinghiale, soprattutto nei maschi, hanno dimensioni notevoli ed hanno la duplice funzione di strumenti da lavoro, facilitando l'attività di scavo nel terreno, e di strumenti di difesa od offesa, per difendersi dai predatori o per competere con gli altri esemplari durante il periodo degli amori.

In questa specie i canini quelli inferiori (zanne o difese) sono più sviluppati di quelli superiori (coti).

Premolari e **Molari** hanno la corona, rugosa dorsalmente, a forma grosso modo di parallelepipedo e servono per tritare il cibo



Arcate dentarie del cavallo

Esistono due successive dentizioni: la prima, da latte, è sostituita, dopo un certo tempo, da quella permanente, con un numero maggiore di denti di dimensioni maggiori

La formula dentaria indica i denti presenti in ciascuna emiarcata:

Formule dentarie di alcune specie

Specie	1 ^a dentizione	2 ^a dentizione
Bovino	$I \frac{0}{8}; P \frac{6}{6} = 20$	$I \frac{0}{8}; P \frac{6}{6}; M \frac{6}{6} = 32$
Cavallo	$I \frac{6}{6}; P \frac{8}{6} (\frac{6}{6}) = 26 (24)$	$\text{♂ } I \frac{6}{6}; C \frac{2}{2}; P \frac{6}{6} (\frac{8}{6}); M \frac{6}{6} = 40 (42)$ $\text{♀ } I \frac{6}{6}; C \frac{0}{0}; P \frac{6}{6} (\frac{8}{6}); M \frac{6}{6} = 36 (38)$
Suino	$I \frac{6}{6}; C \frac{2}{2}; P \frac{6}{6} = 28$	$I \frac{6}{6}; C \frac{2}{2}; P \frac{8}{8}; M \frac{6}{6} = 44$

I= incisivi, C= canini, P= premolari, M= molari

Nel cavallo gli incisivi sono 12 (6 nell'arcata superiore e 6 in quella inferiore).

Negli spazi fra gli incisivi ed i primi premolari (barre) si trovano i canini (scaglioni), che spesso mancano nelle femmine.

A volte, a ridosso dei primi molari superiori, sono presenti altri 2 premolari (1 per lato) detti "denti di lupo" che non vengono mai cambiati.

I premolari, di solito, sono 3 per lato, sia sulle arcate inferiori che sulle superiori, ed altrettanti sono i molari.

Complessivamente, la dentatura del cavallo può quindi essere composta da 12 incisivi, 4 canini, 2 denti di lupo, 12 premolari e 12 molari:

Le **femmine**, che in genere non hanno i canini e i denti di lupo, **hanno normalmente 36 denti**

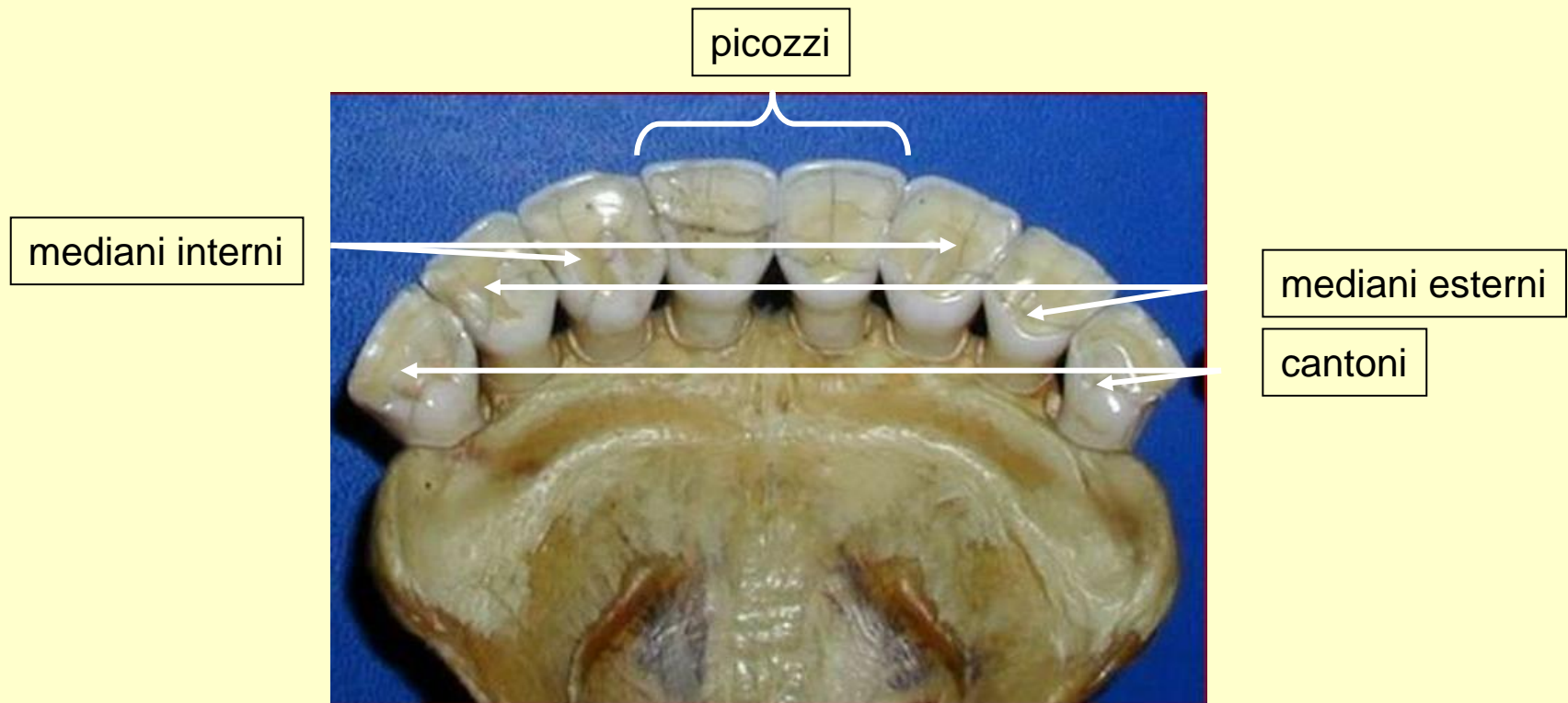
I **maschi**, che spesso hanno tutti e 4 i canini e talvolta i denti di lupo, **hanno generalmente 40/42 denti**

Anche il numero dei denti da latte può essere variabile con i due lupini superiori che possono essere presenti o meno (8 o 6).

Ruminanti

mancono gli incisivi superiori che sono sostituiti da un **cercine fibro-cartilagineo**

Gli **otto incisivi inferiori** si distinguono, a coppie, in:

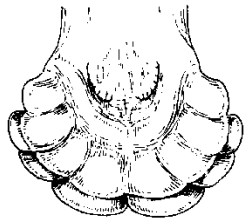


Suini e cavalli, con incisivi anche nell'arcata superiore, hanno 2 picozzi, due mediani, due cantoni

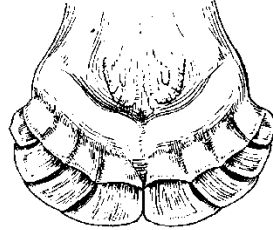
I canini sono presenti solo nel cavallo maschio.

Tra incisivi (o canini) e premolari esiste una zona priva di denti detta spazio interdentale o barra

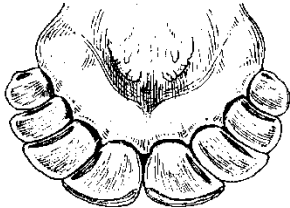
L'esame della tavola dentaria è utile per assegnare un animale ad una classe di età



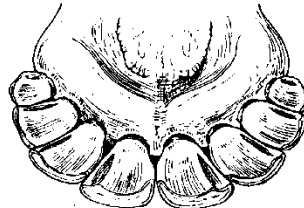
VITELLO NEONATO
Eruzione dei cantoni un po' tardiva



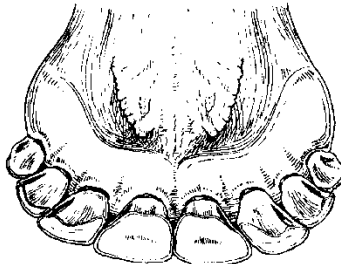
TRE SETTIMANE
Notare la retrazione delle gengive



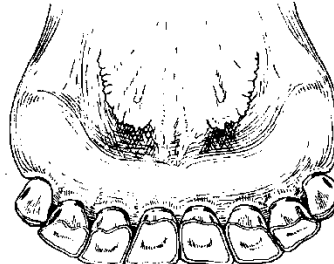
TRE MESI
Inizio dell'usura dei picozzi



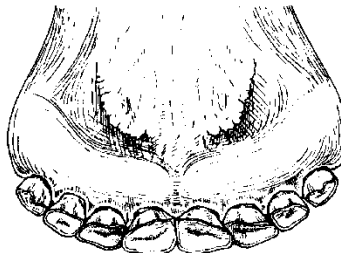
SEI MESI
Inizio dell'usura dei cantoni



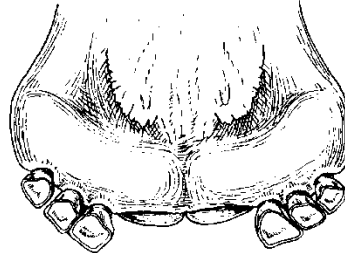
DODICI MESI
Livellamento dei picozzi



QUINDICI MESI
Livellamento dei primi mediani

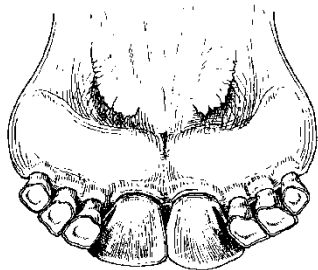


DICIOTTO MESI
Livellamento dei secondi mediani

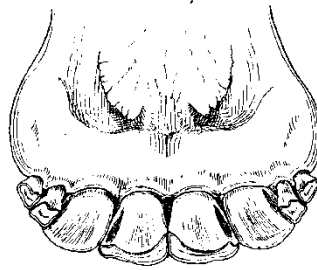


DUE ANNI
Caduta dei picozzi di latte

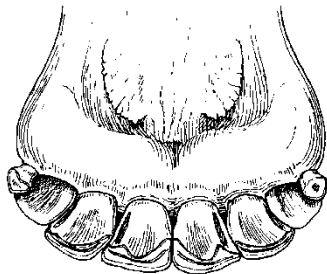
Eruzione ed evoluzione dei denti da latte nella specie bovina



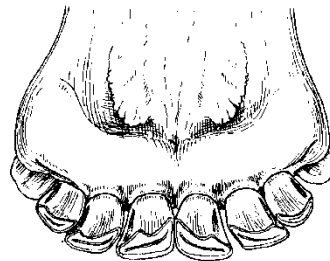
VENTICINQUE MESI
I picozzi pareggiano



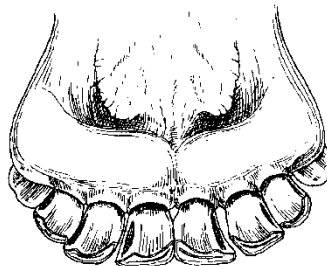
TRENTA MESI
Eruzione dei primi mediani



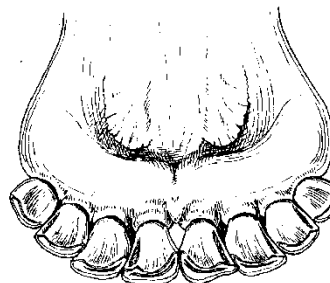
QUARANTADUE MESI
Eruzione dei secondi mediani



CINQUANTADUE MESI (RAZZA TARDIVA)
I picozzi sono già fortemente consumati, quando i cantoni erompono



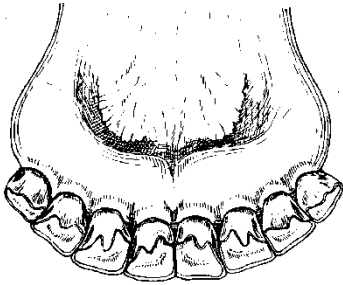
QUARANTAQUATTRO MESI (RAZZA PRECOCE)
I picozzi sono poco consumati quando i cantoni fanno eruzione



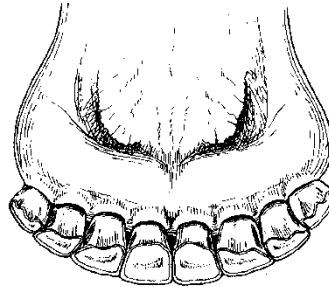
CINQUE ANNI (RAZZA PRECOCE)

Eruzione ed inizio del consumo degli incisivi nella specie bovina

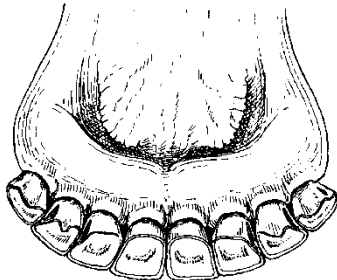
Evoluzione degli incisivi nella specie bovina



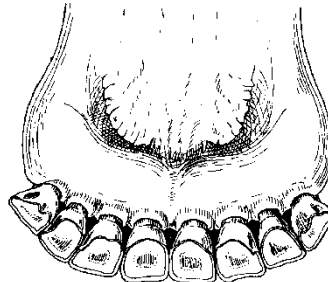
SEI ANNI
Cantoni agguagliati. Picozzi fortemente consumati, ma non livellati



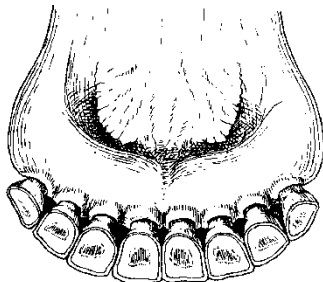
SETTE ANNI
Livellamento dei picozzi



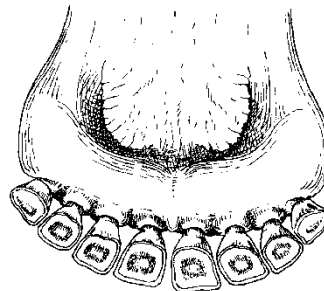
OTTO ANNI
Livellamento dei primi mediani



NOVE ANNI
Livellamento dei secondi mediani



DIECI ANNI
Livellamento dei cantoni



UNDICI ANNI
Distanziamento dei denti

Nel **Capriolo (*Capreolus capreolus* L., 1758)** la dentatura decidua si compone di 20 denti

I	0-0	C	0-0	PM	3-3
	3-3		1-1		3-3

la **mandibola** presenta 6 incisivi, 2 canini (attaccati agli incisivi e chiamati anche "falsi incisivi") e 6 premolari. Caratteristico è il terzo premolare con 3 creste.

Intorno ai **10-11 mesi di età** si osserva l'avvenuta sostituzione di tutti gli incisivi. I premolari sono in via di sostituzione ma i terzi presentano ancora 3 creste. Sono presenti due molari definitivi.

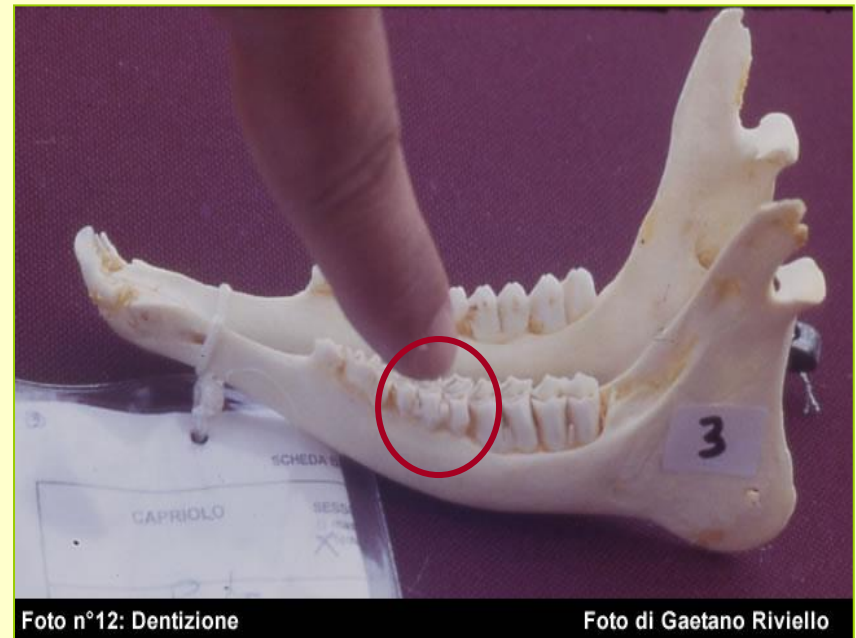
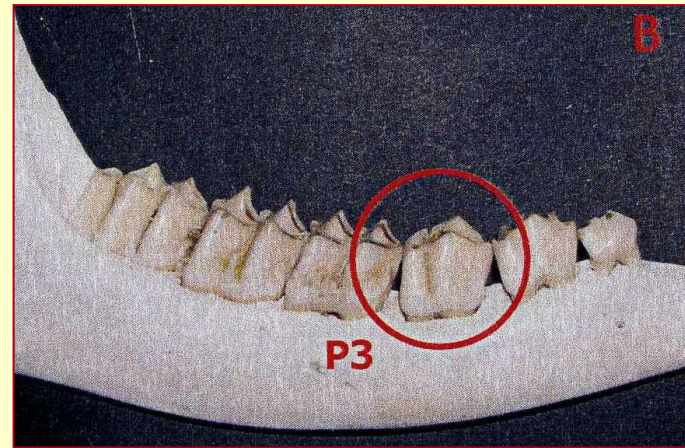
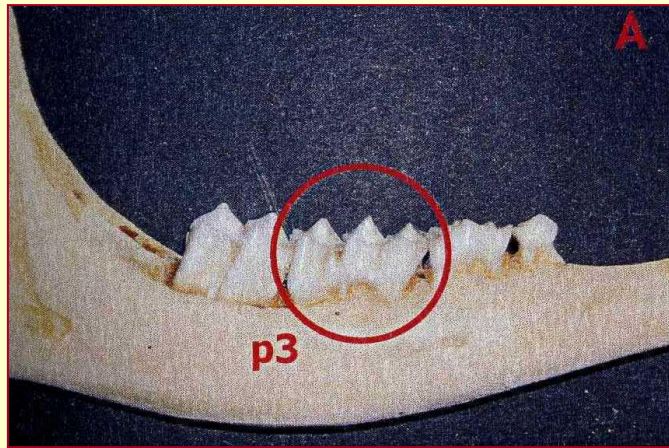


Foto n°12: Dentizione

Foto di Gaetano Riviello

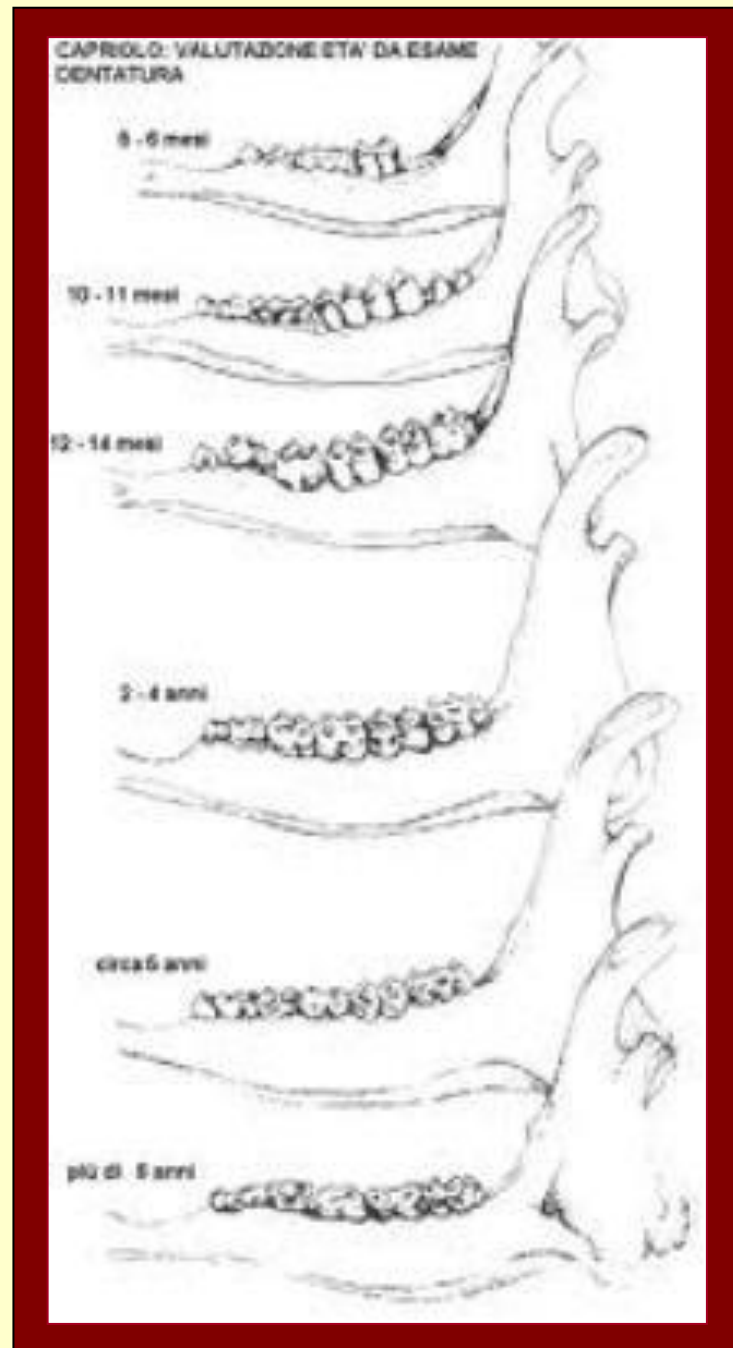
Il superamento dell'anno di età è indicato dalla sostituzione del terzo premolare, che dalla forma tricuspide (p3) assume quella bicuspid (P3), e dalla eruzione del terzo molare



La **formula dentaria definitiva** è la seguente:

I	0-0	C	0-0	PM	3-3	M	3-3
	3-3		1-1		3-3		3-3

Evoluzione della tavola dentaria del capriolo (*Capreolus capreolus* L., 1758)



Nel **Cervo (*Cervus elaphus* L., 1758)** la dentatura decidua si compone di 22 denti

I	0-0	C	1-1	PM	3-3
	3-3		1-1		3-3

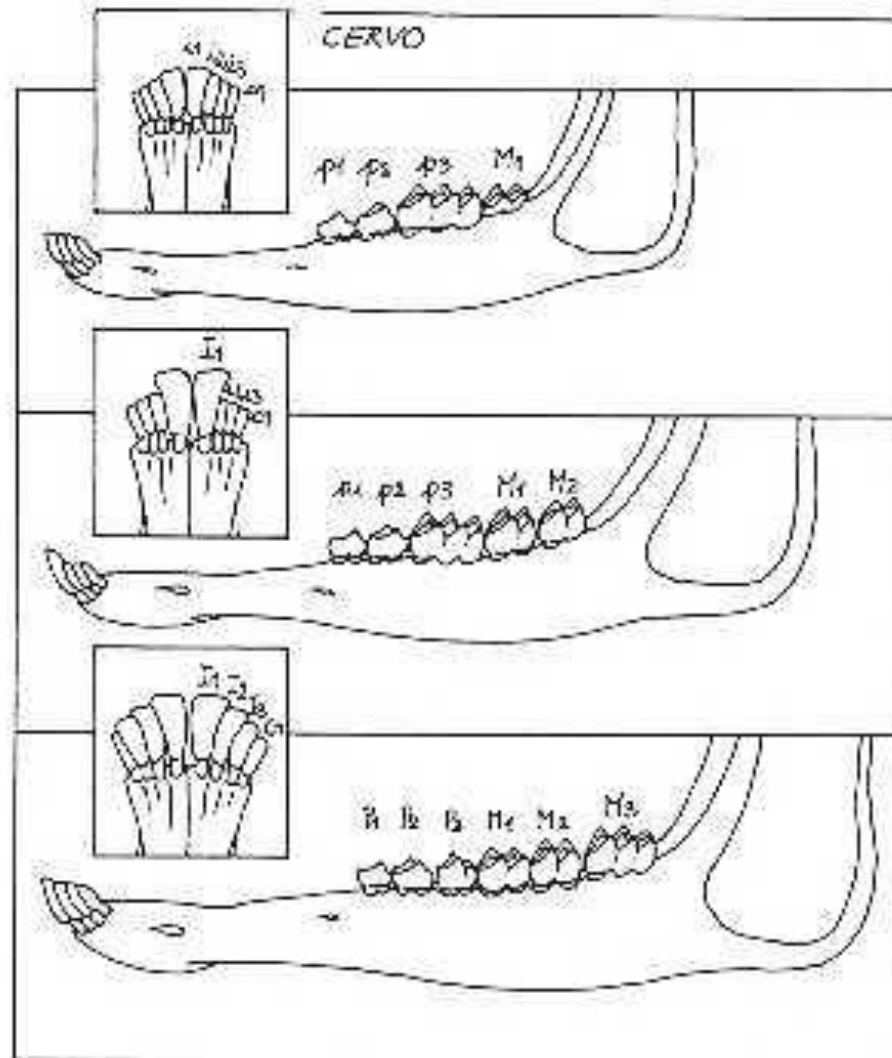
la **mandibola** presenta 6 incisivi, 2 canini (attaccati agli incisivi e chiamati anche "falsi incisivi") e 6 premolari. Caratteristico è il terzo premolare con 3 creste.

Ad **un anno di età (fusone o cervo)** si osserva l'avvenuta sostituzione dei primi incisivi e, talvolta, la crescita dei secondi. Appaiono inoltre, in ogni emiarcata, due molari definitivi. Il terzo premolare ha sempre tre creste.

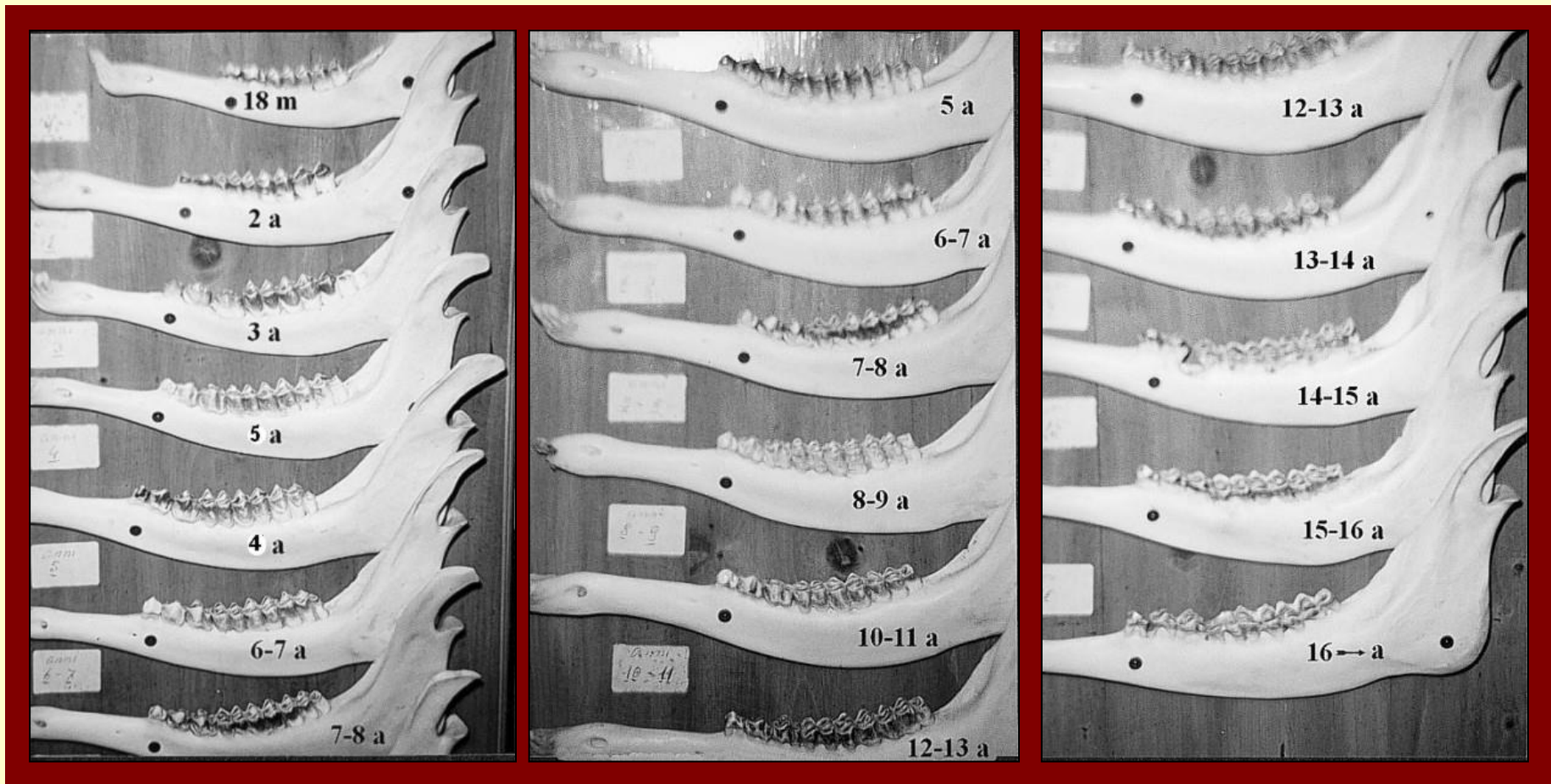
Nel **cervo adulto** (maggiore di due anni) sono stati sostituiti tutti gli incisivi e i premolari, con i terzi che presentano solo due creste, e sono presenti i molari definitivi.

La **formula dentaria definitiva** è la seguente:

I	0-0	C	1-1	PM	3-3	M	3-3
	3-3		1-1		3-3		3-3



Cronologia della dentizione del cervo (*Cervus elaphus* L., 1758)



Evoluzione dei denti di cervo

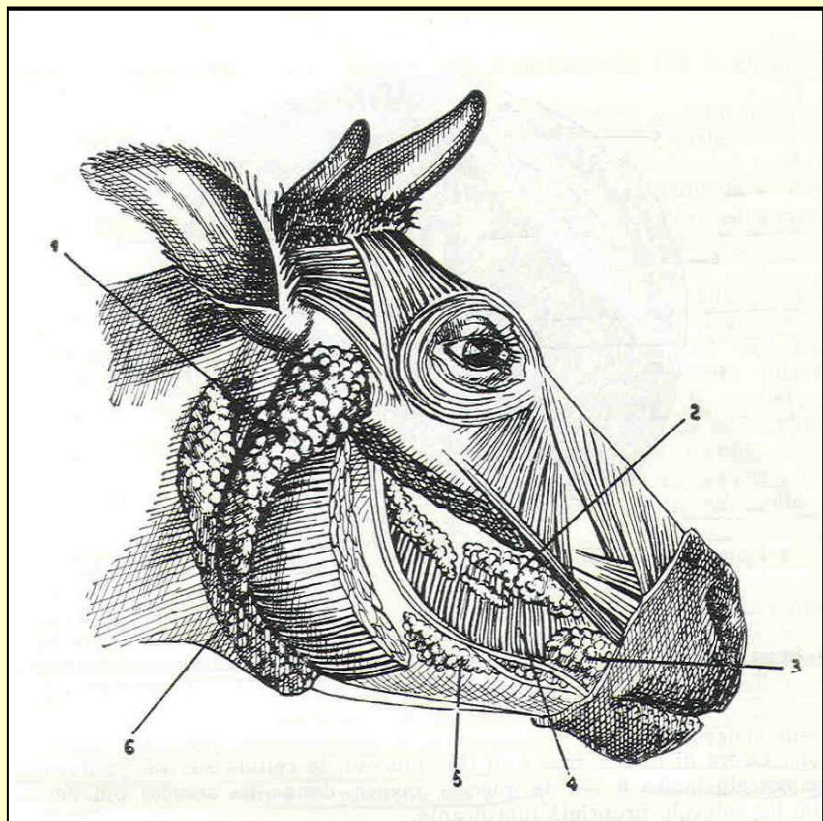
Nella bocca versano il loro secreto numerose piccole ghiandole e
3 ghiandole extraparietali pari (**g. salivari**): **parotide**

sottomascellare

sottolinguale

Saliva:

- interviene nei processi digestivi e rende il cibo adatto alla deglutizione.
- Nel suino e nel coniglio contiene anche ptialina, enzima digestivo delle sostanze amilacee
- Nel bovino ha $\text{pH}=8,2$ e svolge azione tampone, neutralizzando il pH acido del ruminante

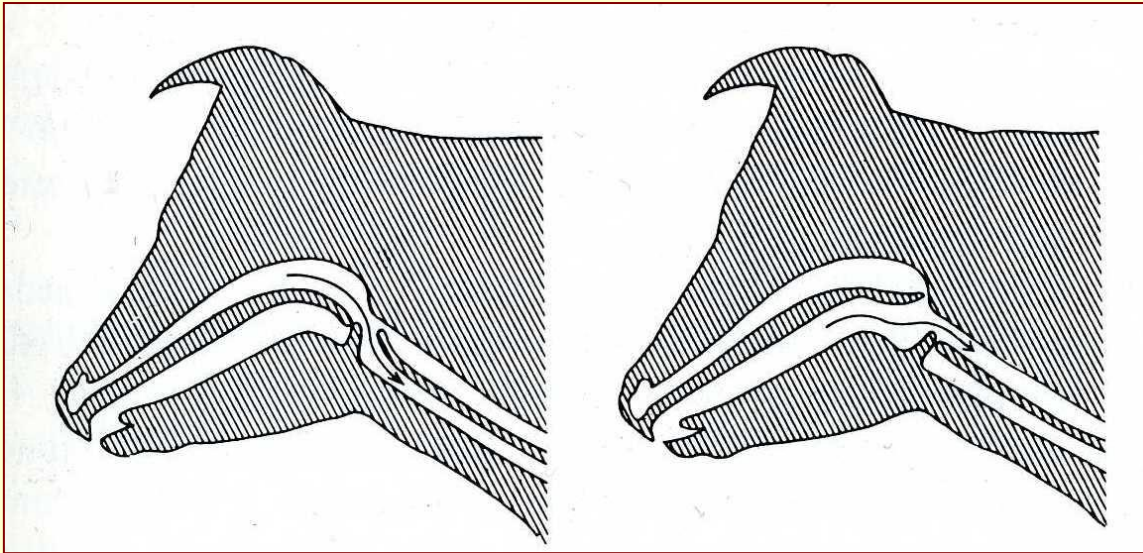


Faringe

Di forma vagamente tronco-conica e di struttura muscolo-connettivale è posta in posizione mediana sotto la base cranica.

È comune all'apparato respiratorio e a quello digerente.

Il passaggio di particelle di cibo in trachea è evitato col sollevamento del palato molle e dalla chiusura dell'adito della laringe ad opera dell'epiglottide.



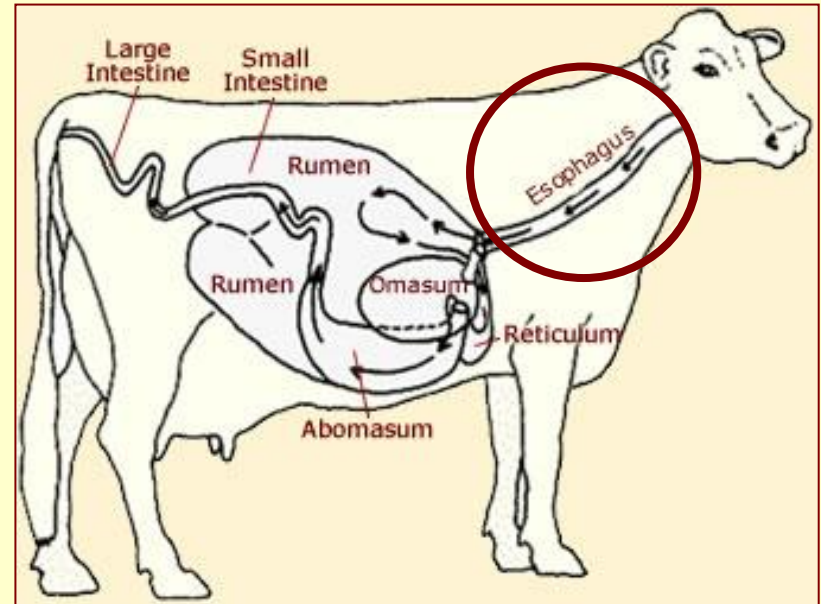
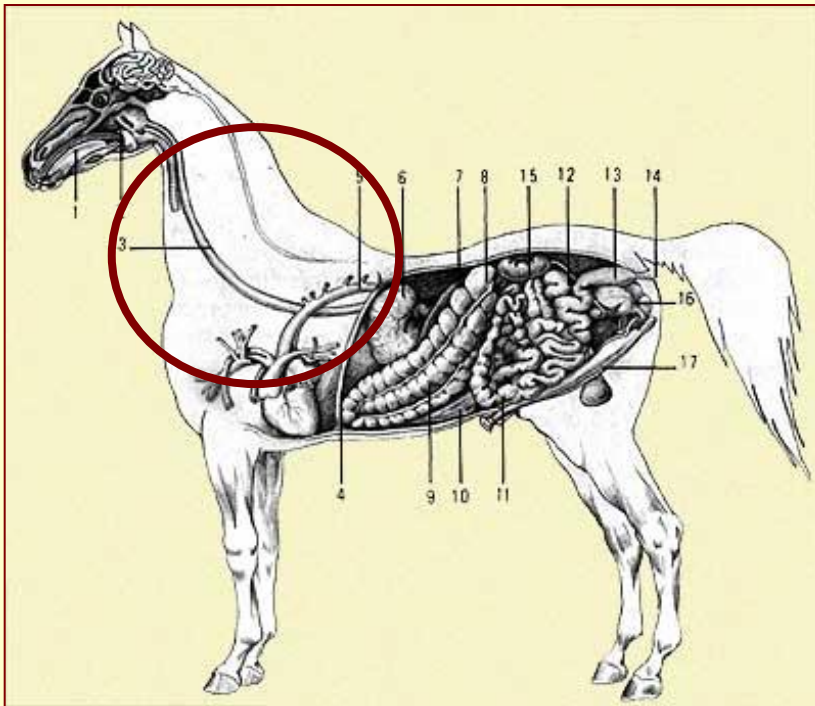
La mucosa è di tipo

respiratorio nel rinofaringe
pavimentoso stratificato
nell'orofaringe e nella
laringofaringe.

tonsille del palato molle, palatine, faringee paraepiglottidee, tonsilla tubale
(formazioni linfatiche) svolgono funzione difensiva con risposte anticorpali

Esofago

È un tubo muscolo-connettivale a lume virtuale che collega la faringe allo stomaco, attraversa la regione del collo, la cavità toracica e per un breve tratto quella addominale. Termina nello stomaco con una sfintere chiamato **cardias**



Stomaco

E' un organo muscolo-ghiandolare a forma di C ruotata interposto tra l'esofago ed il piccolo intestino. E' situato nell'addome craniale appena caudalmente al fegato.

Lo stomaco è suddiviso in cinque regioni anatomiche: **cardias**, **fondo**, **corpo**, **antro** e **piloro**.



Capacità:

varia in base alla specie, alla razza e all'età

Cavallo: 15-18 l

Cane: 0,5-8 l

Dall'esterno verso interno si riconoscono:

tunica sierosa (*tunica serosa*)

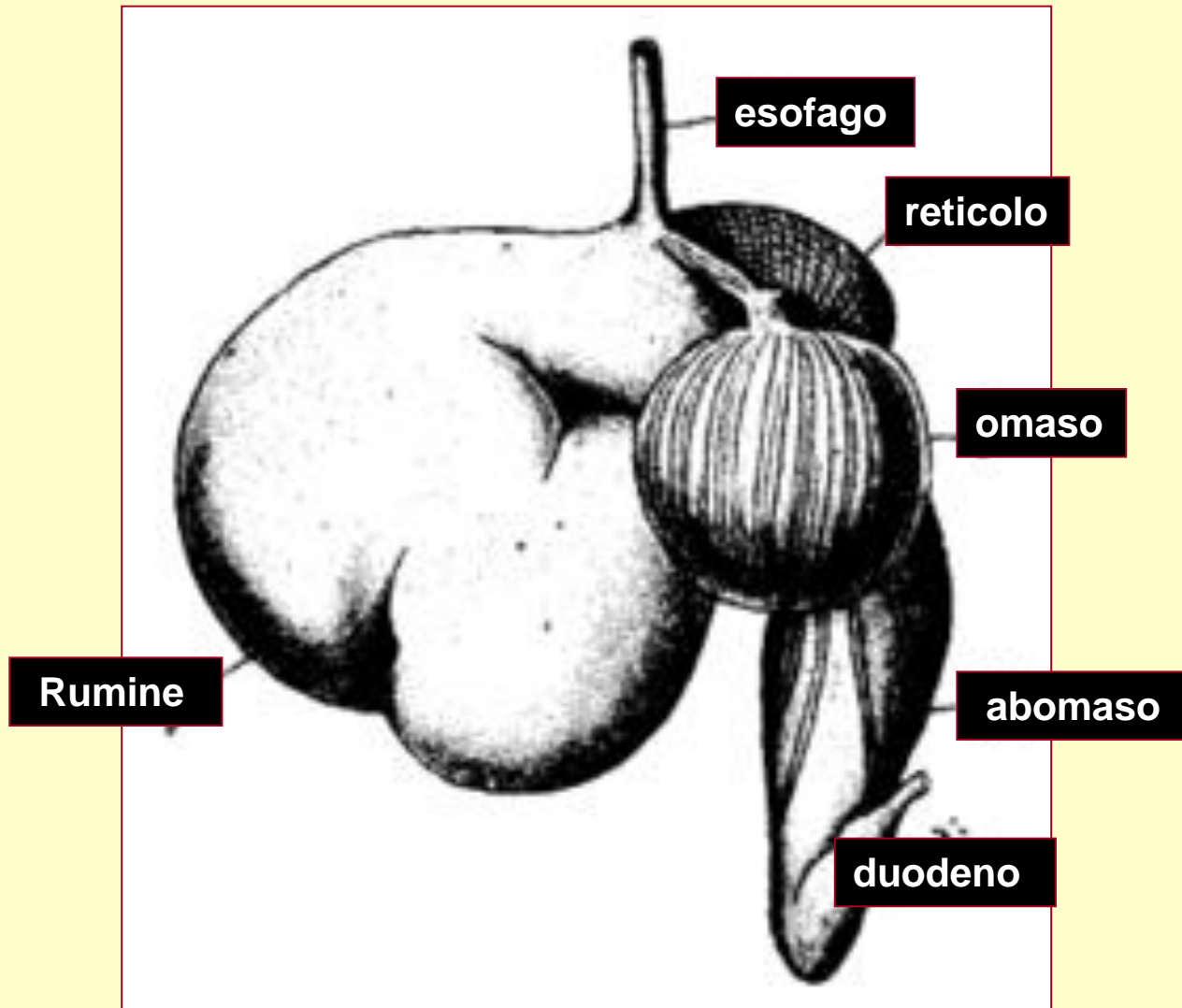
tunica muscolare (*tunica muscularis*)

tunica sottomucosa (*tela submucosa*)

mucosa gastrica (*tunica mucosa*) è costituita da uno spesso epitelio che a stomaco vuoto si dispone in caratteristiche pliche longitudinali. Nello spessore della mucosa si trovano le **ghiandole gastriche**.

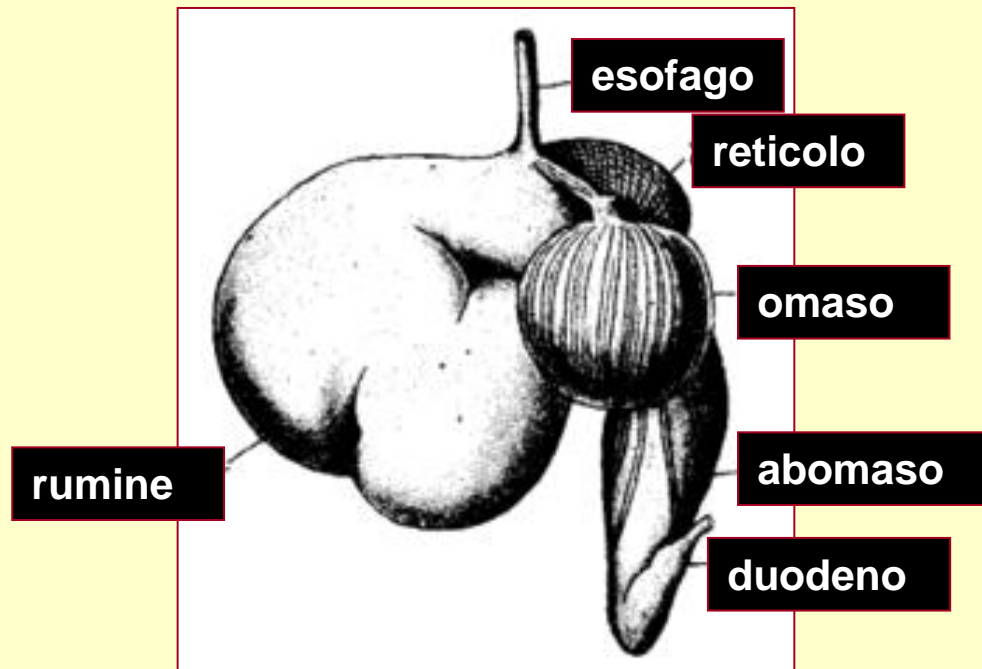
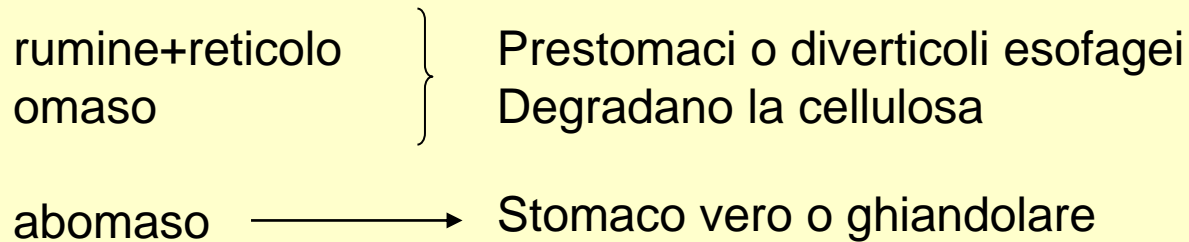
Le ghiandole parietali dello stomaco producono acido cloridrico e pepsina principalmente mediante tre stimoli locali, la gastrina, l'acetilcolina e l'istamina. Lo stomaco è in grado di resistere ai pericolosi effetti dell'acido cloridrico della pepsina e delle particelle abrasive intraluminali grazie ad una serie di meccanismi difensivi chiamati genericamente barriera mucosa gastrica. Questo complesso sistema protettivo si basa essenzialmente sulla secrezione del muco gastrico, sulla secrezione del bicarbonato sul rapidissimo turnover delle cellule epiteliali e sulla sintesi di prostaglandine protettive come le PGE₂, PGF₂ e prostaciclina. Queste prostaglandine hanno effetto citoprotettivo stimolando la secrezione mucosa e di bicarbonato e modulando l'afflusso sanguigno alla mucosa gastrica.

Complesso stomacale (Ruminanti)



Nei ruminanti o poligastrici è formato da tre (camelidi) o quattro (bovini, ovini, caprini) organi distinti.

In questi ultimi il complesso stomacale è formato da:

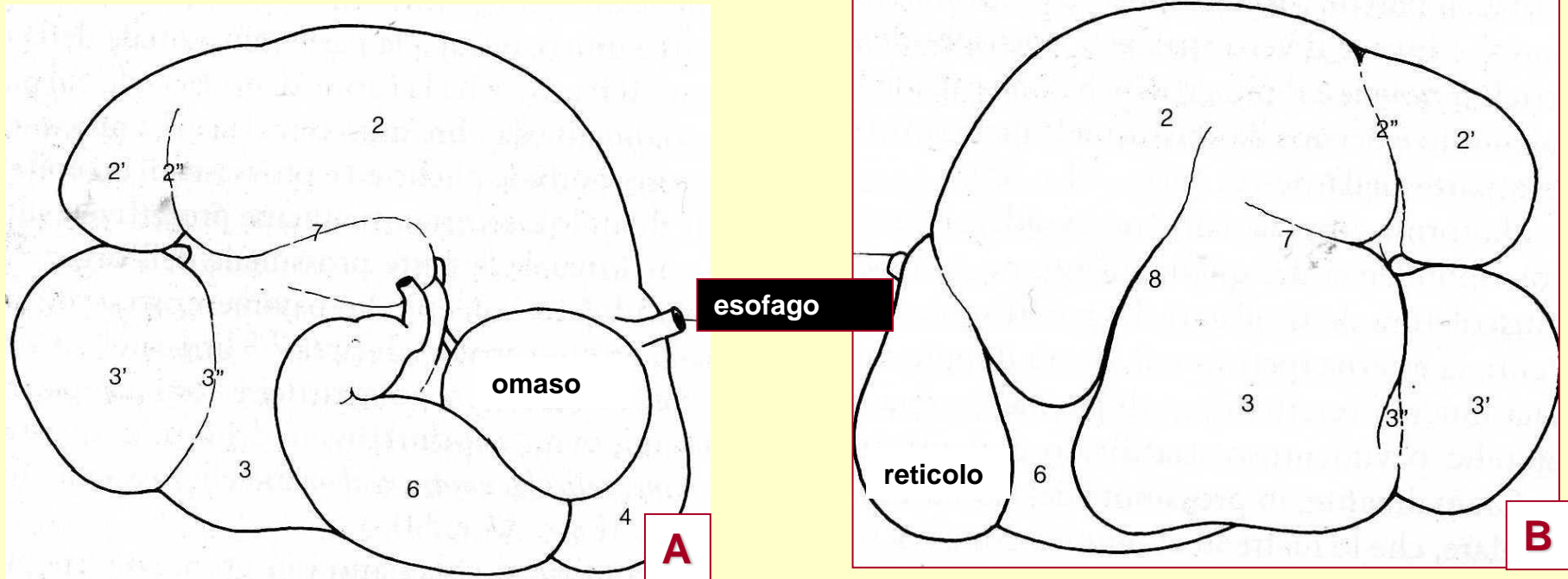


Rumine

Posizionato a sinistra nella cavità addominale è addossato cranialmente al diaframma e si porta in senso caudale verso la cavità pelvica.

Ha forma vagamente ovoidale e presenta sulla superficie esterna dei solchi

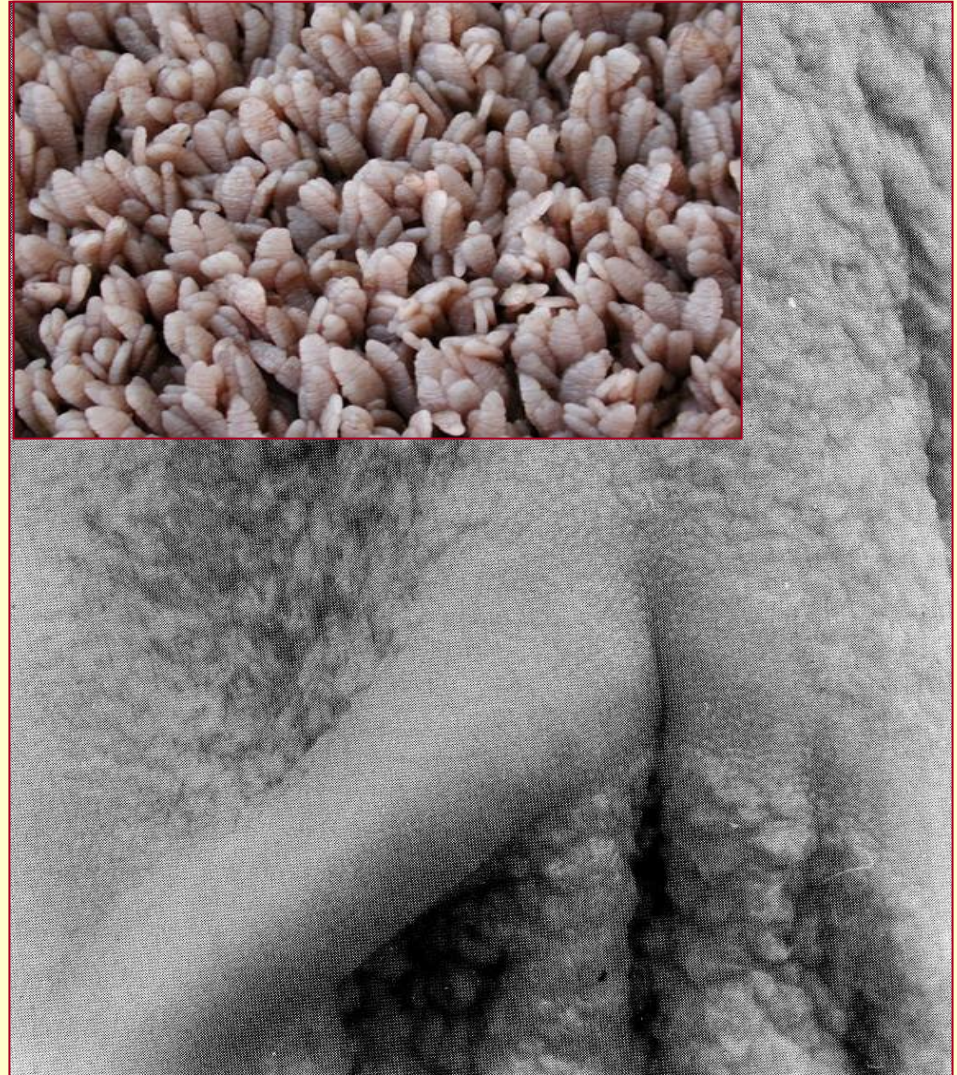
Complesso stomacale bovino: veduta laterale destra (A) e sinistra (B)



che corrispondono ad ispessimenti interni (**pilastri**).

- Tunica avventizia esterna (peritoneo)
- Doppio strato muscolare liscio
- Mucosa interna provvista di epitelio pavimentoso stratificato corneificato con molte papille ma priva di ghiandole

Cranialmente riceve l'esofago attraverso uno sfintere (**cardias**) e comunica, per mezzo dell'orifizio **rumino-reticolare** con il reticolo





TRICOBEOZARIO: TERMINE CHE DERIVA DAL PERSIANO, DIVENUTO IN ARABO BAZHAR E IN LATINO TRICOBEOZARIUM. INDICA CORPO

1770 - 1771
Si forma in seguito all'ingestione di pelo
1771 - 1772
1772 - 1773

1773 - 1774

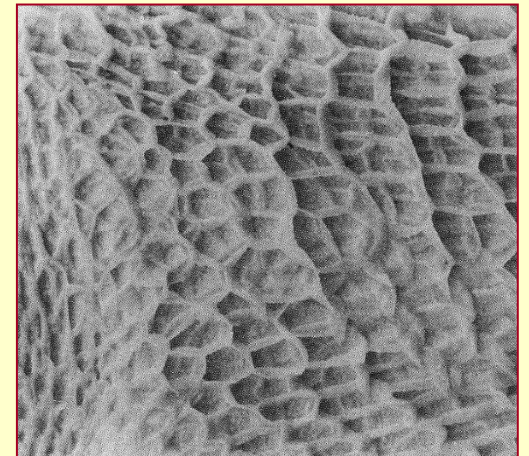
Reticolo

è posto a contatto con il fegato e il diaframma.

Presenta due aperture: ostio rumino-reticolare e orifizio reticolo-omasale

All'interno, sulla sua superficie mediale si trova, proseguimento dell'esofago, la doccia esofagea, le cui rime nel neonato si chiudono, in modo che il latte possa raggiungere l'omaso senza cadere nei prestomaci.

La mucosa è sollevata in pieghe che si intersecano formando una struttura a nido d'ape.



Omaso o **centopelli** o **libro**:

addossato al rumine ed aderente al fegato è quasi sferico ed al suo interno continua la doccia esofagea (doccia omasale).

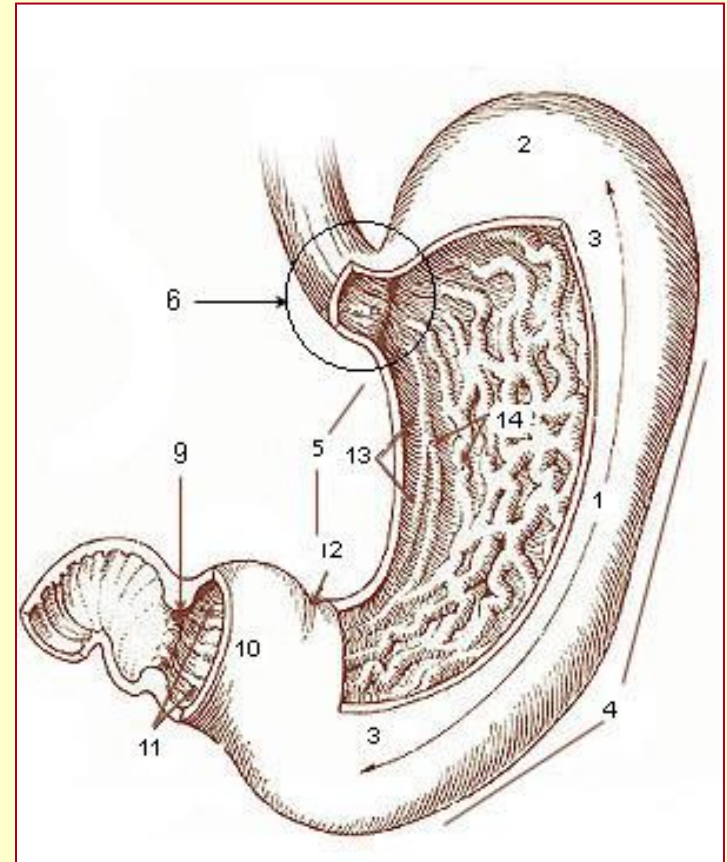
Presenta due aperture: orifizi reticolo-omasale e omaso-abomasale

La mucosa è sollevata in numerose pieghe che presentano sulle due facce papille corneificate.



Abomaso o stomaco ghiandolare: posto dietro all'omaso, nella parte destra della cavità addominale, comunica con l'intestino tramite una valvola (piloro), ispessimento della tunica muscolare delle pareti dell'organo.

La mucosa è di tipo epiteliale semplice e cilindrico. Le ghiandole producono mucine protettive e succo gastrico per la digestione delle proteine.



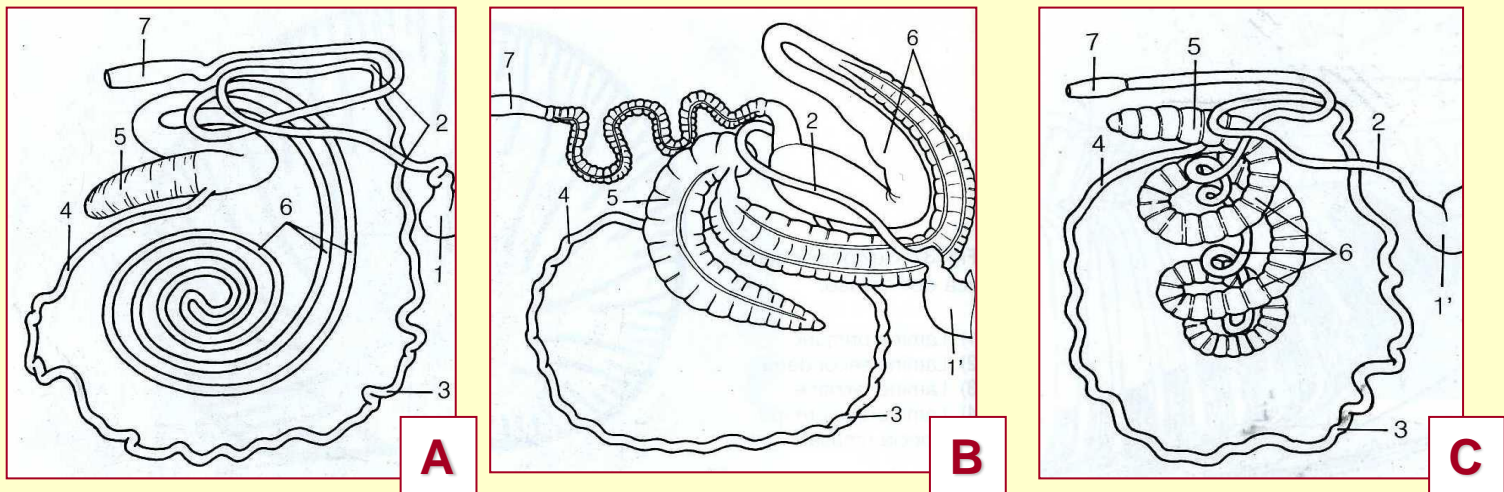
Intestino

E' la porzione più lunga dell'apparato digerente.

E' posizionato quasi esclusivamente nelle parte destra della cavità addominale: solo l'ultimo tratto si trova in cavità pelvica.

Si divide in **intestino tenue** ed **intestino crasso** o **grosso intestino**

Schema di intestino di bovino (A), equino (B), suino (C)



1. abomaso 1'. stomaco 2. duodeno 3. digiuno 4. ileo 5. cieco 6. colon 7. retto

Intestino tenue

Intestino crasso

Intestino tenue

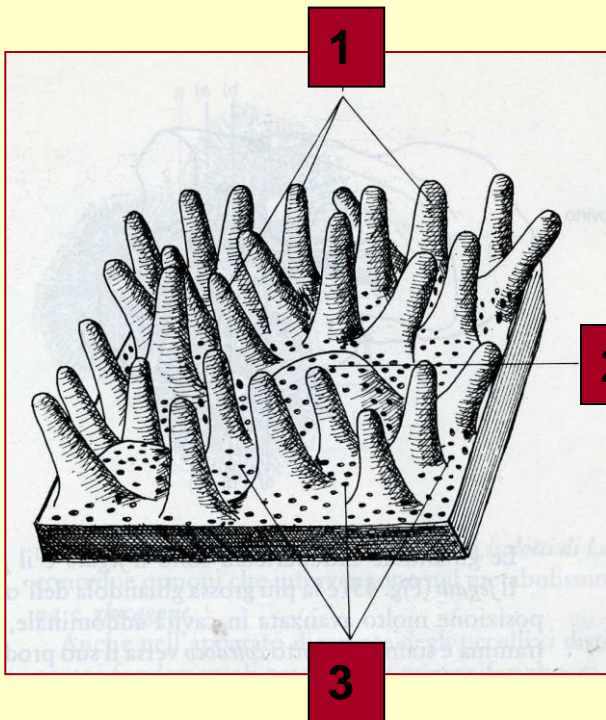
Inizia dal piloro e termina con la valvola ileo-cieco-colica.

E' formato da duodeno, digiuno, ileo.

Nei bovini misura circa 40 m di cui 38 sono di digiuno.

La mucosa ha epitelio cilindrico semplice.

Presenta numerosi villi, deputati all'assorbimento delle sostanze nutritive, che aumentano la superficie assorbente.



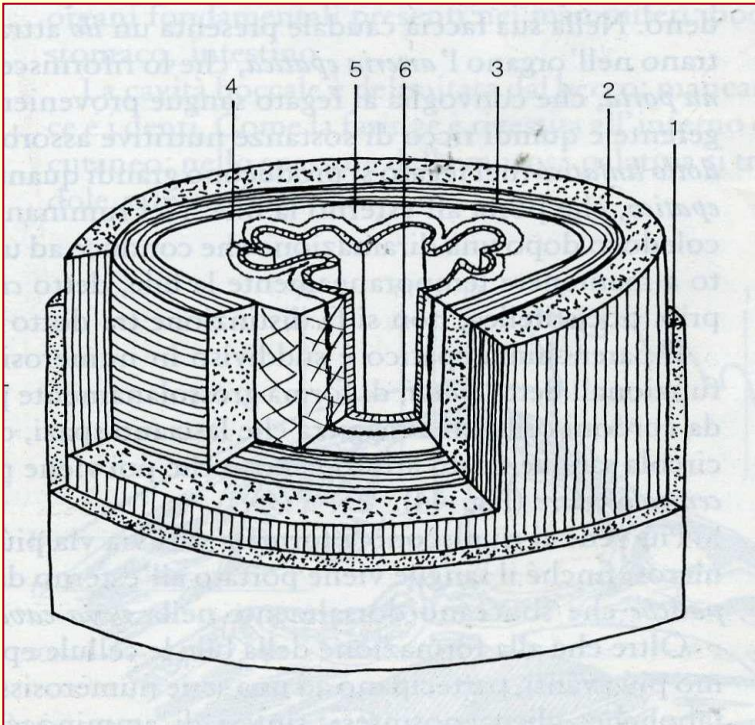
In ogni villo si trovano:

1 vaso chilifero (linfatico) posizionato lungo il suo asse
una ricca rete di capillari sanguigni, sotto l'epitelio.

I vasi sanguigni e linfatici ricevono le sostanze digerite che passano così dal lume intestinale al circolo sanguigno e linfatico per essere assorbite

1. Villi intestinali 2. noduli linfatici 3. sbocchi gh. intestinali

Struttura istologica dell'intestino



1. Sierosa
2. Tunica muscolare liscia esterna (fibre longitudinali)
3. Tunica muscolare liscia interna (fibre circolari)
4. Sottomucosa
5. Mucosa
6. Lume intestinale

Nel lume si riversano i secreti di ghiandole parietali ed extraparietali:

Ghiandole parietali: duodenali – tubulari composte, producono mucine protettive.

Sboccano nella prima parte dell'intestino

intestinali – tubulari semplici, producono succo enterico

ed

enzimi digestivi.

Sono diffuse in tutto il tenue e sboccano alla base dei villi

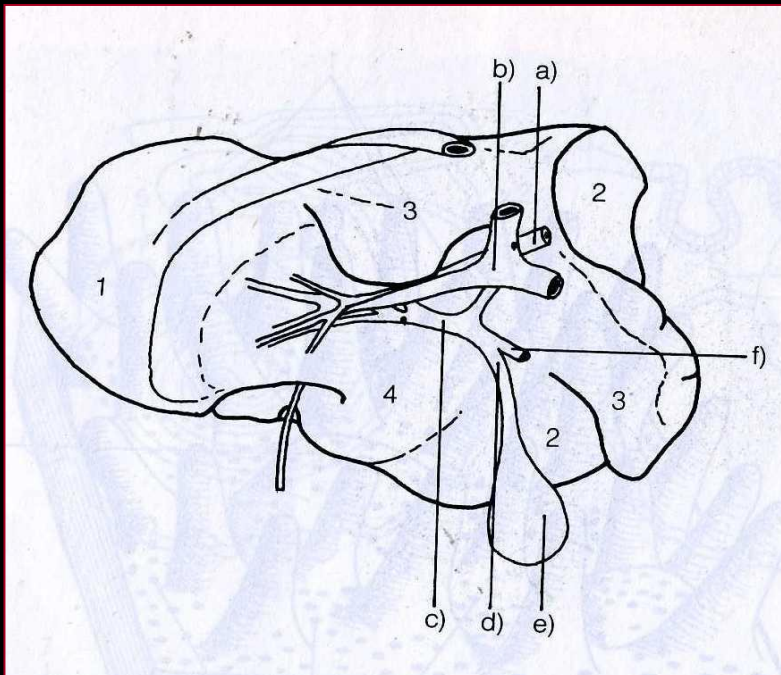
Ghiandole extraparietali

Fegato: E' la ghiandola più grande dell'organismo. Si trova in cavità addominale subito dietro al diaframma. Riversa il suo secreto, la **bile**, nel duodeno. Presenta, nella faccia caudale, un ilo attraverso il quale

entrano: l'**arteria epatica** che lo rifornisce di ossigeno e la vena porta che convoglia sangue proveniente dall'apparato digerente

escono: un **dotto linfatico**

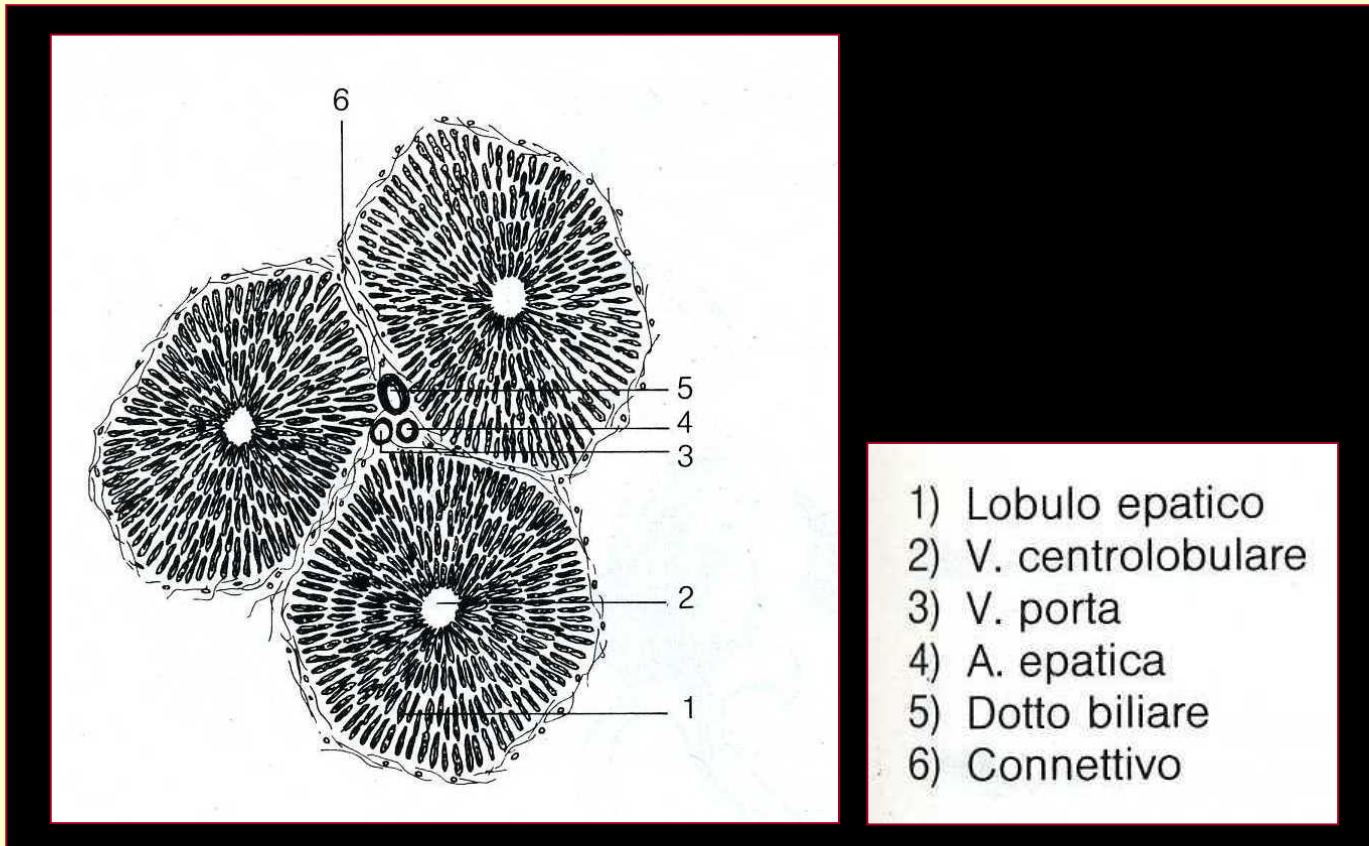
il **dotto epatico** che, dopo aver convogliato la bile nella **cistifellea**, continua con il **dotto coledoco** sboccando nel duodeno.



- 1) Lobo sinistro
 - 2) Lobo destro
 - 3) Lobo porta
 - 4) Lobo quadrato
-
- a) A. epatica
 - b) V. porta
 - c) Dotto epatico
 - d) Dotto cistico
 - e) Cistifellea
 - f) Coledoco

Gli equini sono privi di cistifellea

Il parenchima epatico è formato da piccole unità cellulari (**lobuli**) disposte a raggiera che lasciano spazi (**sinusoidi**) nei quali circola sangue atero-venoso raccolto da **vene centrolobulari** che si riuniscono in vasi più grandi (**vene sovraepatiche**) che portano il sangue all'esterno del fegato e che sboccano dorsalmente nella **vena cava caudale**.



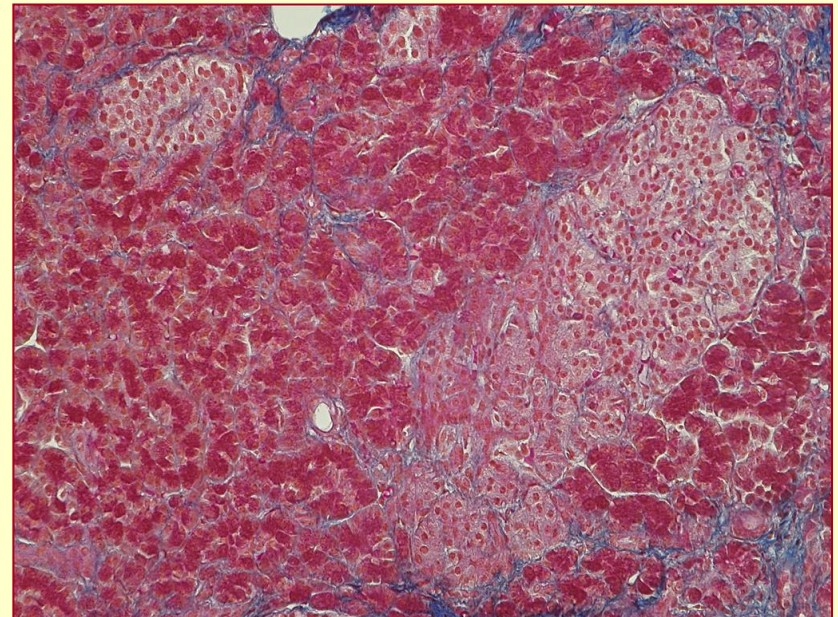
Pancreas: posta caudalmente al fegato è una ghiandola, di forma allungata e di colore grigio-rosato, a secrezione mista.

parte a secrezione esocrina:

costituita da cellule organizzate in alveoli, produce **succo pancreatico**, ricco di enzimi, che viene riversato nel duodeno

parte a secrezione endocrina:

costituita da ammassi cellulari (**isolotti di Langerhans**), isolati nel parenchima esocrino, che producono **insulina** e **glucagone**, fondamentali nel metabolismo del glucosio



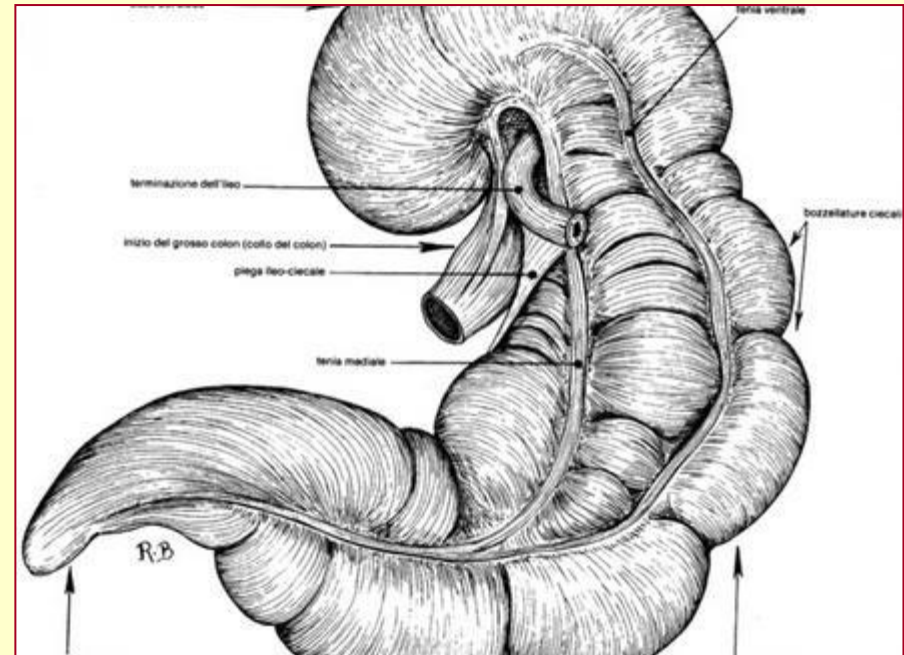
Intestino crasso

Di struttura istologica simile al tenue, è privo di villi, più corto e di maggior calibro rispetto ad esso. Si divide in:

Cieco: molto importante e più sviluppato negli erbivori monogastrici (cavallo e coniglio) perché svolge attività fermentativa con disgregazione delle pareti cellulari e sintesi di numerose vitamine soprattutto del complesso B

Colon: distinto in ascendente, trasverso e discendente, assorbe l' H_2O , alcune vitamine ed elementi minerali

Retto: è la sezione più corta dell'intestino. In esso si depositano i prodotti di rifiuto, prima di essere espulsi come feci.



Cieco e colon

FISIOLOGIA DELLA DIGESTIONE

Digestione: serie dei processi meccanici, enzimatici e microbiologici, che determina la conversione dei principi nutritivi contenuti negli alimenti in molecole diffusibili ed assimilabili dall'organismo animale che le utilizza come fonte energetica e plastica.

Alimenti: sono composti da principi nutritivi di diversa struttura molecolare: proteine, lipidi, glucidi, vitamine, sali minerali, acqua.

Per la maggior parte non possono esser assorbiti come tali dall'intestino: lungo il canale alimentare le molecole complesse dei principi nutritivi vengono scisse nei loro costituenti elementari facilmente assorbibili.

In base alle caratteristiche metaboliche della loro digestione, gli animali sono classificabili in quattro categorie:

Carnivori (canidi, felini) la cui digestione è quasi esclusivamente enzimatica

Erbivori poligastrici (bovini, caprini, ovini, camelidi) in cui gli alimenti, prima di essere sottoposti all'attività degli enzimi digestivi dell'abomaso e dell'intestino, subiscono, nei prestomaci, un intenso processo di fermentazione microbica

Erbivori monogastrici (equidi, conigli) la cui digestione prevede processi fermentativi microbici di notevole entità che si realizzano nel cieco e nel colon dopo l'attacco enzimatico in sede gastrica e intestinale;

Onnivori (suidi, Homo) caratterizzati da una digestione prevalentemente enzimatica anche se nell'intestino crasso si verificano processi fermentativi microbici.

L'attività dell'apparato digerente è caratterizzata da fenomeni meccanici e secretori.

Tutti i processi sono coordinati da influenze nervose ed umorali che assicurano una ordinata sequenza delle diverse fasi della digestione:

Prensione - Masticazione - Deglutizione - Digestione gastrica -
Digestione enterica - Assorbimento – Evacuazione

Le ghiandole annesse all'apparato digerente sono controllate, nella loro attività di secrezione, da fattori:

nervosi (ghiandole salivari)

nervosi ed umorali (ghiandole gastriche)

umorali (secrezione biliare, pancreatico ed enterico)

Digestione orale

Prensione degli alimenti solidi

Bovino: lingua rugosa e prensile è utilizzata per portare il foraggio sotto i molari; oppure per avvolgere il foraggio e trasportarlo fra gli incisivi inferiori ed il cuscinetto dentale.

Pecora e capra: il labbro superiore mobile, coadiuva notevolmente l'azione della lingua nell'assunzione del cibo.

Cavallo: le labbra sono estremamente mobili e sensibili; al pascolo i robusti incisivi addentano e tranciano l'erba alla base, condotta dalla lingua sotto le arcate molari.

Maiale: utilizzazione del grugno per scavare nel terreno; il labbro inferiore è appuntito e conduce l'alimento nella cavità boccale.

Carnivori: masticazione sommaria dopo la prensione con incisivi e canini.

Assunzione dei liquidi

Carnivori: utilizzano la porzione libera della lingua.

Maiale: atto inspiratorio eseguito a bocca semiaperta.

Altri animali domestici: processo di suzione che attuano dopo immersione della rima labiale semichiusa al di sotto del livello del liquido; segue retrazione della lingua a creazione di una pressione negativa nel cavo orale, con conseguente richiamo di liquido.

Tale meccanismo è analogo in tutti i mammiferi neonati al momento dell'assunzione del latte dalla mammella; in questo caso anche le guance concorrono a creare la pressione negativa.

Masticazione

Processo eminentemente meccanico che ha lo scopo di:

sminuzzare l'alimento per aumentarne la superficie di contatto con i succhi digerenti e

facilitare l'azione idrolizzante degli enzimi

Alla masticazione si accompagna la secrezione salivare che permette di:

rammollire il cibo

estrarre da esso le sostanze solubili

formare del bolo

Erbivori monogastrici: la triturazione, eseguita con i denti in cavità orale, è particolarmente accurata.

Ruminanti: la masticazione eseguita subito dopo la prensione dell'alimento (**masticazione primaria**) è piuttosto sommaria, perché seguita dalla **masticazione mericica** (lunga ed accurata).

Carnivori: deglutizione dei boli grossolanamente masticati.

Secrezione salivare

Saliva: liquido incolore, contenente per la maggior parte acqua (99%), piccoli quantitativi (1%) di elettroliti (cloruri, fosfati, bicarbonati di potassio di sodio e di calcio), proteine (mucine) e, in alcune specie enzimi digestivi (ptialina), in grado di digerire gli amidi cotti (suini) e i grassi (agnelli, capretti, vitelli). Nei ruminanti sono presenti bicarbonati e anche urea che, ingerita, tampona l'acidità ruminale. Contiene anche un fattore batteriostatico (lisozima).

La saliva, ipotonica rispetto al plasma e con pH basico negli erbivori, è prodotta dalle tre principali ghiandole salivari pari (parotide, sottomascellare e sottolinguale) e dalle numerose ghiandole parietali sparse nella mucosa della cavità orale.

Le ghiandole salivari sono innervate da:

- **Sist. Parasimpatico:** determina vasodilatazione, inducendo una secrezione più abbondante
- **Sist. Simpatico:** induce una riduzione della secrezione da parte delle ghiandole sierose con una produzione di saliva più ricca di mucina.

Controllo nervoso: l'alimento stimola i recettori tattili del cavo orale ed i recettori gustativi della lingua, i quali attraverso le radici sensitive dei V°, VII° e XII° paio di nervi cranici trasferiscono l'informazione ai centri bulbari salivatori; essi elaborano risposte secretrici che, mediante fibre parasimpatiche, inducono in via riflessa l'attività ghiandolare.

Secrezione di tipo psichico: per la produzione della saliva è sufficiente anche la vista e l'odore del cibo o anche i rumori ad esso collegabili.

Funzioni della saliva:

- Azione protettiva del cavo orale (impedisce l'inacidimento delle mucose)
- Azione batteriostatica (presenza di lisozima)
- Facilitazione della masticazione e deglutizione degli alimenti
- Estrazione delle sostanze idrosolubili con aumento della percezione gustativa

Nei ruminanti la saliva è prodotta in quantità notevolissima:

100-190 l/d nei bovini

6-16 l/d negli ovini

Deglutizione

Atto mediante il quale il bolo viene spinto volontariamente dalla bocca, attraverso la faringe, nell' esofago, e da qui, in virtù di movimenti peristaltici della tunica muscolare e attraverso il cardias, nello stomaco

Alla deglutizione concorrono i movimenti della bocca e della lingua che convogliano il bolo a contatto con la mucosa del retrobocca, della faringe e dell'epiglottide; stimolazione dei recettori che attivano specifici nervi cranici che richiamano in attività i muscoli del pavimento della lingua, della faringe e laringe.

Questi movimenti hanno lo scopo di escludere possibili comunicazioni tra cavità orale, rino-faringe e trachea; ad essi si accompagna l'inibizione riflessa della respirazione;

Segue la chiusura dello sfintere faringo-esofageo, con la creazione di un'onda peristaltica che interessa l'esofago e trasferisce l'alimento nei tratti più distali.

Digestione gastrica

Nei monogastrici il cibo, dall'esofago, giunge nello stomaco le cui ghiandole parietali secernono succo gastrico.

Succo gastrico: fortemente acido (pH = 1-2) per la presenza di HCl, contiene enzimi proteolitici (pepsina e chimasi gastrica o caglio) e, in alcune specie, lipolitici.

Digestione delle proteine

La digestione delle proteine inizia nello stomaco: la pepsina, attivata dall'HCl, attacca le lunghe catene proteiche spezzandole in peptoni e pochi amminoacidi.

Una certa azione digestiva è prodotta anche dalla chimosina o rennina o caglio, presente nei lattanti nei quali provoca la coagulazione del latte, rendendo attaccabile dalla pepsina. La chimosina scompare negli adulti nella cui dieta non compare più latte.

Cheratina, osseina e mucina sono proteine del tutto indigeribili

Parzialmente digeribile è invece il collagene, proteina che costituisce il tessuto connettivo.

Digestione intestinale (intestino tenue)

Il contenuto gastrico (chimo), costituito da sostanze parzialmente digerite, arriva dallo stomaco all'intestino attraverso una serie di contrazioni a piloro aperto.

Dal momento che l'ambiente intestinale ha reazione tendenzialmente neutra, il pH del chimo, fortemente acido, deve essere neutralizzato.

Digestione delle proteine

Nel duodeno peptoni, polipeptidi e proteine ancora integre si trovano a contatto con il succo pancreatico e con il succo enterico.

Succo pancreatico: prodotto dal pancreas, giunge nel duodeno attraverso un dotto pancreatico (due negli ovini). Incolore, è costituito da: acqua, bicarbonato (neutralizza l'acidità del chimo) ed enzimi proteolitici in grado di scindere le catene peptidiche in aminoacidi.

Succo enterico: possiede enzimi proteolitici e ha azione sinergica al succo pancreatico

Gli aminoacidi che si liberano sono assorbiti dai villi intestinali tramite trasporto attivo

Digestione dei glucidi

I carboidrati non strutturali sono digeriti da tutti gli animali per mezzo delle amilasi (enzimi amilolitici), la più importante delle quali è l'amilasi pancreatica. Anche nel succo enterico si trovano enzimi in grado di digerire disaccaridi.

L'idrolisi dell'amido produce maltosio (disaccaride con due molecole di glucosio) e destrine, formate da diverse molecole di maltosio ancora unite. Maltosio e destrine devono essere ulteriormente scissi per poter attraversare la mucosa intestinale.

Nel succo enterico si trovano: maltasi, in grado di scindere il maltosio; invertasi che scinde il saccarosio; lattasi che attacca il lattosio

La digestione dell'amido segue dunque la sequenza:

Amido \longrightarrow Maltosio \longrightarrow Glucosio

Monosaccaridi diversi (fruttosio, galattosio) vengono assorbiti rapidamente e convertiti in glucosio

Digestione dei lipidi

I grassi alimentari sono formati per la maggioranza da miscele di trigliceridi. Vengono digeriti quasi esclusivamente nell'intestino. Esiste una lipasi gastrica, ma è capace di digerire solo i grassi del latte e delle uova, già emulsionati naturalmente.

I grassi di altra origine possono essere digeriti dalla lipasi pancreatica, che si trova nel succo pancreatico, coadiuvata dalla bile, prodotta dal fegato, che contiene sali ed acidi biliari in grado di emulsionare i grassi rendendoli attaccabili dalla lipasi. In seguito alla digestione dei gliceridi si formano glicerina ed acidi grassi, assorbiti e trasportati dal flusso sanguigno al fegato.

Digestione intestinale (intestino crasso)

Attraverso la valvola ileo-ciecale il chilo (contenuto intestinale) giunge al crasso dove subisce un attacco fermentativo più o meno intenso che può rendere disponibile ancora qualche elemento nutritivo. Si ha soprattutto assorbimento dell'acqua e delle vitamine idrosolubili (mancano i villi) ed il compattamento del materiale indigerito (feci)

DIGESTIONE NEI POLIGASTRICI

Nei ruminanti la digestione gastrica è preceduta da:

Fermentazione microbica che avviene essenzialmente nel rumine

Ruminazione che avviene prevalentemente quando gli animali sono in riposo.

Consiste nel reflusso delle ingesta dal reticolo, al rumine, alla bocca, seguito da una nuova, accurata, masticazione (masticazione mericica) e da una nuova deglutizione.

Il reflusso inizia con una contrazione del reticolo che determina il ritorno del bolo più grossolano nel rumine. Attraverso il concomitante rilascio dello sfintere esofageo il bolo raggiungere l'esofago e, attraverso movimenti antiperistaltici, giunge nuovamente in cavità orale. Nella bocca viene accuratamente rimasticato e nuovamente deglutito.

Movimenti prestomacali

Ad intervalli di circa un minuto, nel **reticolo** avvengono, in 5-10 secondi, due contrazioni separate da una breve pausa.

La prima, a sfintere reticolo-omasale chiuso, spinge il materiale fibroso che galleggia nel reticolo verso la parte dorsale del rumine.

La seconda, a sfintere reticolo-omasale aperto, svuota quasi del tutto il reticolo dal materiale finemente triturato e fermentato, convogliandolo nell'**omaso**.

Contrazioni del **Rumine**:

L'onda di contrazione interessa inizialmente il **sacco dorsale** (direzione cranio-caudale) determinando il rimescolamento del contenuto; dopo circa 2 secondi avviene la contrazione del sacco ventrale (direzione caudo-craniale)

Il **sacco dorsale** può effettuare una contrazione in direzione caudo-craniale (**contrazione complementare** o **eruttazione**) convogliando i gas dalla cupola del sacco dorsale al cardias, zona riflessogena.

Fermentazione microbica

In tutte le specie zootecniche la digestione microbica svolge un ruolo importante nell'utilizzazione degli alimenti: è fondamentale nelle specie erbivore, meno in quelle onnivore e marginale in quelle carnivore.

L'attività microbica si svolge in organi ed in tempi diversi a seconda delle specie:

1. prepeptica, cioè anteriormente alla digestione gastrica (ruminanti e pseudoruminanti (*camelidi*));
2. postpeptica, cioè posteriormente alla digestione gastrica (equidi);
3. interpeptica, cioè intermedia alla digestione gastrica (ciocotrofi=conigli)

1. Fermentazione microbica prepeptica

La fermentazione degli alimenti avviene in un sacco prestomacale (rumine) e prevede una masticazione secondaria (mericica) più accurata rispetto a quella primaria, più grossolana, che avviene al momento dell'ingestione dell'alimento.

La maggior parte delle sostanze nutritive è utilizzata in questa sede (circa il ^a 70%).

Questo tipo di fermentazione consente la migliore utilizzazione della fibra e dell'azoto non proteico.

La successiva digestione gastrica riguarda prevalentemente le proteine.

2. Fermentazione microbica postpeptica

La digestione della fibra avviene nel colon, cioè dopo che gli amidi e le proteine sono state digerite in fase gastrica e intestinale.

Questa tipologia di fermentazione consente il migliore utilizzo dei carboidrati non strutturali (CNS: zuccheri semplici e amido), ma una minore degradazione della fibra rispetto alla precedente.

Es: Gli equidi utilizzano meglio alimenti più ricchi, ma devono ingerire, rispetto ai ruminanti, quantità decisamente superiori di alimenti poveri (ricchi in fibra e poveri in CNS) per trarne la stessa quantità di energia.

3. Fermentazione microbica interpeptica

la digestione microbica avviene nel colon con la produzione di una particolare forma di *digesta* dette ciecotrofo, pallottole mucillaginose, in stato di fermentazione, di odore pungente, emesse dall'ano del coniglio (o della lepre), reingerite e quindi ridigerite nello stomaco e nell'intestino tenue.

Il processo digestivo termina con l'espulsione delle feci vere (praticamente inodori) per via anale.

La ciecotrofia è il sistema digestivo degli animali erbivori dotato di massima efficienza:

I componenti degli alimenti digeribili per via enzimatica sono infatti digeriti prima che inizi la fermentazione microbica che attacca la fibra e i composti non digeriti con la produzione di AGV

la seconda digestione gastro-intestinale serve per digerire i prodotti non volatili ottenuti dalla fermentazione microbica

Fermentazione microbica nei ruminanti (prepeptica)

Il cibo deglutito, masticato grossolanamente, giunge nel rumine, dove il cibo staziona per qualche ora o qualche giorno.

Nel rumine-reticolo è presente costantemente una massa alimentare fibrosa in corso di fermentazione pari all'incirca ai $\frac{3}{4}$ della capacità totale corrispondenti all'8-17% del peso corporeo (PC) totale dell'animale (80 kg in una vacca da latte di 600 kg di PC). L'acqua rappresenta l'80-90% del contenuto fresco del rumine e le pareti cellulari (CS = carboidrati strutturali determinati analiticamente dalla fibra al digerente neutro =NDF) più dell'80% del contenuto secco.

L'acqua è apportata dagli alimenti, dall'abbeverata e, soprattutto, dalla saliva.

Il contenuto ruminale è inoltre molto ben condizionato nei riguardi della temperatura (quella corporea dell'animale) e dell'anaerobiosi: l'efficienza delle fermentazioni è massima in totale assenza di ossigeno, con temperatura costante, pH subacido e con un flusso continuo (apporto di cibo-rimozione dei prodotti della fermentazione) del materiale alimentare.

Ruminazione

I ruminanti al momento dell'ingestione masticano gli alimenti (masticazione primaria) per un tempo variabile in funzione del suo contenuto in fibra.

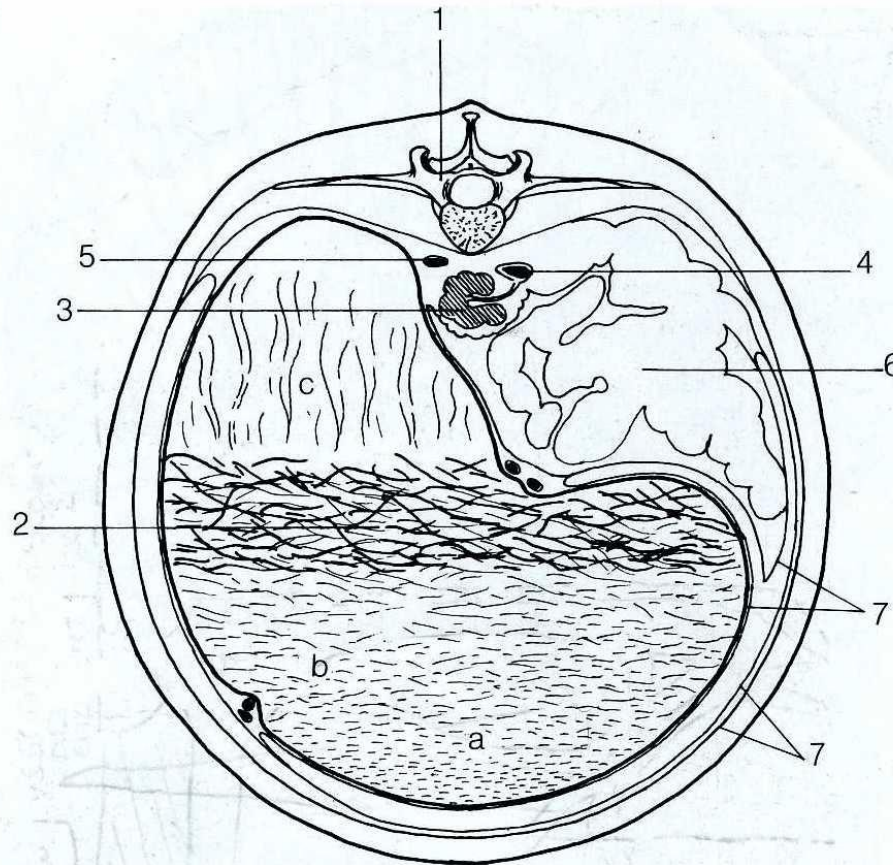
La masticazione primaria riduce gli alimenti a particelle di dimensione e di forma variabili da un minimo di 1 mm ad un massimo di 4-5 cm, che, ingerite imbibite di saliva, costituiscono il bolo alimentare. Il bolo è sospinto energicamente verso la porzione caudale del rumine dalle contrazioni del reticolo, e inglobato nella massa fibrosa già presente nell'organo.

Alimento	Tempo di masticazione per kg s.s. (min.)
Fieno di Medica lunga	61
Medica pellettata	37
Fieno polif. media qualità	103
Paglia di avena	160
Paglia di avena macinata e pellettata	18
Silomais taglio medio	60
Sorgo	67
Concentrati pellettati	12
Farina di avena	2,0
Melasso	0

Il contenuto ruminale specie se proveniente da razioni costituite da foraggi secchi, tende a stratificarsi:

Fig. 35. Sezione trasversale del tronco di bovino.

- 1) 4^a vertebra lombare
- 2) Rumine
- 3) Rene sinistro
- 4) V. cava caudale
- 5) A. aorta
- 6) Intestino
- 7) Peritoneo
- a) Porzione di alimento piú elaborato
- b) Porzione di alimento meno elaborato
- c) Gas di fermentazione



5-15 minuti dopo la fine di un pasto inizia un periodo di ruminazione che è la successione di cicli della durata di 1 minuto circa composti dalle seguenti fasi:

- una contrazione supplementare del reticolo, che precede la sua contrazione primaria di qualche secondo, richiama
- un bolo (50-80 g nell'ovino e 600-1000 g nel bovino) derivante dal contenuto del reticolo o del sacco craniale del rumine, verso l'esofago, facendolo risalire fino alla cavità orale (bolo mericico)
- qui il bolo viene sottoposto ad una intensa ed accurata masticazione (masticazione mericica) fino a quando le particelle alimentari non raggiungono dimensioni inferiori ad 1 mm.
- Il bolo mericico viene quindi ingerito nuovamente depositandosi nel sacco ventrale e di guadagnando la parte inferiore di quello craniale da cui
- viene sospinto verso orifizio reticolo-omasale. La dimensione di questo orifizio è piccola, ma varia in maniera ciclica: esso si dilata (apertura ellittica lunga 4 cm e larga 1 cm nei bovini) improvvisamente alla fine della contrazione del reticolo, e il contenuto ruminale viene riversato nell'omaso. Oltrepassano l'orifizio soltanto le particelle di dimensione inferiore a 1-2 mm negli ovini e 2-4 mm nei bovini

Con razioni normali a base di foraggi la ruminazione occupa più tempo dell'ingestione e si effettua in un numero maggiore di periodi

La quantità di sostanza secca masticata giornalmente nel corso della ruminazione è 2 o 3 volte superiore a quella ingerita.

Tempi di masticazione, tempi di ritenzione, ingombro e ingeribilità

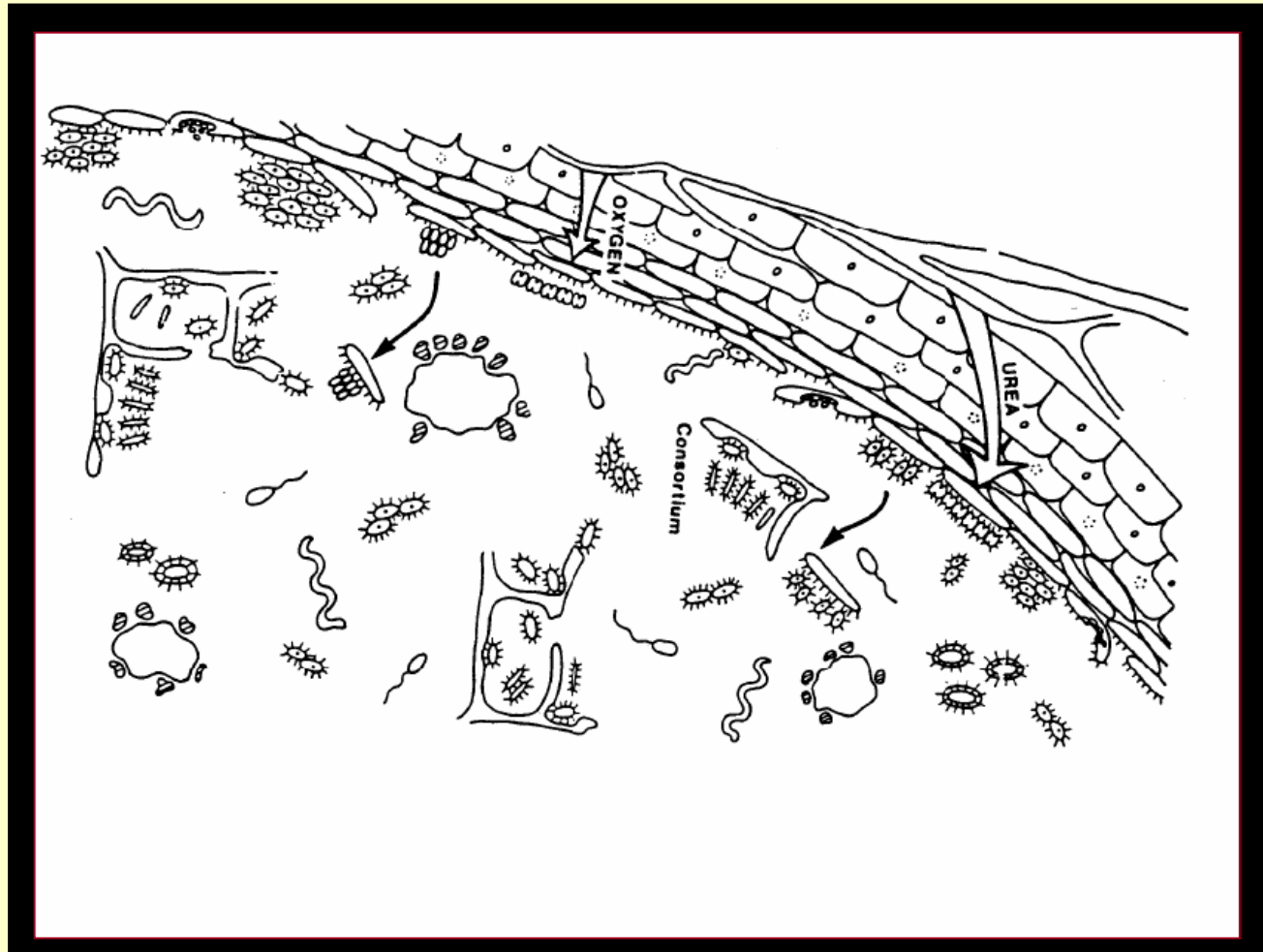
I tessuti più resistenti alla masticazione, sia durante la masticazione primaria che durante quella mericica, sono quelli lignificati: lo sclerenchima ed i vasi legnosi.

Essi determinano un aumento simultaneo di:

- tempo d'ingestione;
- tempo di ruminazione, accentuato dal fatto che la popolazione microbica, alimentata meno bene a causa del minor contenuto cellulare degrada più lentamente la parete cellulare;
- tempo di ritenzione medio delle particelle nel rumine

Fermentazione microbica

Nel rumine si trovano una ricchissima flora batterica ed una ricca fauna Protozoaria, capaci di degradare le pareti cellulari e di demolire, più o meno completamente, le sostanze alimentari.



I vegetali sono composti da:

- Zuccheri semplici: fruttosio, glucosio, galattosio
- Disaccaridi: saccarosio, maltosio
- Polisaccaridi: amidi e cellulose
- Emicellulose : polimeri insolubili in acqua (xilosio, arabinosio, galattosio, mannosio)
- Lignina : polimero di aldeidi con gruppi benzenici
- Sostanze Peptiche : polimeri di acidi uronici

I batteri del rumine colonizzano i substrati costituiti dagli alimenti e si accrescono.

L'accrescimento della popolazione necessita di **energia**, ottenuta dalla fermentazione dei carboidrati, e di **proteine** che vengono sintetizzate a partire dalle sostanze azotate.

I **lipidi**, a causa della mancanza d'ossigeno, non possono essere impiegati dai batteri come fonte energetica, ma **sono utilizzati per la costruzione della membrana cellulare batterica**.

Gli **acidi grassi insaturi**, tossici per i batteri, vengono prontamente **saturati**.

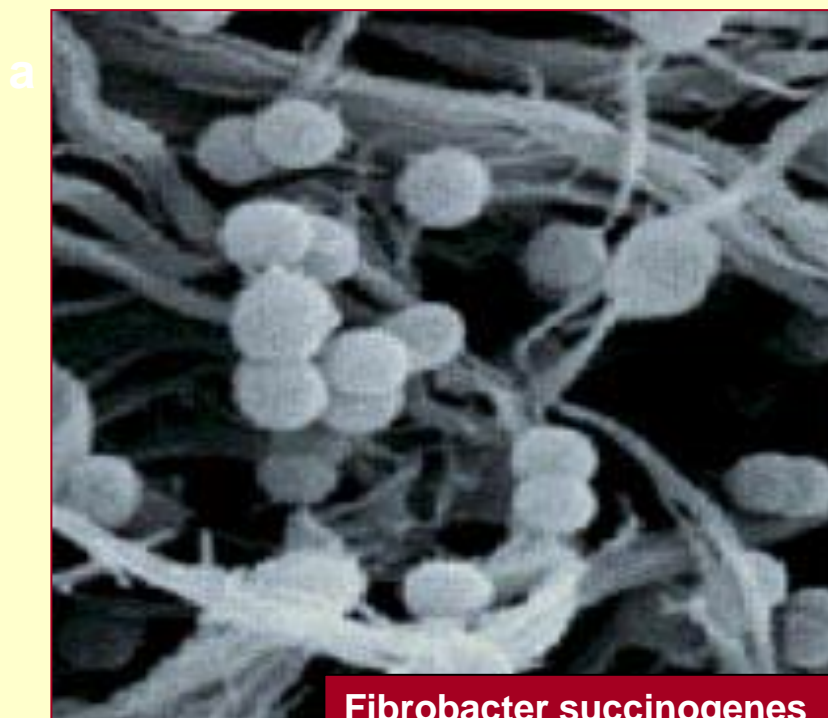
Molto importanti, nel rumine, sono i ceppi batterici cellulolitici in grado di degradare (ad un pH di poco superiore a 6) le pareti cellulari dei vegetali, inattaccabili dagli enzimi prodotti dai vertebrati. Tra essi i più importanti sono:

Ruminococcus albus: produce acetato, formiato e idrogeno

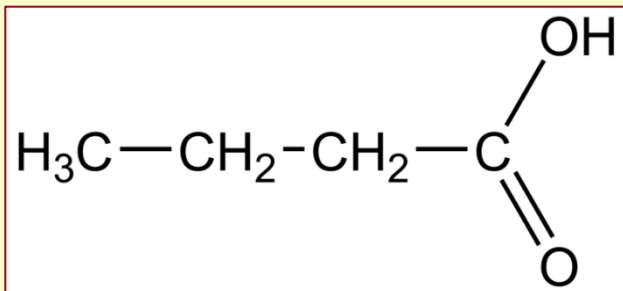
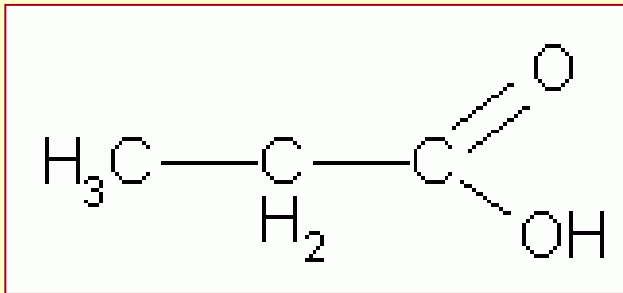
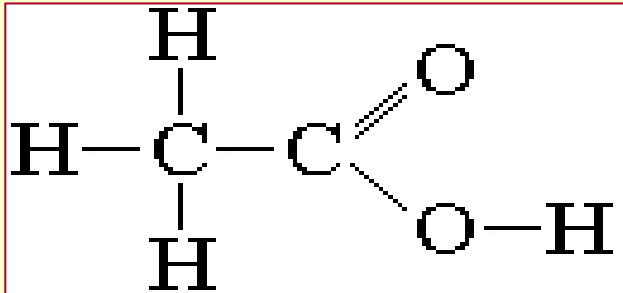
Ruminococcus flavefaciens: produce succinato

Fibrobacter succinogenes: produce succinato

Selenomonas ruminantium: produce lattato, acetato, formiato



Essi producono cellulasi, enzimi in grado di ridurre la cellulosa a zuccheri semplici. Questi vengono ulteriormente demoliti ad acidi grassi volatili (AGV): acido acetico (65-75 %), propionico (15-20%) e butirrico (10 % circa), rispettivamente a 2, 3 e 4 atomi di carbonio.



Questi vengono utilizzati dai batteri a scopi energetici, per riprodursi, e rilasciati nel contenuto ruminale. Da qui, attraverso le mucose prestomacali, passano nel circolo sanguigno ed utilizzati dall'organismo ospite a fini energetici e/o plastici.

CH₃COOH può entrare nel metabolismo terminale delle cellule e fornire energia o condensarsi con altre molecole uguali e originare acidi grassi a lunga catena (grassi di deposito o, nelle femmine, grasso del latte)

CH₃CH₂COOH può essere convertito, nel fegato, in glucosio e, nel metabolismo aerobio, fornire più energia dell'acido acetico

CH₃CH₂CH₂COOH dopo trasformazione quasi completa in acido β-idrossibutirrico viene ossidato a scopi energetici

Gli AGV derivano da un intermedio obbligato: l'**acido piruvico (CH₃COCOOH)**

La degradazione dei componenti strutturali CS (cellulose ed emicellulose) e di quelli non strutturali CNS (amidi e zuccheri semplici) avviene per mezzo di enzimi extracellulari.

Porta alla formazione di glucosio (dagli amidi e dalla cellulosa) o di fruttosio (da pectine, emicellulose, pentosani, fruttosani).

Pur avendo le cellule animali una grande affinità per il glucosio, le cellule della parete del rumine lo lasciano disponibile nel liquido ruminale per l' utilizzazione da parte dei batteri.

Terminata la fase di attacco enzimatico i monosaccaridi sono utilizzati dai batteri per il proprio metabolismo **attraverso la demolizione del fruttosio 1-6 difosfato (con 6 atomi C) fino ad acido piruvico (con 3 atomi di C).**

Da ogni mole di monosaccaride fermentato si ottengono 2 moli di piruvato

La trasformazione della molecola continua fino alla produzione di **acido acetico (CH₃COOH)**, **CO₂** e **acido formico (CH₂O₂)**.

L'acido formico è il substrato di fermentazione per i metanobatteri (archeobatteri anaerobi), importanti per il mantenimento del pH nei sistemi anaerobici. I **metanobatteri** utilizzano l'anidride carbonica e l'idrogeno derivato dall'idrolisi dell'acqua, trasformandoli in **metano (CO₂ + 4H₂ ⇒ CH₄ + 2H₂O)**

Da una mole di esoso (6C) che deriva dalla degradazione dei carboidrati della parete cellulare (CS), si ottengono:

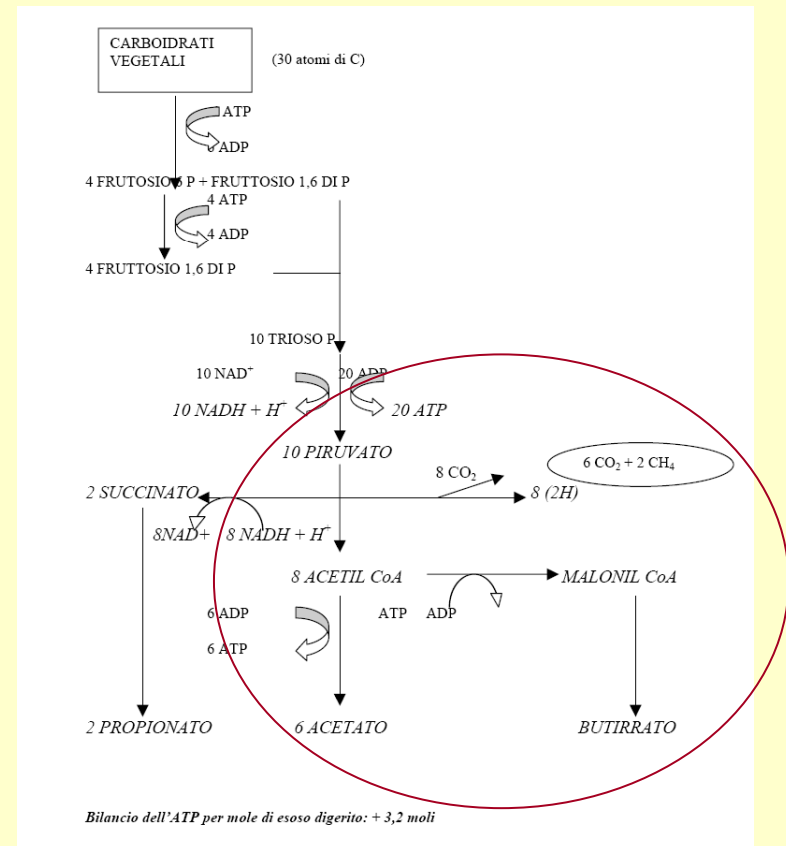
- **2 moli di acido acetico (2 x 2C = 4C)**
- **1 mole di metano (1C)**
- **1 mole di anidride carbonica (1C)**

Il guadagno energetico per ciascuna mole di esoso fermentato per questa via è di **4 ATP**:

per ogni mole di piruvato si ottengono infatti 1 mole di ATP dalla glicolisi+1 dalla produzione di acetato

Siccome da ogni mole di glucosio si ottengono 2 moli di piruvato la produzione totale di ATP sarà $2 \times 2=4$

Il butirrato ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} = 4\text{C}$) è prodotto dai **batteri butirrici** particolarmente attivi ad un pH compreso fra il 6,3 e il 5,5 con una via iniziale molto simile a quella dei batteri acetici. In questo caso però l'acetilCoA, attraverso la β -condensazione (o la via alternativa del malonato), viene condensato in acido butirrico ($2\text{C} + 2\text{C} = 4\text{C}$).



Anche in questo caso, per ogni mole di esoso fermentato abbiamo la produzione di una mole di metano ed una mole di anidride carbonica.

Il bilancio definitivo per mole di esoso è pertanto

1 mole di butirrato ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} = 4\text{C}$)
1 mole di metano ($\text{CH}_4=1\text{C}$) +
1 una mole di CO_2 (1C)

con un guadagno energetico di

3 ATP (2 nella glicolisi ed 1 nella butirrogenesi).

I batteri che attaccano i substrati costituiti da CNS sono chiamati **amilolitici**.

Hanno un pH ottimale fra 6 e 5.

Producono, per fermentazione, acido propionico (3C).

Da una mole di esoso si ottengono 2 moli di propionato: in questa reazione non si ha perdita di materia né di energia, in quanto non si perde carbonio né sotto forma di CO₂ né sotto forma di CH₄.

L'ATP prodotto è solo quello derivante dalla glicolisi (2 ATP), ma consente di scaricare (ossidare) i sistemi di trasporto dell'idrogeno (NAD⁺, FAD⁺) che, in ambiente riducente come quello anaerobico, sono normalmente carichi (ridotti = NADH-H⁺; NADPH-H⁺).

Un quadro riassuntivo delle fermentazioni ruminali è riportato di seguito: si parte da 5 moli di carboidrati vegetali (30 C) per arrivare ad un rapporto molare fra i tre AGV di 67 : 22 : 11 tipico di razioni con medio contenuto energetico:

6C sono trasformati in acetato

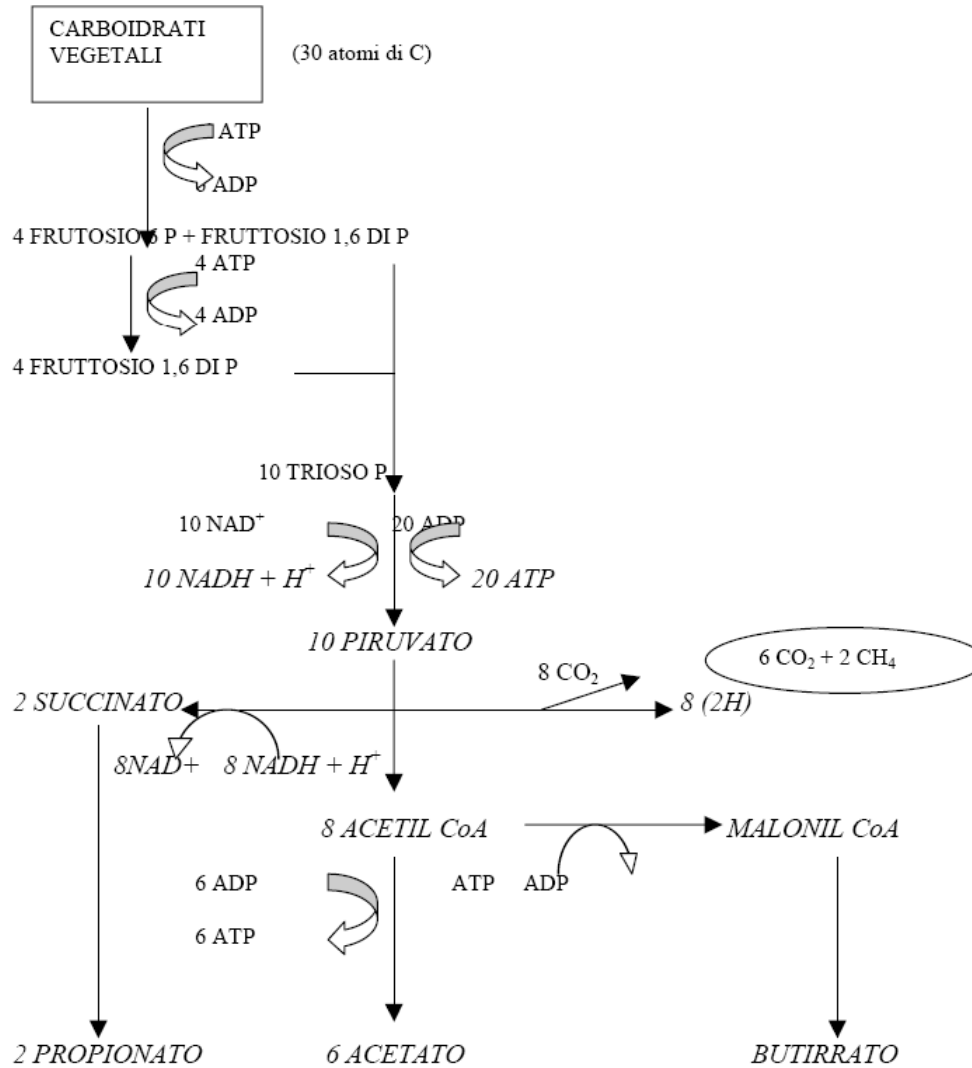
2C in propionato

1C in butirrato

4C in metano

6C in CO₂

Il bilancio dell'ATP è di 16 moli (3,2 per mole di esoso fermentato).



Bilancio dell'ATP per mole di esoso digerito: + 3,2 moli

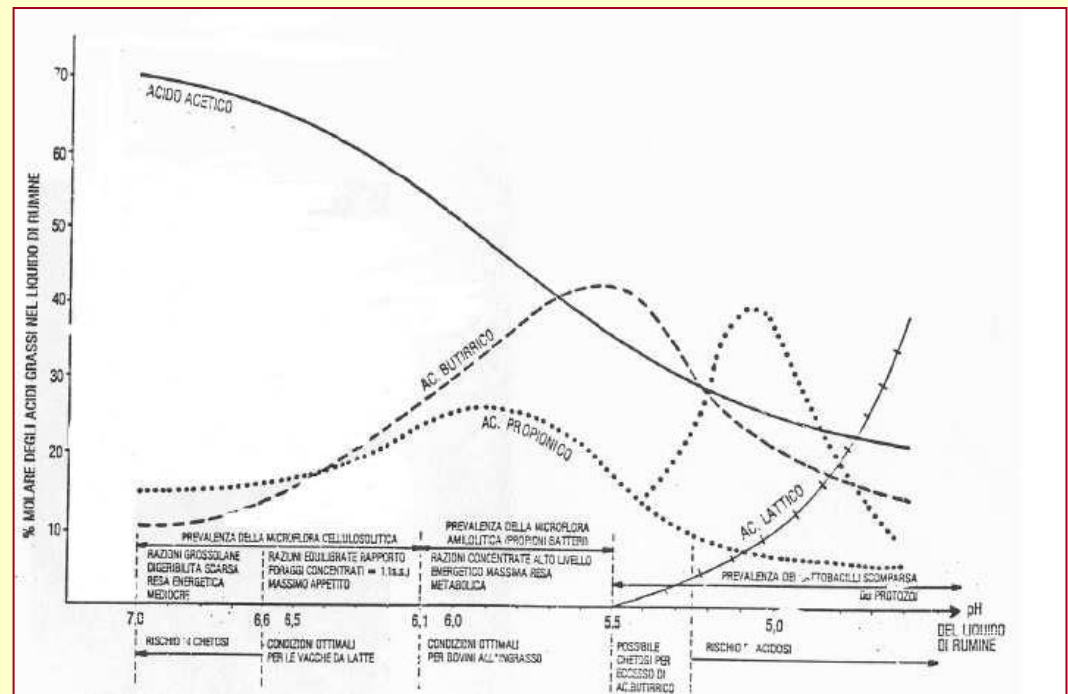
Una particolare fermentazione è quella che si sviluppa per opera dei **batteri lattici**. Poiché la loro attività è tanto maggiore quanto minore è il pH e poiché il loro prodotto finale (acido lattico) è un acido organico molto più forte degli AGV (pKa 3,86),

Se le razioni sono ricche di zuccheri solubili, l'azione dei lattici è esaltata, fino a creare acidosi per l'accumulo di acido lattico con la riduzione dell'attività degli altri batteri fino alla loro scomparsa.

Occorre ricorrere all'uso di sostanze tampone e/o ridurre l'apporto di zuccheri semplici

Si verifica quando

l'alimentazione è troppo ricca di sostanze fermentescibili (concentrati)



Digestione ruminale delle proteine

Gli aminoacidi introdotti con l'alimentazione vegetale vengono in parte utilizzati dalla flora e fauna microbica per le proprie sintesi proteiche,

La flora batterica è capace di:

- utilizzare azoto non proteico mediante l'enzima ureasi che idrolizza l'urea ad ammoniaca e CO₂ e sintetizzare tutti gli aminoacidi essenziali;
- ridurre ad ammoniaca anche l'azoto dei nitrati e nitriti.

Le proteine batteriche e protozoarie hanno un altissimo valore biologico in quanto contengono tutti gli aminoacidi essenziali

Le fermentazioni dei substrati azotati

Le proteine ed i composti azotati non proteici (NPN) contenuti nella razione vengono modificati dalla micropopolazione ruminale che degrada più facilmente le proteine solubili nel liquido ruminale e l'NPN rispetto alle proteine insolubili.

Le proteine degradabili (solubili ed insolubili) e l' NPN danno origine ad un *pool* di azoto fermentescibile che, attraverso prodotti intermedi (ammoniaca, peptidi e aminoacidi), è utilizzato dai microorganismi per la sintesi delle proteine cellulari (proteina grezza microbica).

L'azoto ammoniacale, in presenza dell' ATP derivante dalla fermentazione dei carboidrati, è organicato dai batteri (prevalentemente dai cellulolitici) e trasformato in proteine: **la possibilità di organizzazione dell'azoto, consente ai ruminanti di produrre proteine di elevato valore biologico (latte e carne) a partire da composti azotati di basso valore biologico (sostanze azotate vegetali) o addirittura a partire dall'azoto inorganico (urea agricola).**

La possibilità di impiegare l'urea si basa sulla capacità della microflora batterica del rumine di scinderla in anidride carbonica ed ammoniaca la quale viene assorbita e sintetizzata a proteina batterica.

E' pratica **sconsigliabile** o alla quale ricorrere con **estrema cautela**, per l'elevata quantità di ammoniaca che si può formare e per per i rischi derivanti dalla discontinuità nella concentrazione ruminale dell'ammoniaca e del suo passaggio nel sangue che può avere conseguenze tossiche molto gravi (avvelenamento e morte dell'animale)

Quando l'urea (NH_4) è troppa rispetto alla disponibilità di ATP (oppure l'ATP è in difetto rispetto alla disponibilità azotata), la quota ammoniacale in eccesso filtra la parete del rumine, arriva al fegato dove è trasformata di nuovo in urea (l'ammoniaca è tossica) che viene eliminata per via renale oppure riciclata per via salivare. Il riciclo dell'urea per via salivare consente risparmio di azoto importante per animali che si alimentano con foraggi molto poveri in sostanza azotate (es. paglie).

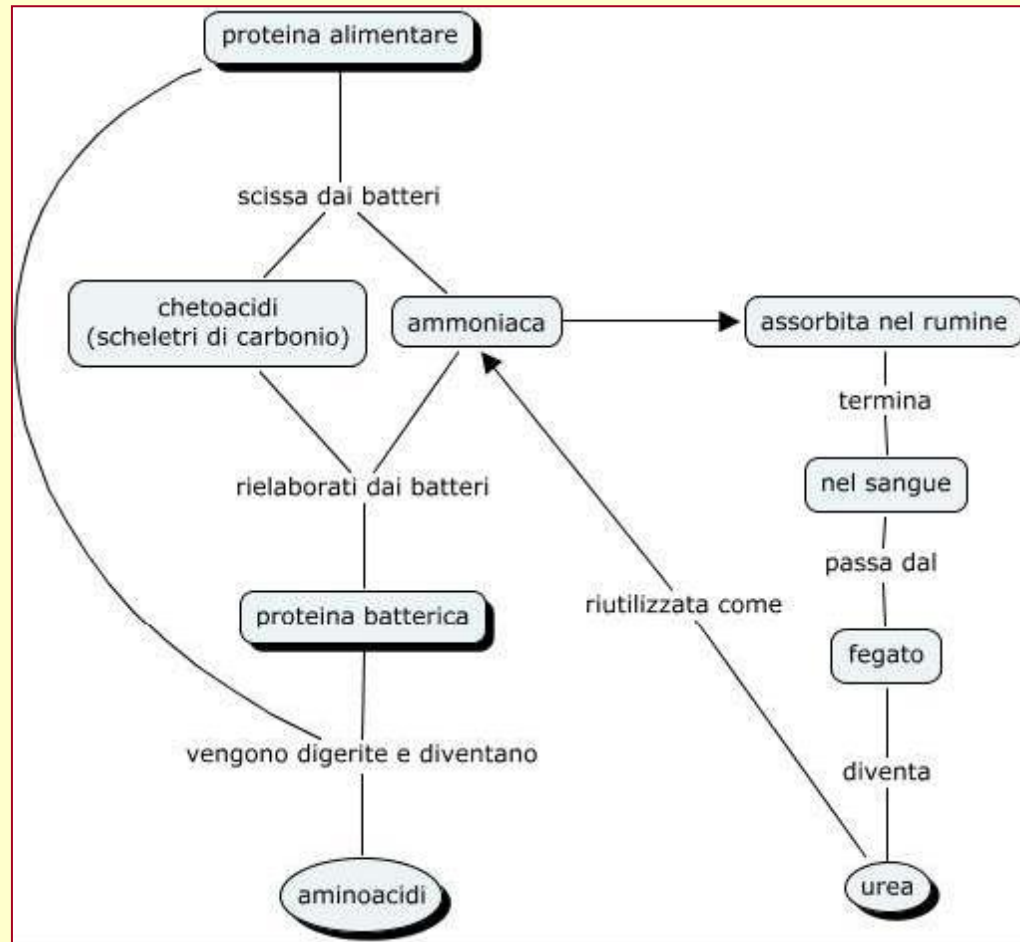
La migliore utilizzazione dell'urea si ha in presenza di glucidi fermentescibili perché:

- la rapida formazione di scheletri carboniosi consente la fissazione dell' NH_3 diminuendone la concentrazione ruminale impedendo così la sua diffusione attraverso le pareti o la perdita con l'eruttazione.
- L'abbassamento del pH determinato dalla rapida formazione di AGV ed acido lattico, fissa l' NH_3 e la trattiene sotto la forma indiffusibile NH_4^+ prevenendo l'insorgenza di stati tossici.

I glucidi facilmente fermentescibili deprimono l'attività proteolitica del rumine rallentando la formazione di NH_3 dalle proteine della dieta che favoriscono la moltiplicazione della flora microbica. Utilizzando diete addizionate di urea è raccomandabile l'apporto di glucidi facilmente fermentescibili.

Le proteine alimentari non degradate nel ruminale (*escape ruminale proteico*) + le proteine dei batteri che colonizzano le *digesta* o il liquido ruminale che oltrepassano l'ostio reticolo-omasale, rappresentano l'entità di proteine realmente a disposizione dell'animale per la digestione successiva.

utilizzo della proteina in un ruminante.



Digestione ruminale dei lipidi

I lipidi presenti negli alimenti vegetali sono:

- Galattogliceridi di ac. grassi, in prevalenza insaturi, della serie linoleica: Ac. palmitoleico, oleico, linoleico, arachidonico
- Trigliceridi (scarsamente presenti, circa 3%)
- Acidi grassi liberi, fosfolipidi carotenoidi ecc. (piccole quantità)

I batteri hanno una intensa attività lipolitica che porta all'idrolisi dei trigliceridi (scissione in glicerolo, mono, digliceridi e acidi grassi)

I protozoi inglobano e digeriscono cloroplasti ricchi di lipidi

Gli acidi grassi insaturi vengono idrogenati e trasformati in acidi grassi saturi

Vantaggi della digestione microbica ruminale

La digestione microbica permette di utilizzare tutti i foraggi anche i più grossolani. Quando invece la dieta è ricca di principi nutritivi altamente digeribili o ad alto valore biologico, come nel caso di razioni ricche di amido e di proteine di origine animale, il rendimento biologico dell'utilizzo degli alimenti si abbassa

Proteine bypass

Proteine nobili che vengono somministrate ad animali altamente produttivi devono essere preservate dall'attacco microbico ruminale e passare attraverso il reticolo e l'omaso, nell'abomaso, dove inizia la digestione enzimatica. La proprietà bypass delle proteine alimentari è determinata da fattori intrinseci, come la sua solubilità determinata dalla sua natura chimica, ed estrinseci, legati all'inserimento del nutriente nella dieta per ridurre i tempi di permanenza nel rumine (es. somministrazione ad libitum dell'alimento)

La ruminazione è associata a

Eruttazione

Evento riflesso indotto dai gas ruminali che, attivando i recettori (meccanocettori) in essa presenti, distendono la regione cardiaca, determinando il rilasciamento dello sfintere.

Nelle 24 ore vengono prodotti, in una bovina, fino anche a 1000 litri di gas, di cui
 il 65% è rappresentato da CO₂
 il 25% da CH₄
 il 7% da NH₄

In condizioni particolari si possono verificare anomalie nella produzione di gas che determinano

Meteorismo

Considerevole aumento di gas conseguente alla riduzione o blocco del loro passaggio attraverso l'esofago.

Il riflesso di apertura del cardias manca: lo sfintere è coperto da liquidi o gas schiumosi. L'accumulo di gas è rapido, con aumento della pressione intraruminale, espansione del comparto reticolo-ruminale con lastimolazione dei recettori delle pareti del reticolo e riduzione o blocco delle contrazioni prestomacali. Seguono problemi circolatori e respiratori.

Il contenuto ruminale che passa nell'omaso è costituito da:

- Sostanze parzialmente indigerite o indigeribili: proteine a bassa digeribilità, carboidrati strutturali non del tutto scissi, lignina
- Sostanze nutritive digeribili (amidi, proteine, lipidi) by-pass che saranno digerite nell'abomaso e nell'intestino
- Cellule microbiche morte, che saranno digerite nell'abomaso, che produce lisozima, enzima capace di disgregare la parete microbica, e nell'intestino

Nell'omaso avviene l'assorbimento di una notevole quantità di acqua, favorito anche dalla grande superficie assorbente dovuta alle numerose lamine ricchissime di papille. Ciò per non diluire eccessivamente i succhi gastrici che l'alimento troverà nel successivo stomaco ghiandolare

Digestione gastrica e intestinale

A partire dall'abomaso la digestione avviene come nei monogastrici con la differenza che:

- I carboidrati da digerire sono solo quelli che hanno by-passato il rumine. I polisaccaridi strutturali che non sono stati degradati nel rumine finiranno nelle feci
- Le proteine microbiche da digerire sono ad elevatissimo valore biologico. Quelle by-pass, se sono state addizionate alla razione come tali
- I lipidi sono quelli by-pass

Al termine della digestione intestinale tutto ciò che non viene assorbito dai villi intestinali passa nell'intestino crasso, dove subisce una nuova fermentazione ed un nuovo riassorbimento dell'acqua. Si formano quindi le feci che vengono inviate al retto da dove saranno espulse all'esterno previo completamento del riassorbimento idrico

ASSORBIMENTO DEI NUTRIENTI E METABOLISMO

Assorbimento nel tenue

Immette nel flusso sanguigno i prodotti della digestione enzimatica gastrica e intestinale:

- glucosio (dai glucidi digeribili: amido, disaccaridi)
- amminoacidi (dalle proteine almeno in parte digeribili)
- glicerina (dai trigliceridi)
- acidi grassi (dai trigliceridi)
- vitamine, minerali, nucleotidi

Assorbimento in altre regioni

riguarda:

- acidi grassi volatili, nel rumine dei poligastrici, nel cieco del coniglio e del cavallo (dalla degradazione batterica delle sost. nutritive)
- ammoniaca, nel rumine (dalla degradazione delle sost. azotate)
- vitamine idrosolubili, nel crasso (dalla degradazione batterica)

Tutte le sostanze vengono immesse nella vena porta che, uscendo dall'apparato digerente, entra direttamente nel fegato, raggiungendo i vari lobuli epatici, dove le varie sostanze vengono metabolizzate

Metabolismo

Non sempre le sostanze presenti nel sangue possono essere utilizzate direttamente dalle cellule. Quasi sempre devono essere trasformate dal fegato in sostanze più utili o più facili da eliminare o meno tossiche per l'organismo

Metabolismo epatico

- 1. Metabolismo degli acidi grassi e del glucosio**
- 2. Metabolismo degli amminoacidi e di altre sostanze azotate e la transaminazione**
- 3. Metabolismo (inattivazione) delle sostanze biologicamente attive**

1. Metabolismo degli acidi grassi e del glucosio

L'acido acetico non è trattenuto dal fegato e passa nella circolazione generale. Viene captato dai tessuti periferici e inserito direttamente nel ciclo di Krebs (come acetil-coenzima A) per la produzione di energia. Può anche essere utilizzato dal tessuto adiposo per la produzione di acidi grassi. Gli acidi grassi sono poi esterificati con glicerina e depositati sotto forma di lipidi nel tessuto stesso.

Il butirrato (in realtà l'ac. butirrico filtra la parete del rumine ed è trasformato in beta-idrossi butirrato e poi in acetil-coenzima A) segue lo stesso destino in quanto nei tessuti è idrolizzato ad acetato.

L'acido propionico è trattenuto dal fegato che, attraverso la gluconeogenesi (via anabolica che permette di formare *ex novo* glucosio da molecole che non sono carboidrati) lo converte in glucosio. Questo metabolita è rilasciato dal fegato ed è impiegato per la nutrizione del tessuto nervoso, per la produzione del latte e per la nutrizione del feto.

2. Metabolismo degli amminoacidi

E' complesso: va dalla sintesi delle proteine, alla demolizione nei processi di ricambio dei tessuti, alla transaminazione con la produzione di amminoacidi non essenziali a partire da uno essenziale

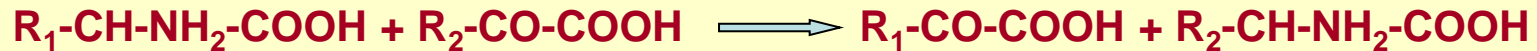
Turn-over dei tessuti

E' l'insieme dei processi biochimici che, distruggendo e ricostruendo i costituenti dei tessuti, soprattutto proteine, mantengono invariata l'efficienza dell'organismo.

L'azoto ammoniacale che deriva dalla demolizione degli amminoacidi, viene trasformato dal fegato in urea, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, che viene riversata nelle urine ed escreta attraverso i reni. In piccola parte l'urea viene riversata anche nella saliva, attraverso la quale tornerà nuovamente nel ruminante, e nel sudore. La parte carboniosa viene trasformata in chetoacido, usato per produrre energia o per la sintesi di altri amminoacidi.

Transaminazione

Per produrre nuovi aminoacidi a partire da quelli esistenti, un gruppo amminico viene trasferito da un aminoacido ad un chetoacido



Da un aminoacido A1, si può ottenere un aminoacido A2, purché A1 sia un aminoacido essenziale

Gli aminoacidi essenziali non si possono ottenere per transaminazione, ma devono essere assunti con la dieta

3. Metabolismo (inattivazione) delle sostanze biologicamente attive

Riguarda soprattutto la disattivazione di sostanze tossiche. Il fegato trasforma sostanze nocive in molecole inattive che possano essere eliminate con le urine