



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI RISORSE
NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea in scienze e tecnologie animali

**L'IMPORTANZA DEGLI ACIDI GRASSI NEI PRODOTTI DI
ORIGINE ANIMALE**

Fatty acids in animal food products

Relatore:

Prof. Roberto Mantovani

Laureando:

Enrico Atemandi

Matricola n. 2044140

ANNO ACCADEMICO: 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	7
1) INTRODUZIONE	9
1.1) DEFINIZIONE E STRUTTURA	9
1.2) NOMENCLATURA E CLASSIFICAZIONE ACIDI GRASSI	11
1.2.1) CLASSIFICAZIONE IN BASE AL GRADO DI SATURAZIONE	12
1.2.2) CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA LUNGHEZZA DELLA CATENA	15
1.2.3) CLASSIFICAZIONE IN OMEGA	19
1.2.4) CLASSIFICAZIONE IN CIS E TRANS	21
1.3) RUOLO BIOLOGICO	23
2) IMPORTANZA DEGLI ACIDI GRASSI PER LA SALUTE UMANA	27
2.1) PRINCIPALI BENEFICI	27
2.2) PREVENZIONE DELLE MALATTIE.....	29
3) ACIDI GRASSI NEI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE	33
3.1) UOVA	33
3.2) CARNE SUINA.....	35
3.3) CARNE BOVINA	37
3.4) LATTE BOVINO.....	39
3.4.1) <i>FATTORI CHE INFLUENZANO LA COMPOSIZIONE DEGLI ACIDI GRASSI NEL LATTE BOVINO</i>	41
3.4.1.1) DIETA.....	42
3.4.1.2) STADIO DI LATTAZIONE.....	45
3.4.1.3) GENETICA ED ETA'	46
3.4.1.4) SISTEMA DI ALLEVAMENTO	47
4) ANALISI DEGLI ACIDI GRASSI	51
4.1) PRINCIPALI METODI DI ESTRAZIONE	51
4.1.1) <i>METODO DI FOLCH</i>	52
4.1.2) <i>METODO SOXHLET</i>	53
4.2) GASCROMATOGRAFIA	56
5) CONCLUSIONI	59
6) BIBLIOGRAFIA	61
RINGRAZIAMENTI	69

RIASSUNTO

In passato, gli acidi grassi erano visti in modo negativi per il loro impatto sulla salute umana, in quanto erano associati ad un alto rischio nello sviluppo di malattie cardiovascolari. Tuttavia, numerosi studi hanno dimostrato che gli acidi grassi sono risultati molto importanti per la salute umana, grazie al loro ruolo nella prevenzione di molte malattie.

Tra loro gli acidi grassi possono presentare differenze strutturali che promuovono effetti distintivi sui processi biologici nell'organismo. La suddivisione principale è in base al grado di saturazione, quindi in saturi ed insaturi. I grassi saturi sono spesso considerati dannosi per la loro correlazione con le malattie cardiovascolari. Tuttavia, alcuni di essi hanno dimostrato avere effetti positivi per la salute, come ad esempio l'acido butirrico. Gli insaturi invece hanno sviluppato una certa fama, in particolare gli omega-3, per il loro ruolo nella salute umana e nella prevenzione delle malattie. Per questi motivi nei prodotti di origine animale si sta cercando sempre di più di migliorare il profilo nutrizionale di questi alimenti, con l'obiettivo di incrementare la percentuale di acidi grassi insaturi e di ridurre quella degli acidi grassi saturi. In questi prodotti, la composizione in acidi grassi varia in base a diversi fattori, come l'alimentazione, il sistema di allevamento e la genetica dell'animale. Nel latte bovino è risultato essere molto importante anche lo stadio di lattazione della bovina nel momento in cui viene raccolto il latte.

In questo lavoro inizialmente si descriveranno la struttura e le funzioni degli acidi grassi, al fine di comprendere al meglio la loro importanza nella salute umana e il loro ruolo nella prevenzione delle malattie. Successivamente verranno esaminati i profili degli acidi grassi nelle uova, nella carne suina, nella carne bovina e nel latte, il quale riceverà maggiore attenzione nella descrizione dei fattori che influenzano la composizione lipidica di questi alimenti. Infine, verranno esaminati i metodi di analisi degli acidi grassi, con un focus sui metodi di estrazione e un accenno sulla gascromatografia.

ABSTRACT

In the past, fatty acids were viewed negatively for their impact on human health, as they were associated with a high risk of developing cardiovascular diseases. However, numerous studies have shown that fatty acids play a very important role in human health, particularly in the prevention of many diseases.

Among them, fatty acids can have structural differences that promote distinctive effects on the biological processes in the body. The main classification is based on the degree of saturation, thus into saturated and unsaturated fats. Saturated fats are often considered harmful due to their correlation with cardiovascular diseases. However, some of them have been shown to have positive health effects, such as butyric acid. Unsaturated fats, on the other hand, have gained a reputation, especially omega-3, for their role in human health and disease prevention. For these reasons, the goal in animal food products is increasingly to improve the nutritional profile by increasing the percentage of unsaturated fatty acids and reducing the amount of saturated fats. In these products, the composition of fatty acids varies based on several factors, such as diet, farming systems, and animal genetics. In bovine milk, the stage of lactation has also proven to be important.

This work will first describe the structure and functions of fatty acids to better understand their importance in human health and their role in disease prevention. Next, the fatty acid profiles in eggs, pork, beef, and milk will be examined, with particular attention given to the factors that influence the lipid composition of these foods. Finally, the methods of fatty acid analysis will be explored, focusing on extraction techniques and with a brief mention of gas chromatography.

1) INTRODUZIONE

1.1) DEFINIZIONE E STRUTTURA

Gli acidi grassi sono degli acidi carbossilici formati da una catena idrocarburica contenente un numero di atomi di carbonio che può variare da due a più di venti. Questa catena la maggior parte delle volte ha una conformazione lineare e può presentare un grado di saturazione in base alla presenza o meno di doppi legami tra gli atomi di carbonio. Infatti, da un lato esistono gli acidi grassi saturi (senza doppi legami) e dall'altro gli acidi grassi insaturi (con uno o più doppi legami). Nella maggior parte dei casi questi doppi legami si trovano nella conformazione cis (Nelson et al., 2015).

Come risaputo gli acidi grassi sono i principali costituenti dei lipidi e svolgono un ruolo fondamentale nella struttura delle membrane cellulari, nel metabolismo energetico e nella segnalazione cellulare (De Carvalho e Caramujo, 2018). I più semplici lipidi che si formano a partire dagli acidi grassi sono i trigliceridi, detti anche triacilgliceroli perché derivano dal glicerolo. Più precisamente sono degli acilgliceroli, che si formano per esterificazione del glicerolo con tre molecole di acidi grassi (Tinti, 2013). Sono apolari e, di fatto, insolubili in acqua, in quanto il gruppo ossidrilico del glicerolo e il gruppo carbossilico dell'acido grasso sono impegnati in legami esteri. Il ruolo dei trigliceridi è essenzialmente quello di riserva energetica e perciò sono particolarmente abbondanti negli adipociti (Jensen, 2002).

Gli acidi grassi sono considerati degli acidi carbossilici perché formati da catene di atomi di carbonio contenenti un solo gruppo carbossilico (-COOH) in una delle due estremità. Il gruppo carbossilico è costituito da un atomo di carbonio legato ad un atomo di ossigeno tramite doppio legame e ad un gruppo ossidrilico (OH) tramite legame singolo. Esso rappresenta la parte polare e idrofila dell'acido grasso. La catena idrocarburica costituisce invece la parte apolare e idrofoba (Tinti, 2013).

La lunghezza della catena può variare da un minimo di due atomi di carbonio e arrivare fino a più di venti. È costituita da una serie di atomi di carbonio legati ad atomi di idrogeno con legame singolo e ad altri atomi di carbonio sia con legame singolo che con un doppio legame. La lunghezza di questa catena e il grado di saturazione degli acidi grassi

influenzano notevolmente le proprietà fisiche degli acidi grassi, come il punto di fusione e la solubilità. (Hamilton, 2008)

Il punto di fusione degli acidi grassi aumenta con l'aumentare della lunghezza dello scheletro carbonioso. Infatti, gli acidi grassi con una corta catena idrocarburica sono generalmente tutti liquidi a temperatura ambiente. Questo è dovuto alla loro bassa massa molecolare e alla debolezza delle forze di Van der Waals tra le molecole (De Carvalho e Caramujo, 2018).

La fluidità varia anche in base al numero di doppi legami, infatti a parità di lunghezza dello scheletro carbonioso gli acidi grassi insaturi hanno un punto di fusione che diminuisce aumentando il numero di doppi legami. Questo perché ogni doppio legame è rigido e determina ripiegamenti della catena di 30 gradi (Tinti, 2013). Ne consegue che gli acidi grassi saturi possiedono il massimo numero di legami idrofobici e formano quindi aggregati regolari per la perfetta sovrapposizione delle diverse catene, mentre gli acidi grassi insaturi formano un numero inferiore di legami idrofobici e perciò le catene di acidi grassi insaturi possono sovrapporsi solo parzialmente (Hamilton, 2008).

Di particolare rilievo sono gli acidi grassi essenziali, cioè acidi grassi insaturi che vanno assunti con la dieta perché il nostro organismo non è in grado di sintetizzarli. Quest'ultimi sono gli acidi *linoleico* e *linolenico*. Sono importanti componenti costitutivi delle membrane cellulari e sono impiegati nei processi di sintesi degli acidi grassi a catena più lunga che svolgono ruoli chiave in molteplici processi fisiologici (Das, 2006; De Carvalho e Caramujo, 2018).

Infine, oltre a quelli con catena lineare, è importante evidenziare anche la presenza di ulteriori tipologie di acidi grassi. Tra questi possiamo ricordare gli acidi grassi:

- a catena ramificata;
- con tripli legami;
- con gruppi ossidrilici.

Tra questi composti la molecola che in assoluto possiede un ruolo di particolare rilievo è l'*acido mevalonico*, un importante intermedio metabolico che tutti gli organismi

eucariotici e molti procariotici impiegano per la sintesi di: *terpeni*, *carotenoidi*, *colesterolo*, *steroidi* ed altre molecole (Tinti, 2013).

1.2) NOMENCLATURA E CLASSIFICAZIONE ACIDI GRASSI

Esistono diversi tipi di nomenclatura con cui è possibile denominare gli acidi grassi, ciascuno con un proprio focus specifico sulla struttura chimica. Il metodo più comune è la nomenclatura sistematica IUPAC, che nomina gli acidi grassi sulla base del numero di atomi di carbonio e della posizione dei doppi legami nella catena. Ad esempio, l'acido oleico, con 18 atomi di carbonio e un doppio legame tra il nono e il decimo carbonio, viene denominato acido cis-9-ottadecenoico (Ratnayake e Galli, 2009; Hamilton, 2008).

Nella descrizione degli acidi grassi possono essere utilizzate anche annotazioni abbreviate in cui sono evidenziati:

-in pedice la lunghezza dello scheletro carbonioso ed il numero di doppi legami (nel caso dell'acido linoleico l'annotazione è $C_{18:1}$);

-in apice la posizione del doppio legame (Δ) considerando che il primo carbonio è quello inserito nel gruppo carbossilico (nel caso dell'acido oleico $C^{\Delta:9}$).

Pertanto, l'annotazione completa dell'acido oleico è la seguente: $C_{18:1}^{\Delta:9}$ (Tinti, 2013).

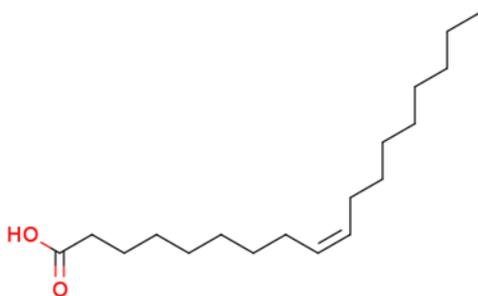


Figura 1. Struttura dell'acido oleico (Sales-Campos et al., 2013).

Un altro metodo frequentemente utilizzato è la nomenclatura omega (Ω), che identifica la posizione del primo doppio legame rispetto l'estremità metilica (chiamata carbonio Ω o omega). I più importanti e conosciuti sono gli omega-3 e omega-6. Ad esempio, l'acido linolenico, con il primo doppio legame nel terzo carbonio dal lato metilico, viene indicato come un acido grasso Ω -3 (Calder, 2017).

Infine, esiste la nomenclatura comune, basata sui nomi storici spesso legati alle fonti naturali da cui gli acidi grassi sono stati inizialmente isolati (Ratnayake e Galli, 2009). Un esempio può essere l'acido palmitico (C16:0) che prende il nome dall'olio di palma dal quale deriva.

Gli acidi grassi possono essere classificati in diversi modi, a seconda delle loro caratteristiche chimiche e fisiche. Queste classificazioni sono fondamentali per comprendere le loro proprietà biologiche, il ruolo nutrizionale e le implicazioni sulla salute. In seguito, verranno descritti gli acidi grassi in base al loro grado di saturazione, alla lunghezza della catena carboniosa, alla posizione del doppio legame e alla configurazione del doppio legame.

1.2.1) CLASSIFICAZIONE IN BASE AL GRADO DI SATURAZIONE

Il principale metodo in cui si suddividono comunemente gli acidi grassi avviene in funzione del grado di saturazione, cioè in base alla presenza o meno di doppi legami. Si differenziano quindi gli acidi grassi saturi e gli acidi grassi insaturi.

-Acidi grassi saturi: Gli acidi grassi saturi non possiedono doppi legami tra gli atomi di carbonio e sono definiti con la sigla SFA (Saturated Fatty Acids). Questi acidi grassi tendono ad avere un elevato punto di fusione e sono spesso presenti sotto forma di trigliceridi nei grassi animali (burro, strutto) e in alcuni oli vegetali (olio di palma).

È ormai virale la credenza che l'assunzione di acidi grassi saturi è correlata ad un aumento del rischio di malattie cardiovascolari e si ritiene che questo effetto sia principalmente mediato dall'aumento delle concentrazioni ematiche di lipoproteine a bassa densità (colesterolo LDL); (Siri-Tarino et al., 2010). Queste hanno la funzione di trasportare il colesterolo sintetizzato dal fegato alle cellule del corpo e quindi se presenti in quantità eccessive il colesterolo tenderà a depositarsi sulle pareti delle cellule provocandone un progressivo indurimento e ispessimento (arteriosclerosi); (Stamenkovic et al., 2019).

Tuttavia, non tutti gli acidi grassi saturi sono un fattore di rischio per le malattie cardiovascolari. Per esempio, gli SFA del latte sono considerati una fonte naturale di componenti bioattivi con potenziali effetti benefici per la salute umana (Gómez-Cortés et al., 2018).

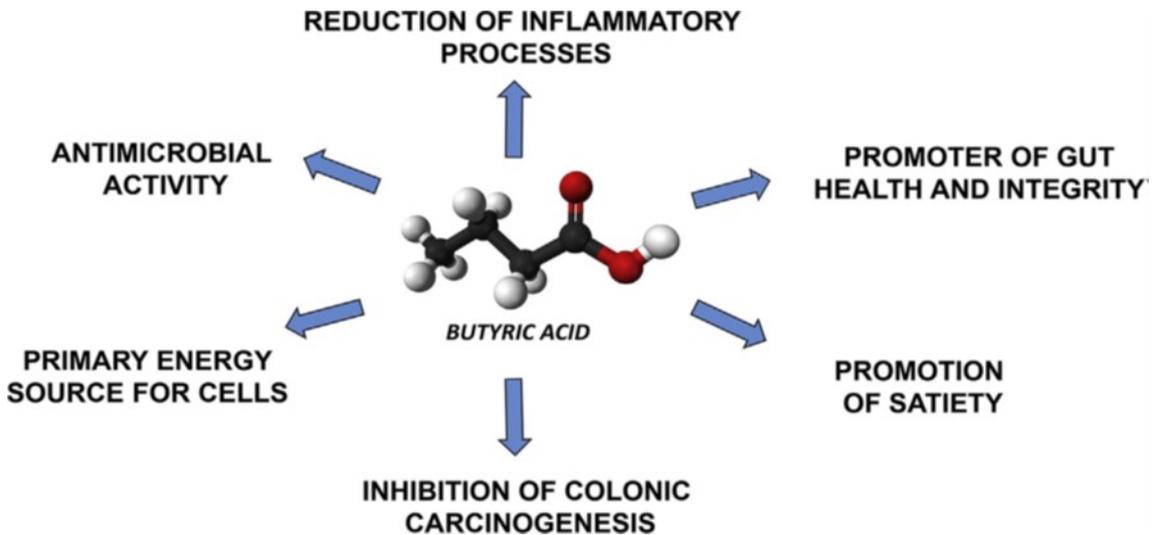


Figura 2. I ruoli dell'acido butirrico sulla salute e nella prevenzione delle malattie (Hanuš et al., 2018).

-Acidi grassi insaturi: Gli acidi grassi insaturi si dividono in monoinsaturi (MUFA) che possiedono un solo doppio legame e in polinsaturi (PUFA), che possiedono più doppi legami. Generalmente la posizione del primo doppio legame si trova posta tra il Carbonio C-9 e il C-10, mentre gli altri doppi legami tra il C-12 e il C-13 e tra il C-15 e il C-16. Inoltre, in genere, i doppi legami sono nella configurazione cis (Tinti, 2013).

Gli *acidi grassi monoinsaturi* (MUFA, dall'inglese Monounsaturated Fatty acids) rappresentano una classe di lipidi caratterizzata dalla presenza di un solo doppio legame tra gli atomi di carbonio della catena idrocarburica.

Negli ultimi anni, numerosi studi scientifici hanno messo in luce l'importanza dei MUFA nella promozione alla salute umana, evidenziando i loro benefici nella prevenzione delle malattie cardiovascolari, nella modulazione del profilo lipidico e nel controllo del metabolismo glucidico (Garg, 1998; Joris e Mensink, 2016).

Di particolare rilevanza tra i MUFA è l'acido oleico (C18:9, Ω -9), il quale costituisce la componente prevalente dell'olio di oliva, che è riconosciuto per aver proprietà cardioprotettive (Hardin-Fanning, 2008). L'acido oleico è il più abbondante e rappresentativo degli acidi grassi omega-9, un particolare tipo di acidi grassi facente parte della famiglia degli omega, i quali verranno trattati con maggior dettaglio nella sezione a loro dedicata.

La crescente attenzione verso i MUFA è dovuta in gran parte alla loro associazione con una riduzione del rischio di malattie cardiovascolari (CDV). Studi epidemiologici hanno dimostrato che una dieta ricca di acidi grassi monoinsaturi nelle persone ad alto rischio di malattie cardiovascolari è correlata ad una diminuzione della mortalità per CDV (Joris e Mensink, 2016). Questo effetto benefico è attribuito alla capacità dei MUFA di migliorare il profilo lipidico plasmatico, aumentando il colesterolo HDL (lipoproteine ad alta densità) e diminuendo il colesterolo LDL (lipoproteine a bassa densità); (Hardin-Fanning, 2008; Bonanome e Grundy, 1988).

Un altro aspetto di grande interesse è l'effetto dei MUFA sul metabolismo glucidico e sulla sensibilità all'insulina. È stato osservato che diete arricchite con acidi grassi monoinsaturi possono migliorare il controllo glicemico nei pazienti con diabete di tipo 2, contribuendo a stabilizzare i livelli di glucosio nel sangue e riducendo la resistenza all'insulina (Garg, 1998). Questo rende i MUFA un componente dietetico chiave non solo per la prevenzione alle malattie cardiovascolari, ma anche per la gestione delle malattie metaboliche.

Dall'altro lato gli acidi grassi polinsaturi (PUFA, dall'inglese Polyunsaturated Fatty acids) sono quegli acidi grassi che contengono due o più doppi legami lungo la catena carboniosa e rappresentano una classe di lipidi essenziali per la salute umana. Infatti, i PUFA si suddividono principalmente in due famiglie: gli omega-3 e gli omega-6, considerati acidi grassi essenziali poiché è fondamentale la loro assunzione per la salute umana, essendo che non possono essere sintetizzati de novo dall'organismo umano (Marion-Letellier et al., 2015). Essi svolgono un ruolo cruciale in numerosi processi fisiologici, inclusi la modulazione dell'infiammazione, la funzione cardiovascolare, la crescita e lo sviluppo celebrale (Bazinet e Layé, 2014).

Entrambe queste due categorie di acidi grassi verranno trattate dettagliatamente nei capitoli successivi a loro dedicati.

1.2.2) CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA LUNGHEZZA DELLA CATENA

La classificazione degli acidi grassi in base alla lunghezza della loro catena suddivide gli acidi grassi in base agli atomi di carbonio presenti nella loro struttura. Questo tipo di classificazione è utile per capire come essi vengono metabolizzati e come influenzano il corpo umano.

A) *Acidi grassi a catena corta* (Short-chain fatty acids, SCFAs). Gli SCFAs contengono meno di sei atomi di carbonio e in natura principalmente hanno un'importanza biologica solamente quelli saturi. Essi sono facilmente digeribili e dimostrano una bassa tendenza ad essere immagazzinati nel tessuto adiposo (Schönfeld e Wojtczak, 2016). Per questo sono utilizzati come fonte energetica rapida e possono esercitare attività antimicrobiche avendo anche un ruolo importante nel mantenimento della salute e nello sviluppo delle malattie (Tan et al., 2014).

Tra i più importanti SCFAs troviamo sicuramente gli acidi grassi volatili (AGV), fondamentali per il metabolismo energetico dei ruminanti. Nell'uomo essi sono generati principalmente dalla fermentazione da parte dai batteri del colon della fibra alimentare e dei saccaridi non digeriti nell'intestino, ma possono anche essere metabolizzati dal fegato e dagli enterociti (Byrne et al., 2015).

Attualmente numerosi studi hanno prestato una maggiore attenzione al presunto ruolo degli SCFAs nella patogenesi delle allergie, nonché delle malattie autoimmuni, metaboliche e neurologiche (Topping e Clifton, 2001; Hamer et al., 2008). Inoltre, sono state accumulate prove riguardanti gli SCFAs generati dal microbiota intestinale e la loro influenza sull'assunzione di cibo e quindi il loro ruolo sulla regolazione dell'omeostasi energetica e il peso corporeo (Byrne et al., 2015).

B) *Acidi grassi a catena media* (Medium-chain fatty acids, MCFAs): Gli acidi grassi a catena media contengono tra i 7 e i 12 atomi di carbonio. Anche essi tendono ad essere

tutti saturi, fatta eccezione per i meno comuni come l'acido lauroleico (C18:2). Altri esempi possono essere l'acido caprilico (8) e l'acido caprinico (10), entrambi saturi e più presenti in natura.

Gli MCFAs derivano principalmente dai trigliceridi alimentari, come latte e latticini e anche essi possono essere utilizzati come fonte di energia rapida (Gómez-Cortés et al., 2018). Questo perché, a differenza degli acidi grassi a catena lunga, non necessitano dell'azione della bile per essere emulsionati e assorbiti nel lume intestinale (figura 3). Una volta assorbiti, bypassano il sistema linfatico e attraverso la vena porta vengono direttamente trasportati al fegato senza essere incorporati coi chilomicroni (Schönfeld e Wojtczak, 2016). Tale meccanismo permette ai MCFAs di essere rapidamente ossidati nei mitocondri epatici attraverso la β -ossidazione, producendo acetyl-CoA, che può essere utilizzato direttamente nel ciclo di Krebs o convertito in corpi chetonici (Yuan et al., 2022). Per queste peculiarità metaboliche gli MCFAs sono diventati oggetto di studio per il loro potenziale utilizzo nelle diete chetogeniche (S. C. Cunnane et al., 2016).

Un altro studio di Nagao e Yanagita (Nagao e Yanagita, 2010) ha dimostrato che gli MCFAs saturi derivati dagli alimenti sono stati correlati con una diminuzione della deposizione del grasso corporeo. Questo perché, come detto precedentemente, gli MCFAs (e anche gli SCFAs) hanno una rapida ossidazione e non vengono immagazzinati nel tessuto adiposo poiché sono trasportati direttamente dal sangue al fegato dove vengono metabolizzati. Altri studi (Mumme e Stonehouse, 2015) riguardanti il consumo di MCFAs saturi hanno mostrato effetti positivi anche sul controllo del peso e sul metabolismo dei lipidi. Un altro ambito di ricerca promettente riguarda l'uso dei MCFAs nel trattamento di malattie neurodegenerative. I corpi chetonici derivanti dalla loro β -ossidazione possono attraversare la barriera ematoencefalica e fungere da fonte alternativa di energia per il cervello, che in condizioni patologiche come l'Alzheimer, mostra una ridotta capacità di utilizzazione del glucosio (S. Cunnane et al., 2011). Questo ha portato alla sperimentazione di diete arricchite con MCFAs per migliorare la funzione cognitiva in pazienti affetti da tali malattie (Hertz et al., 2015).

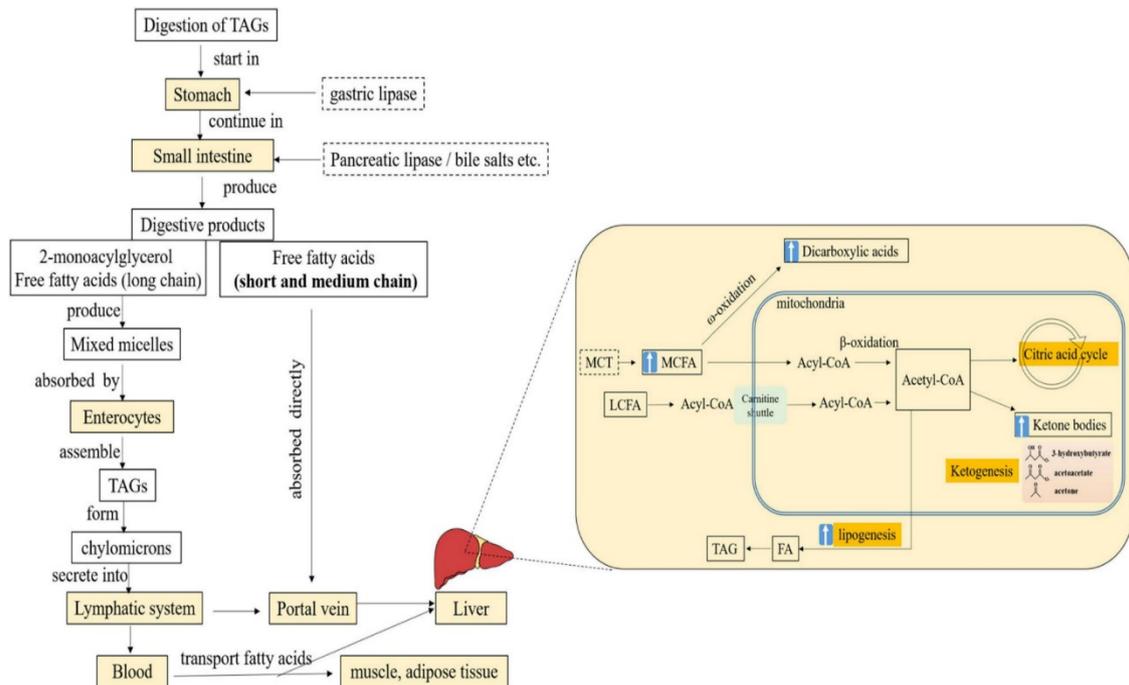


Figura 3. Schema semplificato della digestione, assorbimento e trasporto degli MCFAs dai TAGs e del metabolismo degli MCFAs nel fegato. FA, acido grasso; MCFA, acido grasso a catena media; MCT, triacilglicerolo a catena media; LCFA, acido grasso a catena lunga; TAG, triacilglicerolo (Yuan et al., 2022).

C) *Acidi grassi a catena lunga* (Long-Chain Fatty Acids, LCFAs): Gli acidi grassi a catena lunga contengono dai 13 ai 21 atomi di carbonio e si trovano principalmente immaginati nel tessuto adiposo (Gómez-Cortés et.al, 2018). In questi acidi grassi e in quelli a catena molto lunga è molto più comune trovare doppi legami tra gli atomi di carbonio della catena rispetto agli SCFAs e MCFAs. Alcuni esempi possono essere: Acido palmitico (16:0), Acido oleico (18:1), Acido stearico (18:0) e Acido linoleico (18:2).

La sintesi degli LCFAs avviene principalmente nel fegato, nei tessuti adiposi e, in misura minore, nell'intestino. Il metabolismo degli LCFAs coinvolge numerosi processi, tra cui la β -ossidazione nei mitocondri, che produce acetyl-CoA, NADH e FADH₂, utilizzati poi nella sintesi di ATP (Tinti, 2013; Stamenkovic et al., 2019). Questo processo è cruciale per il mantenimento dell'energia cellulare, soprattutto nei muscoli scheletrici e nel cuore durante digiuno o l'attività fisica (Lopaschuk et al., 2010). Per questo gli LCFAs rappresentano una delle principali fonti di energia per l'organismo. Sono anche

componenti essenziali delle membrane cellulari, dove contribuiscono alla fluidità e alla funzionalità delle membrane stesse (Marion-Letellier et al., 2015).

Gli LCFAs rappresentano una classe importante di composti lipidici con ruoli vitali nel metabolismo energetico, nella struttura delle membrane cellulari e nella segnalazione biochimica. Però, quando si parla di impatto sulla salute umana, essi sono considerati più deleteri che benefici. Infatti, l'eccessiva assunzione di LCFAs è correlata a un aumento del rischio di aterosclerosi, diabete di tipo 2, obesità e altre patologie croniche (Lopaschuk et al., 2010).

D) *Acidi grassi a catena molto lunga* (Very Long Chain Fatty Acids, VLCFAs): Gli acidi grassi a catena molto lunga sono definiti come acidi grassi contenenti 22 o più atomi di carbonio. Questi acidi grassi, come già detto in precedenza, possono essere sia saturi che insaturi. Tra i VLCFAs più comuni troviamo l'acido docosaesaenoico (C22:6, DHA o acido cervonico), l'acido cerotico (C26:0) e l'acido erucico (C22:1). Questi acidi sono meno diffusi in natura rispetto ai loro omologhi a catena più corta, ma comunque giocano ruoli chiave in specifici contesti biologici e patologici. Da un lato, infatti, essi svolgono importanti funzioni nel sistema nervoso e nella pelle (il DHA, ad esempio, è un componente strutturale del cervello umano e della pelle); dall'altro, invece, un loro accumulo è associato a una serie di patologie genetiche rare e all'invecchiamento (Erdbrügger e Fröhlich, 2021).

I VLCFAs vengono sintetizzati principalmente nel reticolo endoplasmatico rugoso attraverso l'elongazione di acidi grassi a catena lunga preesistenti. Questo processo è catalizzato da specifici enzimi noti come elongasi, i quali aggiungono due atomi di carbonio per volta alla catena carboniosa degli acidi grassi (Sassa e Kihara, 2014).

Il metabolismo dei VLCFAs è un processo complesso e meno efficiente rispetto agli altri acidi grassi. La β -ossidazione è rallentata a causa della loro lunghezza e della difficoltà di trasporto nei mitocondri. Pertanto, i VLCFAs vengono metabolizzati principalmente nei perossisomi, organelli specializzati nella detossificazione e nella β -ossidazione degli acidi grassi a catena molto lunga (Aubourg e Wanders, 2013). Questo tipo di metabolismo è critico per la prevenzione dell'accumulo di VLCFAs nel citoplasma, che può risultare tossico per la cellula (Walker et al., 2018).

I VLCFAs sono molto abbondanti nel sistema nervoso, dove sono incorporati nei fosfolipidi delle membrane cellulari. Essi contribuiscono alla stabilità e alle funzioni delle membrane, specialmente nella mielina, il rivestimento isolante delle fibre nervose (Erdbrügger e Fröhlich, 2021).

Oltre al sistema nervoso, i VLCFAs sono presenti anche nei ceramidi e in altri sfingolipidi, che svolgono ruoli chiave nella segnalazione cellulare e nell'integrità della barriera cutanea (Gomez-Muñoz et al., 2016).

1.2.3) CLASSIFICAZIONE IN OMEGA

Un'altra importante suddivisione degli acidi grassi, che si può attuare solamente a quelli insaturi, è quella in base alla posizione del primo doppio legame rispetto al gruppo metilico terminale (chiamato anche *carbonio* Ω , o *omega*), dando origine alla categoria omega-3, omega-6 e omega-9 (Harris et al., 2008). Questa classificazione è particolarmente rilevante in nutrizione, poiché gli acidi grassi della serie omega-3 e omega-6 sono considerati acidi grassi essenziali per l'organismo e devono quindi essere ottenuti attraverso la dieta. In particolare, l'acido linoleico (LA) e l'acido alfa linolenico (ALA) sono due tipi di acidi grassi considerati essenziali. Inoltre, poiché il LA è il capostipite degli omega-6 e il ALA degli omega-3, anche gli omega-3 e omega-6 sono definiti quindi acidi grassi essenziali.

Gli acidi grassi omega-3 sono una famiglia di acidi grassi polinsaturi caratterizzati dalla presenza del primo doppio legame sul terzo atomo di carbonio a partire dall'estremità metilica della molecola. Gli omega-3 si trovano principalmente nei semi di lino, nelle noci, nel salmone, nello sgombro e nelle alghe (Calder, 2017).

Questa tipologia di acidi grassi, comprendenti l'acido alfa-linolenico (ALA), l'acido eicosapentaenoico (EPA, C20:5) e l'acido docosaesaenoico (DHA, C22:6), sono particolarmente riconosciuti per i loro benefici cardiovascolari e antinfiammatori (Lopez-Huertas, 2010). In particolare, questi ultimi due hanno dimostrato di ridurre i livelli di trigliceridi nel sangue, abbassare la pressione arteriosa e migliorare la funzione endoteliale, contribuendo così alla prevenzione delle malattie cardiovascolari (Mozaffarian e Wu, 2011). Inoltre, EPA e DHA sono componenti chiave delle membrane cellulari nei tessuti neuronali e nella retina, dove contribuiscono a mantenere la fluidità della membrana e a favorire la trasmissione dei segnali nervosi, dimostrandosi

fondamentali per lo sviluppo del cervello e della retina (Sassa e Kihara, 2014; Innis, 2007).

È stato anche dimostrato che gli omega-3 svolgono un ruolo cruciale nello sviluppo cerebrale, soprattutto durante la gestazione e i primi anni di vita. Ad esempio, uno studio ha evidenziato che una carenza di omega-3 durante la gravidanza è stata associata a deficit cognitivi e problemi di vista nei neonati (Innis, 2007).

Gli acidi grassi omega-6 sono un'altra famiglia di acidi grassi polinsaturi, caratterizzati dalla presenza del primo doppio legame sul sesto atomo di carbonio a partire dall'estremità metilica della molecola. Il principale omega-6 è sicuramente l'acido linoleico (LA, C18:2, Ω -6), seguito dall'acido arachidonico (AA, C20:4, Ω -6). Il LA è ampiamente presenti negli oli vegetali, mentre l'acido arachidonico si trova principalmente nei prodotti di origine animale, come le uova, la carne e i latticini (Joris e Mensink, 2016; Calder, 2017).

Gli omega-6 svolgono un ruolo cruciale nella crescita e nello sviluppo umano, agendo da precursori di molecole segnale. In particolare, l'acido linoleico è il precursore dell'AA, che svolge un ruolo chiave come molecola segnale ed è il precursore di eicosanoidi, composti che regolano processi infiammatori e immunitari (Das, 2006). Un'eccessiva assunzione di omega-6 rispetto omega-3 sembra però possa promuovere l'infiammazione, per cui è importante mantenere un equilibrio appropriato tra queste due famiglie di acidi grassi per la modulazione dell'infiammazione e della risposta immunitaria (Simopoulos, 2002).

Gli omega-6 sono anche coinvolti nella regolazione della crescita cellulare e sono necessari per la funzione e l'integrità della pelle (Bazinet e Layé, 2014). Inoltre, è stato dimostrato che la saturazione dei grassi saturi con omega-6 nella dieta riduce i livelli di cortisolo LDL, abbassando così il rischio di malattie coronariche (Ramsden et al., 2016).

Gli acidi grassi omega-9, a differenza degli altri due omega, sono una famiglia di acidi grassi monoinsaturi, in cui il primo doppio legame si trova sul nono atomo di carbonio dalla fine della catena. Il più comune e rappresentativo di questa tipologia di acidi grassi è sicuramente l'acido oleico, largamente presente nell'olio di oliva e nell'olio di arachidi, ma anche nelle olive e nell'avocado (Lopez-Huertas, 2010).

Pur non essendo essenziali, poiché il corpo umano può sintetizzarli a partire da altri acidi grassi saturi, gli omega-9 svolgono tuttavia ruoli significativi nella salute cardiovascolare (Stamenkovic et al., 2019). Anche essi, infatti, possono contribuire nella regolazione dei lipidi plasmatici, diminuendo i livelli di colesterolo LDL e aumentando i livelli di colesterolo HDL (Joris e Mensink, 2016).

Inoltre, l'acido oleico ha mostrato proprietà antinfiammatorie e può avere un ruolo protettivo contro lo sviluppo di alcune forme di cancro (Sales-Campos et al., 2013).

1.2.4) CLASSIFICAZIONE IN CIS E TRANS

Gli acidi grassi insaturi possono essere distinti principalmente in due configurazioni: cis e trans. Queste due configurazioni derivano dall'orientamento dei gruppi alchilici intorno al doppio legame nella catena idrocarburica (Tinti, 2013).

La classificazione degli acidi grassi in cis e trans è essenziale perché queste configurazioni determinano in gran parte il comportamento degli acidi grassi nel corpo umano e il loro impatto sulla salute. In particolare, comprendere questa classificazione permette di valutare quali grassi includere o evitare nella dieta, di regolare le tecnologie di produzione alimentare e di adottare politiche sanitarie più efficaci.

Nella configurazione cis, gli atomi di idrogeno associati ai carboni del doppio legame si trovano dallo stesso lato della catena carboniosa. Questo causa una piegatura della molecola, che impedisce alle molecole di impacchettarsi strettamente l'una all'altra (Tinti, 2013; Voet et al., 2013). Di conseguenza, gli acidi grassi cis tendono ad avere un punto di fusione più basso rispetto agli acidi grassi saturi e a essere liquidi a temperatura ambiente, come nel caso dell'olio d'oliva.

Gli acidi grassi in configurazione cis sono i più comuni in natura e si trovano nella maggior parte degli acidi grassi naturali. Questa configurazione gioca un ruolo cruciale nella fluidità delle membrane cellulari, contribuendo alla loro elasticità e funzionalità (De Carvalho e Caramujo, 2018).

Inoltre, gli acidi grassi cis sono associati a benefici per la salute, come la riduzione del rischio di malattie cardiovascolari (Joris e Mensink, 2016).

Gli acidi grassi trans hanno gli atomi di idrogeno associati ai carboni del doppio legame che si trovano su lati opposti della catena carboniosa. Questa configurazione conferisce alla molecola una struttura più lineare, simile a quella degli acidi grassi saturi. Pertanto, le molecole si impacchettano più strettamente tra loro, aumentando il punto di fusione e per questo gli acidi grassi trans tendono a essere solidi a temperatura ambiente (Calder, 2015). Inoltre, la rigidità della loro catena può andare a distorcere i fosfolipidi delle membrane cellulari, compromettendone la fluidità e andando così ad influenzare negativamente la funzionalità e la salute delle cellule (Gómez-Cortés et al., 2018).

Gli acidi grassi trans sono meno comuni in natura e si formano prevalentemente durante i processi industriali di idrogenazione parziale degli oli vegetali, utilizzati per migliorare la consistenza e la stabilità dei prodotti alimentari. Infatti, la fonte principale di questa tipologia di acidi grassi la troviamo nei prodotti industriali che contengono oli parzialmente idrogenati, come margarine e prodotti da forno (Brouwer et al., 2013).

Tuttavia, questi acidi grassi sono associati a numerosi effetti negativi sulla salute, in particolare ad un aumento del rischio di malattie cardiovascolari, infiammazione cronica e insulino-resistenza (Nagpal et al., 2021). Ad esempio, numerosi studi scientifici hanno dimostrato che una dieta ricca in acidi grassi trans porti ad un aumento del colesterolo LDL e una simultanea diminuzione dei livelli di colesterolo HDL nel sangue (Mensink e Katan, 1990). Per questi molteplici rischi, molte organizzazioni sanitarie, tra cui l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), raccomandano di limitare l'assunzione di acidi grassi trans (WHO, 2010; Mozaffarian e Clarke, 2009).

1.3) RUOLO BIOLOGICO

Gli acidi grassi svolgono un ruolo centrale nella fisiologia degli organismi viventi, essendo coinvolti in numerosi processi biologici cruciali. Come già visto in precedenza, la classificazione strutturale di queste molecole organiche va ad influenzare le proprietà fisiche e biologiche proprie degli acidi grassi. Nonostante le differenze strutturali, tutti gli acidi grassi condividono la capacità di partecipare a funzioni biologiche vitali, che spaziano dalla costituzione delle membrane cellulari alla produzione di energia, fino alla modulazione della segnalazione cellulare e delle risposte infiammatorie (De Carvalho e Caramujo, 2018).

Uno dei ruoli biologici più noti degli acidi grassi è la loro funzione strutturale. Essi sono componenti fondamentali dei fosfolipidi e degli sfingolipidi, molecole che costituiscono la struttura delle membrane cellulari. La disposizione di queste molecole lipidiche è essenziale per la formazione delle membrane biologiche, dove le code idrofobiche degli acidi grassi si orientano verso l'interno della membrana, mentre le teste polari sono rivolte verso l'esterno (Tinti, 2013; Voet et al., 2013). Questa struttura è cruciale per mantenere l'integrità della membrana, determinando la sua fluidità e, di conseguenza, influenzando la funzionalità delle cellule, inclusa la regolazione del passaggio di sostanze tra l'interno e l'esterno della cellula (Hamilton, 2008). Questo aspetto è particolarmente rilevante nei neuroni, dove la fluidità della membrana influisce sulla velocità di conduzione degli impulsi nervosi (Stillwell e Wassall, 2003). Un altro esempio specifico riguarda il ruolo degli acidi grassi nel mantenere la flessibilità delle membrane eritrocitarie, che consente ai globuli rossi di deformarsi e passare attraverso i capillari più stretti, garantendo così un'efficace distribuzione dell'ossigeno nei tessuti (Jump, 2002).

Oltre alla loro funzione strutturale, gli acidi grassi sono una fonte primaria di energia (9 kcal per grammo), particolarmente rilevante durante periodi di digiuno o di intensa attività fisica (Burlingame et al., 2009). La beta-ossidazione degli acidi grassi, un processo metabolico che si svolge nei mitocondri, consente di degradare queste molecole per produrre acetil-CoA, che entra poi nel ciclo di Krebs per la generazione di ATP. Questo processo permette di immagazzinare e rilasciare energia in modo altamente controllato, supportando così le esigenze energetiche delle cellule in diverse condizioni fisiologiche (Tinti, 2013).

Gli acidi grassi partecipano anche alla regolazione del metabolismo lipidico e glucidico, sintetizzando sostanze endogene specifiche. Ad esempio, gli acidi grassi a catena corta e media, come già spiegato in precedenza, sono prodotti dalla fermentazione batterica delle fibre alimentari nel colon e fungono da substrato energetico per le cellule dell'intestino contribuendo alla regolazione del metabolismo del glucosio e dei lipidi e migliorando la sensibilità insulinica (Canfora et al., 2015). Oppure un altro esempio sono gli endocannabinoidi, una classe di lipidi bioattivi derivanti dagli acidi grassi (come l'acido arachidonico). Nella regolazione del metabolismo glucidico e lipidico essi hanno un ruolo chiave nella regolazione dell'appetito, nella lipogenesi e nella modulazione della glicemia. Gli endocannabinoidi agiscono sui recettori cannabinoidi che regolano l'appetito e l'accumulo di grasso. Attivando questi recettori nel cervello aumenta l'appetito, mentre nei tessuti periferici può promuovere la lipogenesi e ridurre la sensibilità all'insulina (Mechoulam et al., 1998).

È stato anche già citato in precedenza il ruolo degli acidi grassi nella segnalazione cellulare (De Carvalho e Caramujo, 2018; Gomez-Muñoz et al., 2016). Alcuni acidi grassi, in particolare quelli polinsaturi a catena lunga come gli omega-3 e omega-6, sono precursori di molecole di segnalazione note come eicosanoidi e tra queste possiamo trovare le prostaglandine, i leucotrieni e i trombossani. Queste molecole, derivate principalmente dal DHA e dall'EPA, sono coinvolte nella regolazione di processi biologici essenziali, tra cui l'infiammazione, la risposta immunitaria e la coagulazione del sangue (Lopez-Huertas, 2010). In particolare, gli omega-3 sono noti per le loro proprietà antiinfiammatorie, mentre gli omega-6, soprattutto se in grandi quantità, possono promuovere l'infiammazione (Das, 2006). È importante quindi ripetere che l'equilibrio tra questi due acidi grassi dev'essere sempre tenuto sotto controllo per garantire una corretta regolazione della risposta infiammatoria, un processo fondamentale nella difesa dell'organismo contro le infezioni e le lesioni (Simopoulos, 2002).

Inoltre, è importante evidenziare la correlazione tra ormoni steroidei ed acidi grassi. Gli ormoni steroidei, tra cui cortisolo, estrogeni, testosterone e progesterone, sono derivati dal colesterolo, che a sua volta è sintetizzato a partire dagli acidi grassi (Tinti, 2013). Gli acidi grassi saturi possono provocare un aumento del livello plasmatico di colesterolo, il che può di conseguenza influenzare la produzione di ormoni steroidei nelle ghiandole

endocrine, come le gonadi e le ghiandole surrenali (Ghayee e Auchus, 2007). Per cui gli acidi grassi giocano un ruolo essenziale nella sintesi e regolazione degli ormoni steroidei.

Infine, gli acidi grassi essenziali sono coinvolti anche nella regolazione dell'espressione genica. I derivati degli omega-3 e degli omega-6 (EPA, DHA, eicosanoidi e acido arachidonico) agiscono come ligandi per specifici recettori nucleari, come i PPAR (Peroxisome Proliferator-Activated Receptors, recettori attivati dai proliferatori di perossisomi), che regolano l'espressione di geni coinvolti nel metabolismo lipidico, nella proliferazione cellulare e nell'infiammazione (Jump, 2002).

In sintesi, gli acidi grassi non sono solo elementi strutturali e riserve energetiche, ma sono anche attori chiave nella regolazione di processi strutturali complessi, come la segnalazione cellulare, la risposta infiammatoria e la sintesi ormonale. La loro importanza è ulteriormente sottolineata dalla necessità di un equilibrio adeguato tra i diversi tipi di acidi grassi nella dieta, per mantenere una salute ottimale e prevenire malattie croniche.

2) IMPORTANZA DEGLI ACIDI GRASSI PER LA SALUTE UMANA

Quando si parla di “grassi”, il pensiero comune tende a collegare questa parola con qualcosa di negativo, associandola automaticamente a cibi poco salutari, aumento di peso e malattie cardiovascolari. Tuttavia, questa visione generalizzata non tiene conto della complessità e dell’importanza degli acidi grassi per il nostro organismo. Infatti, non tutti i grassi sono dannosi, ma anzi alcuni sono essenziali per la nostra salute. La loro importanza risiede non solo nella funzione strutturale, ma anche nella loro partecipazione in una vasta gamma di reazioni biochimiche che influenzano il metabolismo, l’infiammazione, la coagulazione del sangue e la trasmissione nervosa. Questo capitolo esplorerà in dettaglio i benefici che gli acidi grassi apportano alla salute umana e il loro ruolo nella prevenzione delle malattie. Comprendere queste funzioni è infatti essenziale per superare le convinzioni errate e apprezzare l’importanza di questi nutrienti nella nostra dieta quotidiana.

2.1) PRINCIPALI BENEFICI

Gli acidi grassi, pur spesso fraintesi a causa dell’associazione generale tra grassi alimentari e problemi di salute, svolgono in realtà numerosi ruoli vitali all’interno del corpo umano. In particolare, gli acidi grassi polinsaturi omega-3 e omega-6 offrono una vasta gamma di benefici per la salute umana.

Uno dei principali benefici degli acidi grassi riguarda sicuramente la salute cardiovascolare. Numerosi studi epidemiologici e clinici hanno dimostrato che un apporto adeguato di omega-3, soprattutto di EPA e DHA, è associato ad una riduzione del rischio di malattie cardiovascolari (Mozaffarian e Wu, 2011). In particolare, gli effetti benefici degli acidi grassi sulla salute del cuore sono di natura preventiva. Il loro specifico meccanismo di azione verrà esplicitato nella successiva sezione dedicata alla prevenzione delle malattie.

Un altro beneficio notevole degli acidi grassi risiede nel loro ruolo come modulanti della funzione celebrale. Il cervello è uno degli organi più ricchi di lipidi nel corpo umano e il DHA, un acido grasso omega-3, rappresenta una parte significativa della sua struttura lipidica. Il DHA è fondamentale per il mantenimento della plasticità neuronale, un processo che consente al cervello di adattarsi e riorganizzarsi in risposta a nuove esperienze o lesioni (Lauritzen et al., 2016). Questa proprietà è particolarmente cruciale durante le prime fasi della vita, quando il cervello è in rapida crescita e sviluppo, ma rimane importante anche nell'età adulta per sostenere la memoria e la funzione cognitiva (Lauritzen et al., 2016). Infatti, un'adeguata assunzione di DHA è stata correlata a un miglioramento della memoria e della capacità di apprendimento, oltre che a una riduzione del rischio di malattie neurodegenerative come l'Alzheimer (Cole et al., 2009). Anche studi osservazionali hanno mostrato che livelli più elevati di DHA nel sangue sono correlati a migliori prestazioni cognitive e a un minor declino cognitivo con l'avanzare dell'età (Yurko-Mauro et al., 2010).

Persino la salute della pelle e degli occhi beneficiano significativamente degli acidi grassi. La barriera cutanea è la struttura fondamentale che protegge la pelle da agenti esterni come batteri, sostanze chimiche e radiazioni UV, oltre a prevenire la perdita eccessiva di acqua dall'epidermide (Thomsen et al., 2020). Gli acidi grassi essenziali, in particolare gli omega-6, sono componenti fondamentali dei lipidi epidermici, come le ceramidi, che costituiscono la barriera lipidica della pelle. Un'adeguata presenza di questi acidi grassi assicura quindi che la barriera cutanea rimanga intatta e funzionale (Thomsen et al., 2020). Inoltre, essi favoriscono la sintesi di lipidi cutanei che trattengono l'umidità all'interno della pelle, mantenendo così un livello ottimale di idratazione (Ziboh et al., 2000). Dall'altro lato, gli omega-3, con i loro effetti antinfiammatori, favoriscono la salute della pelle quando essa si trova in condizioni infiammatorie croniche come l'acne, l'eczema e la psoriasi (Thomsen et al., 2020). Questo perché gli omega-3, competendo con gli omega-6 per l'enzima ciclossigenasi, riducono la produzione di eicosanoidi pro-infiammatori derivati dall'acido arachidonico. Con questo equilibrio si riduce l'infiammazione cutanea, migliorando le condizioni infiammatorie e promuovendo la guarigione delle lesioni (Ziboh et al., 2000). Inoltre, gli omega-3 e gli omega-6 supportano anche il processo di guarigione delle ferite, contribuendo alla formazione di nuove cellule cutanee, alla sintesi di collagene e alla riparazione dei tessuti danneggiati.

Quindi, il loro effetto antiinfiammatorio, insieme alla capacità di migliorare la sintesi di nuove cellule, facilita una guarigione più rapida e con meno cicatrici (Thomsen et al., 2020).

Alcuni studi hanno anche evidenziato che l'integrazione con omega-3 può migliorare la tolleranza al sole, aumentando la soglia di scottatura e riducendo l'infiammazione indotta dai raggi UV (Vasconcelos et al., 2016).

Per quanto riguarda la salute oculare, un ruolo fondamentale è svolto dal DHA. Esso è uno degli acidi grassi più abbondanti nelle membrane cellulari della retina, una delle strutture più importanti dell'occhio. La retina è responsabile della conversione della luce in segnali elettrici che il cervello elabora per produrre la visione (SanGiovanni e Chew, 2005). Il DHA è particolarmente concentrato nei segmenti esterni dei fotocettori, le cellule della retina che captano la luce. Esso influenza direttamente la capacità dei fotocettori di rispondere alla luce in quanto contribuisce alla fluidità e alla funzionalità delle membrane della retina (SanGiovanni e Chew, 2005). Inoltre, gli acidi grassi, in particolare gli omega-3, sono importanti in quanto essi favoriscono la produzione di lacrime più stabili e di maggiore qualità, grazie alla loro capacità di modulare la composizione lipidica del film lacrimale, lo strato superficiale delle lacrime che impedisce l'evaporazione dell'acqua (Roncone et al., 2010).

2.2) PREVENZIONE DELLE MALATTIE

Sono stati chiariti in precedenza i principali benefici degli acidi grassi per la salute umana senza però precisare il loro ruolo nella protezione dalle malattie. Essi svolgono un ruolo cruciale nella prevenzione di numerose malattie croniche e degenerative, andando a ridurre il rischio di sviluppare patologie neurodegenerative, diabete di tipo 2, alcuni tipi di cancro e soprattutto malattie del sistema cardiovascolare.

È ormai risaputo che le malattie legate al cuore rappresentano la principale causa di morte a livello globale. Seguendo questo contesto, gli acidi grassi, in particolare gli omega-3, hanno dimostrato un significativo potenziale ruolo preventivo sulla salute del cuore, contribuendo a ridurre i fattori di rischio associati a queste patologie (Harris et al., 2008).

Uno degli effetti più studiati degli acidi grassi omega-3 è la loro capacità di ridurre i livelli di trigliceridi nel sangue (Mozaffarian e Wu, 2011). Alti livelli di trigliceridi sono un noto fattore di rischio per le malattie cardiache, in quanto possono contribuire alla formazione di placche aterosclerotiche nelle arterie (Lopaschuk et al., 2010). Gli omega-3, soprattutto l'acido eicosapentaenoico e l'acido docosaesaenoico, hanno dimostrato di abbassare i trigliceridi sierici fino al 30% nei pazienti con ipertrigliceridemia (Harris et al., 2008). Questo avviene attraverso la riduzione della sintesi epatica di trigliceridi e l'aumento della loro rimozione dal plasma grazie alla maggior presenza di colesterolo HDL, contribuendo così a prevenire la formazione di placche a livello delle arterie e quindi l'aterosclerosi (Huh e Jo, 2022). Correlata a quest'ultima patologia c'è la disfunzione endoteliale, che è uno dei primi segni dell'aterosclerosi e di altre malattie cardiovascolari (Calder, 2017). Gli omega-3 migliorano la funzione endoteliale, che sarebbe la capacità delle arterie di dilatarsi e rilassarsi, attraverso l'aumento di ossido nitrico, una molecola vasodilatatrice e che riduce la resistenza vascolare (Geleijnse et al., 2002).

La pressione arteriosa elevata è un altro fattore di rischio significativo per le malattie cardiache. Gli acidi grassi omega-3 hanno dimostrato di avere un effetto benefico sulla pressione sanguigna, contribuendo a ridurla attraverso diversi meccanismi. Questi includono ancora la maggiore produzione di ossido nitrico, che con le sue proprietà facilita il flusso sanguigno (Geleijnse et al., 2002). Inoltre, gli omega-3 possono influenzare il sistema renina-angiotensina-aldosterone (un meccanismo ormonale atto alla regolazione della pressione sanguigna), riducendo la ritenzione di sodio e di conseguenza la pressione sanguigna (Harris et al., 2008).

Gli acidi grassi omega-3 esercitano anche effetti antiaritmici, che sono cruciali nella prevenzione di aritmie cardiache potenzialmente letali, come la fibrillazione atriale e la tachicardia ventricolare (Huh e Jo, 2022). Questi acidi grassi sono essenziali per la stabilizzazione del ritmo cardiaco; essi influenzano l'attività elettrica del cuore stabilizzando le membrane cellulari dei cardiomiociti (le cellule muscolari del cuore), riducendo l'eccitabilità elettrica e prevenendo la disfunzione elettrica che può portare a un'aritmia (Harris et al., 2008). Questo effetto protettivo è particolarmente importante nei pazienti con rischio elevato di problemi cardiaci, poiché le aritmie sono spesso imprevedibili e potenzialmente fatali.

In conclusione, studi di metanalisi sulla prevenzione primaria e secondaria delle malattie cardiache hanno dimostrato che gli omega-3 possono significativamente ridurre il rischio di mortalità per patologie cardiovascolari (Harris et al., 2008).

Tabella 1. Fattori coinvolti nelle malattie del cuore che possono essere influenzati da EPA e/o DHA (Harris et al., 2008).

Factor	Effect⁽¹⁾
Serum TG ⁽²⁾	↓
Production of chemoattractants	↓
Production of growth factors	↓
Cell surface expression of adhesion molecules	↓
Production of inflammatory eicosanoids	↓
Blood pressure	↓
Endothelial relaxation	↑
Thrombosis	↓
Cardiac arrhythmias	↓
Heart rate variability	↑
Atherosclerotic plaque stability	↑

⁽¹⁾ ↑ = aumenta; ↓ = diminuisce;

⁽²⁾ TG = trigliceridi.

Oltre all'essenziale ruolo degli acidi grassi sulla prevenzione delle malattie legate al cuore, essi si sono dimostrati molto importanti anche nel prevenire l'insorgenza del diabete di tipo 2 nei pazienti a rischio (Garg, 1998). Nei soggetti affetti da diabete tipo 2 si osserva una riduzione della sensibilità all'insulina, un ormone chiave nella regolazione della glicemia, il che porta ad un fenomeno definito insulino-resistenza (Brown et al., 2019). Come conseguenza di questa ridotta sensibilità dei tessuti periferici (in particolare muscoli e tessuto adiposo) all'azione dell'insulina, il glucosio trova difficoltà ad entrare nelle cellule e inizia ad accumularsi nel sangue. Gli acidi grassi contribuiscono alla prevenzione del diabete di tipo 2 migliorando la sensibilità all'insulina e il profilo lipidico nel sangue (Boden, 2011). In particolare, gli acidi grassi monoinsaturi e gli omega-3 svolgono il loro meccanismo d'azione modificando la fluidità delle membrane e così

facendo migliorano la funzione dei recettori per l'insulina (Brown et al., 2019). Questo facilita il legame dell'insulina ai suoi recettori e migliora il trasporto di glucosio nelle cellule. Essi migliorano il metabolismo lipidico riducendo i livelli di trigliceridi nel sangue e aumentando quelli di colesterolo HDL, prevenendo così l'accumulo di grasso viscerale, che è un fattore di rischio per l'insulino-resistenza e diabete di tipo 2 (Brown et al., 2019).

Gli omega-3 si sono dimostrati molto importanti anche nella prevenzione di malattie legate al sistema nervoso, come ad esempio l'Alzheimer (Cole et al., 2009). Il morbo di Alzheimer è una forma di demenza neurodegenerativa caratterizzata dalla perdita progressiva di neuroni, specialmente nelle regioni del cervello coinvolte nella memoria e nell'apprendimento (Cunnane et al., 2011). Il DHA in particolare sembra avere un ruolo chiave nella protezione contro le alterazioni cerebrali associate all'Alzheimer, soprattutto a livello preventivo. Infatti, diversi studi epidemiologici hanno dimostrato che una dieta povera in omega-3 è associata a un aumentato rischio di sviluppare l'Alzheimer (Cole et al., 2009). Il DHA svolge il suo ruolo protettivo contro lo sviluppo dell'Alzheimer con diversi meccanismi. Da un lato esso limita la formazione e l'accumulo delle placche di beta-amiloide, che rappresentano una caratteristica patologica del morbo di Alzheimer; dall'altro lato il DHA si è dimostrato importante nel mantenimento dell'integrità delle sinapsi, delle quali viene compromessa la funzionalità durante il decorso di questa patologia (Cole et al., 2009).

Infine, gli acidi grassi possono anche contribuire a ridurre il rischio di sviluppare alcune forme di cancro, in particolare il cancro al colon, alla prostata e al seno. Gli omega-3 e l'acido butirrico hanno dimostrato di avere effetti antitumorali inibendo la crescita delle cellule tumorali, inducendo la apoptosi (la morte programmata delle cellule) e riducendo l'angiogenesi, il processo attraverso il quale i tumori sviluppano nuovi vasi sanguigni per nutrirsi ed espandersi (Calder, 2017; Gómez-Cortés et al., 2018).

3) ACIDI GRASSI NEI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE

I prodotti di origine animale rappresentano una fonte fondamentale di lipidi nella dieta umana, fornendo acidi grassi che svolgono ruoli cruciali in vari processi fisiologici. Il profilo lipidico dei prodotti di origine animale è un aspetto cruciale per valutare la loro qualità nutrizionale e il loro impatto sulla salute umana. Mentre gli acidi grassi saturi dominano in questi alimenti, la presenza di acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi, in particolare gli omega-3, può modulare gli effetti avversi associati al consumo di SFA. Le pratiche di alimentazione degli animali, come l'integrazione con fonti di omega-3, possono migliorare significativamente il profilo lipidico di carne, uova e latte, offrendo potenziali benefici per la salute. La gestione attenta del profilo lipidico nei prodotti di origine animale è essenziale per massimizzare i loro benefici nutrizionali e ridurre i rischi per la salute associati a un consumo eccessivo di grassi saturi. Infatti, la composizione in acidi grassi di questi alimenti può variare in modo significativo in base alla specie animale, alla dieta, al metodo di allevamento e alla lavorazione degli alimenti stessi. In questo capitolo saranno analizzati i profili lipidici, con particolare attenzione agli acidi grassi, dei principali prodotti di origine animale, come uova, latte e carne. Infine, verranno descritti con dettaglio i principali fattori che influenzano la composizione degli acidi grassi nei lipidi del latte.

3.1) UOVA

Le uova di gallina costituiscono un importante fonte di lipidi per la dieta umana. Indicativamente un uovo intero contiene il 12% di lipidi (Miranda et al., 2015). Questi lipidi nelle uova si trovano esclusivamente nel tuorlo, che rappresenta circa il 20-30% del peso totale dell'uovo (Gautron et al., 2022). Il tuorlo d'uovo rappresenta una delle fonti più concentrate di lipidi nella dieta, contenendo il 30-35% di grassi (Gautron et al., 2022). Questi grassi sono costituiti per circa il 65% da trigliceridi, il 31% da fosfolipidi e il 4% da colesterolo (Gautron et al., 2022). Secondo i dati di Miranda et al. (2015) e Gautron et al. (2022) gli acidi grassi presenti nelle uova sono una combinazione di saturi (SFA), monoinsaturi (MUFA) e polinsaturi (PUFA):

-Acidi Grassi Saturi (SFA): I SFA costituiscono circa il 33-38% degli acidi grassi totali nel tuorlo d'uovo. L'acido palmitico (C16:0) rappresenta circa il 25-30% del totale degli acidi grassi. È seguito dall'acido stearico (C18:0), che costituisce circa il 15-20% degli acidi grassi totali. Questi SFA, sebbene associati a un aumento dei livelli di colesterolo LDL, sono essenziali per la struttura delle membrane cellulari e altre funzioni biologiche (Siri-Tarino et al., 2010);

-Acidi Grassi Monoinsaturi (MUFA): I MUFA sono la frazione predominante, costituendo il 40-45% degli acidi grassi nel tuorlo. L'acido oleico (C18:1) è il MUFA principale, costituendo circa il 35-40% del totale degli acidi grassi. Questo acido grasso è riconosciuto per i suoi benefici cardiovascolari, contribuendo a ridurre i livelli di colesterolo LDL senza abbassare i livelli di HDL (Hardin-Fanning, 2008);

-Acidi Grassi Polinsaturi (PUFA): I PUFA corrispondono al 15-25% degli acidi grassi totali nel tuorlo. Gli acidi grassi polinsaturi presenti nelle uova includono l'acido linoleico (C18:2), l'acido arachidonico (C20:4) e in misura minore l'acido α -linolenico (C18:3). L'acido linoleico rappresenta circa il 15-20% del totale degli acidi grassi, mentre l'acido arachidonico è presente in quantità minori (circa il 2%). Le uova possono essere arricchite con PUFA omega-3, come l'acido docosaesaenoico (DHA), attraverso l'alimentazione delle galline con semi di lino, olio di pesce o alghe in modo tale da migliorarne il profilo nutrizionale (Maina et al., 2023).

Il profilo lipidico dell'uovo è modulato principalmente dal rapporto albume/tuorlo, che dipende dall'origine genetica degli animali, dall'età della gallina e soprattutto dalla dieta dell'animale (Gautron et al., 2022).

Le uova sono anche una fonte importante di colesterolo, con un singolo uovo che contiene circa 200 mg di colesterolo (Gautron et al., 2022). Tuttavia, studi recenti hanno dimostrato che il consumo di uova ha un effetto minimo sui livelli di colesterolo sierico nella maggior parte delle persone, in quanto la risposta del colesterolo alimentare è modulata dalla sintesi endogena del colesterolo stesso (Blesso e Fernandez, 2018). I PUFA presenti nelle uova, in particolare gli omega-3, hanno effetti benefici sulla salute cardiovascolare e cerebrale (Bazinet e Layé, 2014). La presenza di fosfolipidi, come la lecitina, contribuisce inoltre al metabolismo dei lipidi e alla funzione cognitiva (Anton, 2013).

Tabella 2. Profilo degli acidi grassi nell'uovo intero, nell'albume e nel tuorlo (Gautron et al., 2022).

Elemento	Uovo Intero	Bianco	Tuorlo
Lipidi (g/100 g of egg)			
Acidi grassi saturi	2.64	0	8.47
16:0 Acido palmitico	1.96	0	6.04
18:0 Acido stearico	0.65	0	1.73
Acidi grassi monoinsaturi	3.7	0	11.9
Acidi grassi polinsaturi	1.65	0	4.07
18:2 Acido linoleico (<i>n</i> -6)	1.38	0	3.28
18:3 Acido linolenico (<i>n</i> -3)	0.061	0	0.15
20:4 Acido Arachidonico (<i>n</i> -6)	0.12	0	0.37
20:5 Acido Eicosapentaenoico (<i>n</i> -3)	0	0	0.001
22:6 Acido Docosaesaenoico (<i>n</i> -3)	0.09	0	0.025
Colesterolo	0.398	0	0.939

3.2) CARNE SUINA

La composizione lipidica della carne suina varia significativamente in base alla deposizione di grasso corporeo dell'animale, al tipo di taglio, alla razza e alla dieta. I lipidi nella carne suina sono costituiti principalmente da trigliceridi, ma includono anche fosfolipidi e steroli (Wood et al., 2008). I trigliceridi sono i principali lipidi presenti nel grasso del muscolo scheletrico, che si divide in grasso sottocutaneo e grasso intramuscolare. Oltre ai trigliceridi, nel grasso intramuscolare sono presenti anche fosfolipidi, che sono fattori importanti che influenzano il sapore della carne di maiale (Yi et al., 2023).

La qualità del grasso suino è determinata dalla distribuzione tra acidi grassi saturi, monoinsaturi e polinsaturi. Secondo i dati riportati da Wood et al. (2008), i principali acidi grassi nella carne suina includono:

-Acidi Grassi Saturi: Gli SFA rappresentano circa il 35-40% dei grassi totali nella carne suina. L'acido palmitico e l'acido stearico sono i SFA più abbondanti, rispettivamente rappresentando circa il 25-30% e il 10-12% del totale degli acidi grassi. Anche l'acido

miristico (C14:0), seppur in minori quantità, è presente e ha un ruolo significativo nell'aumentare i livelli di colesterolo LDL (Dinh et al., 2021);

-Acidi Grassi Monoinsaturi: I MUFA sono gli acidi grassi presenti in maggiore quantità (45-50%), con una predominanza dell'acido oleico, che costituisce il 40-45% del totale degli acidi grassi. Questo acido grasso, noto per i suoi benefici cardiovascolari, è il principale responsabile della stabilità ossidativa della carne suina e della sua succosità (Wood et al., 2008);

-Acidi Grassi Polinsaturi: I PUFA rappresentano circa il 10-15% dei lipidi totali nella carne suina. L'acido linoleico è il PUFA più abbondante, seguito da quantità minori di acido α -linolenico. La proporzione di PUFA può essere aumentata attraverso l'alimentazione dei suini con diete ricche di oli vegetali o semi ricchi di omega-3 (Kouba et al., 2003).

Il profilo lipidico della carne suina può influenzare significativamente la salute umana. Un elevato consumo di SFA può essere associato a un aumento dei livelli di colesterolo LDL, ma la presenza di MUFA come l'acido oleico contribuisce a migliorare il profilo lipidico nel sangue (Garg, 1998). Le strategie di allevamento che prevedono l'integrazione della dieta dei suini con fonti di PUFA possono migliorare la qualità nutrizionale della carne, aumentando la concentrazione di acidi grassi benefici come gli omega-3, che sono essenziali per la salute cardiovascolare e il controllo dell'infiammazione (Mozaffarian e Wu, 2011). Infatti, la composizione degli acidi grassi nella carne suina è significativamente influenzata dalla dieta dell'animale (Schumacher et al., 2022). Un'alimentazione ricca di cereali e oli vegetali, ad esempio, aumenta la proporzione di PUFA, in particolare di acido linoleico, nel grasso suino. Al contrario, diete più tradizionali basate su foraggi e scarti alimentari possono portare a una maggiore percentuale di SFA e MUFA (Kouba et al., 2003). Inoltre, Martins et al. (2018) hanno dimostrato che l'integrazione alimentare con un alto contenuto di acido oleico può aumentare il contenuto di MUFA e PUFA e ridurre il contenuto di SFA sia nel grasso sottocutaneo femorale che dorsale nei suini. Hanno anche scoperto che una dieta ad alto contenuto di acido oleico riduce significativamente l'espressione di FASN (acido grasso sintasi, un enzima che partecipa alla sintesi degli acidi grassi), il che significa che meno grasso viene sintetizzato de novo attraverso la via lipogenica endogena (Martins et al., 2018).

La composizione lipidica e degli acidi grassi nella carne suina varia di molto tra i diversi tagli, principalmente a causa della differente distribuzione del grasso intramuscolare e sottocutaneo (Wood et al., 2008). Ad esempio, il lardo e la pancetta sono conosciuti per il loro elevato contenuto di lipidi. Il lardo è costituito quasi esclusivamente da tessuto adiposo sottocutaneo, situato principalmente nella parte dorsale del maiale. Il lardo rappresenta il taglio di carne suina più ricco di lipidi, con un contenuto lipidico che può superare l'80%. Questo taglio è particolarmente ricco di SFA e MUFA, con una prevalenza di acido oleico (circa il 45-50%) e acido palmitico (25-30%). I PUFA invece non superano il 10% degli acidi grassi totali (Vicente e Pereira, 2024). La pancetta, che rappresenta un taglio molto grasso, contiene circa il 50-60% di lipidi. Anche in questo caso i MUFA sono predominanti, seguiti dagli SFA. Il profilo degli acidi grassi è analogo a quello del lardo, con l'acido oleico che rappresenta la maggior parte dei MUFA (Vicente e Pereira, 2024). Essendo ricchi di grassi, sia il lardo che la pancetta contengono elevate quantità di calorie e acidi grassi saturi, quindi dovrebbero essere consumati con moderazione. Tuttavia, la presenza di una buona quantità di acido oleico è un aspetto positivo dal punto di vista nutrizionale, grazie all'associazione di questo acido grasso a benefici per la salute cardiovascolare (Lopez-Huertas, 2010).

Tabella 3. Contenuto energetico, proteico, di grassi e di acidi grassi di alcuni tagli di carne suina. I dati sono presentati per 100 g di carne (Vicente e Pereira, 2024).

Taglio Carne Suina	Energia (kcal)	Proteina (g)	Grasso (g)	Saturi (g)	Mono insaturi (g)	Poli insaturi (g)	LA (g)
Lonza	131	22.2	4.7	1.6	1.6	0.8	0.7
Braciola	288	18.6	23.8	8.2	7.9	3.4	0.1
Costine	190	19.6	12.4	4.2	4.1	1.7	0.1
Coscia	190	12.1	12.3	6.3	6.2	2.6	0.1
Pancetta	518	9.3	53	19.3	24.7	5.6	0.0

3.3) CARNE BOVINA

La carne bovina è un'importante fonte di lipidi, la cui composizione varia significativamente in base alla dieta, all'età dell'animale e tra i diversi tagli (Schumacher et al., 2022). I lipidi presenti nella carne bovina si suddividono principalmente in tre categorie di acidi grassi: saturi, monoinsaturi e polinsaturi. Ogni categoria ha effetti

distintivi sulla salute e contribuisce in modo diverso al profilo nutrizionale della carne (Wood et al., 2008).

-Acidi Grassi Saturi: Gli SFA costituiscono circa il 40-50% dei grassi totali nella carne bovina. L'acido palmitico è il SFA più abbondante, seguito dall'acido stearico. Rispettivamente, rappresentato il 25% e il 10-15% del totale degli acidi grassi (Wood et al., 2008). L'acido stearico, pur essendo un SFA e quindi correlato a problemi con la salute, ha un effetto neutro sui livelli di colesterolo nel sangue, a differenza dell'acido palmitico e dell'acido miristico, che tendono ad aumentare il colesterolo LDL (Pereira e Vicente, 2013);

-Acidi Grassi Monoinsaturi: Gli acidi grassi monoinsaturi rappresentano circa il 40-45% del totale degli acidi grassi nella carne bovina. In particolare, l'acido oleico è il MUFA più abbondante e rappresenta circa il 35-40% del totale degli acidi grassi nella carne bovina (Wood et al., 2008). L'acido vaccenico (C18:1 trans), un MUFA presente in modeste quantità nella carne bovina, può essere convertito in acido linoleico coniugato (CLA) nell'organismo umano, il quale ha potenziali effetti antitumorali e anti-aterogeni (Daley et al., 2010);

-Acidi Grassi Polinsaturi: I PUFA nella carne bovina rappresentano circa il 5-10% dei grassi totali. L'acido linoleico è il PUFA più comune (3-5%), seguito dall'acido α -linolenico (circa 1%); (Wood et al., 2008). La carne bovina proveniente da animali alimentati al pascolo ha una maggiore concentrazione di omega-3 rispetto a quella proveniente da animali alimentati con cereali, il che migliora il profilo nutrizionale del prodotto (Nürnberg et al., 1998). Infatti, la dieta e il metodo di allevamento dei bovini da carne sono un fattore essenziale nella determinazione della composizione degli acidi grassi nella carne. Inoltre, anche l'età dell'animale gioca un ruolo chiave nel determinare la composizione lipidica della carne bovina. La carne di vitello, cioè la carne proveniente da bovini maschi di peso inferiore a 250 kg macellati a un'età inferiore ai 12 mesi, ha un profilo lipidico molto inferiore (circa 8%) rispetto alla carne proveniente dalla macellazione dei vitelloni (Pereira e Vicente, 2013).

I tagli di carne bovina differiscono notevolmente nel contenuto di grassi e nella composizione di acidi grassi. Questa variabilità è determinata principalmente dalla posizione anatomica del taglio e dalla quantità di grasso intramuscolare (conosciuta anche

come marezzatura) e grasso sottocutaneo (Schumacher et al., 2022). Nei tagli più grassi, come la costata e l'entrecôte, il contenuto di grasso intramuscolare è particolarmente elevato (Schumacher et al., 2022). In questi tagli, il grasso rappresenta tra l'8% e il 15% del peso totale, con una predominanza di acidi grassi saturi (SFA) e monoinsaturi (MUFA). In particolare, l'acido oleico costituisce tra il 35% e il 45% degli acidi grassi totali in questi tagli. Gli SFA, tra cui l'acido palmitico e l'acido stearico, costituiscono circa il 40% degli acidi grassi in questi tagli (Pereira e Vicente, 2013). Al contrario, i tagli magri come il filetto e la fesa presentano un contenuto lipidico decisamente inferiore, generalmente compreso tra il 2% e il 6%. In questi tagli, la percentuale di acidi grassi polinsaturi (PUFA) tende ad essere più alta rispetto ai tagli grassi, arrivando fino al 10-12% del totale degli acidi grassi (Pereira e Vicente, 2013).

Gli acidi grassi non solo influenzano il profilo nutrizionale della carne bovina, ma determinano anche le sue caratteristiche sensoriali e tecnologiche (Wood et al., 2008). La marezzatura, ossia la presenza di grasso intramuscolare, è uno degli aspetti più ricercati, in quanto influisce positivamente su sapore, succosità e tenerezza della carne (Schumacher et al., 2022). I MUFA, in particolare l'acido oleico, sono responsabili del miglioramento di queste qualità sensoriali (Mwangi et al., 2019). Inoltre, la composizione in acidi grassi può influire sulla conservabilità della carne (Nürnberg et al., 1998). I PUFA, pur avendo effetti benefici sulla salute, sono maggiormente soggetti all'ossidazione, che può portare a deterioramento e formazione di composti indesiderati che influenzano negativamente il sapore e la durata di conservazione (Dinh et al., 2021).

In conclusione, il consumo di carne bovina è spesso associato a un rischio aumentato di malattie cardiovascolari a causa dell'alto contenuto di SFA, che possono aumentare i livelli di colesterolo LDL (Siri-Tarino et al., 2010). Tuttavia, l'acido stearico, pur essendo un SFA, ha un effetto neutro sui lipidi nel sangue (Daley et al., 2010). Inoltre, il CLA e gli omega-3 derivanti dalla carne bovina hanno effetti positivi sulla salute, tra cui la riduzione dell'infiammazione, la protezione contro le malattie cardiache e un potenziale effetto antitumorale (Parodi, 1999).

3.4) LATTE BOVINO

Il latte bovino è una fonte importante di nutrienti e lipidi nella dieta umana. I lipidi nel latte costituiscono circa il 3-5% del volume totale, ma la loro composizione può variare

in base a diversi fattori, tra cui l'alimentazione dell'animale, la genetica e il periodo di lattazione (Gómez-Cortés et al., 2018). Il latte bovino è costituito principalmente da trigliceridi (circa il 98%), ma anche fosfolipidi, steroli e una piccola quantità di acidi grassi liberi (Jensen, 2002). Secondo i dati riportati da Hanuš et al. (2018) la composizione degli acidi grassi nel latte bovino si suddivide in tre principali categorie:

-Acidi Grassi Saturi: Gli SFA rappresentano circa il 60-70% del totale dei grassi nel latte bovino. L'acido palmitico è il SFA predominante, rappresentando circa il 22-30% degli acidi grassi totali nel latte. L'acido stearico segue, costituendo circa il 10-15% del totale. In piccole quantità sono presenti anche l'acido caproico (C6:0), l'acido caprilico (C8:0), l'acido caprinico (C10:0), l'acido laurico (C12:0) e l'acido butirrico (C4:0). Quest'ultimo si è rivelato avere un importante ruolo contro lo sviluppo dei tumori;

-Acidi Grassi Monoinsaturi: Gli acidi grassi monoinsaturi rappresentano circa il 20-30% del totale dei grassi nel latte bovino. L'acido oleico è il MUFA più abbondante e costituisce circa il 15-25% degli acidi grassi totali, mentre in quantità minori è presente l'acido palmitoleico (C16:1). L'acido oleico è noto per i suoi effetti positivi sui livelli di colesterolo, poiché può ridurre il colesterolo LDL e aumentare l'HDL (Lopez-Huertas, 2010);

-Acidi Grassi Polinsaturi: I PUFA nel latte bovino rappresentano circa il 2-5% dei grassi totali. L'acido linoleico è il PUFA principale, costituisce circa l'1-3% degli acidi grassi totali, mentre l'acido α -linolenico è presente in quantità minori (0.5-2%). Tuttavia, il latte proveniente da bovini alimentati al pascolo può contenere quantità significativamente più elevate di omega-3 rispetto al latte di bovini alimentati con cereali (Hanus̄ et al., 2018). Inoltre, il latte bovino è una fonte significativa di acido linoleico coniugato (CLA), che è stato studiato per i suoi potenziali effetti benefici, tra cui la riduzione del rischio di cancro e delle malattie cardiovascolari (Parodi, 1999; Hanuš et al., 2018).

Il latte e i suoi derivati sono spesso discussi per il loro contenuto di SFA, che possono contribuire all'aumento del colesterolo LDL nel sangue (Siri-Tarino et al., 2010). Tuttavia, i benefici del consumo di latte includono l'apporto di CLA e di acidi grassi a catena corta, che hanno effetti benefici sulla salute intestinale e sul metabolismo energetico, come ad esempio l'acido butirrico che funge da substrato energetico per i batteri della flora intestinale (Gómez-Cortés et al., 2018). L'acido α -linolenico e altri omega-3 presenti nel

latte, seppur in piccole quantità, possono contribuire alla salute cardiovascolare (SanGiovanni e Chew, 2005). L'arricchimento delle diete dei bovini con foraggio verde può migliorare il contenuto di omega-3 nel latte, rendendolo un alimento più salutare (Lopez-Huertas, 2010).

Il profilo lipidico dei prodotti di origine animale è un aspetto cruciale per valutare la loro qualità nutrizionale e il loro impatto sulla salute umana. Mentre gli acidi grassi saturi dominano in questi alimenti, la presenza di acidi grassi monoinsaturi e polinsaturi, in particolare gli omega-3, può modulare gli effetti avversi associati al consumo di SFA. Le pratiche di alimentazione degli animali, come l'integrazione con fonti di omega-3, possono migliorare significativamente il profilo lipidico di carne, uova e latte, offrendo potenziali benefici per la salute. La gestione attenta del profilo lipidico nei prodotti di origine animale è essenziale per massimizzare i loro benefici nutrizionali e ridurre i rischi per la salute associati a un consumo eccessivo di grassi saturi.

3.4.1) FATTORI CHE INFLUENZANO LA COMPOSIZIONE DEGLI ACIDI GRASSI NEL LATTE BOVINO

Gli acidi grassi del latte derivano da quattro principali vie: direttamente dalla dieta, attraverso la sintesi de novo nella ghiandola mammaria, dalla formazione nel rumine per bioidrogenazione o degradazione batterica, e dal rilascio dai depositi di grasso corporeo (Stoop et al., 2009). La composizione in acidi grassi del grasso bovino è influenzata da una complessa interazione di fattori (Figura 4). In generale, fino al 44% del grasso del latte può derivare direttamente dalla dieta di una bovina. Di conseguenza, la gestione della nutrizione animale è cruciale per ottenere un profilo di acidi grassi di alta qualità nel latte. Questo aspetto risulta essere più determinante rispetto ad altri fattori come la razza, il genotipo, l'età, la salute e le condizioni di lattazione della mucca (Hanuš et al., 2018).

La correlazione di tutti questi fattori non solo determina la quantità di grasso prodotto, ma influiscono anche sulla qualità del profilo lipidico, influenzando significativamente sia la salute umana che la qualità del prodotto finale (Hanuš et al., 2018).

Il profilo desiderabile degli acidi grassi nel latte si basa principalmente su due obiettivi. Da un lato, si cerca di ridurre la percentuale di acidi grassi saturi e aumentare quella degli acidi grassi con un'attenzione particolare agli acidi grassi polinsaturi n-3, che sono ritenuti particolarmente benefici per la salute. Dall'altro lato, un contenuto maggiore di UFA

migliora anche l'usabilità del prodotto, come nel caso del burro, rendendolo più facilmente spalmabile e quindi più appetibile per i consumatori. Tuttavia, è importante considerare che un elevato contenuto di UFA può comportare alcuni problemi, come una minore stabilità del prodotto e fenomeni indesiderati come l'ossidazione e cambiamenti sensoriali, che possono influire negativamente sulla qualità e sulla durata di conservazione del latte e dei suoi derivati (Hanuš et al., 2018).

Di seguito, un'analisi approfondita dei principali elementi che contribuiscono alla variabilità nella composizione in acidi grassi.

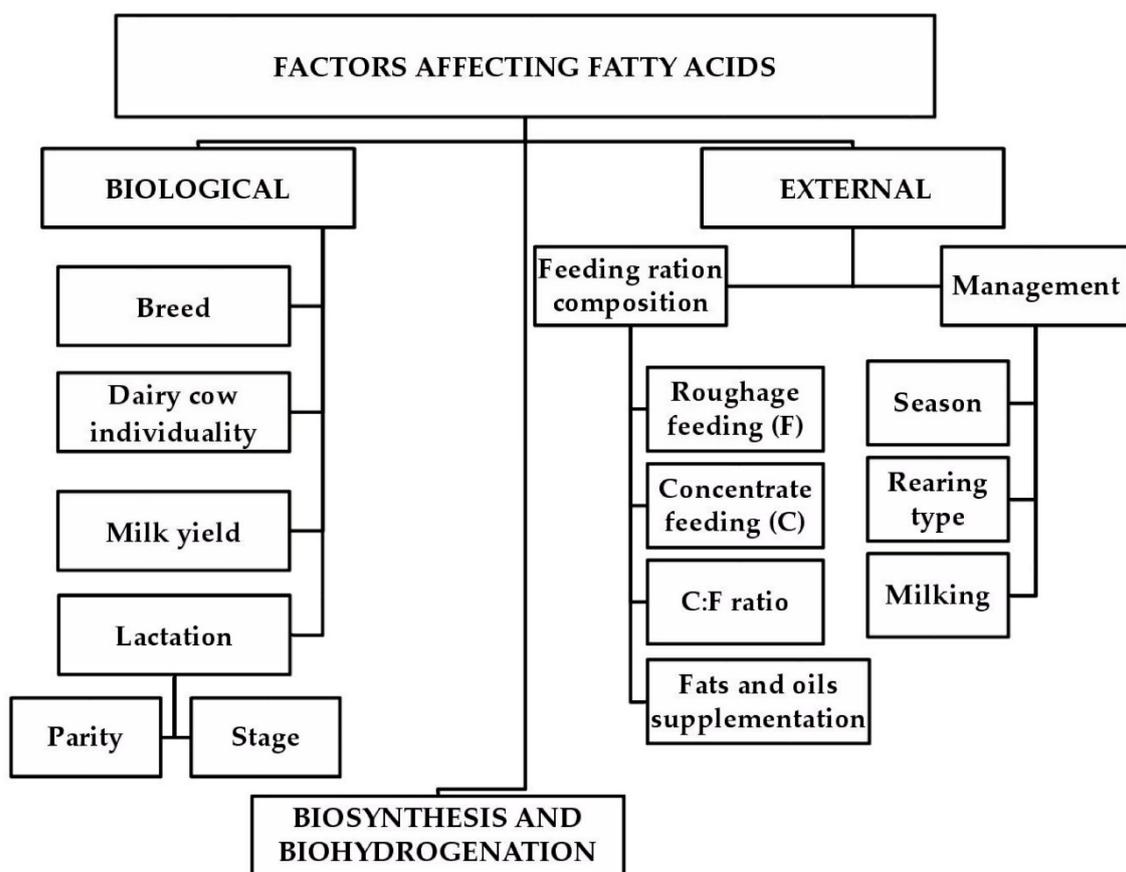


Figura 4. Diagramma delle fonti di variabilità del profilo degli acidi grassi del latte (Hanuš et al., 2018).

3.4.1.1) DIETA

La nutrizione delle vacche da latte è, senza dubbio, uno dei principali fattori che determinano la variabilità del profilo lipidico del latte, influenzando direttamente la composizione della flora batterica ruminale e, di conseguenza, la composizione degli

acidi grassi nel latte. Questo perché nel rumine, il tipo di foraggio, il rapporto foraggio/concentrato, la supplementazione con semi oleosi e anche i cambiamenti repentini nella dieta possono determinare cambiamenti nella flora batterica, modificandone il metabolismo lipidico e quindi la produzione di acidi grassi specifici (Bernard et al., 2018). Infatti, come evidenziato da Hanuš et al. (2018), la composizione degli acidi grassi nel latte è principalmente il risultato di due processi: il metabolismo dei lipidi nel rumine e la sintesi lipidica nella ghiandola mammaria.

Il rapporto foraggio/concentrato è uno dei principali parametri nutrizionali che influenza la composizione degli acidi grassi nel latte (Vlaeminck et al., 2006). Un rapporto elevato di foraggio nella dieta, specialmente se composto da foraggi fibrosi come il fieno e l'erba medica, tende a favorire la produzione di acidi grassi a catena corta e media, come l'acido butirrico, caproico e caprilico, che vengono sintetizzati de novo nella ghiandola mammaria (Shingfield et al., 2013). Questi acidi grassi contribuiscono alla densità energetica e alla qualità sensoriale del latte, conferendogli una consistenza ricca e un gusto cremoso (Hanusš et al., 2018). Al contrario, un rapporto maggiore di concentrati nella dieta, spesso costituiti da alimenti ad alto contenuto di amido come cereali, tende a ridurre la quantità di acidi grassi a catena lunga nel latte, inclusi acidi grassi insaturi come l'acido oleico e linoleico (Hanusš et al., 2018). L'eccesso di concentrati può infatti aumentare la bioidrogenazione nel rumine, trasformando gli acidi grassi insaturi in acidi grassi saturi e, di conseguenza, influenzare negativamente la qualità del latte (Hanusš et al., 2018). Inoltre, diete ricche di amido possono ridurre il pH ruminale, causando un'alterazione nella flora microbica e influenzando la bioidrogenazione degli acidi grassi (Shingfield et al., 2013). Questo può portare alla formazione di acidi grassi trans, come l'acido vaccenico, che viene successivamente convertito in CLA nel latte (Hanusš et al., 2018). Un bilanciamento ottimale tra foraggio e concentrato nella dieta è quindi essenziale per mantenere un buon equilibrio tra acidi grassi saturi e insaturi, e per garantire una produzione di latte che risponda sia ai bisogni nutrizionali dell'animale sia alle esigenze qualitative del mercato lattiero-caseario (Vlaeminck et al., 2006).

Bisogna anche considerare il tipo di foraggio somministrato, in quanto anche questo è un fattore chiave nella modulazione della flora batterica ruminale e, di conseguenza, del profilo lipidico del latte (Hanusš et al., 2018). L'insilato di mais, ampiamente utilizzato negli allevamenti bovini, è ricco di carboidrati facilmente fermentescibili, ma povero di

acidi grassi insaturi, con conseguente aumento di acidi grassi saturi come l'acido palmitico e l'acido stearico nel latte (Shingfield et al., 2005). Questo perché il mais fornisce una grande quantità di energia sotto forma di amido, che stimola la crescita di batteri amilolitici, favorendo la produzione di acidi grassi saturi a livello ruminale (Shingfield et al., 2013).

D'altro canto, le bovine alimentate prevalentemente a pascolo tendono a produrre un latte con un profilo lipidico più favorevole per la salute umana (Hanusš et al., 2018). Infatti, gli studi di Gómez-Còrtes et al. (2018) hanno dimostrato che l'alimentazione al pascolo è associata a un aumento di acidi grassi benefici per la salute umana, come l'acido linoleico coniugato e l'acido alfa-linolenico, oltre a una riduzione del rapporto omega-6/omega-3, caratteristica vantaggiosa per il consumatore (Hanusš et al., 2018). Infatti, questi grassi insaturi non solo hanno effetti benefici sulla salute umana, ma contribuiscono anche a una maggiore qualità nutrizionale del latte stesso, rendendo il pascolo una scelta ottimale per massimizzare il contenuto di acidi grassi insaturi (Hanusš et al., 2018).

Un'altra importante fonte di foraggio è il fieno, che, sebbene non ricco in acidi grassi insaturi come l'erba fresca, contribuisce a mantenere un buon equilibrio tra acidi grassi saturi e insaturi nel latte, specialmente in combinazione con altre fonti alimentari ricche di PUFA. Tuttavia, il suo utilizzo esclusivo può limitare il contenuto di acidi grassi insaturi rispetto a diete più diversificate (Hanusš et al., 2018).

L'integrazione della dieta con semi oleosi è un'altra strategia nutrizionale per modulare il profilo lipidico del latte (Patra e Yu, 2012). Gli oli e i grassi vegetali, come i semi di colza e soia, hanno un impatto significativo sulla quantità e qualità degli acidi grassi prodotti nel latte. L'integrazione con semi di colza, ad esempio, aumenta il contenuto di acidi grassi monoinsaturi come l'acido oleico, riducendo il contenuto complessivo di acidi grassi saturi (Hanusš et al., 2018). La colza è particolarmente efficace nell'incrementare il contenuto di acidi grassi insaturi, poiché l'acido oleico sfugge alla bioidrogenazione ruminale e può essere trasferito direttamente nel latte (Hanusš et al., 2018). I semi di soia, invece, sono ricchi di acido linoleico e favoriscono l'aumento di PUFA nel latte (Hanusš et al., 2018). Tuttavia, la soia è soggetta a una più intensa bioidrogenazione ruminale rispetto alla colza, il che limita la quantità di acidi grassi insaturi che possono essere trasferiti al latte (Shingfield et al., 2013). Per cui l'integrazione della dieta con prodotti a

base di colza appare più efficace rispetto a quella con prodotti a base di soia o miscele di semi oleosi, poiché i prodotti a base di colza hanno un impatto maggiore sulla proporzione di acidi grassi desiderabili, in particolare l'acido oleico, l'acido vaccenico (VA; C18:1 trans 11) e l'acido rumenico (RA; C18:2 cis 9, trans 11); (Hanuš et al., 2018). Questi ultimi, l'acido vaccenico e l'acido rumenico, derivano dalla bioidrogenazione degli acidi grassi polinsaturi, come l'acido linoleico e l' α -linolenico, all'interno del rumine dei ruminanti. In particolare, l'acido rumenico, un isomero naturale dell'acido linoleico coniugato (CLA), si forma principalmente attraverso due vie: la bioidrogenazione anaerobica dell'acido linoleico nel rumine e la desaturazione $\Delta 9$ dell'acido vaccenico nelle cellule animali (Destailats et al., 2005). L'acido vaccenico, infatti, può essere ulteriormente convertito in acido rumenico tramite questa desaturazione, il che spiega l'importanza di entrambi questi acidi grassi nel profilo lipidico del latte (Destailats et al., 2005). La loro presenza è desiderabile poiché svolgono ruoli positivi per la salute umana, in particolare l'acido rumenico, che è noto per le sue proprietà antiossidanti e potenzialmente antitumorali (Hanuš et al., 2018).

Questi risultati evidenziano chiaramente che un aumento della proporzione di foraggio fresco (pascolo) o conservato, rispetto ai concentrati a base di cereali, e un maggiore apporto di semi oleosi nei mangimi, rispetto ai semi non oleosi, migliorano il profilo degli acidi grassi del latte. In particolare, si osserva un aumento della concentrazione di acidi grassi insaturi e dell'acido rumenico, un isomero dell'acido linoleico coniugato, con effetti benefici sulla salute (Hanuš et al., 2018).

3.4.1.2) STADIO DI LATTAZIONE

Lo stadio di lattazione influisce significativamente sulla composizione lipidica del latte, poiché è strettamente legato al metabolismo energetico della bovina. Durante le prime fasi di lattazione, l'animale si trova spesso in uno stato di bilancio energetico negativo (BEN), dove la richiesta energetica per la produzione di latte supera l'apporto derivante dalla dieta (Hanuš et al., 2018). Per compensare questo deficit, la bovina mobilita le riserve di grasso corporeo, portando a un aumento della concentrazione di acidi grassi non esterificati (NEFA) nel sangue. Tra questi, l'acido oleico, essendo il più abbondante nel tessuto adiposo, è il primo a essere rilasciato attraverso la lipolisi dei trigliceridi durante il BEN (Hanuš et al., 2018). Questo processo è seguito dal rilascio di acido palmitico e stearico (Stoop et al., 2009). Di conseguenza, nelle prime fasi di lattazione si

osserva un incremento della concentrazione di acidi grassi a catena lunga nel latte, riflettendo la maggiore disponibilità di questi composti derivanti dalle riserve di grasso corporeo mobilizzate (Hanuš et al., 2018).

Con l'avanzare della lattazione, il bilancio energetico della bovina tende a stabilizzarsi, riducendo la necessità di mobilizzare i depositi adiposi. In questa fase, aumenta la sintesi de novo di acidi grassi a catena corta e media, come l'acido butirrico e caproico, nella ghiandola mammaria (Hanuš et al., 2018). Questo porta a una graduale modifica del profilo lipidico del latte, con un maggiore apporto di acidi grassi saturi sintetizzati ex novo e una riduzione di quelli mobilizzati dalle riserve corporee (Stoop et al., 2009).

Nei primi giorni di lattazione, il latte tende a presentare un contenuto lipidico inferiore rispetto alle fasi successive, ma una maggiore proporzione di acidi grassi insaturi. Questo riflette il fatto che, all'inizio della lattazione, il bilancio energetico negativo e la mobilizzazione delle riserve di grasso corporeo portano a un profilo lipidico con acidi grassi insaturi più elevati e acidi grassi saturi relativamente più bassi (Hanuš et al., 2018). Con il progredire della lattazione e il miglioramento del bilancio energetico, il contenuto lipidico del latte aumenta e, di conseguenza, cresce anche la concentrazione di acidi grassi saturi, come l'acido palmitico e stearico (Stoop et al., 2009). Pertanto, mentre il latte delle prime fasi di lattazione può essere caratterizzato da un profilo più ricco di acidi grassi insaturi, le fasi avanzate presentano un aumento dei grassi saturi, riflettendo il miglioramento del metabolismo energetico dell'animale e l'incremento della sintesi lipidica nella ghiandola mammaria.

Dal punto di vista sanitario, la composizione degli acidi grassi del latte è generalmente più favorevole nelle prime fasi della lattazione, specialmente tra i giorni 10 e 30 post-parto. Durante questo periodo, acidi grassi come l'acido laurico, l'acido miristico e l'acido palmitico, noti per aumentare i livelli di colesterolo LDL, presentano concentrazioni più basse. Al contrario, acidi grassi come l'acido oleico e l'acido linoleico, noti per i loro effetti cardioprotettivi, sono più abbondanti all'inizio della lattazione (Hanuš et al., 2018).

3.4.1.3) *GENETICA ED ETA'*

Le differenze genetiche tra le razze bovine hanno un impatto significativo sul profilo lipidico del latte. Per esempio, la razza Jersey è conosciuta per produrre un latte più ricco

di grassi rispetto alla razza Holstein. In particolare, la Jersey tende a avere un contenuto più elevato di acidi grassi saturi, mentre la Holstein presenta una maggiore proporzione di acidi grassi monoinsaturi (Penasa et al., 2015). Anche le razze locali o rustiche, adattate a specifiche condizioni ambientali, possono mostrare una composizione lipidica differente. Ad esempio, alcune di queste razze possono produrre latte con un maggior contenuto di acidi grassi polinsaturi, come osservato nei bovini alimentati al pascolo nelle regioni montane (Hanus̄ et al., 2018).

Oltre alla variazione tra razze, la selezione genetica può essere un fattore chiave nell'influenzare il profilo lipidico del latte. Programmi di selezione mirati possono puntare a ridurre il contenuto di SFA, in particolare dell'acido palmitico, a favore di un incremento dei MUFA e dei PUFA, migliorando così il valore nutrizionale del latte (Hanus̄ et al., 2018).

In aggiunta, l'età della bovina influisce anch'essa sulla composizione lipidica del latte. Gli animali più anziani tendono a produrre latte con un contenuto maggiore di grassi saturi, mentre le vacche primipare tendono a produrre latte con una composizione lipidica più favorevole, caratterizzata da una minore quantità di SFA e una maggiore presenza di acidi grassi insaturi (Hanus̄ et al., 2018).

3.4.1.4) SISTEMA DI ALLEVAMENTO

Poiché la dieta delle vacche da latte è il principale fattore che influisce sul profilo degli acidi grassi del latte, il confronto tra i sistemi di allevamento biologico (OS) e convenzionale (CS) riveste particolare importanza (Hanus̄ et al., 2018). Nel sistema biologico, le vacche si nutrono principalmente al pascolo, con una quantità ridotta di foraggio conservato e una minima porzione di concentrati rispetto al sistema convenzionale, dove la dieta è basata in gran parte su mangimi concentrati. Di conseguenza, il latte biologico presenta una composizione lipidica più favorevole alla salute umana, grazie alle differenze nella dieta e nella gestione degli animali (Średnicka-Tober et al., 2016).

Uno degli aspetti distintivi è l'aumento della concentrazione di acidi grassi insaturi, come l'acido vaccenico e l'acido rumenico nel latte biologico rispetto a quello convenzionale (Hanus̄ et al., 2018). Questo fenomeno è legato alla ridotta bioidrogenazione ruminale delle vacche allevate biologicamente. La bioidrogenazione è il processo tramite il quale

gli acidi grassi insaturi presenti nella dieta vengono trasformati in acidi grassi saturi dai batteri del ruminale (Shingfield et al., 2013). Nel sistema convenzionale, l'uso di mangimi ricchi di amido e concentrati favorisce questo processo, portando a una maggiore saturazione degli acidi grassi (Hanuŝ et al., 2018). Al contrario, l'accesso all'ampio pascolo e una dieta ricca di foraggi freschi, erba e legumi nell'allevamento biologico riducono la bioidrogenazione ruminale, mantenendo così una maggiore quantità di acidi grassi insaturi (Collomb et al., 2008). Questa riduzione consente di conservare livelli più elevati di acido vaccenico, precursore dell'acido rumenico, che nel corpo umano può essere convertito in CLA, un composto noto per i suoi effetti benefici come la riduzione del rischio di malattie cardiovascolari e proprietà antitumorali (Hanuŝ et al., 2018).

Inoltre, la dieta basata sul pascolo contribuisce a un maggiore apporto di polifenoli, composti bioattivi con proprietà antiossidanti che possono influenzare il metabolismo lipidico dell'animale e migliorare ulteriormente il profilo degli acidi grassi del latte (Collomb et al., 2008). Questi composti sembrano anche influenzare l'attività della $\Delta 9$ -desaturasi (SCD), un enzima coinvolto nella sintesi degli acidi grassi insaturi. L'attività della SCD, più elevata nelle vacche da latte biologiche, favorisce la conversione degli acidi grassi saturi in monoinsaturi, come l'acido oleico, migliorando ulteriormente il profilo lipidico del latte (Chung et al., 2018).

In sintesi, il sistema biologico non solo garantisce una maggiore presenza di acidi grassi insaturi, ma migliora anche la variabilità stagionale del profilo lipidico, con un aumento degli acidi grassi omega-3 e CLA durante i periodi di pascolo abbondante. Pertanto, il latte biologico non solo presenta una composizione lipidica più salutare rispetto al latte convenzionale, ma è anche più ricco di composti bioattivi, come polifenoli e acidi grassi insaturi, che offrono ulteriori benefici per la salute (Hanuŝ et al., 2018).

Tabella 4. Proporzione di alcuni acidi grassi a seconda del tipo di allevamento (Hanuš et al., 2018).

	Convenzionale		Biologico	
	Media	<i>n</i>	Media	<i>n</i>
C18:2 n-6	2.74	2	2.39	3
C18:3 n-3	0.51	6	1.85	8
C18:1 t11	1.82	5	2.74	7
C18:2 c9, t11	0.64	9	0.91	11
SFA ¹	68.2	7	68.3	9
MUFA ²	26.8	7	27.0	9
PUFA ³	4.39	7	4.91	9
PUFA n-6 ⁴	2.54	6	2.03	7
PUFA n-3 ⁵	0.76	4	0.87	4
S/U ⁶	2.19	7	2.17	9
n-6/n-3 ⁷	4.29	5	2.65	6

¹ Acidi grassi Saturi

² Acidi grassi Monoinsaturi

³ Acidi grassi Polinsaturi

⁴ Acidi grassi Polinsaturi serie Omega-3

⁵ Acidi grassi Polinsaturi serie Omega-6

⁶ Rapporto Acidi grassi Saturi/Insaturi

⁷ Rapporto Omega-6/Omega-3

4) ANALISI DEGLI ACIDI GRASSI

L'analisi degli acidi grassi nei prodotti di origine animale, come latte, uova, carne e derivati, segue un processo che prevede generalmente tre fasi principali.

La prima è l'estrazione dei lipidi dalle matrici alimentari, un passaggio critico che consente di isolare i grassi dai componenti non lipidici, come proteine e carboidrati. Successivamente, i lipidi estratti vengono trasformati in derivati volatili, tipicamente esteri metilici degli acidi grassi (FAME), attraverso un processo di transesterificazione. Il processo di conversione in FAMEs avviene generalmente attraverso la reazione di metilazione degli acidi grassi presenti nel campione lipidico. In questo passaggio, si aggiunge un reagente metilante, solitamente il metanolo, in presenza di un catalizzatore acido o basico come l'acido cloridrico o il metossido di sodio (Ratnayake e Galli, 2009). Gli acidi grassi reagiscono con il metanolo, formando i loro esteri metilici corrispondenti che verranno poi estratti e purificati dal resto del campione. Questo passaggio è essenziale per rendere gli acidi grassi più facilmente analizzabili attraverso la gascromatografia (Ratnayake e Galli, 2009).

Infine, i FAME ottenuti vengono sottoposti ad analisi mediante cromatografia gas-liquido (GC), una tecnica che consente di identificare i vari acidi grassi presenti nel campione in base al loro peso molecolare e alla loro volatilità. La GC fornisce un profilo dettagliato degli acidi grassi, distinguendo tra saturi, monoinsaturi, polinsaturi e acidi grassi coniugati, come l'acido linoleico coniugato (CLA), particolarmente rilevanti nei prodotti di origine animale. Questo approccio integrato permette di valutare in maniera accurata il contenuto lipidico e la qualità degli alimenti di origine animale, contribuendo a studi nutrizionali e di sicurezza alimentare (Ratnayake e Galli, 2009).

Inoltre, è stata utilizzata anche con successo la spettrometria del vicino infrarosso (NIR) per la determinazione degli acidi grassi nel latte (Hanuš et al. 2018; Coppa et al., 2010).

4.1) PRINCIPALI METODI DI ESTRAZIONE

L'estrazione degli acidi grassi dai prodotti di origine animale è un passaggio cruciale per l'analisi della loro composizione lipidica. Questi metodi consentono di isolare i lipidi dai tessuti animali, dal latte o dalle uova per ulteriori analisi, come la gascromatografia o la

spettrometria di massa, utili per determinare il profilo degli acidi grassi (Destailats et al., 2005). Due metodi comuni utilizzati per ottenere acidi grassi dai prodotti animali sono il metodo di Folch e il metodo Soxhlet.

4.1.1) METODO DI FOLCH

Il metodo di Folch è una tecnica fondamentale sviluppata per l'estrazione dei lipidi da campioni biologici, tra cui latte, carne e uova (Saini et al., 2021). Pubblicato per la prima volta nel 1957 da Folch et al. (1957), questo metodo utilizza una miscela di solventi per rompere le membrane cellulari e liberare i lipidi, consentendo una separazione efficace dei componenti lipidici. La miscela di solventi utilizzata è composta da cloroformio e metanolo in un rapporto volumetrico di 2:1, che permette di estrarre sia i lipidi polari che quelli non polari. La scelta del cloroformio deriva dalla sua eccellente capacità di solubilizzare i lipidi, mentre il metanolo viene aggiunto per facilitare la denaturazione delle proteine e la dissociazione dei lipidi dai complessi proteici (Saini et al., 2021).

La procedura del metodo di Folch prevede i seguenti passaggi (Folch et al., 1957):

1. Preparazione del Campione: Il campione di tessuto animale viene omogeneizzato meccanicamente per disgregare le strutture cellulari e facilitare il rilascio dei lipidi. L'omogeneizzazione aiuta a ottenere una dispersione uniforme del campione, migliorando l'efficienza dell'estrazione.
2. Aggiunta dei Solventi: Si aggiunge al campione una miscela di cloroformio e metanolo in rapporto 2:1. Il cloroformio dissolve i composti lipofili, mentre il metanolo rompe le interazioni tra i lipidi e altre molecole come proteine e carboidrati.
3. Separazione delle Fasi: Dopo l'aggiunta del solvente, il campione viene diluito con acqua o una soluzione salina. Questo provoca la formazione di due fasi distinte: una fase organica inferiore, contenente i lipidi, e una fase acquosa superiore, che contiene proteine e altre molecole idrosolubili.
4. Recupero dei Lipidi: La fase organica viene separata dalla fase acquosa e lavata con una soluzione salina per rimuovere eventuali residui idrofili. Successivamente, il solvente organico viene rimosso tramite evaporazione sottovuoto o flusso di azoto, lasciando un residuo lipidico puro.

5. Trattamento dei Lipidi: I lipidi estratti possono essere ulteriormente trattati, come la saponificazione per ottenere acidi grassi liberi o la conversione in esteri metilici degli acidi grassi (FAME) per l'analisi cromatografica.

Il metodo di Folch è apprezzato per la sua alta efficienza nell'estrazione dei lipidi da campioni complessi e per la sua adattabilità all'analisi degli acidi grassi in vari prodotti di origine animale (Ratnayake e Galli, 2009). Tuttavia, presenta alcune limitazioni significative. L'uso di solventi organici volatili e tossici, come il cloroformio, comporta rischi per la salute, richiedendo l'uso di cappe di aspirazione e altre precauzioni di sicurezza. Inoltre, la resa del metodo può essere limitata per campioni di piccole dimensioni o con basse concentrazioni di lipidi (Saini et al., 2021). Il metodo di Folch è particolarmente efficace per tessuti ad alto contenuto lipidico, ma potrebbe necessitare di adattamenti per campioni con contenuti lipidici inferiori (Ratnayake e Galli, 2009).

Negli anni successivi alla sua introduzione, il metodo di Folch è stato ottimizzato e adattato per rispondere a diverse esigenze e applicazioni. Questi miglioramenti hanno incluso l'uso di solventi meno tossici e la modifica del rapporto di cloroformio e metanolo per aumentare l'efficienza su tipi specifici di campioni (Saini et al., 2021). Un esempio di tale ottimizzazione è rappresentato dal metodo di Jenkins (Jenkins et al., 1966). Il metodo di Jenkins è una variante del metodo di Folch, progettato per migliorare la sicurezza e l'adattabilità del processo di estrazione dei lipidi. Questa tecnica utilizza una miscela di esano e isopropanolo in un rapporto 3:2. L'esano è meno tossico e meno volatile rispetto al cloroformio, rendendo il metodo più sicuro per l'uso in ambienti meno controllati e nelle applicazioni industriali, come l'estrazione dei lipidi dai mangimi e dagli alimenti (Jenkins et al., 1966).

4.1.2) METODO SOXHLET

Il metodo Soxhlet è uno dei più tradizionali e largamente utilizzati per l'estrazione dei lipidi da campioni solidi, come carne, tuorlo d'uovo e altri tessuti animali (Ratnayake e Galli, 2009). Questa tecnica, introdotta nel 1879 da Franz von Soxhlet, si basa su un processo di estrazione continua che impiega un solvente organico, il quale viene fatto evaporare, condensato e ripassato sul campione in un ciclo ripetitivo (Luque de Castro et al., 2016). Il metodo è rinomato per la sua capacità di garantire un'estrazione completa ed

efficiente dei lipidi, risultando ancora oggi un approccio valido nonostante la sua introduzione risalga a più di un secolo fa (Saini et al., 2021).

Le fasi principali del metodo Soxhlet prevedono (Luque de Castro et al., 2016):

- 1) Preparazione del campione: Prima dell'estrazione, il campione, come carne o tuorlo d'uovo, viene accuratamente essiccato e ridotto in piccoli pezzi o polverizzato. Questo passaggio aumenta la superficie di contatto e facilita la penetrazione del solvente, rendendo l'estrazione dei lipidi più efficace.
- 2) Estrazione con solvente: Il solvente organico non polare, come etere di petrolio o esano, è scelto per la sua capacità di dissolvere efficacemente i lipidi. Il solvente viene riscaldato nel pallone alla base dell'apparato Soxhlet (figura 5), vaporizzato e diretto attraverso il tubo verso il campione nel cestello superiore. Una volta condensato, il solvente percola attraverso il campione, estraendo progressivamente i lipidi. Questo ciclo di evaporazione e condensazione continua finché il solvente nel cestello non diventa saturo di lipidi, e il processo si ripete più volte, garantendo un'estrazione completa.
- 3) Recupero dei lipidi: I lipidi estratti si accumulano nel pallone di raccolta sotto l'apparato Soxhlet. Una volta completato il processo di estrazione, il solvente viene evaporato utilizzando un evaporatore rotante o un altro sistema di evaporazione, lasciando dietro solo i lipidi purificati.
- 4) Purificazione dei lipidi: Se necessario, i lipidi estratti possono essere ulteriormente purificati per rimuovere eventuali tracce di solvente residuo o impurità. Questo step è fondamentale quando si punta ad analisi successive di alta precisione, come la conversione in FAME per la cromatografia gas-liquido.

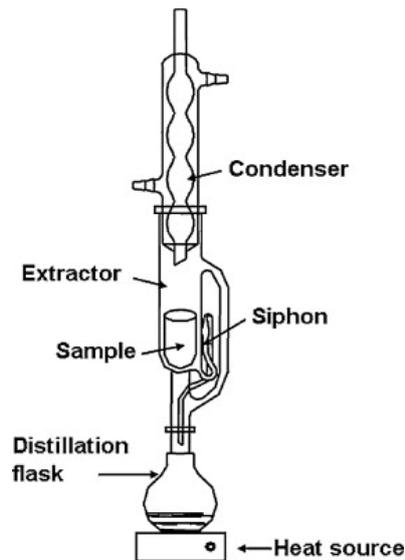


Figura 5. Estrattore Soxhlet convenzionale (Luque de Castro et al., 2010).

Il metodo Soxhlet è rinomato per la sua semplicità e robustezza. Fornisce un'estrazione completa e riproducibile dei lipidi, con un basso margine di errore. Tuttavia, un limite significativo di questa tecnica è il tempo richiesto per completare l'estrazione, poiché il processo implica cicli ripetuti di evaporazione e condensazione del solvente (Saini et al., 2021). Inoltre, l'utilizzo di grandi quantità di solventi organici non polari, spesso volatili e tossici, rappresenta un rischio ambientale e sanitario, richiedendo l'adozione di misure di sicurezza appropriate (Luque de Castro et al., 2010). Nonostante questi svantaggi, il Soxhlet rimane una scelta privilegiata grazie alla sua affidabilità e alla qualità dei risultati ottenuti.

Nel corso degli anni, il metodo Soxhlet è stato ottimizzato attraverso l'introduzione di modifiche e l'integrazione con nuove tecnologie. Ad esempio, recenti studi hanno proposto l'uso di solventi alternativi più ecocompatibili e meno tossici per ridurre l'impatto ambientale e i rischi per la salute (Saini et al., 2021). Inoltre, l'integrazione di tecniche come l'irradiazione a microonde e gli ultrasuoni ha permesso di accelerare il processo di estrazione e di migliorare l'efficienza complessiva, riducendo così i tempi necessari per ottenere i lipidi (Luque de Castro et al., 2010). Queste innovazioni hanno ampliato il campo di applicazione del Soxhlet, che oggi può essere utilizzato anche per campioni vegetali, materiali ambientali e altre matrici complesse, oltre ai tradizionali

campioni animali. Grazie alla sua versatilità e adattabilità, il metodo Soxhlet continua a essere un metodo fondamentale per l'estrazione dei lipidi e di altri composti organici, mantenendo un ruolo centrale sia in ambito di ricerca che industriale (Luque de Castro et al., 2010).

4.2) GASCROMATOLOGRAFIA

La gascromatografia (GC) è una tecnica analitica fondamentale per la separazione, identificazione e quantificazione degli acidi grassi nei prodotti di origine animale come carne, latte e uova. Questa metodologia sfrutta la volatilizzazione dei composti in un flusso di gas inerte e la loro separazione attraverso una colonna cromatografica, ottenendo un profilo dettagliato degli acidi grassi presenti nel campione (Ratnayake & Galli, 2009). Questo approccio è essenziale per comprendere la composizione lipidica e il suo impatto sulla qualità nutrizionale e sulle proprietà organolettiche dei prodotti alimentari di origine animale (Hanuš et al., 2018).

Per l'analisi, i composti lipidici devono essere convertiti in esteri metilici degli acidi grassi (FAME), che vengono poi iniettati nel sistema gascromatografico. La procedura di preparazione dei FAME è stata descritta da Metcalfe e Schmitz (1961), che hanno sviluppato una tecnica rapida e affidabile per l'esterificazione degli acidi grassi. Dopo l'iniezione del campione, una piccola quantità di FAME viene volatilizzata e trasportata attraverso la colonna cromatografica da un gas inerte come l'elio o l'azoto (Christie, 1993).

La colonna gascromatografica è il cuore del sistema. È un tubo lungo e stretto riempito con una fase stazionaria che permette la separazione dei vari FAME in base alla loro volatilità e affinità con la fase stazionaria stessa. I composti più volatili, o con una minore affinità per la fase stazionaria, eluiscono prima, mentre quelli meno volatili o con maggiore affinità vengono separati successivamente (Kinsella, 1987). Questa fase di separazione è cruciale per ottenere un'analisi precisa e dettagliata del profilo degli acidi grassi (Destailats et al., 2005).

Una volta separati, i FAME passano attraverso un rivelatore, solitamente un rivelatore a ionizzazione di fiamma, che rileva la presenza dei composti organici tramite la produzione di ioni in una fiamma di idrogeno (Ratnayake e Galli, 2009). Il segnale generato dal rivelatore è proporzionale alla quantità di ciascun FAME presente nel

campione, permettendo una quantificazione accurata (Christie, 1998). Il risultato dell'analisi gascromatografica è rappresentato da un cromatogramma, che mostra i tempi di ritenzione dei vari composti, ciascuno corrispondente a un particolare acido grasso (Christie, 1998). L'identificazione si basa sul confronto di questi tempi con quelli di standard noti (Ratnayake e Galli, 2009).

La GC, grazie alla sua alta sensibilità e capacità di separare i diversi acidi grassi, è una tecnica essenziale per l'analisi lipidica. È particolarmente utile per monitorare gli acidi grassi presenti nel grasso del latte, carne o altri prodotti alimentari, offrendo preziose informazioni sulla qualità nutrizionale e sui potenziali benefici per la salute umana (Hanuš et al., 2018). La capacità di rilevare e quantificare con precisione i diversi acidi grassi, inclusi quelli polinsaturi e coniugati come gli acidi linolenici, è stata dimostrata in studi avanzati di gascromatografia accoppiata alla spettrometria di massa (GC-MS); (Destailats et al., 2005).

5)CONCLUSIONI

Gli acidi grassi sono i componenti fondamentali dei lipidi, macromolecole essenziali per la salute umana e per numerose funzioni biologiche negli organismi. Questi composti organici costituiscono le principali riserve per la produzione di energia e svolgono un ruolo cruciale nella sintesi di ormoni e nella composizione delle membrane cellulari. Gli acidi grassi si dividono principalmente in saturi, monoinsaturi e polinsaturi. Questa suddivisione è molto importante dal punto di vista nutrizionale e per la salute umana, in quanto ognuno di essi svolge funzioni specifiche all'interno dell'organismo. Gli acidi grassi saturi sono associati ad un aumento dei livelli ematici di colesterolo cattivo (LDL), mentre i monoinsaturi hanno mostrato effetti benefici sul metabolismo lipidico e sui livelli di colesterolo LDL. Tuttavia, sono i PUFA quelli più importanti per la salute umana, grazie alla loro capacità di ridurre l'infiammazione, migliorare la funzione cognitiva e diminuire il rischio di malattie cardiovascolari.

Nel contesto dei prodotti di origine animale, si sta proprio cercando di aumentare la percentuale di PUFA e abbassare quella degli SFA in modo tale da migliorare il profilo nutrizionale di questi prodotti. In particolar modo nel latte si è evidenziato che ci sono molteplici fattori che contribuiscono a variare la composizione degli acidi grassi, come la dieta e il sistema di allevamento, ma anche la selezione genetica e l'età dell'animale concorrono a farlo. Il fattore chiave rimane comunque l'alimentazione, infatti il latte derivato da animali allevati al pascolo o con diete arricchite in omega-3 presentano un profilo lipidico più favorevole per la salute, con una maggiore presenza di PUFA e una riduzione degli SFA. Pertanto, rimane determinante essere a conoscenza del profilo degli acidi grassi nei prodotti di origine animale e comprendere i loro effetti sulla salute umana per poter migliorare la qualità di questi alimenti. Così facendo si risponde alla crescente domanda di prodotti più salutari, nella speranza che future ricerche riescano a scoprire nuove strategie per ottimizzare la composizione lipidica dei prodotti di origine animale, con l'obiettivo di massimizzare i benefici nutrizionali e promuovere la salute pubblica.

6) BIBLIOGRAFIA

- Anton, Marc. 2013. «Egg Yolk: Structures, Functionalities and Processes». *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93 (12): 2871–80. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6247>.
- Aubourg, Patrick, e Ronald Wanders. 2013. «Chapter 163 - Peroxisomal disorders». In *Handbook of Clinical Neurology*, a cura di Olivier Dulac, Maryse Lasseonde, e Harvey B. Sarnat, 113:1593–1609. Pediatric Neurology Part III. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59565-2.00028-9>.
- Bäckhed, Fredrik, Hao Ding, Ting Wang, Lora V. Hooper, Gou Young Koh, Andras Nagy, Clay F. Semenkovich, e Jeffrey I. Gordon. 2004. «The gut microbiota as an environmental factor that regulates fat storage». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101 (44): 15718–23. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407076101>.
- Bazinet, Richard P., e Sophie Layé. 2014. «Polyunsaturated Fatty Acids and Their Metabolites in Brain Function and Disease». *Nature Reviews Neuroscience* 15 (12): 771–85. <https://doi.org/10.1038/nrn3820>.
- Bernard, Laurence, Muriel Bonnet, Carole Delavaud, Mylène Delosière, Anne Ferlay, Hélène Fougère, e Benoît Graulet. 2018. «Milk Fat Globule in Ruminant: Major and Minor Compounds, Nutritional Regulation and Differences Among Species». *European Journal of Lipid Science and Technology* 120 (5): 1700039. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201700039>.
- Blesso, Christopher N., e Maria Luz Fernandez. 2018. «Dietary Cholesterol, Serum Lipids, and Heart Disease: Are Eggs Working for or Against You?» *Nutrients* 10 (4): 426. <https://doi.org/10.3390/nu10040426>.
- Boden, Guenther. 2011. «Obesity, Insulin Resistance and Free Fatty Acids». *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity* 18 (2): 139. <https://doi.org/10.1097/MED.0b013e3283444b09>.
- Bonanome, Andrea, e Scott M. Grundy. 1988. «Effect of Dietary Stearic Acid on Plasma Cholesterol and Lipoprotein Levels». *New England Journal of Medicine* 318 (19): 1244–48. <https://doi.org/10.1056/NEJM198805123181905>.
- Brouwer, I. A., A. J. Wanders, e M. B. Katan. 2013. «Trans Fatty Acids and Cardiovascular Health: Research Completed?» *European Journal of Clinical Nutrition* 67 (5): 541–47. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.43>.
- Brown, Tracey J., Julii Brainard, Fujian Song, Xia Wang, Asmaa Abdelhamid, e Lee Hooper. 2019. «Omega-3, Omega-6, and Total Dietary Polyunsaturated Fat for Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus: Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials». *BMJ* 366 (agosto):l4697. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4697>.
- Burlingame, Barbara, Chizuru Nishida, Ricardo Uauy, e Robert Weisell. 2009. «Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Introduction». *Annals of Nutrition and Metabolism* 55 (1–3): 5–7. <https://doi.org/10.1159/000228993>.
- Byrne, C. S., E. S. Chambers, D. J. Morrison, e G. Frost. 2015. «The Role of Short Chain Fatty Acids in Appetite Regulation and Energy Homeostasis». *International Journal of Obesity* 39 (9): 1331–38. <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.84>.
- Calder, Philip C. 2015. «Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health». *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 39 (1 Suppl): 18S-32S. <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>.

- Calder, Philip C. 2017. «Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man». *Biochemical Society Transactions* 45 (5): 1105–15. <https://doi.org/10.1042/BST20160474>.
- Canfora, Emanuel E., Johan W. Jocken, e Ellen E. Blaak. 2015. «Short-Chain Fatty Acids in Control of Body Weight and Insulin Sensitivity». *Nature Reviews Endocrinology* 11 (10): 577–91. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.128>.
- Christie, W. W. (1993). Preparation of ester derivatives of fatty acids for chromatographic analysis. *Advances in Lipid Methodology*, 2, 69-111.
- Christie, William W. 1998. «Gas Chromatography-Mass Spectrometry Methods for Structural Analysis of Fatty Acids». *Lipids* 33 (4): 343–53. <https://doi.org/10.1007/s11745-998-0214-x>.
- Chung, Ill-Min, Jae-Kwang Kim, Kyoung-Jin Lee, Na-Young Son, Min-Jeong An, Ji-Hee Lee, Yeon-Ju An, e Seung-Hyun Kim. 2018. «Discrimination of organic milk by stable isotope ratio, vitamin E, and fatty acid profiling combined with multivariate analysis: A case study of monthly and seasonal variation in Korea for 2016–2017». *Food Chemistry* 261 (settembre):112–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.017>.
- Cole, Greg M., Qiu-Lan Ma, e Sally A. Frautschy. 2009. «Omega-3 fatty acids and dementia». *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, Workshop on DHA as a Required Nutrient, 81 (2): 213–21. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.05.015>.
- Collomb, Marius, Walter Bisig, Ueli Bütikofer, Robert Sieber, Mirjam Bregy, e Luzi Etter. 2008. «Fatty acid composition of mountain milk from Switzerland: Comparison of organic and integrated farming systems». *International Dairy Journal* 18 (10): 976–82. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.05.010>.
- Coppa, Mauro, Anne Ferlay, Christine Leroux, Michel Jestin, Yves Chilliard, Bruno Martin, e Donato Andueza. 2010. «Prediction of milk fatty acid composition by near infrared reflectance spectroscopy». *International Dairy Journal* 20 (3): 182–89. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.003>.
- Cunnane, S. C.; Courchesne-Loyer, A.; St-Pierre, V.; Vandenberghe, C.; Pierotti, T.; Fortier, M.; Croteau, E.; Castellano, C.-A. Can Ketones Compensate for Deteriorating Brain Glucose Uptake during Aging? Implications for the Risk and Treatment of Alzheimer’s Disease. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2016, 1367 (1), 12–20. <https://doi.org/10.1111/nyas.12999>.
- Cunnane, Stephen, Scott Nugent, Maggie Roy, Alexandre Courchesne-Loyer, Etienne Croteau, Sébastien Tremblay, Alex Castellano, et al. 2011. «Brain fuel metabolism, aging, and Alzheimer’s disease». *Nutrition* 27 (1): 3–20. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.07.021>.
- Daley, Cynthia A., Amber Abbott, Patrick S. Doyle, Glenn A. Nader, e Stephanie Larson. 2010. «A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef». *Nutrition Journal* 9 (1): 10. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-10>.
- Das, Undurti N. 2006. «Essential Fatty Acids - A Review». *Current Pharmaceutical Biotechnology* 7 (6): 467–82. <https://doi.org/10.2174/138920106779116856>.
- David L. Nelson, Michael M. Cox. (2015). Bologna: Introduzione alla biochimica di Lehninger, Zanichelli editore S.p.a.

- De Carvalho, Carla C. C. R., e Maria José Caramujo. 2018. «The Various Roles of Fatty Acids». *Molecules* 23 (10): 2583. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>.
- Destailats, F., J. P. Trottier, J. M. G. Galvez, e P. Angers. 2005. «Analysis of α -Linolenic Acid Biohydrogenation Intermediates in Milk Fat with Emphasis on Conjugated Linolenic Acids». *Journal of Dairy Science* 88 (9): 3231–39. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73006-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73006-X).
- Dinh, Thu T. N., K. Virellia To, e M. Wes Schilling. 2021. «Fatty Acid Composition of Meat Animals as Flavor Precursors». *Meat and Muscle Biology* 5 (1). <https://doi.org/10.22175/mmb.12251>.
- Erdbrügger, Pia, e Florian Fröhlich. 2021. «The Role of Very Long Chain Fatty Acids in Yeast Physiology and Human Diseases». *Biological Chemistry* 402 (1): 25–38. <https://doi.org/10.1515/hsz-2020-0234>.
- F. Soxhlet, *Dinglers' Polyt. J.*, 232 (1879), p. 461.
- Folch, Jordi, M. Lees, e G. H. Sloane Stanley. 1957. «A SIMPLE METHOD FOR THE ISOLATION AND PURIFICATION OF TOTAL LIPIDES FROM ANIMAL TISSUES». *Journal of Biological Chemistry* 226 (1): 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).
- Garg, A. 1998. «High-monounsaturated-fat diets for patients with diabetes mellitus: a meta-analysis». *The American Journal of Clinical Nutrition* 67 (3): 577S-582S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.3.577S>.
- Gautron, J., C. Dombre, F. Nau, C. Feidt, e L. Guillier. 2022. «Review: Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe». *Animal*, Quality of animal-source foods, 16 (febbraio):100425. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100425>.
- Geleijnse, Johanna M., Erik J. Giltay, Diederick E. Grobbee, Adrianus R. T. Donders, e Frans J. Kok. 2002. «Blood Pressure Response to Fish Oil Supplementation: Metaregression Analysis of Randomized Trials». *Journal of Hypertension* 20 (8): 1493.
- Ghayee, Hans K., e Richard J. Auchus. 2007. «Basic Concepts and Recent Developments in Human Steroid Hormone Biosynthesis». *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* 8 (4): 289–300. <https://doi.org/10.1007/s11154-007-9052-2>.
- Gómez-Cortés, Pilar, Manuela Juárez, e Miguel Angel de la Fuente. 2018. «Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision». *Trends in Food Science & Technology* 81 (novembre):1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.014>.
- Gomez-Muñoz, Antonio, Natalia Presa, Ana Gomez-Larrauri, Io-Guané Rivera, Miguel Trueba, e Marta Ordoñez. 2016. «Control of inflammatory responses by ceramide, sphingosine 1-phosphate and ceramide 1-phosphate». *Progress in Lipid Research* 61 (gennaio):51–62. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2015.09.002>.
- Hamer, H.M., D. Jonkers, K. Venema, S. Vanhoutvin, F.J. Troost, e R.-J. Brummer. 2008. «Review article: The role of butyrate on colonic function». *Alimentary Pharmacology and Therapeutics* 27 (2): 104–19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2007.03562.x>.
- Hamilton, Richard J. 2008. «Fatty Acids: Structure, Occurrence, Nomenclature, Biosynthesis and Properties». In *Trans Fatty Acids*, 1–24. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470697658.ch1>.

- Hanuš, Oto, Eva Samková, Ludmila Křížová, Lucie Hasoňová, e Robert Kala. 2018. «Role of Fatty Acids in Milk Fat and the Influence of Selected Factors on Their Variability—A Review». *Molecules* 23 (7): 1636. <https://doi.org/10.3390/molecules23071636>.
- Hardin-Fanning, Frances. 2008. «The Effects of a Mediterranean-Style Dietary Pattern on Cardiovascular Disease Risk». *Nursing Clinics of North America, Biology, Psychology, and Behavior in Cardiovascular and Pulmonary Disease*, 43 (1): 105–15. <https://doi.org/10.1016/j.cnur.2007.10.004>.
- Harris, William S., Michael Miller, Ann P. Tighe, Michael H. Davidson, e Ernst J. Schaefer. 2008. «Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: Clinical and mechanistic perspectives». *Atherosclerosis* 197 (1): 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2007.11.008>.
- Huh, Ji Hye, e Sang-Ho Jo. 2022. «Omega-3 Fatty Acids and Atrial Fibrillation». *The Korean Journal of Internal Medicine* 38 (3): 282–89. <https://doi.org/10.3904/kjim.2022.266>.
- Innis, Sheila M. 2007. «Dietary (n-3) Fatty Acids and Brain Development12». *The Journal of Nutrition* 137 (4): 855–59. <https://doi.org/10.1093/jn/137.4.855>.
- Jenkins, D. J., Phillips, H., & G. H. Stanley. (1966). A modified method for the isolation of lipids from animal tissues. *Biochemical Journal*, 99(2), 216-224.
- Jensen, Robert G. 2002. «The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000». *Journal of Dairy Science* 85 (2): 295–350. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74079-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74079-4).
- Joris, Peter J., e Ronald P. Mensink. 2016. «Role of Cis-Monounsaturated Fatty Acids in the Prevention of Coronary Heart Disease». *Current Atherosclerosis Reports* 18 (7): 38. <https://doi.org/10.1007/s11883-016-0597-y>.
- Jump, Donald B. 2002. «Dietary polyunsaturated fatty acid regulation of hepatic gene transcription». *Scandinavian Journal of Nutrition* 46 (2): 59–67. <https://doi.org/10.1080/11026480213022>.
- Kinsella, J. E. (1987). Techniques for evaluating and analyzing meat lipids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 64(12), 1685-1695.
- Kouba, M., M. Enser, F. M. Whittington, G. R. Nute, e J. D. Wood. 2003. «Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig1». *Journal of Animal Science* 81 (8): 1967–79. <https://doi.org/10.2527/2003.8181967x>.
- Lauritzen, Lotte, Paolo Brambilla, Alessandra Mazzocchi, Laurine B. S. Harsløf, Valentina Ciappolino, e Carlo Agostoni. 2016. «DHA Effects in Brain Development and Function». *Nutrients* 8 (1): 6. <https://doi.org/10.3390/nu8010006>.
- Lopaschuk, Gary D., John R. Ussher, Clifford D. L. Folmes, Jagdip S. Jaswal, e William C. Stanley. 2010. «Myocardial Fatty Acid Metabolism in Health and Disease». *Physiological Reviews* 90 (1): 207–58. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2009>.
- Lopez-Huertas, Eduardo. 2010. «Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies». *Pharmacological Research, Nutraceuticals and Functional Foods*, 61 (3): 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007>.

- Luque de Castro, M. D., e F. Priego-Capote. 2010. «Soxhlet extraction: Past and present panacea». *Journal of Chromatography A*, Extraction Techniques, 1217 (16): 2383–89. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.027>.
- Maina, Anderson N., Eva Lewis, e Elijah G. Kiarie. 2023. «Egg production, egg quality, and fatty acids profiles in eggs and tissues in Lohmann LSL lite hens fed algal oils rich in docosahexaenoic acid (DHA)». *Poultry Science* 102 (10): 102921. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102921>.
- Marion-Letellier, Rachel, Guillaume Savoye, e Subrata Ghosh. 2015. «Polyunsaturated Fatty Acids and Inflammation». *IUBMB Life* 67 (9): 659–67. <https://doi.org/10.1002/iub.1428>.
- Martins, J.M., A. Albuquerque, J.A. Neves, A.B. Freitas, R. Charneca, e J.L. Tirapicos. 2018. «Influence of outdoor rearing and oleic acid supplementation on lipid characteristics of muscle and adipose tissues from obese Alentejano pigs». *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 102 (2): e578–90. <https://doi.org/10.1111/jpn.12799>.
- Mechoulam, Raphael, Ester Frider, e Vincenzo Di Marzo. 1998. «Endocannabinoids». *European Journal of Pharmacology* 359 (1): 1–18. [https://doi.org/10.1016/S0014-2999\(98\)00649-9](https://doi.org/10.1016/S0014-2999(98)00649-9).
- Mensink, R.P., e M.B. Katan. 1990. «Effect of dietary trans fatty acids on high-density and low-density lipoprotein cholesterol levels in healthy subjects». *New England Journal of Medicine* 323 (7): 439–45. <https://doi.org/10.1056/NEJM199008163230703>.
- Metcalfe, L. D., & Schmitz, A. A. (1961). The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*, 33(3), 363-364.
- Miranda, Jose M., Xaquín Anton, Celia Redondo-Valbuena, Paula Roca-Saavedra, Jose A. Rodriguez, Alexandre Lamas, Carlos M. Franco, e Alberto Cepeda. 2015. «Egg and Egg-Derived Foods: Effects on Human Health and Use as Functional Foods». *Nutrients* 7 (1): 706–29. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>.
- Mozaffarian, D., e R. Clarke. 2009. «Quantitative Effects on Cardiovascular Risk Factors and Coronary Heart Disease Risk of Replacing Partially Hydrogenated Vegetable Oils with Other Fats and Oils». *European Journal of Clinical Nutrition* 63 (2): S22–33. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602976>.
- Mozaffarian, Dariush, e Jason H. Y. Wu. 2011. «Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Effects on Risk Factors, Molecular Pathways, and Clinical Events». *Journal of the American College of Cardiology* 58 (20): 2047–67. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.063>.
- Mwangi, Felista W., Edward Charmley, Christopher P. Gardiner, Bunmi S. Malau-Aduli, Robert T. Kinobe, e Aduli E. O. Malau-Aduli. 2019. «Diet and Genetics Influence Beef Cattle Performance and Meat Quality Characteristics». *Foods* 8 (12): 648. <https://doi.org/10.3390/foods8120648>.
- Nagpal, Tanya, Jatindra K Sahu, Sunil K Khare, Khalid Bashir, e Kulsum Jan. 2021. «Trans Fatty Acids in Food: A Review on Dietary Intake, Health Impact, Regulations and Alternatives». *Journal of Food Science* 86 (12): 5159–74. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15977>.
- Nürnberg, K., J Wegner, e K Ender. 1998. «Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals». *Livestock Production Science* 56 (2): 145–56. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00188-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00188-2).

- Parodi, P. W. 1999. «Conjugated Linoleic Acid and Other Anticarcinogenic Agents of Bovine Milk Fat». *Journal of Dairy Science* 82 (6): 1339–49. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75358-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75358-0).
- Patra, Amlan K., e Zhongtang Yu. 2012. «Effects of Essential Oils on Methane Production and Fermentation by, and Abundance and Diversity of, Rumen Microbial Populations». *Applied and Environmental Microbiology* 78 (12): 4271–80. <https://doi.org/10.1128/AEM.00309-12>.
- Penasa, Mauro, Francesco Tiezzi, Paolo Gottardo, Martino Cassandro, e Massimo De Marchi. 2015. «Genetics of milk fatty acid groups predicted during routine data recording in Holstein dairy cattle». *Livestock Science* 173 (marzo):9–13. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.12.014>.
- Pereira, Paula Manuela de Castro Cardoso, e Ana Filipa dos Reis Baltazar Vicente. 2013. «Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet». *Meat Science* 93 (3): 586–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>.
- Ramsden, Christopher E, Daisy Zamora, Sharon Majchrzak-Hong, Keturah R Faurot, Steven K Broste, Robert P Frantz, John M Davis, Amit Ringel, Chirayath M Suchindran, e Joseph R Hibbeln. 2016. «Re-evaluation of the traditional diet-heart hypothesis: analysis of recovered data from Minnesota Coronary Experiment (1968–73)». *The BMJ* 353 (aprile):i1246. <https://doi.org/10.1136/bmj.i1246>.
- Ratnayake, W.M. Nimal, e Claudio Galli. 2009. «Fat and Fatty Acid Terminology, Methods of Analysis and Fat Digestion and Metabolism: A Background Review Paper». *Annals of Nutrition and Metabolism* 55 (1–3): 8–43. <https://doi.org/10.1159/000228994>.
- Roncone, Marco, Hannah Bartlett, e Frank Eperjesi. 2010. «Essential Fatty Acids for Dry Eye: A Review». *Contact Lens and Anterior Eye* 33 (2): 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.clae.2009.11.002>.
- Saini, Ramesh Kumar, Parchuri Prasad, Xiaomin Shang, e Young-Soo Keum. 2021. «Advances in Lipid Extraction Methods-A Review». *International Journal of Molecular Sciences* 22 (24): 13643. <https://doi.org/10.3390/ijms222413643>.
- Sales-Campos, H., P.R. de Souza, B.C. Peghini, J.S. da Silva, e C.R. Cardoso. 2013. «An overview of the modulatory effects of oleic acid in health and disease». *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry* 13 (2): 201–10. <https://doi.org/10.2174/138955713804805193>.
- SanGiovanni, John Paul, e Emily Y. Chew. 2005. «The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina». *Progress in Retinal and Eye Research* 24 (1): 87–138. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2004.06.002>.
- Sassa, Takayuki, e Akio Kihara. 2014. «Metabolism of Very Long-Chain Fatty Acids: Genes and Pathophysiology» 22 (2): 83–92. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2014.017>.
- Schönfeld, Peter, e Lech Wojtczak. 2016. «Short- and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective». *Journal of Lipid Research* 57 (6): 943–54. <https://doi.org/10.1194/jlr.R067629>.
- Schumacher, Madison, Hannah DelCurto-Wyffels, Jennifer Thomson, e Jane Boles. 2022. «Fat Deposition and Fat Effects on Meat Quality—A Review». *Animals* 12 (12): 1550. <https://doi.org/10.3390/ani12121550>.
- Shingfield, K. J., C. K. Reynolds, B. Lupoli, V. Toivonen, M. P. Yurawecz, P. Delmonte, J. M. Griinari, A. S. Grandison, e D. E. Beaver. 2005. «Effect of Forage

- Type and Proportion of Concentrate in the Diet on Milk Fatty Acid Composition in Cows given Sunflower Oil and Fish Oil». *Animal Science* 80 (2): 225–38. <https://doi.org/10.1079/ASC41820225>.
- Shingfield, K. J., M. Bonnet, e N. D. Scollan. 2013. «Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods». *Animal* 7 (gennaio):132–62. <https://doi.org/10.1017/S1751731112001681>.
 - Simopoulos, A. P. 2002. «The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids». *Biomedicine & Pharmacotherapy* 56 (8): 365–79. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6).
 - Siri-Tarino, Patty W., Qi Sun, Frank B. Hu, e Ronald M. Krauss. 2010. «Saturated Fatty Acids and Risk of Coronary Heart Disease: Modulation by Replacement Nutrients». *Current Atherosclerosis Reports* 12 (6): 384–90. <https://doi.org/10.1007/s11883-010-0131-6>.
 - Średnicka-Tober, Dominika, Marcin Barański, Chris J. Seal, Roy Sanderson, Charles Benbrook, Håvard Steinshamn, Joanna Gromadzka-Ostrowska, et al. 2016. «Higher PUFA and N-3 PUFA, Conjugated Linoleic Acid, α -Tocopherol and Iron, but Lower Iodine and Selenium Concentrations in Organic Milk: A Systematic Literature Review and Meta- and Redundancy Analyses». *British Journal of Nutrition* 115 (6): 1043–60. <https://doi.org/10.1017/S0007114516000349>.
 - Stamenkovic, Aleksandra, Riya Ganguly, Michel Aliani, Amir Ravandi, e Grant N. Pierce. 2019. «Overcoming the Bitter Taste of Oils Enriched in Fatty Acids to Obtain Their Effects on the Heart in Health and Disease». *Nutrients* 11 (5): 1179. <https://doi.org/10.3390/nu11051179>.
 - Stillwell, William, e Stephen R. Wassall. 2003. «Docosahexaenoic acid: membrane properties of a unique fatty acid». *Chemistry and Physics of Lipids* 126 (1): 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0009-3084\(03\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0009-3084(03)00101-4).
 - Stoop, W. M., H. Bovenhuis, J. M. L. Heck, e J. A. M. van Arendonk. 2009. «Effect of Lactation Stage and Energy Status on Milk Fat Composition of Holstein-Friesian Cows». *Journal of Dairy Science* 92 (4): 1469–78. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1468>.
 - Tan, Jian, Craig McKenzie, Maria Potamitis, Alison N. Thorburn, Charles R. Mackay, e Laurence Macia. 2014. «Chapter Three - The Role of Short-Chain Fatty Acids in Health and Disease». In *Advances in Immunology*, a cura di Frederick W. Alt, 121:91–119. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800100-4.00003-9>.
 - Thomsen, Bryce J., Eunice Y. Chow, e Mariusz J. Sapijaszko. 2020. «The Potential Uses of Omega-3 Fatty Acids in Dermatology: A Review». *Journal of Cutaneous Medicine and Surgery* 24 (5): 481–94. <https://doi.org/10.1177/1203475420929925>.
 - Tinti, Bruno. 2013. *Biochimica e biologia molecolare*. Padova: Piccin Nuova Libreria s.p.a.
 - Topping, D.L., e P.M. Clifton. 2001. «Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides». *Physiological Reviews* 81 (3): 1031–64. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.3.1031>.
 - Vasconcelos, Renata Ottes, Silvina Odete Bustos, Juliana Ramos Gonzalez, Camila Wink Soares, Makely Daiane Barbosa, Roger Chammas, Ana Paula de Souza Votto, e Gilma Santos Trindade. 2016. «Interaction between omega 3 PUFA and UVB radiation: Photoprotective effect in normal and tumoral murine melanocytes?»

- Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 164 (novembre):361–68. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.09.043>.
- Vicente, Filipa, e Paula C. Pereira. 2024. «Pork Meat Composition and Health: A Review of the Evidence». *Foods* 13 (12): 1905. <https://doi.org/10.3390/foods13121905>.
 - Visioli, Francesco, Andrea Poli, e Claudio Gall. 2002. «Antioxidant and Other Biological Activities of Phenols from Olives and Olive Oil». *Medicinal Research Reviews* 22 (1): 65–75. <https://doi.org/10.1002/med.1028>.
 - Vlaeminck, B., V. Fievez, D. Demeyer, e R. J. Dewhurst. 2006. «Effect of Forage:Concentrate Ratio on Fatty Acid Composition of Rumen Bacteria Isolated From Ruminal and Duodenal Digesta». *Journal of Dairy Science* 89 (7): 2668–78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72343-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72343-8).
 - Voet, Donald, Judith G. Voet, Charlotte W. Pratt, Stefano Belgeri, e Milvia Chicca. 2013. *Fondamenti di biochimica*. Zanichelli. <https://inbiblioteca.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/07/fondamenti-di-biochimica.pdf>.
 - Walker, Cheryl L., Laura C. D. Pomatto, Durga Nand Tripathi, e Kelvin J. A. Davies. 2018. «Redox Regulation of Homeostasis and Proteostasis in Peroxisomes». *Physiological Reviews* 98 (1): 89–115. <https://doi.org/10.1152/physrev.00033.2016>.
 - WHO (2010). Food and agriculture organization (FAO)/World health organisation (WHO). Fats and fatty acids in human nutrition; report of an expert consultation Geneva, Switzerland: WHO Press.
 - Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, e F. M. Whittington. 2008. «Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review». *Meat Science* 78 (4): 343–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>.
 - Yi, Wuzhou, Qixin Huang, Yizhen Wang, e Tizhong Shan. 2023. «Lipo-nutritional quality of pork: The lipid composition, regulation, and molecular mechanisms of fatty acid deposition». *Animal Nutrition* 13 (giugno):373–85. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.03.001>.
 - Yuan, Tinglan, Lei Wang, Jun Jin, Lijuan Mi, Jinzhu Pang, Zhengdong Liu, Jinyan Gong, et al. 2022. «Role Medium-Chain Fatty Acids in the Lipid Metabolism of Infants». *Frontiers in Nutrition* 9 (giugno). <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.804880>.
 - Yurko-Mauro, Karin, Deanna McCarthy, Dror Rom, Edward B. Nelson, Alan S. Ryan, Andrew Blackwell, Norman Salem Jr., Mary Stedman, e Midas Investigators. 2010. «Beneficial Effects of Docosahexaenoic Acid on Cognition in Age-Related Cognitive Decline». *Alzheimer's & Dementia* 6 (6): 456–64. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2010.01.013>.
 - Ziboh, Vincent A, Craig C Miller, e Yunhi Cho. 2000. «Metabolism of polyunsaturated fatty acids by skin epidermal enzymes: generation of antiinflammatory and antiproliferative metabolites123». *The American Journal of Clinical Nutrition* 71 (1): 361S-366S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.361S>.

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare il prof Roberto Mantovani per la grande disponibilità nella realizzazione di questo elaborato. Inoltre, ci tenevo a ringraziare mia mamma, la Dott.ssa Alessandra Cardinali, il Dott. Luciano Magro, la Dott.ssa Christine Marangon, Sara, Michele, Matteo, Francesco e i miei colleghi per i loro consigli e il costante sostegno.