

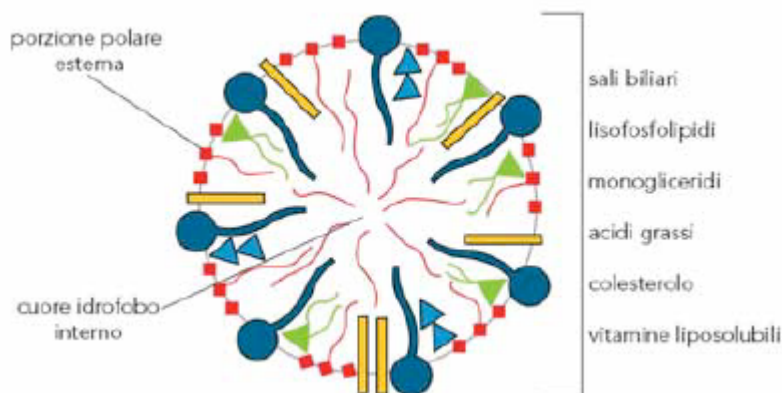
WWW. LA DIGESTIONE E L'ASSORBIMENTO DEI LIPIDI

I lipidi alimentari sono rappresentati per il 98% dai *trigliceridi* a catena media e lunga. A differenza di quanto accade per i glucidi e le proteine, la digestione e l'assorbimento di questi lipidi avvengono quasi esclusivamente nel lume dell'intestino, grazie agli enzimi del succo pancreatico e ai sali biliari (fase intraluminare), e in parte nelle cellule mucose (fase mucosa). Lo stomaco, invece, secerne una lipasi dotata di attività piuttosto debole, che è in grado di digerire soltanto il 10% dei lipidi della dieta.

La fase intraluminare

La prima digestione dei lipidi avviene nel duodeno a opera del succo pancreatico insieme alla bile. Il loro passaggio attraverso la bocca e lo stomaco è, tuttavia, utile sia per fluidificare i lipidi grazie alla temperatura di questi organi, sia per la loro dispersione meccanica in tutta la massa alimentare.

La lipasi più attiva è quella pancreatica, nonostante anche nell'intestino tenue sia presente una lipasi intestinale, diversa e molto meno efficiente della prima.



A livello dell'intestino tenue si formano numerosi finissimi aggregati, denominati micelle. All'interno di questi piccoli "trasportatori", che sono fondamentali per veicolare le molecole lipofile nelle cellule deputate al loro assorbimento, sono contenuti i prodotti della digestione lipidica: colesterolo, vitamine, sali biliari, monogliceridi e acidi grassi derivanti dalla digestione dei trigliceridi, liso fosfolipidi e acidi grassi derivanti dalla digestione dei fosfolipidi.

Mentre un tempo si pensava che l'assorbimento dei grassi fosse preceduto dalla loro completa idrolisi, recentemente si è scoperto che questo avviene soltanto per una parte dei lipidi: la miscela che è assorbita contiene, infatti, acidi grassi e glicerolo (circa 50%), monogliceridi, digliceridi e anche piccole quantità di trigliceridi.

La fase intraluminare è costituita, quindi, da due processi: l'emulsione, di natura fisica, e l'idrolisi dei lipidi, di carattere chimico.

L'emulsione dei lipidi alimentari

L'emulsione dei lipidi alimentari avviene nel duodeno grazie ai componenti della bile, in particolare ai sali biliari, molecole anfipatiche, cioè contenenti una parte non polare o idrofoba (l'anello steroideo) e un'altra polare o idrofila (la glicina o la taurina). Nel lume intestinale, le frazioni non polari dei sali biliari si sistemano all'interno di un ammasso di molecole lipidiche, mentre quelle polari si rivolgono verso la parte esterna dell'aggregato lipidico, potendo, così, interagire con le molecole d'acqua circostanti per dare origine ad agglomerati molecolari detti *micelle*. All'interno di queste ultime si forma, quindi, un nucleo lipofilo, dove si possono sciogliere tutte le molecole lipidiche; esse assumono nel loro interno i lipidi alimentari formando un'emulsione stabile con l'ambiente acquoso tipico del materiale intestinale. Nella forma micellare, i lipidi sono attaccati dalla lipasi pancreatica, che determinerà la loro idrolisi.

Tale azione sui lipidi è facilitata dalla loro emulsione, in quanto alla lipasi è offerta una maggiore superficie di attacco o di azione.

Senza tale processo, infatti, l'attività dell'enzima sarebbe molto ostacolata dal fatto che esso consiste in una proteina idrosolubile che deve agire, però, su un substrato (il lipide) insolubile in acqua. Una volta terminata l'idrolisi, quindi, i prodotti ottenuti possono diffondere dalle micelle negli enterociti.

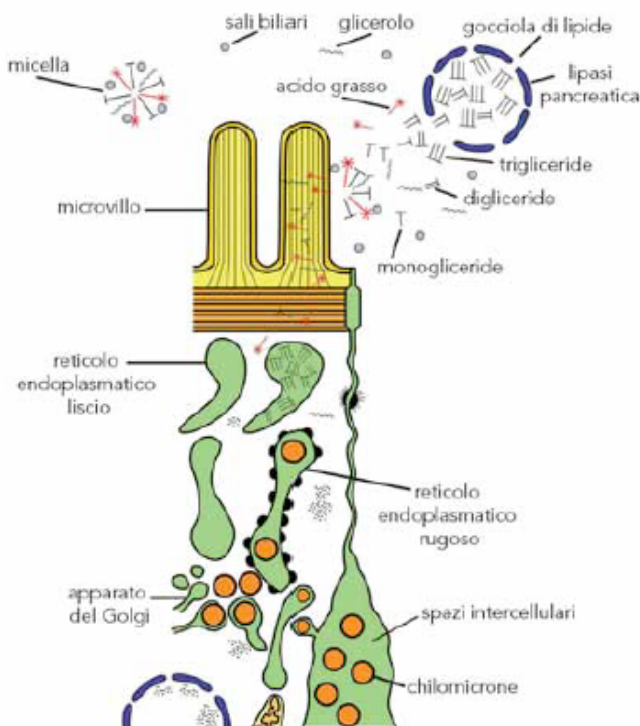
L'idrolisi dei lipidi

Nella digestione dei lipidi intervengono tre enzimi pancreatici, rappresentati dalla *lipasi pancreatica*, dalla *colesterolesterasi* e dalla *fosfolipasi A*, anche se, dal punto di vista quantitativo, il più importante è certamente il primo. È interessante prendere in considerazione le modalità con cui agiscono questi enzimi:

- la *lipasi pancreatica* catalizza l'idrolisi parziale dei trigliceridi con acidi grassi a lunga catena (C_{16} - C_{18}), formando un 2-monogliceride e due molecole di acido grasso; questi prodotti di reazione attraversano la membrana cellulare, passando negli enterociti del digiuno e dell'ileo mediante diffusione passiva;
- il colesterolo è presente negli alimenti sia esterificato sia libero. Il primo è emulsionato dagli acidi biliari e poi idrolizzato dalla *colesterolesterasi pancreatica* in colesterolo e acido grasso, che passano per diffusione semplice dalle micelle all'enterocita; il colesterolo libero è, invece, prima esterificato e poi aggregato all'interno della micella, dove subisce lo stesso processo chimico di quello esterificato;
- la *fosfolipasi A*, infine, degrada i fosfogliceridi alimentari in un 1-lisofosfogliceride e un acido grasso, che penetrano direttamente nell'enterocita. Bisogna ricordare, inoltre, che nel succo pancreatico è presente un fattore proteico, la *colipasi*, in grado di attivare la lipasi, favorendone l'adsorbimento alle micelle miste, contenenti trigliceridi, e facilitando, in tal modo, l'idrolisi di questi lipidi.

La fase mucosa

L'assorbimento dei prodotti dell'idrolisi parziale dei trigliceridi, costituiti in prevalenza da monogliceridi e da acidi grassi liberi, avviene per trasporto passivo nel digiuno; tale processo è facilitato dai sali biliari.

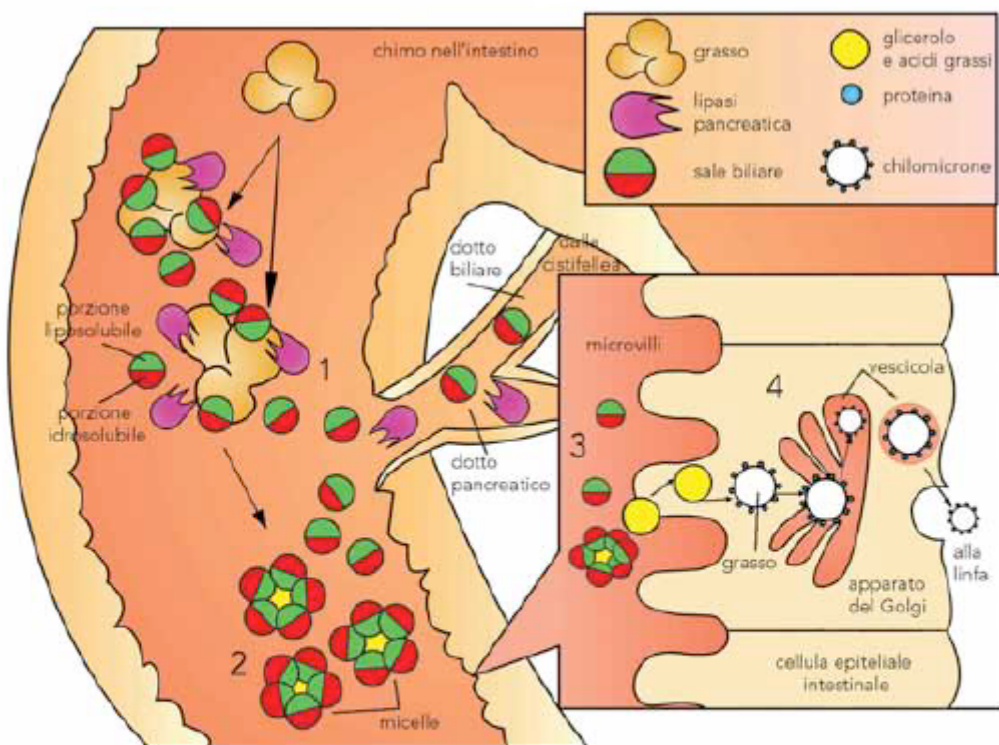


Nello schema è rappresentato il processo di assorbimento dei lipidi alimentari. Quando le micelle arrivano a contatto con i microvilli, monogliceridi e acidi grassi liberi attraversano la membrana e, per trasporto passivo, entrano nel citoplasma dell'enterocita; i Sali biliari restano nel lume intestinale e formeranno nuove micelle. I monogliceridi e gli acidi grassi, trasportati nel reticolo endoplasmatico liscio, sono risintetizzati in trigliceridi, che nel reticolo endoplasmatico rugoso sono ricoperti da uno strato proteico. Si formano, così, i chilomicroni, che passeranno nel vaso chilifero.

L'osservazione al microscopio ottico delle cellule che formano la mucosa intestinale mette in evidenza che, durante il processo di assorbimento, nel loro citoplasma sono presenti discrete quantità di lipidi, che compaiono sotto forma di goccioline. Si tratta di un fenomeno che sembrerebbe confermare che proprio in questa sede avviene la risintesi dei trigliceridi a partire dagli acidi grassi a lunga catena (oltre C_{14}) e dai 2-monogliceridi penetrati nell'enterocita.

Dopo tale operazione, costituiscono i *chilomicroni*, che usciranno dagli enterociti per esocitosi, penetrando poi nel vaso chilifero. Saranno quindi le contrazioni dei villi intestinali a indirizzare il contenuto lipidico verso la linfa che, per mezzo del dotto toracico, raggiungerà il circolo sanguigno a livello della vena succlavia sinistra, provocando, così, la *lipemia postprandiale*, cioè la quantità di lipidi nel sangue dopo un pasto.

Per quanto riguarda, invece, gli acidi grassi a catena media (C_8 - C_{12}) o corta (C_4 - C_6), passano direttamente nel circolo portale, per mezzo del quale, trasportati dalla *sieralbumina*, una proteina plasmatica con funzione di trasporto, giungeranno al fegato senza essere esterificati.



- 1 I sali biliari disperdono i globuli di grasso in particelle microscopiche facilmente attaccabili dalla lipasi pancreatica (emulsione).
- 2 Le lipasi idrolizzano i trigliceridi in acidi grassi, monogliceridi, digliceridi; queste subunità sono assorbite nella componente liposolubile di piccoli ammassi di sali biliari, detti micelle.
- 3 Le micelle trasportano i prodotti dell'idrolisi verso gli enterociti che diffondono attraverso la membrana cellulare al suo interno, lasciando fuori i sali biliari.

- 4 All'interno degli enterociti, i componenti lipidici delle micelle sono risintetizzati in trigliceridi che, uniti a colesterolo e fosfolipidi, si raggruppano in piccolissime gocce, rivestite da proteine, chiamate chilomicroni. Questi diffondono nel vaso chilifero del villo intestinale, che li riversa nella linfa e successivamente nel sangue.

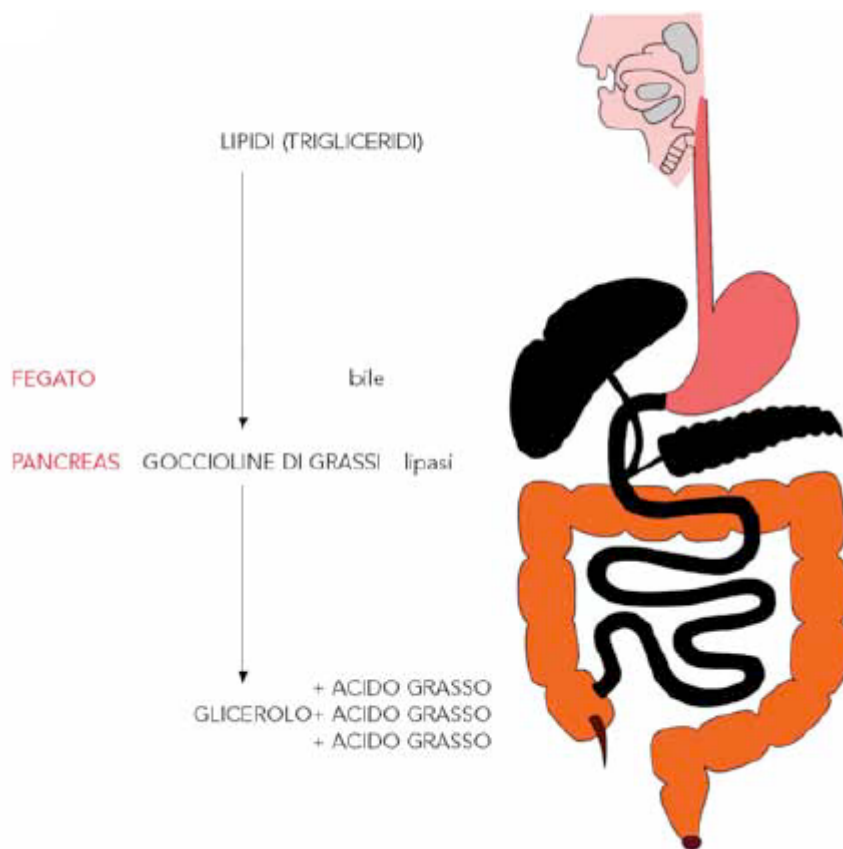
lipidi del chimo, poiché la digestione avviene in un ambiente acquoso, risultano resistenti all'azione degli enzimi digestivi idrosolubili e tendono ad aggregarsi sotto forma di globuli (gocce di lipidi). Il componente primario della digestione dei lipidi è la bile, più precisamente i sali biliari. Questi, riversati dalla cistifellea nell'intestino tenue, grazie alle caratteristiche chimiche (molecole anfipatiche), iniziano la fase fisica della digestione o emulsione, a cui fa seguito l'idrolisi (lipasi pancreatica) dei trigliceridi e l'assorbimento.

I chilomicroni

Il termine **chilomicrone** fu proposto dai fisiologi già nel secondo decennio del XX secolo per indicare corpiccioli microscopici del diametro di 75-1.000 nm, provenienti dal chilo e presenti nel sangue in quantità variabili secondo il tipo di pasto consumato. Essi sono costituiti prevalentemente da trigliceridi (circa 86%), fosfolipidi (8%), colesterolo libero ed esterificato (4%) nonché da una piccola ma importante quantità di proteine (2%).

Siccome circa il 98% del peso secco della loro struttura è costituito da lipidi, la loro densità è molto bassa (0,94). Le proteine, invece, sono localizzate all'esterno di queste piccole gocce lipidiche, così che sono attribuite ai chilomicroni proprietà idrofile, consentendone la circolazione nel sangue. Il loro compito principale consiste nel trasporto dei lipidi alimentari che, se sono presenti in grandi quantità, conferiscono al plasma sanguigno un aspetto lattiginoso, in quanto riflettono la luce.

È importante notare che i grassi in eccesso (trigliceridi) si accumulano, in un primo tempo, nel fegato, per poi essere immessi nuovamente in circolo, sotto forma di lipoproteine a densità molto bassa (*VLDL*, *Very Low Density Lipoprotein*), e andare ad accumularsi, infine, nel tessuto adiposo.



Il processo digestivo dei lipidi.

L'assorbimento del colesterolo

L'assorbimento intestinale degli steroli introdotti con la dieta umana (colesterolo, fitosterolo, ecc.) si svolge nell'intestino tenue insieme agli altri lipidi e, come si è già accennato, ha bisogno della presenza di sali biliari, di acidi grassi a catena lunga e di un enzima, la *colesterolesterasi*.

Abitualmente si ritiene che un'elevata *colesterolemia* sia una possibile causa dell'arteriosclerosi, anche se ci sono dubbi sul ruolo effettivo del colesterolo alimentare (colesterolo esogeno) in tal senso.

Infatti, il colesterolo non è un componente essenziale della dieta, perché è regolarmente sintetizzato nell'organismo (colesterolo endogeno). Quando il colesterolo esogeno è ingerito in quantità standard o regolare, rappresenta, nella quantità di colesterolo totale dell'organismo, una frazione che sarebbe in ogni caso integrata da quello endogeno, qualora l'introduzione con la dieta non fosse adeguata o soddisfacente. L'arteriosclerosi è, quindi, solo in parte correlata con il colesterolo esogeno, perché è direttamente connessa con i processi metabolici (sintesi, assorbimento, escrezione) a cui è sottoposto nell'organismo.

Il colesterolo della dieta si trova, in gran parte, nei chilomicroni, mediante i quali passa nella linfa e poi nel sangue, mentre quello sintetizzato dall'organismo arriva al duodeno con la bile e passa direttamente nel circolo portale, che lo veicola al fegato.

La dieta umana contiene, oltre a colesterolo, anche steroli di origine vegetale, i *fitosteroli*, che sono in grado di ridurre l'assorbimento del primo, in quanto, probabilmente, competono con esso per quanto riguarda il trasporto, cioè a livello dei chilomicroni.