

# Sistema digerente

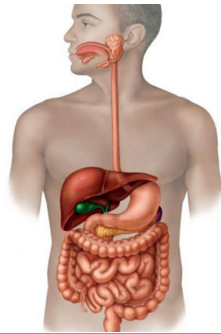


Non continuare nella lettura se non conosci bene:

- l'anatomia e l'istologia del sistema digerente
- l'anatomia del sistema linfatico
- l'anatomia del circolo venoso splanchnico
- l'anatomia del circolo portale epatico

## Principali funzioni del sistema digerente

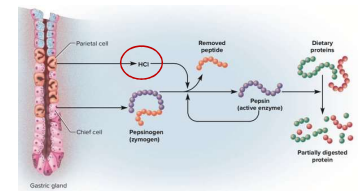
- Una funzione: portare nutrienti e acqua dall'ambiente esterno all'interno dell'organismo
- Quattro processi (base): motilità, digestione, secrezione, assorbimento
- Tre grossi problemi



## Sistema digerente: tre grossi problemi

### 1. Evitare l'autodigestione

- Gli alimenti ingeriti sono costituiti dalle stesse componenti che costituiscono i tessuti
- La sfida è evitare di sottoporre i tessuti del tratto gastrointestinale al processo digestivo:
- Secrezione di enzimi in forma inattiva** (pro-enzimi o zim«ogeni»), per evitare che danneggino le stesse cellule che li hanno prodotti: saranno attivati nel lume gastrointestinale



## Sistema digerente: tre grossi problemi

### 1. Evitare l'autodigestione

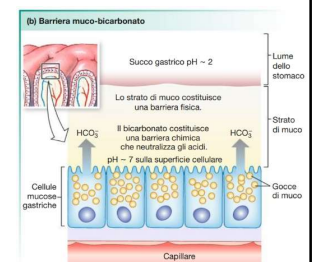
- Gli alimenti ingeriti sono costituiti dalle stesse componenti che costituiscono i tessuti
- La sfida è evitare di sottoporre i tessuti del tratto gastrointestinale al processo digestivo:
- Secrezione di enzimi in forma inattiva** (pro-enzimi o zim«ogeni»), per evitare che danneggino le stesse cellule che li hanno prodotti: saranno attivati nel lume gastrointestinale



## Sistema digerente: tre grossi problemi

### 1. Evitare l'autodigestione

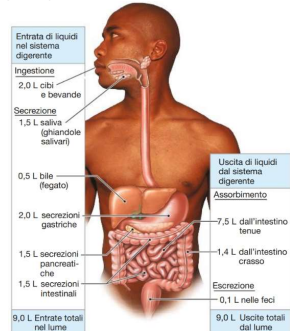
- Gli alimenti ingeriti sono costituiti dalle stesse componenti che costituiscono i tessuti
- Necessario evitare di sottoporre tessuti e cellule del tratto gastrointestinale al processo digestivo:
- Produzione di muco**, secrezione viscosa che forma un rivestimento protettivo sulla mucosa gastrointestinale
- Produzione di bicarbonato**, tampone chimico sottostante al muco



### Sistema digerente: tre grossi problemi

#### 2. Mantenere l'omeostasi dei fluidi: non ci sono solo i reni!

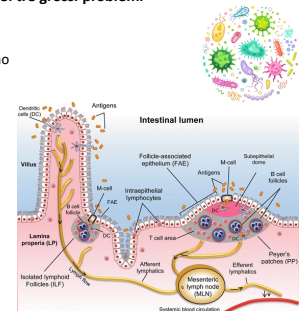
- Il volume di liquidi che entra nel tratto gastrointestinale (per ingestione o secrezione) dev'essere uguale al volume di liquidi che ne esce (**bilancio di massa**)
- Di norma il riassorbimento intestinale è molto efficiente (solo 100 ml di liquidi sono persi con le feci)
- Vomito e diarrea...



### Sistema digerente: tre grossi problemi

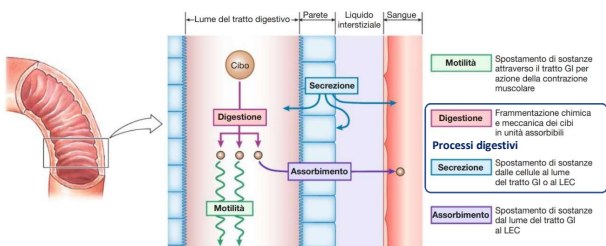
#### 3. Proteggere dalle infezioni

- Tubo digerente: aperto verso l'ambiente esterno
- Superficie totale pari a quella di un campo da tennis
- Necessità di impedire l'accesso agli agenti patogeni
- Meccanismi fisiologici di difesa: muco, enzimi digestivi, pH acido
- Grande presenza di tessuto linfatico: nel tenue 80% di tutti i linfociti dell'organismo (GALT, Gut-Associated Lymphoid Tissue)



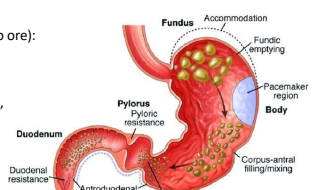
### Principali funzioni del sistema digerente

- Una funzione: portare nutrienti e acqua dall'ambiente esterno all'interno dell'organismo
- Quattro processi (base): motilità, digestione, secrezione, assorbimento
- Tre grossi problemi



### Motilità del tratto gastrointestinale

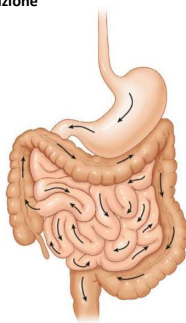
- Finalità
  - spostare gli alimenti dalla bocca all'ano
  - mescolare meccanicamente gli alimenti
- Muscolatura liscia, contrazione spontanea, influenzata da sistema nervoso, ormoni e sostanze paracrine
- Motilità diversa a seconda delle regioni
  - contrazioni toniche** (mantenute per minuti o ore): si verificano a livello degli sfinteri e nella porzione anteriore dello stomaco
  - contrazioni fasiche**: caratterizzate da cicli (pochi secondi) di contrazione-rilasciamento, si verificano nella regione posteriore dello stomaco e nell'intestino tenue



### Motilità: tre modelli di contrazione Lontano dai pasti

#### Complesso motorio migrante

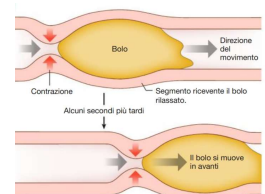
- Serie di contrazioni che iniziano nello stomaco vuoto e terminano nell'intestino crasso
- Il «percorso» dura circa 90 minuti
- Serve a «pulire» il tratto GI superiore spingendo residui alimentari e batteri verso l'intestino crasso



### Motilità: tre modelli di contrazione Durante e subito dopo un pasto

#### Peristalsi

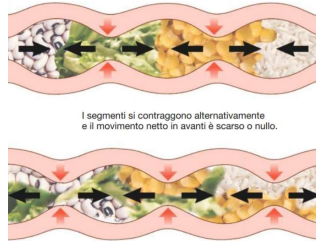
- Responsabile dell'avanzamento del bolo
- Costituita da onde di contrazione che si spostano da una sezione del tratto GI all'altra
- Lo strato di muscolo circolare si contrae proprio dietro il bolo alimentare, spingendolo in avanti verso una regione (segmento ricevente) dove lo strato circolare è rilasciato
- Il bolo avanza a una velocità compresa tra 2 e 25 cm/s



### Motilità: tre modelli di contrazione Durante e subito dopo un pasto

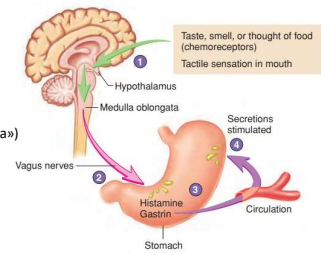
#### Contrazioni segmentali

- Brevi segmenti di intestino (1-5 cm) si contraggono e si rilasciano alternativamente
- Funzione: rimescolare il contenuto intestinale per aumentarne la superficie accessibile agli enzimi digestivi e il contatto con l'epitelio di assorbimento
- Il contenuto intestinale viene anche spostato per brevi distanze in direzione dell'ano



### Processi digestivi: la fase cefalica

- Risposta anticipatoria che attiva i processi digestivi preparando il sistema digerente all'arrivo del cibo
- Stimolo:
  - odore, vista, pensiero del cibo («acquolina in bocca», stomaco che «brontola»)
  - sensazione tattile del cibo nella cavità orale
- Risposta (sistema nervoso autonomo):
  - riflesso vagale
  - avvio secrezione ghiandolare
  - aumento motilità gastrica e intestinale



### Processi digestivi: la fase orale

#### Masticazione

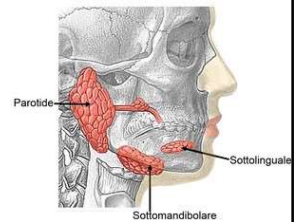
- Digestione meccanica del cibo a opera di labbra, lingua e denti



### Processi digestivi: la fase orale

#### Contatto con la saliva

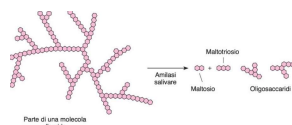
- Liquido complesso contenente acqua, ioni, muco e proteine (enzimi, immunoglobuline)
- Tre coppie di ghiandole salivari (esocrine):
  - Parotidi (saliva ricca di enzimi)
  - Sottomandibolari (saliva mista di muco ed enzimi)
  - Sublinguali (saliva ricca di muco)



### Processi digestivi: la fase orale

#### Funzioni della saliva

- Lubrificazione e umidificazione: acqua e muco ammorbidiscono e lubrificano il cibo per favorire la deglutizione
- Digestione degli amidi: amilasi salivare (ptialina)
  - enzima che scinde le macromolecole di amido in destrina e, successivamente, in maltosio
- Digestione dei lipidi: lipasi salivare (ruolo minimo)
- Equilibrio del pH e remineralizzazione: pH leggermente alcalino, contrasta acidità prodotta da batteri, previene demineralizzazione dello smalto
- Miglioramento sensibilità ai sapori (senso del gusto) dissolvendo il cibo
- Azione antimicrobica (lisozima, lactoferrina e immunoglobuline)
- Rimozione dei residui: contributo a rimozione frammenti di cibo da denti e gengive
- Protezione: creazione barriera protettiva, riduzione rischio lesioni e irritazioni



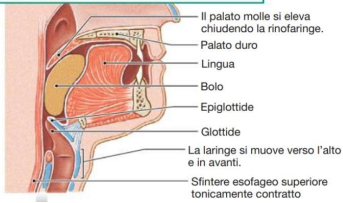
### Processi digestivi: la deglutizione

#### Deglutizione

- Processo che che spinge il bolo nell'esofago
- Riflesso integrato nel bulbo e mediato da afferenze sensoriali del IX nervo cranico (glossofaringeo) e da neuroni motori somatici e autonomi
- Stimolato dalla pressione generata quando la lingua spinge il bolo contro il palato molle
- Attuato dai muscoli scheletrici della faringe e dell'esofago superiore

## Processi digestivi: la deglutizione

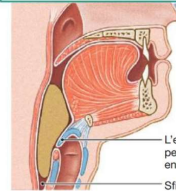
- 1 La lingua spinge il bolo contro il palato molle nella parte posteriore della bocca, innescando il riflesso della deglutizione.



- Appena attivato, il riflesso della deglutizione induce il palato molle a elevarsi e a chiudere la rinofaringe
- Contrazioni muscolari spostano la laringe verso l'alto e in avanti per:
  - isolare la trachea
  - aprire lo sfintere esofageo superiore

## Processi digestivi: la deglutizione

- 2 Mentre il bolo passa, la respirazione è interrotta e le vie aeree sono chiuse.

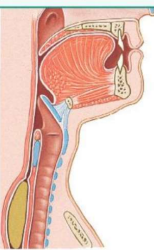


L'epiglottide si piega verso il basso per impedire che il materiale deglutito entri nelle vie aeree.  
Sfintere esofageo superiore rilassato.

- Mentre il bolo si sposta in basso, verso l'esofago:
- l'epiglottide si piega completando la chiusura delle vie aeree superiori
- la respirazione si interrompe

## Processi digestivi: dopo la deglutizione

- 3 Il cibo scende nell'esofago, spinto dalle onde peristaltiche e agevolato dalla forza gravità.



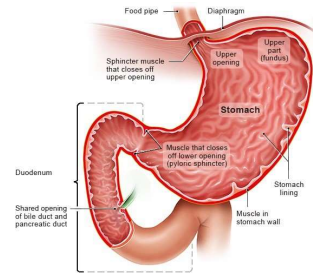
- Quando il bolo raggiunge l'esofago:
  - lo sfintere esofageo superiore si rilassa
  - onde di contrazioni peristaltiche spingono il bolo verso lo stomaco
- Nell'estremità distale dell'esofago la tensione del cardias\* diminuisce, consentendo il passaggio del bolo nello stomaco
- Transitato il bolo, il cardias si contrae, agendo da barriera esofago e stomaco

\* Sfintere «funzionale»: non esiste un fascio muscolare dimostrabile anatomicamente, ma solo una zona della muscolatura esofagea, estesa verticalmente per un paio di centimetri, che si contrae impedendo la risalita dei fluidi

## Processi digestivi: la fase gastrica

## Le tre funzioni dello stomaco

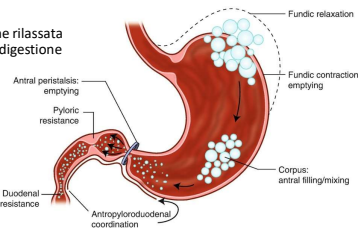
- Deposito**  
Accumula gli alimenti e regola il loro passaggio nell'intestino tenue, dove ha luogo la maggior parte della digestione e dell'assorbimento
- Digestione**  
Digerisce chimicamente e meccanicamente il cibo trasformandolo in una miscela acquosa di piccole particelle uniformi (chimo)
- Protezione**  
Distrugge molti agenti patogeni inghiottiti con il cibo o con il muco delle vie aeree



## Processi digestivi: la fase gastrica

Il bolo entra nello stomaco e...

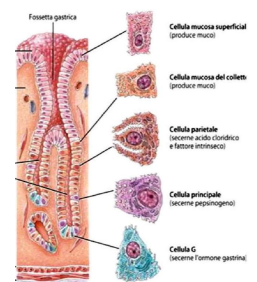
- L'intero stomaco si distende, aumentando di volume (**rilassamento ricettivo**) e inducendo un aumento della motilità gastrica
- La metà superiore (**fondo gastrico**) rimane rilassata e trattiene il bolo in attesa di iniziare la digestione (**funzione di deposito**)
- Funzione necessaria a**
  - regolare la velocità con cui il chimo raggiunge l'intestino tenue (non è in grado di digerire e assorbire un carico eccessivo di cibo)
  - impedire che alimenti indigeriti raggiungano l'intestino crasso



## Processi digestivi: la fase gastrica

Il bolo entra nello stomaco e...

- I processi digestivi avvengono nel **corpo gastrico**
- Onde peristaltiche spingono il cibo in basso verso l'**antro**, mescolandolo con **acido** ed **enzimi digestivi**



## Processi digestivi: la fase gastrica

## Secrezione di gastrina: l'inizio

- Ormonale presente nella mucosa con funzione di regolare la secrezione gastrica
- Secrezione sollecitata dagli stimoli della fase cefalica e dall'assunzione di cibo
- Stimola le cellule parietali delle ghiandole ossintiche a produrre e secernere acido cloridrico
- Stimola la produzione di pepsinogeno da parte delle cellule principali
- Regola lo sfintere pilorico, inducendone la riduzione del tono

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
		Lipasi gastrica
	Cellule D	Somatostatina
	Cellule G	Gastrina

## Processi digestivi: la fase gastrica

## Secrezione di acido cloridrico

- Denatura le proteine rompendo i legami disolfuro e i ponti di idrogeno, rendendole più accessibili alla digestione da parte della pepsina
- Causa il rilascio e l'attivazione della pepsina, l'enzima che digerisce le proteine
- Innesca il rilascio di somatostatina dalle cellule D
- Contribuisce a uccidere batteri e altri microrganismi ingeriti.
- Inattiva l'amilasi salivare, arrestando la digestione dei carboidrati iniziata nella bocca

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
		Lipasi gastrica
	Cellule D	Somatostatina
	Cellule G	Gastrina

## Processi digestivi: la fase gastrica

## Secrezioni enzimatiche

## Pepsina

- Enzima secreto in forma inattiva (pepsinogeno) dalle cellule principali delle ghiandole gastriche
- Attivato in forma attiva (pepsina) nel lume dello stomaco per azione degli  $H^+$
- Responsabile della digestione iniziale delle proteine (particolarmente efficace nella digestione della carne)

## Lipasi gastrica

- Co-secreta con la pepsina
- Contribuisce alla degradazione dei trigliceridi, ma meno del 10% della digestione dei grassi ha luogo nello stomaco.

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
		Lipasi gastrica
	Cellule D	Somatostatina
	Cellule G	Gastrina

## Processi digestivi: la fase gastrica

## Secrezioni paracrine

## Istamina

- Secreta in risposta alla stimolazione con gastrina o acetilcolina
- Stimola la secrezione di acido legandosi ai recettori  $H_2$  sulle cellule parietali

## Fattore intrinseco

- Si lega alla vitamina B12 per renderne possibile l'assorbimento nell'intestino

## Somatostatina

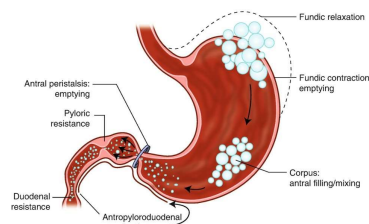
- Ormonale inibitore della secrezione dell'ormone della crescita
- Principale segnale di retroazione negativa: blocca (direttamente o indirettamente) la secrezione acida, di gastrina, istamina e pepsinogeno

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
		Lipasi gastrica
	Cellule D	Somatostatina
	Cellule G	Gastrina

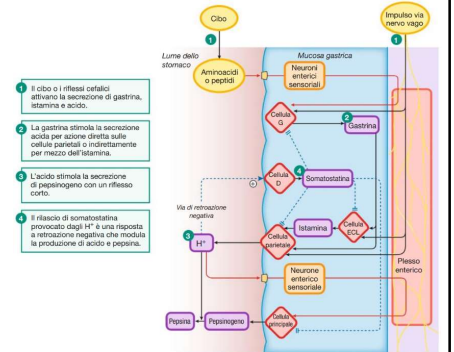
## Processi digestivi: la fase gastrica

Il bolo entra nello stomaco e...

- Gli alimenti via via digeriti (**chimo**) sono spinti nel duodeno, attraverso il **piloro**




## Integrazione delle fasi cefalica e gastrica della secrezione





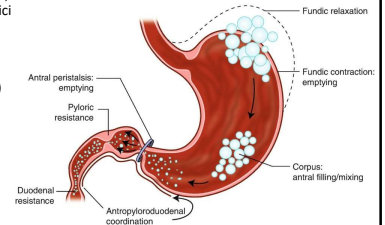
### Riassumendo...

	Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta	Funzioni del secreto	Stimolo per il rilascio	
 <p>Orificio di una ghiandola gastrica</p>		Cellule mucose superficiali	Muco	Barriera fisica fra lume ed epitelio	Secrezione tonica; irritazione della mucosa	
		Cellule mucose del colletto	Bicarbonato	Tampona l'acido gastrico per impedire lesioni all'epitelio	Secreto con il muco	
		Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)	Attiva la pepsina, uccide i batteri	Acetilcolina, gastrina, istamina	
			Fattore intrinseco	Si lega alla vitamina B <sub>12</sub> per il suo assorbimento		
		Cellule simil-enterocromaffini	Istamina	Stimola la secrezione di acido gastrico	Acetilcolina, gastrina	
		Cellule principali	Pepsinogeno	Digerisce le proteine	Acetilcolina, gastrina	
			Lipasi gastrica	Digerisce i lipidi	Acetilcolina, secrezione acida	
		Cellule D	Somatostatina	Inibisce la secrezione di acido gastrico	Acido nello stomaco	
		Cellule G	Gastrina	Stimola la secrezione di acido gastrico	Acetilcolina, peptidi e aminoacidi	

### Processi digestivi: la fase intestinale

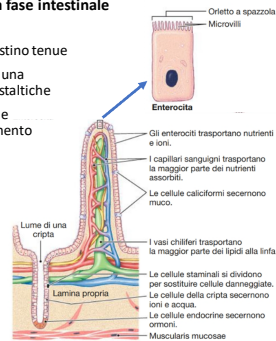
#### Dopo lo stomaco

- Il **chimo (acido)** viene a poco a poco spinto nel duodeno in piccole quantità, per non sovraccaricare i sistemi enterici di assorbimento e digestione
- Nel duodeno il chimo si mescola al succo enterico (enzimi digestivi, muco, bicarbonato, ormoni, bile, ecc.)
- Si forma il **chilo**, fluido **basico** di aspetto lattiginoso



### Processi digestivi: la fase intestinale

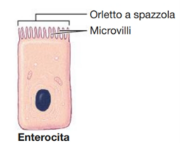
- La digestione avviene principalmente nell'intestino tenue
- Il chilo viene lentamente sospinto in avanti da una combinazione di contrazioni segmentali e peristaltiche
- I componenti del chimo sono ridotti a molecole più piccole per favorirne il successivo assorbimento
- L'anatomia del tenue (villi e cripte) massimizza la superficie di contatto del chilo con la mucosa
- L'**assorbimento** avviene prevalentemente lungo i villi
- La **secrezione** avviene prevalentemente nelle **cripte**



### Processi digestivi: la fase intestinale

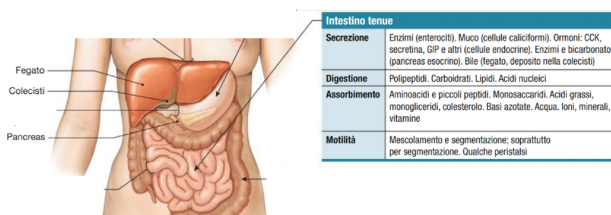
Ruolo degli enzimi presenti nell'orletto a spazzola dell'enterocita

- Glucoamilasi:** digerisce l'amido, presente in alimenti come patate, pane, pasta, legumi, cereali
- Lattasi:** digerisce il lattosio, presente nel latte
- Disaccaridasi:** digerisce il saccarosio (zucchero da cucina) e il maltosio
- Destrasi:** digerisce le destrine
- Nucleasi:** digerisce gli acidi nucleici

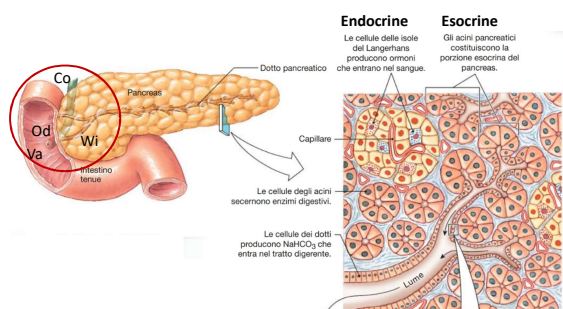


### Processi digestivi: la fase intestinale

- Enzimi e altre sostanze prodotte da **fegato** e **pancreas** ed **enterociti** svolgono ruoli essenziali nella digestione e assorbimento dei nutrienti (proteine, glucidi, lipidi)



### Il ruolo del pancreas

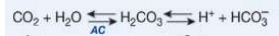


### Il ruolo del pancreas

#### Le secrezioni del pancreas esocrino

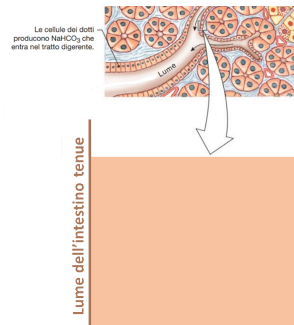
##### Pancreas esocrino: Bicarbonati

- Prodotti nelle cellule dell'epitelio duttale

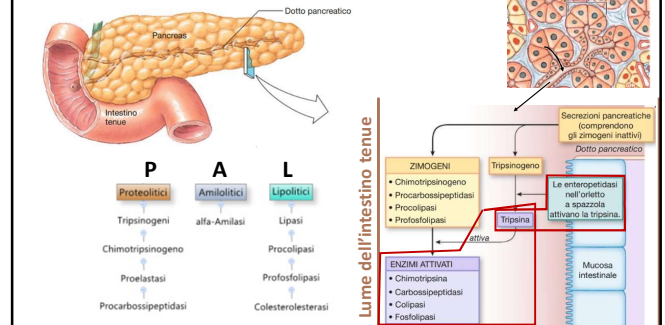


- Due funzioni

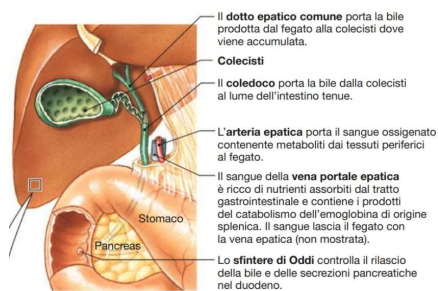
- Assicurare pH a range ottimale (7-8) per il funzionamento degli enzimi pancreatici
- Azione tampone su acidità di provenienza gastrica



### Le secrezioni del pancreas esocrino



### Il ruolo del fegato



### Digestione e assorbimento dei lipidi

Digestione e assorbimento delle proteine

Digestione e assorbimento dei carboidrati

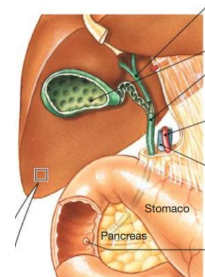
### Digestione e assorbimento dei lipidi

- Fase orale: lipasi salivare**
  - Enzima secreto dalle cellule acinari della ghiandola sublinguale
  - Aiuta la digestione dei lipidi (ruolo minimo)
- Fase gastrica: lipasi gastrica**
  - Co-secreta con la pepsina
  - Contribuisce alla degradazione dei trigliceridi, ma meno del 10% della digestione dei grassi avviene nello stomaco.

### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Spoiler

- La digestione dei lipidi alimentari, in prevalenza trigliceridi, avviene nel tenue (duodeno e digiuno)
- Necessaria l'azione combinata
  - della bile (sali biliari e fosfolipidi)
  - delle idrolasi (amilasi) pancreatiche



### Digestione e assorbimento dei lipidi

- La maggior parte dei lipidi è idrofobica (non idrosolubile)
- Nel chilo sono presenti grandi gocce di lipidi in emulsione

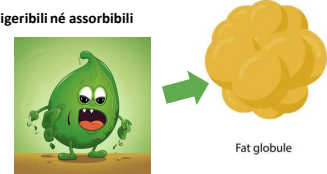
#### Emulsione

Miscela temporaneamente stabile di due fluidi che, agitati, non si miscelano in maniera omogenea (cioè rimangono distinguibili anche dopo la miscelazione)  
Uno dei componenti dell'emulsione è disperso nell'altra sotto forma di goccioline (es. olio nell'acqua o acqua nell'olio)



### Digestione e assorbimento dei lipidi

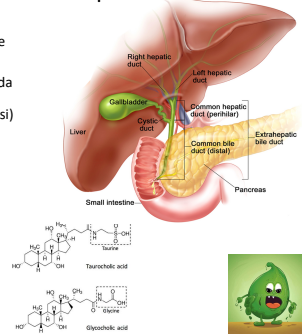
- La maggior parte dei lipidi è idrofobica (non idrosolubile)
- Nel chilo sono presenti grandi gocce di lipidi in emulsione (trigliceridi, colesterolo, fosfolipidi, acidi grassi, vitamine liposolubili)
- Il continuo rimescolamento del chimo da parte delle contrazioni peristaltiche contribuisce alla scissione dei globuli lipidici in particelle molto più piccole
- Anche in questa forma non sono né digeribili né assorbibili



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### La bile

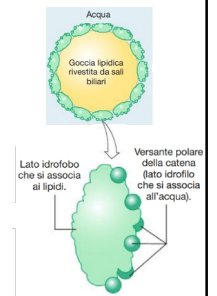
- Soluzione non enzimatica secreta dagli epatociti e immagazzinata nella colecisti
- Rilascio stimolato dalla colecistochinina, secreta da cellule presenti nella mucosa del duodeno e del digiuno a seguito di un pasto (specie ricco di grassi)
- Composizione complessa e variabile:
  - acqua ed elettroliti
  - pigmenti biliari (es. bilirubina)
  - colesterolo
  - sostanze metabolizzate dal fegato (es. farmaci)
  - acidi biliari
    - 95%: acidi colico, chenodeossicolico e deossicolico
    - 5%: acidi ursodeossicolico e litocolico
    - conjugati con gli AA glicina o taurina formano i sali biliari



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Bile: ruolo fondamentale per la digestione dei lipidi

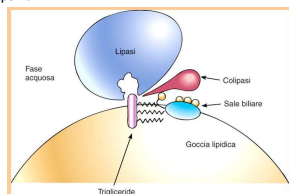
- I sali biliari agiscono da tensioattivi, rivestendo le gocce lipidiche per favorirne la digestione nell'ambiente acquoso dell'intestino
- Meccanismo d'azione dei sali biliari
  - Presentano una regione idrofobica e una idrofila
  - Le regioni idrofobiche si associano alla superficie delle goccioline lipidiche
  - Le catene laterali polari interagiscono con l'acqua creando un'emulsione di piccole gocce lipidiche idrosolubili
  - Vengono formate piccole micelle che consentono un maggiore accesso alle gocce di grasso da parte delle lipasi pancreatiche



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Lipasi pancreatiche

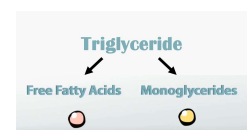
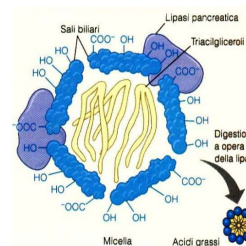
- Secrezione stimolata dalla colecistochinina
- Secreti come zimogeni, attivati nel duodeno dalla tripsina
  - (prolipasi → tripsina →) **Lipasi**
  - (procolipasi → tripsina →) **Colipasi** (coenzima)\*
  - (profosfolipasi → tripsina →) **Fosfolipasi**
- Agiscono in sinergia con i sali biliari
  - La lipasi non riesce a penetrare nello strato di sali biliari
  - La colipasi permette alla lipasi di accedere ai grassi attraversando il rivestimento di sali biliari



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### La lipasi pancreatic

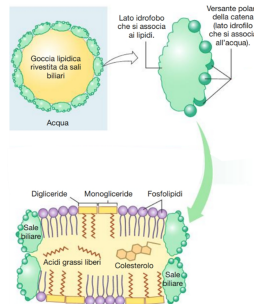
- Scinde i trigliceridi in monogliceridi e acidi grassi liberi
- Queste molecole sono facilmente assorbibili dagli enterociti





### Digestione e assorbimento dei lipidi

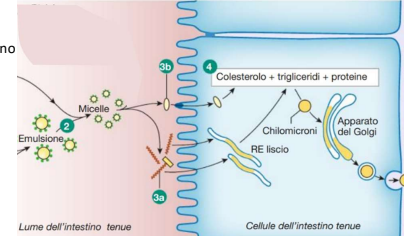
- Per azione degli enzimi pancreatici le micelle contengono ora
  - acidi grassi,
  - sali biliari,
  - monogliceridi,
  - fosfolipidi,
  - colesterolo



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Assorbimento dei lipidi

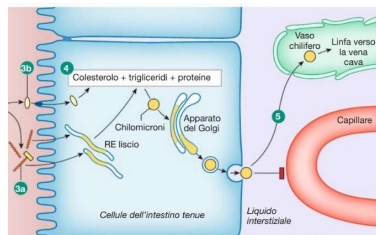
- Nei pressi dell'enterocita, monogliceridi e acidi grassi escono dalle micelle e diffondono passivamente nella cellula (orletto a spazzola)
- Negli enterociti
  - acidi grassi e monogliceridi entrano nel reticolo endoplasmatico
  - vengono risintetizzati in trigliceridi
  - i trigliceridi si combinano con colesterolo e proteine formando grosse gocce (**chilomicroni**)
  - l'unione con le proteine rende i lipidi idrosolubili e ne consente la fuoriuscita dall'enterocita



### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Assorbimento dei lipidi

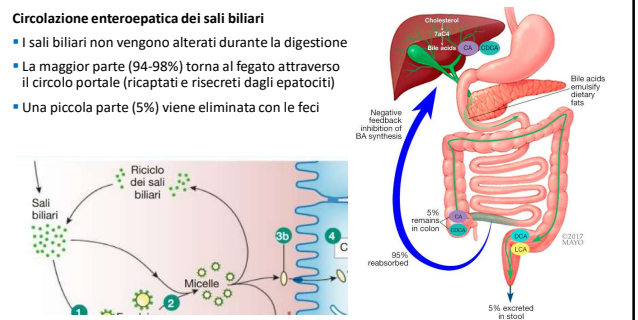
- I chilomicroni vengono assorbiti dai vasi linfatici (chiliferi) dei villi intestinali
- Attraverso il sistema linfatico raggiungono il circolo venoso



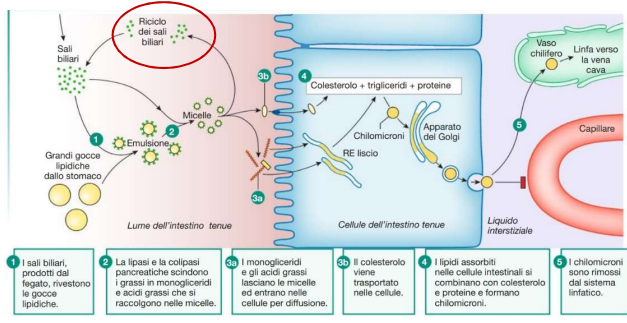
### Digestione e assorbimento dei lipidi

#### Circolazione enteroepatica dei sali biliari

- I sali biliari non vengono alterati durante la digestione
- La maggior parte (94-98%) torna al fegato attraverso il circolo portale (ricaptati e riscreti dagli epatociti)
- Una piccola parte (5%) viene eliminata con le feci



### Digestione e assorbimento dei lipidi



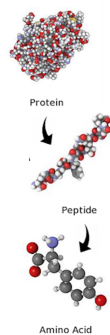
Fase intestinale: digestione e assorbimento dei lipidi

Fase intestinale: digestione e assorbimento delle proteine

Fase intestinale: digestione e assorbimento dei carboidrati

### Digestione e assorbimento delle proteine

- Le proteine sono assunte con gli alimenti in forma di polipeptidi
- Per essere assorbite devono essere degradate a piccoli peptidi e aminoacidi da specifici enzimi



### Digestione e assorbimento delle proteine

#### Nello stomaco

##### Secrezione di acido cloridrico

- Denatura le proteine rompendo i legami disolfuro e i ponti di idrogeno, rendendole più accessibili alla digestione da parte della pepsina
- Causa il rilascio e l'attivazione della pepsina, l'enzima che digerisce le proteine

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
	Cellule D	Lipasi gastrica
	Cellule G	Somatostatina
		Gastrina

### Digestione e assorbimento delle proteine

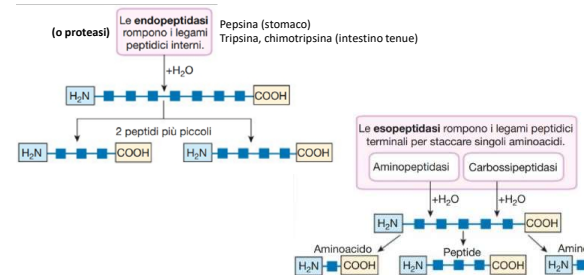
#### Nello stomaco

##### Pepsina

- Enzima secreto in forma inattiva (pepsinogeno) dalle cellule principali delle ghiandole gastriche
- Attivato in forma attiva (pepsina) nel lume dello stomaco per azione degli  $H^+$
- Responsabile della digestione iniziale delle proteine (particolarmente efficace nella digestione della carne)

Mucosa gastrica	Tipi cellulari	Sostanza secreta
	Cellule mucose superficiali	Muco
	Cellule mucose del collo	Bicarbonato
	Cellule parietali	Acido gastrico (HCl)
		Fattore intrinseco
	Cellule simil-enterocromaffini	Istamina
	Cellule principali	Pepsinogeno
	Cellule D	Somatostatina
	Cellule G	Gastrina

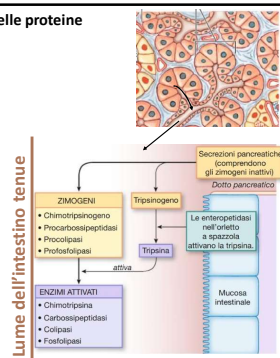
### Fase intestinale: digestione e assorbimento delle proteine



### Digestione e assorbimento delle proteine

#### Pancreas esocrino: enzimi proteolitici (prodotti come zimogeni)

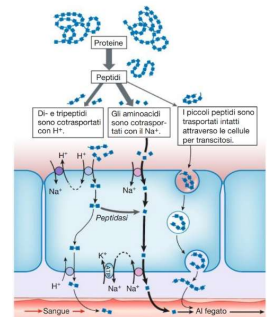
- (tripsinogeno-*enteropeptidasi*-) **Tripsina**
  - Più efficace su legami peptidici con aminoacidi basici (es. arginina e lisina)
  - Converte gli altri zimogeni pancreatici nelle loro forme attive
- (chimotripsinogeno-*tripsina*-) **Chimotripsina**
  - Più efficace su legami peptidici con aminoacidi aromatici (es. tirosina, triptofano, fenilalanina)
- (proelastasi-*tripsina*-) **Elastasi**
  - Unico enzima attivo sull'elastina
  - Fondamentale per la digestione delle carni
- (procarbossipeptidasi-*tripsina*-) **Carbossipeptidasi**
  - Attive sui legami peptidici all'estremità carbossilica della catena aminoacidica.



### Digestione e assorbimento delle proteine

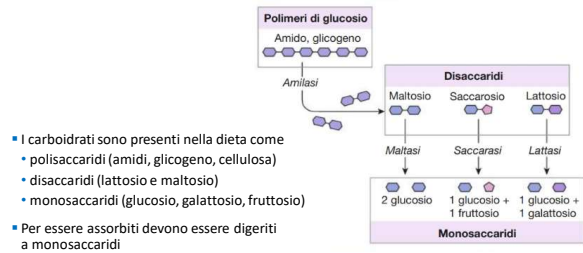
#### Meccanismi di assorbimento

- Una volta digerite, le proteine vengono assorbite prevalentemente sotto forma di singoli aminoacidi, dipeptidi e tripeptidi
- La struttura degli aminoacidi è molto variabile, esistono quindi sistemi di trasporto diversificati nell'intestino
- Passano direttamente nel circolo venoso, destinate a raggiungere il fegato (circolo portale epatico)



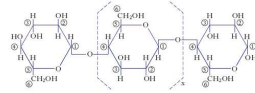
Fase intestinale: digestione e assorbimento dei lipidi  
 Fase intestinale: digestione e assorbimento delle proteine  
**Fase intestinale: digestione e assorbimento dei carboidrati**

#### Digestione e assorbimento dei glucidi



#### Digestione e assorbimento dei carboidrati

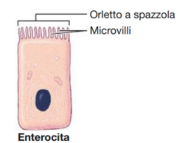
- La digestione dell'amido **inizia nella bocca** con l'amilasi salivare
- Si blocca nello stomaco** a causa del pH acido
- Riprende nel duodeno** a cura di enzimi che frammentano gli zuccheri complessi in monosaccaridi
  - Amilasi pancreatica**
  - Disaccaridasi** (orletto a spazzola)
- La cellulosa non è digeribile perché mancano gli enzimi necessari: viene escretta indigerita



#### Digestione e assorbimento dei carboidrati

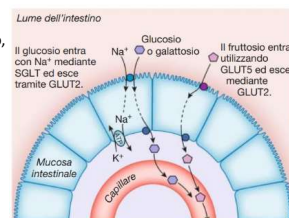
Contributo degli enzimi presenti nell'orletto a spazzola dell'enterocita

- Glucoamilasi:**  
digestione degli amidi
- Lattasi:**  
digestione del lattosio
- Disaccaridasi:**  
digestione del saccarosio e del maltosio
- Destrasi:**  
digestione delle destrine



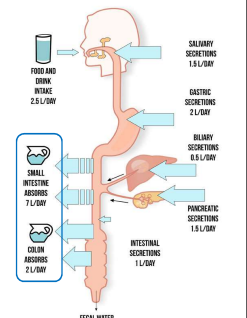
#### Digestione e assorbimento dei carboidrati

- L'assorbimento intestinale dei monosaccaridi utilizza meccanismi diversificati per glucosio-galattosio e fruttosio
- Passano direttamente nel circolo venoso, destinate a raggiungere il fegato (circolo portale epatico)



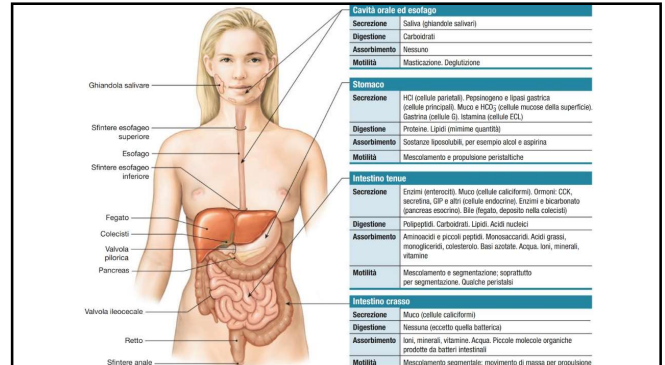
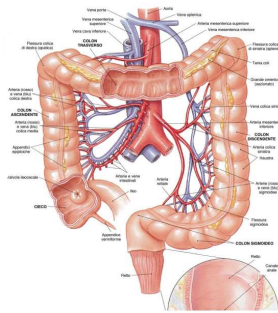
#### Fase intestinale: non solo macronutrienti

- Vitamine liposolubili (A, D, E, K):**  
assorbite nel tenue insieme ai lipidi
- Vitamine idrosolubili (B1, B2, B6, C, ac. folico, ecc.):**  
assorbite nel tenue per diffusione o trasporto attivo\*
  - La vitamina B12 necessita di combinarsi con fattore intrinseco (secreto a livello gastrico)
- Gli **ioni** sono per lo più assorbiti per trasporto attivo
- La maggior parte dell'**acqua** è assorbita a livello del tenue, una quota minore nel colon



### Ruolo dell'intestino crasso

- La mucosa del colon è liscia e priva di villi
- L'intestino crasso concentra i prodotti di scarto
- Al colon arriva la quota di chilo non assorbito (circa 1500 ml)
- Assorbe dal chilo la maggior parte dell'acqua residua (eliminati con le feci circa 100 ml)
- Il chilo impiega 48-72 ore a compiere il transito (sensibile variabilità interpersonale)
- L'avanzamento del contenuto intestinale è assicurato da contrazioni di segmentazione e peristalsi
- Il riflesso della defecazione (innescato dalla distensione della parete del retto) elimina il materiale (fecale) residuo non digerito

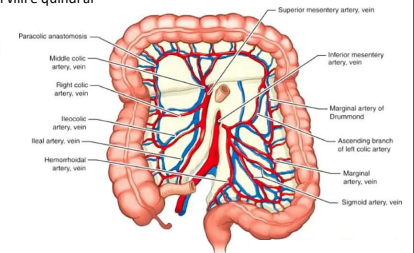


Nutriente	Assorbito come	Metabolismo assimilativo	Metabolismo nello stato di digiuno
Carboidrati	Principalmente glucosio; anche fruttosio e galattosio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilizzati immediatamente per la produzione di energia tramite le vie aerobiche* (glicolisi e ciclo dell'acido citrico)</li> <li>Utilizzati per la sintesi di lipoproteine nel fegato</li> <li>Accumulati come glicogeno nel fegato e nei muscoli (glicogenesi)</li> <li>Quelli in eccesso vengono convertiti in grassi e accumulati nel tessuto adiposo (lipogenesi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I polimeri di glicogeno si degradano (glicogenolisi) in glucosio nel fegato e nel rene o in glucosio-6-fosfato per l'uso nelle glicolisi</li> </ul>
Proteine	Soprattutto amminoacidi più alcuni piccoli peptidi	<ul style="list-style-type: none"> <li>La maggior parte degli amminoacidi raggiunge i tessuti per la sintesi proteica*</li> <li>Se necessari per produrre energia, gli amminoacidi vengono convertiti nel fegato in composti intermedi per il metabolismo aerobico (deaminazione)</li> <li>Quelli in eccesso vengono convertiti in grassi e accumulati nel tessuto adiposo (lipogenesi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le proteine si scompongono in amminoacidi</li> <li>Gli amminoacidi sono deaminati nel fegato per la produzione di ATP o per la sintesi di glucosio (gluconeogenesi)</li> </ul>
Lipidi	Acidi grassi, trigliceridi e colesterolo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accumulati come grassi principalmente nel fegato e nel tessuto adiposo* (lipogenesi)</li> <li>Il colesterolo è usato per la sintesi di steroidi o come componente di membrana</li> <li>Gli acidi grassi sono usati per la sintesi di lipoproteine ed eicosanoidi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I trigliceridi si scindono in acidi grassi e glicerolo (lipolisi)</li> <li>Gli acidi grassi sono usati per produrre ATP attraverso le vie aerobiche (β-ossidazione)</li> </ul>

\*Destino primario

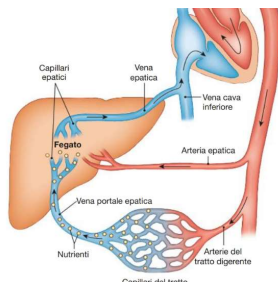
### Processi digestivi: trasporto dei nutrienti

- I nutrienti\* assorbiti dall'epitelio intestinale e le sostanze estranee (es. bilirubina, metaboliti tissutali) passano nei capillari dei villi e quindi al sistema venoso
- I lipidi entrano nel sistema linfatico attraverso vasi chiliferi

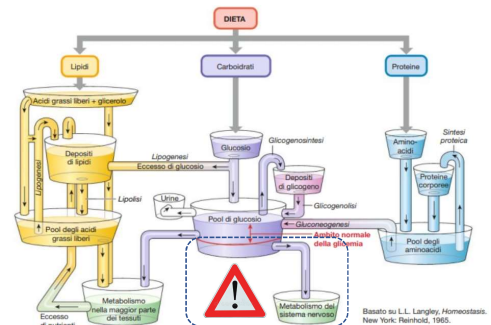


### Processi digestivi: trasporto dei nutrienti

- Tutto il sangue refluente dal tratto digerente passa dal fegato attraverso il sistema portale epatico
- Il fegato funziona come un filtro per rimuovere sostanze estranee potenzialmente pericolose prima che queste entrino nel circolo sistemico



### Lo scopo dell'assorbimento dei nutrienti: il metabolismo

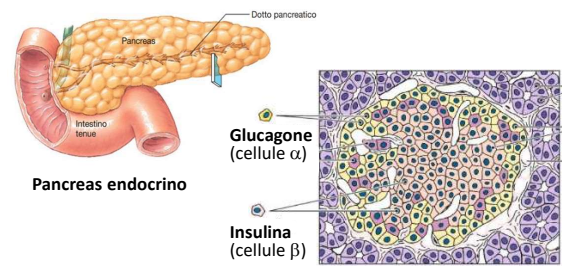


### Il metabolismo del glucosio

- La concentrazione plasmatica di glucosio (glicemia) è la più strettamente regolata fra i tre pool di nutrienti (ruolo protettivo per il tessuto nervoso)
- Livello glicemico normale**
  - utilizzo del glucosio come fonte energetica
- Livello glicemico elevato**
  - l'eccesso di glucosio viene accumulato nel fegato come glicogeno (**glicogenosintesi**)
  - superata la capacità di deposito come glicogeno il glucosio è convertito in grasso (**lipogenesi**)
  - un ulteriore eccesso di glucosio viene escreto nelle urine (superamento della "soglia renale")
- Livello glicemico ridotto**
  - il glicogeno è convertito in glucosio (**glicogenolisi**)
  - gli aminoacidi e il glicerolo possono essere convertiti in glucosio (**gluconeogenesi**)



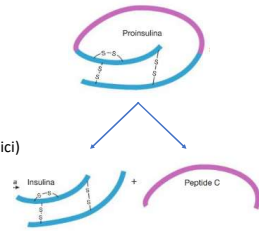
### Il metabolismo del glucosio: ruolo degli ormoni



### Il metabolismo del glucosio: ruolo degli ormoni

#### Insulina

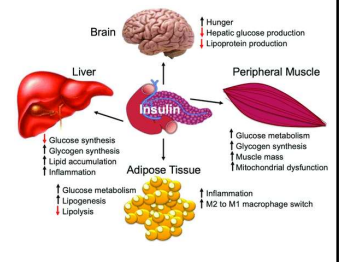
- Prodotta come pro-ormone inattivo, attivata prima della secrezione
- Secrezione stimolata da:
  - Aumento della glicemia ( $> 100 \text{ mg/dL}$ )
  - Aumento della concentrazione di aminoacidi
  - Azioni anticipatorie di ormoni gastrointestinali (es. incretine) prodotti da ileo e digiuno: raggiungono le cellule  $\beta$  prima che il glucosio sia stato assorbito (impedisce picchi insulinemici)
  - Stimolo parasimpatico
- Secrezione inibita da:
  - Stimolo simpatico (catecolamine): induce la gluconeogenesi e aumenta la produzione energetica



### Il metabolismo del glucosio: ruolo degli ormoni

#### Insulina

- Consente l'ingresso di glucosio nelle cellule insulino-sensibili (es. tessuto adiposo, fegato, muscolo scheletrico a riposo)\*
- Favorisce l'utilizzo del glucosio in eccesso (glicolisi, glicogenosintesi, lipogenesi)
- Inibisce la glicogenolisi, la gluconeogenesi e la lipolisi
- Attiva gli enzimi coinvolti nella sintesi proteica
- Inibisce gli enzimi che promuovono il catabolismo proteico



\* Il muscolo scheletrico in attività può utilizzare il glucosio anche in assenza di insulina  
Cervello, reni e intestino sono insulino-indipendenti

### Il metabolismo del glucosio: ruolo degli ormoni

#### Glucagone

- Antagonista metabolico dell'insulina
- Funzione iperglicemizzante: aumenta la glicemia stimolando il rilascio epatico di glucosio (glicogenolisi e gluconeogenesi)
- Secrezione stimolata da:
  - bassa glicemia ( $< 100 \text{ mg/dL}$ )
  - aumento della concentrazione plasmatica di aminoacidi (previene ipoglicemia dopo un pasto esclusivamente proteico)

