



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI
ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE E
CULTURA DELLA GASTRONOMIA

**Come coprire i fabbisogni nutrizionali di Omega-3?
Indagine tra scelte alimentari e sostenibilità
ambientale.**

Relatore

Prof. Franco Tagliapietra

Laureando:

Giovanni Carlo Tonello

Matricola n.

2020887

ANNO ACCADEMICO 2023-24

Sommario

Riassunto	5
Abstract	5
Introduzione.....	6
Obiettivo dell'elaborato.....	7
Gli acidi grassi ω3	7
Cosa sono.....	7
ω 3 animali	9
ω 3 Vegetali	11
Gli ω3 nell'alimentazione umana	13
Fabbisogno	13
Benefici e Tossicità	15
Instabilità Ossidativa	15
Effetti sui livelli lipidici e sui trigliceridi.....	16
Omega 3 e ipertensione arteriosa.....	17
Squilibrio del rapporto omega3/omega6	18
L'importanza degli omega 3 nell'alimentazione animale	19
Impatto ambientale	20
Acquacoltura	22
Limofish.....	24
Fonti alternative	25
Alimenti arricchiti di omega 3.....	26
Calcolo dell'Impatto Ambientale in Funzione del Contenuto di	
Omega 3 nelle Diete	31
Conclusioni	37
Bibliografia.....	38

Riassunto

La tesi si concentra sull'importanza degli acidi grassi omega-3 nell'alimentazione umana, evidenziando i loro benefici per la salute e gli effetti ambientali legati alle diverse fonti alimentari. La tesi analizza le varie fonti alimentari di omega-3, inclusi alimenti arricchiti e discute l'equilibrio tra un'assunzione ottimale e la sostenibilità ambientale. Un aspetto cruciale dell'analisi riguarda l'uso delle risorse marine per ottenere omega-3. La pesca intensiva e l'acquacoltura esercitano una crescente pressione sugli ecosistemi marini, riducendo le riserve di pesce e alterando l'equilibrio naturale. Per affrontare questa sfida, vengono esplorate fonti alternative come le microalghe che potrebbero diminuire la dipendenza dalle risorse marine tradizionali. Infine, l'analisi sottolinea che, sebbene le diete vegane e vegetariane abbiano generalmente un impatto ambientale inferiore, la necessità di grandi quantità di ALA per raggiungere livelli adeguati di EPA e DHA può risultare meno sostenibile rispetto alla dieta onnivora, che fornisce direttamente EPA e DHA in forma biodisponibile attraverso il consumo di pesce.

Abstract

The thesis focuses on the importance of omega-3 fatty acids in human nutrition, highlighting their health benefits and environmental effects related to different food sources. The thesis analyses various dietary sources of omega-3, including enriched foods, and discusses the balance between optimal intake and environmental sustainability. One crucial aspect of the analysis is the use of marine resources to obtain omega-3. Intensive fishing and aquaculture are putting increasing pressure on marine ecosystems, reducing fish stocks and altering the natural balance. To meet this challenge, alternative sources such as microalgae are being explored which could reduce dependence on traditional marine resources. Finally, the analysis highlights that although vegan and vegetarian diets generally have a lower environmental impact, the need for large amounts of ALA to achieve adequate levels of EPA and DHA may be less sustainable than the omnivorous diet, which directly provides EPA and DHA in bioavailable form through the consumption of fish.

Introduzione

Gli acidi grassi Omega-3 sono nutrienti essenziali noti per i loro numerosi benefici per la salute umana, tra cui il miglioramento delle funzioni cardiovascolari, il supporto allo sviluppo cerebrale e il potenziamento della risposta antinfiammatoria. Tuttavia, mentre è ampiamente riconosciuta l'importanza di un'adeguata assunzione di Omega-3, le fonti alimentari da cui provengono questi acidi grassi possono variare significativamente, sia in termini di efficacia nutrizionale che di impatto ambientale.

Le principali fonti di Omega-3 includono alimenti di origine animale, come pesce e crostacei, e fonti vegetali, come semi di lino, chia e noci. Queste diverse fonti non solo offrono profili nutrizionali distinti, ma differiscono anche in termini di sostenibilità ambientale, considerando i metodi di produzione e l'uso delle risorse. L'attuale interesse per una dieta più sostenibile solleva la questione se sia possibile ottenere un apporto ottimale di Omega-3 senza aumentare in modo significativo l'impatto ambientale, bilanciando così i bisogni nutrizionali con la tutela dell'ecosistema.

La presente tesi si propone di offrire una prospettiva completa sull'argomento, esaminando sia l'efficacia nutrizionale delle fonti animali e vegetali di Omega-3, sia le loro implicazioni a livello ambientale. Utilizzando un elaboratore di diete che combina dati relativi ai valori nutrizionali, al contenuto di Omega-3 e all'impatto ambientale associato alla produzione dei diversi alimenti, verranno confrontate diverse diete per determinare come ognuna soddisfa il fabbisogno giornaliero di Omega-3. Inoltre, sarà analizzata la relazione tra l'aumento del consumo di Omega-3 e le variazioni nell'impatto ambientale complessivo della dieta.

In particolare, verrà prestata attenzione all'impatto ambientale dell'aumento della domanda di fonti animali di Omega-3, come i pesci grassi e i prodotti di allevamento, spesso associati a problematiche quali l'eccessivo sfruttamento delle risorse ittiche, l'inquinamento dovuto agli allevamenti intensivi e la riduzione della biodiversità marina. Analogamente, saranno esaminate anche le fonti vegetali, analizzando i costi ambientali legati alla loro coltivazione e lavorazione.

Obiettivo dell'elaborato

L'obiettivo finale della tesi è quello di valutare non solo quali modelli alimentari riescano a soddisfare in modo ottimale il fabbisogno di Omega-3, ma anche quale sia l'effetto di un aumento del consumo di questi acidi grassi sugli ecosistemi, in particolare nel settore della pesca e degli allevamenti.

Questa indagine ha l'obiettivo di offrire una visione complessiva che aiuti a trovare un equilibrio tra salute umana e sostenibilità ambientale, contribuendo al dibattito scientifico su diete salutari e responsabili e offrendo dati utili per scelte alimentari consapevoli e rispettose dell'ambiente.

Gli acidi grassi ω 3

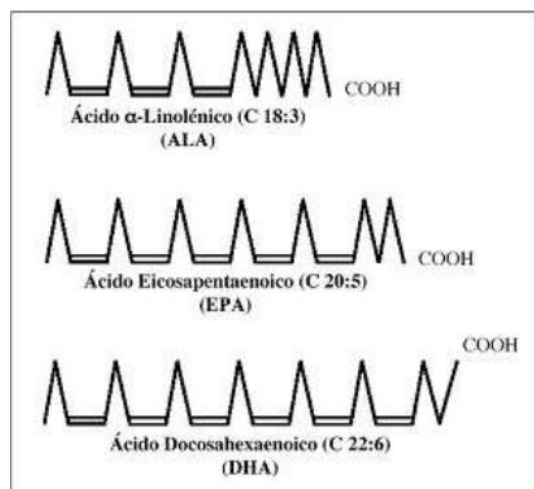
Cosa sono

Gli acidi grassi omega-3 sono una classe di acidi grassi polinsaturi essenziali, così definiti poiché l'organismo umano non è in grado di sintetizzarli autonomamente e deve ottenerli attraverso la dieta. Dal punto di vista chimico, si caratterizzano per la presenza di un doppio legame tra il terzo e il quarto atomo di carbonio a partire dall'estremità metilica della catena (-CH₃). Questa specifica configurazione è responsabile delle loro proprietà funzionali e del loro ruolo cruciale nella salute umana. Dal punto di vista chimico-fisico denotano alcune proprietà: consistenza liquida/poco viscosa a basse temperature e instabilità a suscettibilità all'ossidazione (radicali liberi). Gli acidi grassi realmente essenziali sono due: acido α -linolenico/ALA e l'acido linolenico/LA. Una volta assunti, l'ALA e il LA possono essere utilizzati come precursori per la sintesi di altri acidi grassi importanti: l'ALA (omega-3) può essere convertito in acido eicosapentaenoico (EPA) e in acido docosaesaenoico (DHA) e l'acido linoleico (LA) (omega-6) può essere convertito in acido arachidonico (AA), un acido grasso che ha un ruolo importante nelle risposte infiammatorie e nella funzione cellulare. Queste tre tipologie di omega 3, pur appartenendo alla stessa famiglia, svolgono ruoli biologici distinti e differiscono sia per le loro fonti alimentari che per la loro funzione all'interno dell'organismo.

- ALA: è un acido grasso n-3 insaturo della serie omega-3 che a temperatura ambiente si presenta come un liquido incolore. Nella letteratura è anche chiamato 18:3 ω 3 (short chain). L'acido alfa-linolenico è un acido carbossilico con una catena di 18 atomi di carbonio e tre doppi legami in *cis* (i quali rendono la molecola più flessibile e piegata difatti ne fanno parte gli oli vegetali), il primo doppio legame si trova sul terzo carbonio a partire dalla fine del gruppo metilenico della catena carboniosa. Questo acido grasso deve essere trasformato, dal corpo umano, in EPA e DHA che permettono di esercitare quegli effetti biologici che sono determinanti per il corretto funzionamento di alcuni organi importanti. Questo processo di (Burdge, 2002) conversione non sempre viene attivato ed è particolarmente inefficiente, perché consente di sfruttare dal 5% al 10% dell'acido α -linolenico assunto (Goyens, 2006). Più precisamente il 7% di ALA viene convertito in EPA e di questo EPA l'1% viene convertito in DHA. Giocano un ruolo fondamentale nella capacità di conversione il sesso, si presume che le donne grazie agli ormoni estrogeni (Burdge G. C., 2002) hanno una maggiore capacità di conversione, e la dieta in quanto consumare alimenti ricchi di omega 6 può competere con gli omega 3 per gli enzimi necessari alla conversione (Goyens, Conversion of α -linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of α -linolenic acid and linoleic acid in the diet., 2006).
- EPA: è un acido grasso n-3 insaturo della serie omega-3 che a temperatura ambiente si presenta come un liquido per via dei doppi legami che rendono la molecola meno compatta e più flessibile. Il suo nome in letteratura è 20:5 ω 3 (long chain). L'EPA viene assunto con la dieta mediante l'ingestione di alcuni pesci, soprattutto di acqua fredda ma si può trovare anche nel latte materno. L'EPA ha inoltre diverse capacità nel ridurre l'infiammazione e si suppone che l'EPA in particolare posseda un potenziale benefico nei confronti di patologie mentali, come la schizofrenia (Peet M). Diversi studi riportano una diminuzione dei sintomi nelle scale di gravità abitualmente usate per queste patologie quando viene assunto un quantitativo extra di EPA.

- DHA: è un acido grasso n-3 insaturo della serie omega-3 a temperatura ambiente si presenta generalmente come un liquido. Il suo nome in letteratura è 22:6 ω3 (long chain). Ha una catena di 22 atomi di carboni e 6 doppi legami in posizione cis; Sono ricchi di DHA i pesci oceanici di acque fredde. La maggior parte del DHA presente nei pesci è dato dalle alghe fotosintetiche. Diventa sempre più concentrato negli organismi man mano che si sale lungo la catena alimentare attraverso un processo noto come bioaccumulo: quando gli organismi più grandi, come i pesci predatori, mangiano organismi più piccoli che contengono DHA, essi accumulano ulteriormente questo acido grasso nei loro tessuti. Man mano che si sale nella catena alimentare, gli animali predatori (come tonno, salmone e altri pesci grassi) tendono ad avere concentrazioni più elevate di DHA nei loro tessuti.

FIGURA 1 - STRUTTURA CHIMICA DEL ACIDO A-LINOLENICO (ALA), ACIDO EICOSAPENTAENOICO (EPA) E ACIDO DOCOSAESAENOICO (DHA)



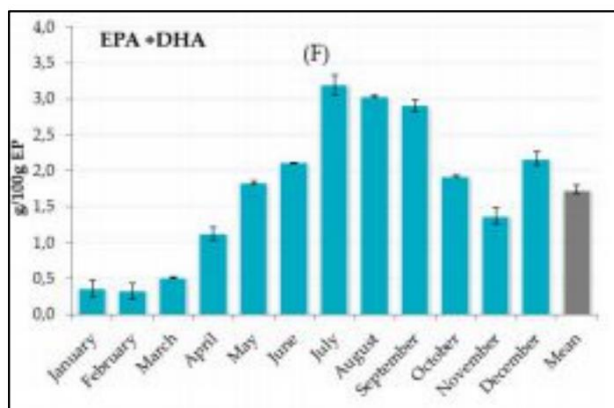
ω3 animali

Gli acidi grassi omega-3 di origine animale, in particolare l'acido eicosapentaenoico (EPA) e l'acido docosaesaenoico (DHA), sono nutrienti essenziali che giocano un ruolo chiave nella salute umana. A differenza dell'acido alfa-linolenico (ALA), che si trova prevalentemente in fonti vegetali e necessita di conversione, EPA e DHA

sono immediatamente disponibili nelle fonti animali, senza bisogno di conversione metabolica. Le principali fonti alimentari di EPA e DHA provengono dal pesce, dai frutti di mare e dagli oli di pesce, con alcuni derivati animali, come le uova arricchite di omega-3 e alcuni latticini. Nella carne la concentrazione di PUFA (acidi grassi polinsaturi), in particolare della famiglia degli omega-3, è relativamente bassa rispetto alla quantità di acidi grassi saturi, in particolare in 100 g del muscolo longissimus dorsi, è di 14-55 mg sotto forma di acido alfa-linolenico e di 5-140 mg sotto forma di EPA+DHA (Barroeta, 2004). Le maggiori quantità di EPA e DHA si trovano nei pesci grassi, anche se è importante ricordare che questo contenuto varia tra le specie, la localizzazione del pesce e il momento della cattura, persino all'interno della stessa specie. Per questo motivo, è importante analizzare in modo individuale le diverse specie di pesce. Per cominciare, differenziamo i pesci selvatici, che si trovano nei mari e negli oceani, da quelli allevati nelle piscicoltura. Il motivo di questa distinzione risiede nel diverso modo di alimentarsi di entrambi i tipi di pesce. Un chiaro esempio è il salmone, questo pesce può essere allevato in modo selvatico o in allevamenti. Nei mari e negli oceani, si nutre di pesci piccoli che contengono un elevato livello di EPA mentre nei pesci di allevamento è l'allevatore a decidere la loro alimentazione man mano che aumenta la vita del pesce, solitamente vengono alimentati con pellet arricchiti con olio di pesce (Corliss, 2015). Uno studio (Cladis, 2014) condotto negli Stati Uniti ha confrontato il contenuto di omega-3 nel salmone venduto in sei regioni del Paese. Si è concluso che il contenuto di omega-3 nel salmone di allevamento era superiore a quello delle specie selvatiche, anche se contenevano anche una maggiore quantità di grassi saturi e polinsaturi. Per quanto riguarda l'importanza del momento della cattura dei pesci per il contenuto di omega 3 vi è uno studio sperimentale condotto sulla costa dell'Oregon-Washington, in cui sono stati determinati gli acidi grassi della *Sardinops sagax* su base annuale. In questo caso, il contenuto lipidico è aumentato del 22,95% a metà agosto e ha iniziato a diminuire alla fine di settembre. Si è concluso che il DHA era uno degli acidi grassi più abbondanti nella sardina e che i livelli di EPA erano molto più elevati ad agosto e settembre rispetto ai mesi precedenti (Morrissey, 2007). Il pesce viene catturato in base al ciclo di riproduzione; i pesci catturati prima della deposizione delle uova, a fine estate o

all'inizio dell'autunno, contengono una maggiore quantità di grassi e, di conseguenza, più acidi grassi n-3 rispetto a quelli catturati all'inizio della primavera.

FIGURA 2 - CONTENUTO DI OMEGA 3 NELLA SARDINA COME SOMMA DI EPA+DHA DURANTE UN ANNO



ω3 Vegetali

Le piante producono principalmente acido alfa-linolenico (ALA), il principale omega-3 vegetale, che l'organismo può utilizzare come precursore per la sintesi degli omega-3 a catena lunga come l'EPA (acido eicosapentaenoico) e il DHA (acido docosaesaenoico). Tuttavia, la capacità di conversione dell'ALA in EPA e DHA è limitata, rendendo necessario un consumo adeguato di alimenti vegetali ricchi di ALA per raggiungere livelli sufficienti di questi acidi grassi benefici. Tra le principali fonti vegetali troviamo l'olio di chia (< 60%), seguito da semi di lino (57%) e colza, soia, germe di grano e noci (7-13%) (Carrillo-Gómez, 2017). I semi di chia rappresentano la fonte vegetale con la più alta concentrazione in omega-3. Il suo olio contiene acido alfa linoleico in concentrazioni fino al 67,8%, che è superiore ad altri semi come la soia. La chia contiene 6,3 g di PUFA sotto forma di acido alfa-linolenico per 100 g di semi (Carrillo-Gómez G.-C. M.-V.-H., 2017). Questo contenuto può raggiungere 7,6 g per 100 g, perché il contenuto totale di grasso è 34,8 g per ogni 100 g di prodotto. Le alghe sono una fonte vegetale fondamentale di PUFA nella dieta umana, poiché i pesci si nutrono di esse. Oggi, a causa dei cambiamenti nella temperatura del pianeta e dell'inquinamento dei mari e degli oceani, la quantità di pesce disponibile è ridotta, il che comporta un grave problema per la nostra alimentazione. Quindi l'estrazione di olio di alghe può essere una soluzione a breve termine. Le alghe della specie *Phaedodactylum tricornutum*

contengono un totale del 96,1% di olio, il 23,7% dei quali è sotto forma di EPA. Mentre le alghe della specie *Cryptocodinium cohnii* hanno un contenuto in 25,9% di olio di cui 39,9% è sotto forma di DHA (Winswood, 2013). Le fonti di microalghe attualmente derivano principalmente dalla produzione di specie come *Thraustochytrid*, ad esempio *Schizochytrium*, e, in alcuni casi, dai dinoflagellati come *Cryptocodinium cohnii*, che possono essere coltivate in modo eterotrofico tramite fermentazione. Questo processo può essere ampliato su larga scala, ma è limitato soprattutto dai costi elevati necessari per costruire impianti di fermentazione di grandi dimensioni (https://www.veramaris.com/files/assets/downloads/publications/Imagebr_Veramaris_04-2018.pdf (accessed on 30 October 2018)., s.d.). Una possibile limitazione di *Schizochytrium* e *Cryptocodinium* è che generalmente producono solo DHA e non EPA, quindi la maggior parte dei prodotti a base di microalghe è una fonte esclusiva di DHA. Tuttavia, l'azienda Veramaris® ha sviluppato un ceppo di *Schizochytrium* che produce sia EPA che DHA, disponibile anche sotto forma di olio. Questo permette una facile integrazione di tale prodotto negli alimenti per acquacoltura, poiché può essere utilizzato come sostituto diretto degli oli (miscele di oli di pesce e oli vegetali) attualmente impiegati. Le quantità di EPA e DHA nelle diete vegetariane sono basse, e praticamente assenti nelle diete vegane. Le concentrazioni plasmatiche, ematiche e tissutali di EPA e DHA sono inferiori del 30% nei vegetariani e del 40-50% nei vegani rispetto a chi consuma carne (Davis BC, 2003). Un ampio studio (Rosell MS, 2005) prospettico nel Regno Unito, che ha coinvolto 196 onnivori, 231 vegetariani e 232 vegani, ha evidenziato che, nel tempo (da meno di 1 anno a oltre 20 anni), non ci sono cambiamenti significativi nei livelli di EPA e DHA nei vegetariani e nei vegani. Questo potrebbe significare che il corpo riesce a produrre abbastanza EPA e DHA a partire dall'ALA, mantenendo stabili i livelli di omega-3 per lungo tempo. Tuttavia, non è ancora chiaro se i bassi livelli di DHA nelle popolazioni vegetariane e vegane abbiano conseguenze negative per la salute, anche se si è osservata una maggiore aggregazione piastrinica, che potrebbe essere legata a uno squilibrio tra omega-3 e un'elevata assunzione di omega-6.

FIGURA 3 - TABELLA CHE CONFRONTA L'ASSUNZIONE DI ACIDI GRASSI TRA VEGANI, VEGETARIANI, ONNIVORI;

Author and participants	Study design	Fatty acid	Vegans	Vegetarians	Fish eaters	Omnivores	Significance
Kornsteiner, Singer, and Elmadfa (2008) Vegan n37 Vegetarian n25 Omnivore n23	Data collection by 24hr food diary on dietary fat intake of omnivores, vegetarians, vegans and semi-omnivores as well as its impact on lipid profiles	18:3n-3g/d	2.63 ± 1.67	1.73 ± 1.38	-	1.19 ± 0.40	p < 0.01
		20:5n-3mg/d	6 ± 12	4 ± 12	-	48 ± 109	n.s.
		22:5n-3mg/d	15 ± 64	5 ± 10	-	84 ± 155	n.s.
		22:6n-3mg/d	25 ± 70	69 ± 199	-	234 ± 389	n.s.
		Total n-3%	3.0 ± 1.4	1.9 ± 0.9	-	1.6 ± 0.5	p < 0.001
		n-6/n-3, g/g	9.4/1.0	10.2/1.0	-	6.8/1.0	n.s.
		18:2n-6g/d	22.52 ± 11.07	14.96 ± 12.03		7.86 ± 4.04	p < 0.001

⇒ Lo studio (Kornsteiner, Singer & Elmadfa, 2008) evidenzia che i vegani tendono ad avere un apporto maggiore di ALA (un omega-3 di origine vegetale) e omega-6 rispetto agli onnivori. Tuttavia, gli onnivori hanno livelli molto più alti di EPA e DHA (omega-3 di origine animale o marina), il che suggerisce una differenza sostanziale nella composizione degli omega-3 tra i diversi tipi di dieta. Le differenze nei livelli di EPA e DHA non risultano essere statisticamente significative, ma l'apporto totale di omega-3 è più alto nei vegani.

Gli ω3 nell'alimentazione umana

Fabbisogno

L'omega-3, come acido grasso polinsaturo essenziale, deve essere apportato al nostro organismo attraverso il suo consumo nella dieta quotidiana. Le raccomandazioni di assunzione dell'acido grasso n-3 per raggiungere un buon stato nutrizionale, sono definite come la quantità necessaria per evitare i sintomi che provocherebbero la sua carenza, e si collocano nello 0.6-1.2% dell'energia totale deve provenire sotto forma di acido alfa-linolenico perché è essenziale; fino al 10% di questa quantità può essere fornito da EPA o DHA (Gagne & Medrano, 2009). Nonostante ciò, ci sono diverse raccomandazioni eterogenee per quanto riguarda l'assunzione di grassi. L'OMS raccomanda 250 mg/giorno di EPA+DHA negli adulti e 300 mg/giorno per le donne in gravidanza e allattamento. Non è stato fino al 2012, quando sono state stabilite in modo generale le raccomandazioni che includevano la somma di EPA + DHA. L'Associazione americana del cuore (AHA) raccomanda

un apporto di EPA+DHA di circa 400 mg/giorno. La Food Standard Agency ha stabilito raccomandazioni per gli uomini di EPA + DHA di 500 mg/giorno e 400 mg/giorno per le donne. L'EFSA propone un valore di somma di EPA e DHA pari a 250 mg/giorno o il consumo di almeno due porzioni settimanali di pesce (preferibilmente pesce azzurro) per gli adulti e 100 mg/giorno di DHA solo per i bambini tra 7-24 mesi. In situazioni di gravidanza, allattamento e fisiologiche speciali il consumo negli adulti dovrebbe essere aumentato 100-200 mg/giorno.

FIGURA 4 - DOSE GIORNALIERA RACCOMANDATA (RDA) PER ETÀ E SESSO, CALCOLATA DAGLI ESPERTI SOTTO FORMA DI ACIDO ALFA-LINOLENICO, PRECURSORE DEGLI ACIDI GRASSI A CATENA LUNGA EPA (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. ODS, 2020) E DHA (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. SDG, 2020).

TAPPE DELLA VITA	QUANTITA' RACCOMANDATA
Dalla nascita fino ai 12 mesi	0,5g
Bambini da 1 a 3 anni	0,7g
Bambini da 4 a 8 anni	0,9g
Bambini da 9 a 13 anni	1,0g
Adolescenti maschi da 14 a 18 anni	1,6g
Adolescenti femmine da 14 a 18 anni	1,1g
Adulti uomini	1,6g
Adulti donne	1,1g
Donne e adolescenti incinta	1,4g
Donne e adolescenti in periodo di allattamento	1,3g

Le fonti possono essere naturali ma questi acidi grassi possono essere assunti anche attraverso integratori che negli ultimi anni hanno avuto un boom notevole. In questo senso, è opportuno ricordare la pubblicazione del regolamento (UE) n. 1924/2006, nel Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 20 dicembre 2006 (e successive modifiche) che regola le denominazioni di alimenti come "fonte di omega-3" e "alto contenuto di omega-3", che permette un'etichettatura corretta dei prodotti e la

trasmissione informazioni rilevanti per il consumatore. La normativa prevede due premesse che ci interessano: un alimento è dichiarato come fonte di acidi grassi omega-3 solo se il prodotto contiene almeno 0,3 g di acido alfa-linolenico per 100 g e per 100 kcal, o almeno 40 mg della somma di EPA e DHA per 100 g e per 100 kcal. Un alimento è dichiarato ad alto contenuto di acidi grassi omega-3 solo se il prodotto contiene almeno 0,6 g di acido alfa-linolenico per 100 g e per 100 kcal, o almeno 80 mg della somma di EPA e DHA per 100 g e per 100 kcal.

Benefici e Tossicità

Gli acidi grassi omega-3 sono nutrienti indispensabili nella nostra dieta per tutta la vita. Il suo apporto in quantità adeguate, genera una moltitudine di benefici per ottenere una buona salute. Diversi studi condotti sia sui primati che sugli esseri umani hanno evidenziato che il DHA è essenziale per il corretto sviluppo del cervello e della retina, in particolare nei bambini. Il DHA costituisce il 40% della membrana dei fosfolipidi del cervello. Sia EPA che DHA hanno un effetto sulla funzione di ricezione della membrana e persino sulla neurotrasmissione e sul metabolismo (Simopoulos, 2011). Altri benefici che fanno dell'omega-3, un apporto essenziale nella nostra dieta, è la sua capacità di ridurre malattie e affezioni comuni nella popolazione. Tra questi spicca la sua capacità di ridurre i processi infiammatori, gli effetti benefici sulle malattie cardiovascolari come l'ipertensione e persino sui processi cancerogeni.

Instabilità Ossidativa

Gli acidi grassi polinsaturi omega-3 (PUFA) sono raccomandati perché offrono molti benefici nutrizionali, come il supporto alla salute del cuore e del cervello, la riduzione dell'infiammazione, e il miglioramento della funzione cellulare. Tuttavia, queste molecole sono instabili dal punto di vista chimico, poiché possono facilmente ossidarsi quando esposte a ossigeno, luce o calore. L'ossidazione dei PUFA è un problema significativo perché porta alla formazione di composti di degrado che possono alterare qualità sensoriale e valore nutrizionale. Nei PUFA, i carboni bisallilici, quelli situati tra due doppi legami in una catena carboniosa, sono

come punti deboli, dove i radicali liberi (molecole instabili che cercano un "elettrone" per stabilizzarsi) possono facilmente strappare via un atomo di idrogeno da questi carboni. Quando un radicale libero strappa via questo idrogeno, il carbonio bisallilico diventa un radicale lipidico (una molecola instabile). Questo radicale è molto reattivo e si lega velocemente con una molecola di ossigeno. Il radicale lipidico, legandosi con l'ossigeno, diventa un radicale perossilico. Questo radicale perossilico è ancora più reattivo e può continuare a reagire con altre molecole di PUFA, innescando una reazione a catena che ossida progressivamente i PUFA. Questa ossidazione porta alla formazione di composti indesiderati (come aldeidi e chetoni), che possono: rendere il sapore e l'odore degli alimenti rancido o produrre sostanze tossiche (Afaf Kamal-Eldin is Associate Professor at the Division of Plant Product Sciences). In aiuto a questo problema di ossidazione vi sono gli antiossidanti che donando uno dei loro elettroni ai radicali liberi possono risolvere il problema bloccando la reazione a catena e impedendo la degradazione. L'efficacia degli antiossidanti non è totale: durante il processo, l'antiossidante può formare radicali secondari che, sebbene proteggano i PUFA, possono entrare in reazioni collaterali che riducono parzialmente la loro efficacia. Gli antiossidanti, essendo gradualmente consumati durante la loro funzione protettiva, si degradano formando composti ossidati. La conoscenza dei prodotti ossidativi degli antiossidanti e delle loro potenziali tossicità è ancora limitata (Shahidi, 2010).

Effetti sui livelli lipidici e sui trigliceridi

Gli omega-3, quindi, sono particolarmente utili per ridurre i trigliceridi e migliorare il profilo lipidico complessivo. I primi studi di Dyerberg sugli eschimesi hanno mostrato che i livelli di colesterolo e trigliceridi negli eschimesi erano rispettivamente del 20% e 60% più bassi rispetto ai danesi. Questo dato è stato collegato all'elevato consumo di pesce, che è ricco di AG ω -3. Gli omega-3 diminuiscono significativamente i livelli di: -VLDL (Very Low Density Lipoproteins): lipoproteine a bassissima densità che trasportano i trigliceridi nel sangue (WS., 1989) -Trigliceridi (TG): abbassano i trigliceridi nel plasma, sia in soggetti normali sia in quelli con alti livelli di trigliceridi (ipertrigliceridemia)

(Surette ME, 1992). Gli omega-3 riducono i trigliceridi attraverso tre principali meccanismi: 1-Riduzione della Sintesi Epatica dei Trigliceridi: diminuendo la produzione di trigliceridi nel fegato. 2-Aumento dell'Eliminazione dei Trigliceridi dal Plasma: facilitano il metabolismo e la rimozione dei trigliceridi nel sangue. 3-Attivazione dei Recettori PPAR (Peroxisome Proliferator-Activated Receptors) (Kaikaus RM, 1993): questi recettori stimolano l'ossidazione dei grassi e riducono la sintesi dei trigliceridi, supportando un miglior controllo del metabolismo lipidico. Gli effetti degli omega-3 sui lipidi dipendono spesso dalla dose assunta. Maggiori dosi portano a una maggiore riduzione dei trigliceridi, ma è necessario stabilire il dosaggio corretto per evitare effetti avversi, come l'aumento delle LDL (Low Density Lipoproteins) (Svaneborg N, 1994).

Omega 3 e ipertensione arteriosa

Gli omega 3 hanno dimostrato di avere degli effetti benefici sulla pressione arteriosa di pazienti ipertesi sia attraverso l'uso di integratori e sia come parte di una dieta che ricca di pesce azzurro. Sono stati condotti diversi studi clinici (Holm T, 2001) che hanno dimostrato che gli AG ω -3 possono ridurre la pressione arteriosa sia sistolica (PAS) che diastolica (PAD), nonché la pressione arteriosa media. Gli omega 3 possono agire su diversi meccanismi: -come vasodilatatori favorendo la produzione di eicosanoidi, che sono composti che aiutano a rilassare e dilatare i vasi sanguigni, aiutando a ridurre la resistenza vascolare e di conseguenza la pressione arteriosa -migliorando la compliance arteriosa, aumentando perciò la flessibilità delle arterie, facilitando il passaggio del sangue e riducendo il carico sul cuore. Studi condotti dagli esperti Apple e Morris (Appel LJ, 1993) dimostrano che l'assunzione di omega 3 può ridurre la pressione arteriosa di circa 3 mmHg per la pressione sistolica e 1,5 mmHg per la pressione diastolica. Ci sono anche risultati negativi e considerazioni importanti da tenere in conto. Il rischio di ictus, risultati variabili nella pressione arteriosa, interazioni con farmaci e effetti limitati sulla lipemia sono tutti aspetti che richiedono attenzione. Pertanto, è fondamentale che l'assunzione di omega-3 venga fatta in modo informato e, se necessario, sotto la supervisione di un professionista della salute.

Squilibrio del rapporto omega3/omega6

Negli ultimi decenni, la dieta occidentale è cambiata drasticamente, con un aumento notevole dell'assunzione di acidi grassi omega-6 rispetto agli omega-3 (Maral Bishekolaei a, s.d.). Questo cambiamento è dovuto principalmente a: -aumento del consumo di oli vegetali ricchi di omega 6 (T. Yamashima, 2020) (olio di mais, olio di girasole che sono spesso presenti negli alimenti processati) -riduzione del consumo di fonti di omega 3 (pesce, semi di lino, frutta secca ecc.). Questo ha portato a un rapporto medio di omega-6/omega-3 di circa 20:1 nella dieta moderna. In passato, nelle diete ancestrali, questo rapporto era molto più bilanciato, probabilmente vicino a 1:1 o 4:1 a favore di omega-6 perché gli esseri umani consumavano alimenti selvatici, come piante e animali. Con l'avvento dell'agricoltura intensiva e dell'industria alimentare moderna, la produzione di oli vegetali è aumentata enormemente (Lj. Sretenović). Allo stesso tempo, l'agricoltura moderna ha introdotto mangimi concentrati, fatti di grano e mais, per nutrire il bestiame. Questi mangimi, essendo anch'essi ricchi di omega-6, hanno alterato il profilo lipidico degli animali. La carne, il latte e le uova di questi animali contengono oggi più omega-6 e meno omega-3 rispetto agli animali allevati al pascolo. Si è arrivati oggi ad un rapporto che si aggira intorno a 15:1 (Simopoulos, A. P. (2002)), un rapporto simile così elevato secondo numerose ricerche è associato a diversi problemi di salute, in particolare perché favorisce l'infiammazione cronica. Gli acidi grassi omega-6 e omega-3 competono per le stesse vie enzimatiche nel corpo, e questa competizione è importante perché influenza la produzione di molecole coinvolte nell'infiammazione. Essendo entrambi acidi grassi polinsaturi condividono le stesse vie metaboliche perché sono processati dagli stessi enzimi (delta-6-desaturasi, elongasi e delta-5-desaturasi). Questi enzimi aiutano a convertire gli acidi grassi nella loro forma attiva, cioè nelle molecole che possono partecipare ai processi biochimici dell'infiammazione o della risoluzione dell'infiammazione. I principali passaggi di conversione sono: omega 6 → acido arachidonico (precursore di molecole pro-infiammatorie); omega 3 → EPA → DHA (precursore di molecole antinfiammatorie). Quando vi sono troppi omega 6, questi, occupano maggiormente gli enzimi limitando così la conversione degli

omega 3. Le molecole pro-infiammatorie dell'acido arachidonico possono promuovere asma (Leucotrieni serie-4) e aggregazione piastrinica con conseguente costrizione dei vasi sanguigni (Trombossani serie-2). In generale poi questo squilibrio porta a diverse implicazioni come aumento del rischio di malattie croniche, problemi immunitari e impatto sul metabolismo (resistenza insulinica) (N Li, 2019).

L'importanza degli omega 3 nell'alimentazione animale

Nello studio (Abd El-Nasser Ahmed Mohammed1 *), di seguito riportato, sono stati valutati gli effetti degli acidi grassi omega-3 sulle prestazioni riproduttive e sui parametri biochimici delle vacche da latte. Sono stati coinvolti 268 bovini in lattazione, suddivisi in tre gruppi in base alla fase di lattazione. I gruppi sono stati alimentati con: -gruppo controllo: senza aggiunta di omega 3 -gruppo olio di pesce: alimentato con 25g di olio di pesce essiccato per capo al giorno -gruppo semi di lino estrusi (lavorati): 7% di semi di lino nella dieta. Il periodo di analisi è durato dalle tre settimane prima del parto fino a 160 giorni dopo il parto. Con obiettivo quello di analizzare le prestazioni riproduttive e i parametri biochimici tra i gruppi.

Lo studio, perciò, vuole evidenziare come questi integratori migliorano in modo significativo sia le performance riproduttive sia alcuni parametri biochimici legati alla salute generale degli animali, soprattutto rispetto al gruppo di controllo. Lo studio riporta i seguenti dati:

- ⇒ Le vacche dei gruppi con semi di lino estrusi e olio di pesce hanno ripreso l'attività ovarica più rapidamente dopo il parto. In particolare, il 18,89% delle vacche nel gruppo con semi di lino e il 14,94% nel gruppo salmate sono tornate all'estro, rispetto al solo 3,3% delle vacche nel gruppo di controllo.
- ⇒ Il tasso di concepimento (somma delle vacche tornate all'estro e delle vacche sincronizzate per l'estro) è stato più elevato nel gruppo semi di lino estrusi (80,0%), seguito dal gruppo olio di pesce (77,01%) e infine dal gruppo di controllo (53,85%).

⇒ Nei profili biochimici del sangue sono migliorati diversi parametri: - I livelli di NEFA e cortisolo, indicatori di stress e di utilizzo dei grassi, erano più bassi nel gruppo semi di lino, suggerendo una migliore gestione dello stress metabolico rispetto agli altri gruppi - Globulina, Azoto Ureico nel Sangue (BUN), β -HBA e Colesterolo erano superiori nel gruppo con semi di lino, indicando un miglioramento delle funzioni metaboliche e del metabolismo energetico.

Impatto ambientale

Il cambiamento climatico rappresenta la maggiore minaccia ambientale per l'umanità. Nonostante sia da tempo una questione prioritaria, è ancora molto difficile che le diverse parti interessate raggiungano un accordo su possibili soluzioni per rallentare o fermare i suoi effetti, che potrebbero essere letali per la vita sul nostro pianeta. Il cambiamento climatico si manifesta in vari modi, ma il più evidente è il riscaldamento globale. Secondo gli scienziati, il calore intrappolato dal CO₂ aumenterà quasi del 40% entro il 2030. Senza soluzioni per ridurre le emissioni, queste dovrebbero essere limitate a meno di 7 miliardi di tonnellate, la quantità che oceani e foreste ancora esistenti possono assorbire. Un chiaro esempio degli effetti di questo fenomeno si vede nell'aumento della temperatura media terrestre, che negli ultimi cento anni è aumentata tra 0,56°C e 0,96°C. Anche gli oceani risentono di questo brusco cambiamento delle temperature. Sebbene sia difficile calcolarne con precisione l'incremento a causa delle complesse correnti oceaniche, è evidente un aumento medio di 0,3°C negli ultimi anni. Questo aumento di temperatura, oltre a generare fenomeni come venti estremi e un grande incremento di umidità nell'atmosfera, danneggia la salute degli oceani. Gli oceani assorbono circa il 50% del CO₂ prodotto dall'uomo, il che porta a una maggiore acidità sotto forma di acido carbonico, saturandoli. Questa acidità altera la chimica degli oceani, causando lo sbiancamento e la morte dei coralli, come quelli della Grande Barriera Corallina australiana, che espellono le alghe simbiotiche di cui si nutrono. La morte delle barriere coralline porta alla morte dei pesci che vi abitano,

interrompendo l'intera catena alimentare e provocando catene di estinzione (Otterbach, 2014).

Con l'aumento delle temperature marine, il fitoplancton – fonte primaria di EPA e DHA che si accumula nei pesci – ha visto ridursi la sua capacità di produrre questi acidi grassi essenziali. Uno studio di (Hixson, 2016) mostra come un aumento di 2,5°C possa ridurre l'EPA dell'8,2% e il DHA del 27,8% nel fitoplancton. Tale riduzione incide a cascata sui pesci che lo consumano, e quindi sulla qualità nutritiva dei pesci destinati al consumo umano. Il fitoplancton e altri organismi marini ectotermi, il cui metabolismo dipende dalla temperatura ambientale, rispondono ai cambiamenti termici modificando la struttura delle loro membrane cellulari, in un processo noto come adattamento homeoviscoso. Quando la temperatura aumenta, il fitoplancton riduce il contenuto di acidi grassi polinsaturi (PUFA) come gli omega-3, rendendo le membrane meno fluide e quindi meno ricche di nutrienti essenziali per la catena alimentare marina al contrario a basse temperature per mantenere la fluidità della membrana, il fitoplancton aumenta il contenuto di PUFA. Inoltre, l'aumento della temperatura potrebbe favorire la crescita di cianobatteri, che competono con il fitoplancton, contribuendo ulteriormente alla riduzione di questi AG. Gli effetti del riscaldamento globale sulla composizione del fitoplancton potrebbero dunque avere conseguenze a catena lungo le reti alimentari acquatiche e terrestri. Un altro studio (Colombo, 2020) ha previsto che, con l'attuale tendenza al riscaldamento, entro il 2100 il contenuto di DHA nei pesci potrebbe ridursi dal 10% al 58%. Questa diminuzione, combinata con la crescita della popolazione mondiale e l'aumento dell'aspettativa di vita, rappresenta un rischio significativo per la nutrizione umana, in particolare per le popolazioni vulnerabili che dipendono dal pesce come principale fonte di omega-3. Le conseguenze potrebbero essere particolarmente gravi nelle comunità a basso reddito nei paesi in via di sviluppo.

Gli omega-3, per la loro importanza per la salute del cuore, degli occhi e del cervello, sono diventati uno degli integratori alimentari più popolari in Nord America e in Europa, generando un mercato di 44,1 miliardi di dollari nel 2021. Tuttavia, oltre l'80% della popolazione mondiale non raggiunge i livelli giornalieri raccomandati di almeno 250 mg. Per soddisfare la domanda globale di omega-3, la

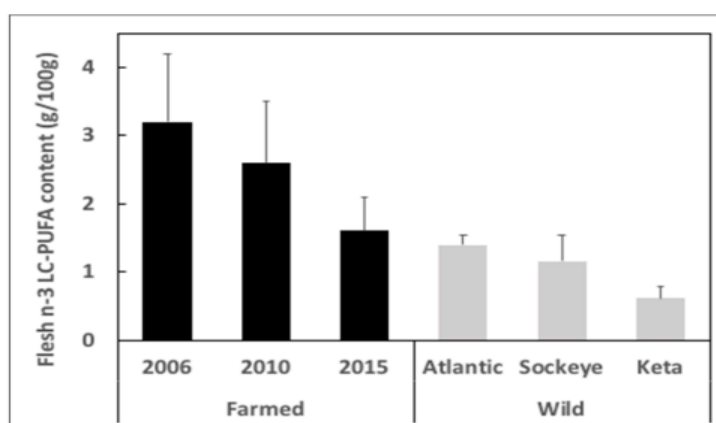
produzione necessaria sarebbe di oltre 593.000 tonnellate annue, mentre la produzione attuale è inferiore a 85.000 tonnellate. Questa disparità ha stimolato la ricerca di fonti alternative, come le alghe, i sottoprodotti ittici e alcune piante terrestri, riducendo la dipendenza esclusiva dalla pesca diretta di pesce. La maggior parte degli omega-3 marini è ottenuta da pesci come l'acciuga peruviana (R. Ciriminna, 2017) (*Engraulis ringens*), la specie più pescata a livello mondiale con oltre 7 milioni di tonnellate l'anno, utilizzata soprattutto per la produzione di mangimi. Tuttavia, solo il 5% di questa produzione è destinata all'estrazione di nutrienti omega-3 per integratori. Uno studio condotto da Shepon & collaboratori (A. Shepon, 2022) identificare strategie per aumentare l'offerta di omega-3 attraverso una gestione più efficace delle risorse ittiche e delle pratiche di pesca. Il modello suggerisce che, implementando pratiche più sostenibili e ottimizzando l'uso delle risorse, la produzione di omega-3 potrebbe aumentare del 50%, raggiungendo circa 630.000 tonnellate all'anno. Un aspetto cruciale dell'ottimizzazione è il passaggio dalla pesca diretta di specie specifiche alla valorizzazione dei sottoprodotti della lavorazione ittica, che possono contenere elevate concentrazioni di omega-3. Ci sono oltre a questo studio altri (Tocher, 2015) che hanno analizzato il divario tra la domanda e l'offerta di acidi grassi omega-3 attraverso il calcolo del fabbisogno umano di omega-3 basandosi sulle raccomandazioni dietetiche globali un altro invece ha cercato di stimare l'offerta disponibile di n-3 LC-PUFA evidenziando che attualmente la produzione è concentrata su poche specie di pesci e che ci sono limiti significativi legati alla sostenibilità della pesca e alla capacità di produrre sufficienti quantità di questi nutrienti.

Acquacoltura

Con l'aumento della popolazione mondiale, la domanda di pesce e frutti di mare è aumentata costantemente. Le catture di pesce a livello globale sono stabilizzate intorno ai 90 milioni di tonnellate all'anno e sono spesso al di sopra dei limiti sostenibili ((FAO), 2016). Per far fronte a questa domanda, oltre la metà di tutto il pesce e i frutti di mare proviene ora dall'acquacoltura. Questo scenario presenta un problema: i pesci allevati non producono autonomamente quantità significative di

EPA e DHA; essi li acquisiscono dal cibo che consumano, in natura o tramite i mangimi formulati per l'acquacoltura. Di conseguenza, l'unico modo per garantire che i pesci allevati contengano quantità adeguate di omega-3 è includere tali nutrienti nei loro mangimi, utilizzando grandi quantità di olio di pesce e farina di pesce, derivati a loro volta da risorse marine già limitate (The Continuing Importance of Fishmeal and Fish Oil in Aquafeed, s.d.). L'acquacoltura, quindi, si trova a dover ricorrere a EPA e DHA per garantire una buona nutrizione dei pesci, ma allo stesso tempo è diventata il settore che consuma la maggior parte della disponibilità globale di questi nutrienti. Negli ultimi 20 anni, l'acquacoltura ha dovuto fare i conti con una disponibilità limitata di EPA e DHA, con conseguente aumento dei prezzi di olio di pesce e farina di pesce. Per ridurre la pressione sulla domanda e i costi, i produttori di mangimi hanno iniziato a sostituire l'olio di pesce con oli vegetali, i quali, però, sono privi di omega-3 e spesso ricchi di acidi grassi omega-6, creando uno squilibrio tra n-6 e n-3 PUFA. Tuttavia, la riduzione degli omega-3 nei mangimi ha avuto un impatto sulla qualità nutrizionale del pesce allevato, e quindi sui benefici per la salute dei consumatori umani. Inoltre, anche gli stessi pesci allevati hanno subito conseguenze in termini di salute in quanto come questi acidi grassi sono essenziali per l'uomo lo sono anche per i

FIGURA 5 - QUANTITÀ DI ACIDI GRASSI OMEGA-3 A LUNGA CATENA (N-3 LC-PUFA) PRESENTI NELLA CARNE DI SALMONE, ESPRESSA IN GRAMMI PER 100 GRAMMI DI CARNE, SIA PER SALMONE ALLEVATO ("FARMED") CHE PER SALMONE SELVATICO ("WILD").



pesci.

⇒ Dal grafico (Sprague, Dick, & Tocher, 2016) si evince che: - La quantità di n-3 LC-PUFA nel salmone allevato diminuisce costantemente dal 2006 al

2015. Questa riduzione può essere attribuita all'uso crescente di oli vegetali privi di omega-3 nei mangimi per i pesci allevati; - Anche se il salmone allevato mostra livelli più alti di omega-3 rispetto alle specie selvatiche, i valori del 2015 si avvicinano sempre di più a quelli del salmone selvatico. Questo indica che la qualità nutrizionale del salmone allevato, in termini di contenuto di omega-3, sta diminuendo con il passare del tempo.

Limofish

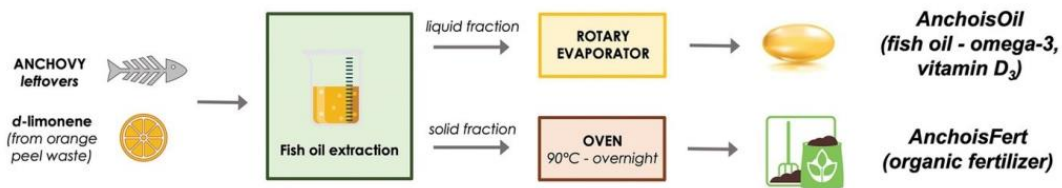
Questo studio (Daniela Maria Pizzone) è stato realizzato presso laboratori di ricerca in Sicilia, che hanno utilizzato scarti di filetti di acciughe forniti da un'azienda della città siciliana di Sciacca. Lo studio in questione fa parte di una ricerca più ampia incentrata sullo sviluppo di tecniche di economia circolare applicate agli scarti di pesce. Questo studio si basa sulla ricerca di un metodo che sia in grado di produrre olio di acciuga utilizzando scarti della lavorazione dei filetti di acciuga. Per fare ciò i ricercatori hanno utilizzato il d-limonene, solvente che si ottiene tramite una tecnologia di estrazione, la spremitura a freddo, utile per separare l'olio dagli scarti in modo più ecologico rispetto ai solventi tradizionali. Il processo mira a eliminare il carico ambientale dei rifiuti ittici, preservando e trasformando le risorse biologiche in prodotti di valore che possono essere venduti in diversi mercati.

Il metodo sperimentale consiste nel tritare i resti di acciuga congelati con d-limonene refrigerato, creando una purea semisolida. Questa miscela viene poi lasciata a temperatura ambiente e agitata per circa 21 ore. Dopo l'estrazione, la fase liquida viene separata e trattata in un evaporatore rotante a vuoto per rimuovere il limonene e ottenere l'olio di acciuga puro, che si presenta di colore arancione e con un odore delicato. La fase solida residua, composta principalmente da proteine, fibre, minerali e altre sostanze non lipidiche, può avere diversi destini in base al tipo di processo di valorizzazione adottato: produzione di farine di pesce utili nell'alimentazione animale (acquacultura), fertilizzanti organici...

L'olio ricavato infine presenta diversi tipi di acidi grassi (acido palmitico, oleico, DHA...). L'analisi mostra che il rapporto omega-3/omega-6 è particolarmente elevato (10,04), indice di un olio ricco di nutrienti antinfiammatori. Dopo il

successo con le acciughe europee (*Engraulis encrasicolus*), questo metodo potrebbe essere esteso ad altri tipi di scarti di pesce a livello mondiale, come l'acciuga peruviana, giapponese e africana, che rappresentano un'importante risorsa a livello globale, con milioni di tonnellate disponibili ogni anno.

FIGURA 6 - PROCESSO LIMO FISH DI PRODUZIONE DI ANCHOIS OIL DA SCARTI DI ACCIUGHE



Il riciclo, metodo che si limita a massimizzare l'efficienza delle risorse esistenti, che sono comunque di origine marina e quindi limitate, non può essere una soluzione definitiva, dato che la domanda di EPA e DHA continuerà ad aumentare con la crescita della popolazione. Per soddisfare la crescente domanda, non è sufficiente raccogliere o riciclare EPA e DHA esistenti: è necessario generare nuovi EPA e DHA, attraverso fonti totalmente nuove che riducano la pressione sulle risorse marine tradizionali.

Fonti alternative

Le microalghe sono una delle principali fonti innovative per la produzione di DHA e, in alcuni casi, anche di EPA. Attualmente, la maggior parte dei prodotti a base di microalghe deriva da specie come *Schizochytrium* (una specie di *Thraustochytrid*). Questi organismi possono essere coltivati tramite fermentazione eterotrofa: non utilizzano la fotosintesi, ma crescono grazie a sostanze nutritive in ambienti chiusi (Joint Research Centre, s.d.). Un limite comune delle specie di microalghe utilizzate è che producono principalmente DHA, mentre EPA è assente o presente in quantità molto basse. Tuttavia, Veramaris ha sviluppato una varietà di *Schizochytrium* che produce sia DHA che EPA. Questo prodotto è venduto sotto forma di olio, il che ne facilita l'uso nei mangimi per l'acquacoltura, permettendo

una sostituzione diretta degli oli tradizionali (miscele di oli di pesce e vegetali) usati nei mangimi (Santigosa, Verlhac-Trichet, Olsen, & Figueredo-Silva, 2018). Un'altra fonte di EPA è il lievito *Yarrowia lipolytica*, utilizzato come biomassa (fonte di energia), anch'esso con un contenuto lipidico del 50% circa. Questo lievito è stato utilizzato con successo nei mangimi per salmoni atlantici (*Salmo salar*) (Hatlen, Berge, Odom, Mundheim, & Ruyter, 2012), offrendo un'alternativa al tradizionale olio di pesce. Le colture oleaginose GM, come la canola e la camelina geneticamente modificate, rappresentano un'altra fonte emergente. I prodotti a base di queste piante geneticamente modificate sono oli puri, e hanno quindi il vantaggio di poter essere utilizzati direttamente nei mangimi come sostituti degli oli tradizionali (Salunkhe, Adsule, Chavan, & Kadam, 1992). Un altro vantaggio importante è che la produzione su larga scala è facilitata dalla presenza di una filiera già consolidata. Grazie a queste fonti alternative sembra ragionevole affermare che l'acquacoltura possa trasformarsi in un produttore netto di acidi grassi polinsaturi omega-3 (n-3 LC-PUFA) salutari e svolgere un ruolo nella conservazione delle popolazioni ittiche selvatiche in futuro.

Il futuro utilizzo delle nuove fonti di EPA e DHA sarà determinato non solo dalle loro caratteristiche intrinseche (composizione chimica e biologica), ma anche da fattori socioeconomici, politici e di mercato. I prodotti derivati da microalghe hanno costi di produzione relativamente alti, il che potrebbe riflettersi in un prezzo finale più elevato. Questo potrebbe limitarne l'adozione su larga scala, inoltre, gli oli derivati da organismi geneticamente modificati (GM) possono incontrare resistenza da parte dei consumatori, specialmente in Paesi come quelli dell'Unione Europea, dove l'accettazione dei prodotti GM è spesso resa non possibile per questioni culturali. Si prevede perciò che l'acquacoltura rimanga il principale settore di utilizzo per queste nuove fonti di EPA e DHA.

Alimenti arricchiti di omega 3

Negli ultimi anni, la crescente attenzione verso un'alimentazione ricca di nutrienti essenziali ha portato allo sviluppo di alimenti arricchiti con acidi grassi omega-3,

destinati a quei consumatori che non assumono quantità sufficienti di omega-3 attraverso il pesce. Tuttavia, sebbene tali alimenti possano offrire benefici per la salute, la loro produzione non è priva di impatti ambientali. Uno studio recente (María Belen Salazar T a) ha analizzato il ciclo di vita (LCA) di due comuni fonti di omega-3 nella dieta americana, il salmone atlantico allevato e le uova arricchite con omega-3, con l'obiettivo di confrontare le loro prestazioni ambientali complessive e valutare l'impatto di un aumento dell'assunzione di omega-3 per raggiungere i livelli raccomandati. Lo studio ha esaminato l'intero ciclo di vita di questi alimenti, dalle fasi di produzione del mangime e allevamento, fino al consumo e smaltimento finale, offrendo una panoramica completa degli impatti ambientali associati.

Lo studio ha definito come unità di misura la quantità di cibo necessaria per fornire 300 mg di acidi grassi omega-3, il valore giornaliero raccomandato dal USDA per prevenire le malattie cardiache:

- ⇒ Salmone: porzione di 85 grammi (3 once) di salmone atlantico contiene fino a 1825 mg di omega-3 preformati. Quindi, per raggiungere i 300 mg, sono sufficienti circa 14 grammi di salmone, corrispondenti a due porzioni settimanali raccomandate per la protezione cardiaca dall'American Heart Association (AHA) (Krauss, 2000).
- ⇒ Uovo arricchito con omega-3: contiene circa 95,5 mg di omega-3. Per raggiungere i 300 mg raccomandati, sono necessarie circa tre uova medie, equivalenti a 157 grammi (Lemahieu, 2015).

Viene poi fatta un'analisi dettagliata dell'impatto ambientale associato alla produzione, lavorazione, trasporto e consumo dei due prodotti:

- ⇒ Salmone: Il mangime per salmone è stato formulato con ingredienti convenzionali (non biologici), tra cui colture agricole, prodotti avicoli e derivati del pesce (ingredienti di origine agricola sono stati considerati fattori come utilizzo del suolo, irrigazione, fertilizzanti ed elettricità per le attività agricole). Per le attività di allevamento in Cile (come l'alimentazione e il trasporto interno in allevamento) è stato usato un inventario medio delle operazioni. La lavorazione del salmone include solo operazioni minime:

raccolta, sfilettatura, raffreddamento e confezionamento. Il salmone viene poi trasportato via nave e camion dagli impianti cileni fino agli Stati Uniti, utilizzando refrigeranti specifici e un trasporto su lunga distanza. A livello di vendita al dettaglio, il prodotto viene refrigerato per 4 giorni, con stime di consumo energetico per le vetrine e perdite di refrigerante. Dopo l'acquisto, il salmone è conservato in frigorifero domestico e preparato su una stufa elettrica. Infine, gli scarti di confezionamento vengono trasportati e smaltiti in discarica. Questo ciclo di vita complessivo mette in luce il consumo di risorse e le emissioni lungo la filiera, evidenziando gli aspetti ambientali del consumo di salmone allevato.

- ⇒ Per la produzione delle uova arricchite di n-3 sono stati seguiti i metodi convenzionali di allevamento di polli da tre stadi (riproduttori, giovani pulcini e ovaiole). Il mangime per ovaiole è stato arricchito con olio di pesce, in particolare olio di menhaden. Il contenuto di olio di pesce nella dieta delle ovaiole era dello 0,5% (Gonzalez-Esquerro, 2000), mantenendo il livello al di sotto della soglia massima dell'1,5% per evitare alterazioni nel sapore delle uova. Questo arricchimento garantiva circa 95 mg di omega-3 (EPA e DHA) per uovo. Gli impatti ambientali del ciclo di vita dell'uovo arricchito sono stati stimati utilizzando dati aggregati, che includono l'energia e le risorse impiegate per la crescita delle ovaiole e le emissioni generate dal letame. Le uova venivano confezionate in scatole di polistirolo, refrigerate per 24 ore e successivamente trasportate per 132 km fino ai punti vendita, dove venivano esposte in frigoriferi per 4 giorni. Anche il trasporto dei consumatori verso casa è stato preso in considerazione, con un'analisi della distanza media di 6,8 km. A casa, le uova venivano conservate in frigorifero per circa 2 giorni e cotte su un fornello elettrico per 3 minuti. Gli scarti organici, come i gusci d'uovo, e i rifiuti di imballaggio venivano smaltiti in discarica.

Infine, la valutazione è si è basata su impatti a livello di "midpoint":

- ⇒ Midpoint: impatti intermedi sull'ambiente: -acidificazione terrestre (emissioni acide sul suolo) – eutrofizzazione acque dolci (eccessivo apporto di nutrienti nelle acque) -potenziale di riscaldamento globale (GWP, misura impatto delle emissioni di gas serra).

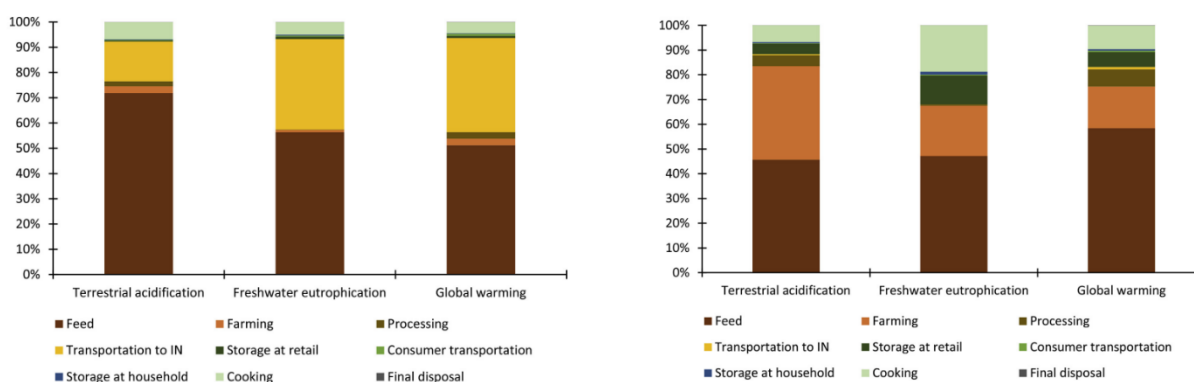
FIGURA 7 - CONFRONTO DEGLI IMPATTI AMBIENTALI TRA IL SALMONE E LE UOVA ARRICCHITE DI OMEGA-3 (N-3 EGG) IN BASE A TRE CATEGORIE DI IMPATTO.

Impact category	Unit	FU ^a		Mass basis (1 g)	
		Salmon	n-3 egg	Salmon	n-3 egg
Acidification	kg SO ₂ eq	4.55×10^{-4}	2.96×10^{-3}	3.25×10^{-5}	1.88×10^{-5}
Eutrophication	kg P eq	1.63×10^{-5}	9.79×10^{-5}	1.16×10^{-6}	6.24×10^{-7}
Global warming	kg CO ₂ eq	5.71×10^{-2}	3.82×10^{-1}	4.08×10^{-3}	2.43×10^{-3}

^a FU: daily intake of 300 mg n-3 FA, fulfilled by 14 g of salmon or 157 g of n-3 eggs.

⇒ Su base di massa, il salmone risulta meno ecologico rispetto alle uova arricchite. Tuttavia, considerando la unità funzionale (cioè, la quantità di cibo necessaria a fornire 300 mg di omega-3), le uova mostrano impatti ambientali 6 volte superiori rispetto al salmone. In termini di efficienza ambientale, perciò, il salmone risulta una scelta con impatti minori rispetto alle uova arricchite.

FIGURA 8 - IMPATTI MIDPOINTS ASSOCIATI A DIVERSE FASI DEL CICLO VITALE DI SALMONE E PRODUZIONE DI UOVA N-3



⇒ Produzione del mangime: è la fase con il maggior impatto ambientale in entrambi i cicli di vita. Le emissioni prodotte direttamente in allevamento

sono maggiori nelle uova a causa del consumo di elettricità per mantenere la temperatura e delle emissioni del letame delle galline. La lunga distanza di trasporto del salmone dal Cile contribuisce in modo significativo al GWP. Nel sistema delle uova, l'uso di polistirene (PS) per l'imballaggio ha un impatto maggiore rispetto al salmone.

FIGURA 9 - CONFRONTO DEGLI IMPATTI MIDPOINTS TRA UOVA N-3 ARRICCHITE CON OLIO DI PESCE O SEMI DI LINO.

Impact category	Unit	Fish oil (FU = 157 g of eggs)	Flaxseeds (FU = 454 g of eggs)
Acidification	kg SO ₂ eq	2.96×10^{-3}	1.57×10^{-2}
Eutrophication	kg P eq	9.79×10^{-5}	9.38×10^{-4}
Global warming	kg CO ₂ eq	3.82×10^{-1}	2.39×10^{-1}

Il testo inoltre discute gli effetti della sostituzione dei semi di lino estrusi all'olio di pesce come fonte di integratori di acidi grassi n-3 nella produzione di uova arricchite con n-3. Quando si utilizza un mangime arricchito con semi di lino, si osserva un aumento degli impatti ambientali. Questo incremento degli impatti è attribuito a: 1) maggiori richieste ambientali legati alla produzione dei semi di lino → uno studio condotto da (Pelletier, 2009) Pelletier et al. (2009) ha concluso che, per ottenere una dieta sostenibile e nutriente per gli animali, è fondamentale considerare non solo la fonte degli ingredienti, ma anche l'impatto ambientale della loro produzione. Pertanto, gli ingredienti a base di pesce possono essere preferibili rispetto a quelli vegetali in determinati contesti, specialmente per garantire una sufficiente assunzione di omega-3.

2) le galline ovaiole non hanno grande capacità di convertire l'ALA in DHA. Secondo uno studio condotto da (Lemahieu C. B.-V., 2015) questo ha portato ad un'inefficienza che ha causato un aumento dell'unità funzionale (FU) di quasi tre volte.

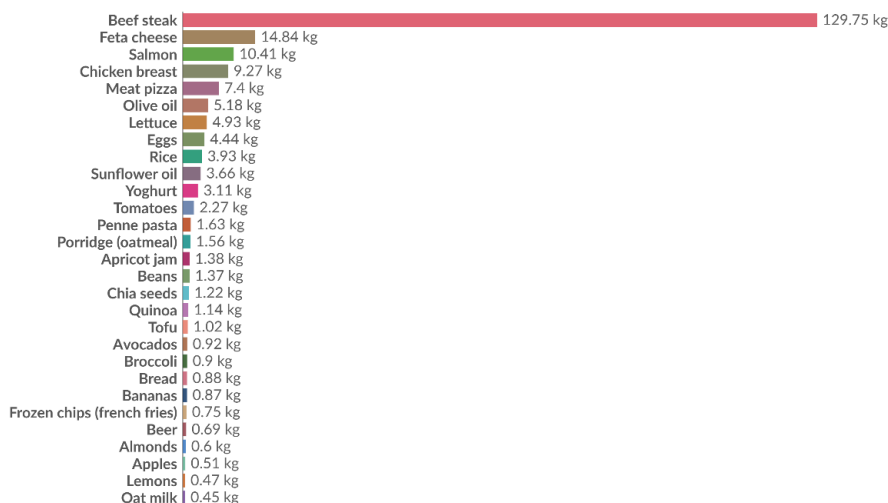
Calcolo dell'Impatto Ambientale in Funzione del Contenuto di Omega 3 nelle Diete

FIGURA 10 - GHGE IN KG CO2 EQ EMESSI NELLA PRODUZIONE 1 KG DI ALIMENTO

Greenhouse gas emissions per kilogram of food



Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.



Data source: Michael Clark et al (2022). Estimating the environmental impacts of 57,000 food products. PNAS.

CC BY

Questo grafico mostra l'impatto ambientale in termini di emissioni di CO₂ per ogni chilo di alimento. È una misura dell'impatto ecologico legato alla produzione, al trasporto e alla distribuzione dell'alimento. I valori di emissione di gas serra (espressi come CO₂ equivalente emessa per kg di alimento) sono stati ricavati da -Michael Clark et al (2022)). Estimating the environmental impacts of 57,000 food products. PNAS e da -AGRIBALYSE® che è il più completo database pubblico francese di indicatori ambientali per i prodotti agricoli e alimentari basato sull'analisi del ciclo di vita. Questa prima tabella ci permette di visualizzare in maniera chiara quali produzioni emettono più CO₂ e perciò identificare quali alimenti sono più sostenibili. Si nota subito che le produzioni animali rilasciano molta CO₂ per kg di alimento rispetto alle fonti vegetali.

TABELLA 1 - TABELLA CHE MOSTRA LA QUANTITÀ DI OMEGA-3 PER OGNI 100 G DI ALIMENTO E IL COSTO IN TERMINI DI CO₂ PER OTTENERE UN GRAMMO DI OMEGA-3 DALL'ALIMENTO

ALIMENTO	G OMEGA3/100 G	KG CO2/G OMEGA 3
BEEF STEAK	0,040	324
SALMON	1,723	0,6
CHICKEN BREAST	0,030	30,9
RICE	0,013	4,52
EGGS	0,035	12,68
QUINOA	0,085	1,34
CHIA SEEDS	17,830	0,007
TOFU	0,582	0,175
BROCCOLI	0,063	1,43
ALMONDS	0,003	20
OLIVE OIL	0,761	0,681

La tabella offre una panoramica sulla quantità di omega-3 per 100 grammi di vari alimenti e sul loro impatto ambientale in termini di emissioni di CO₂ per grammo di omega-3. I dati sono stati ricavati principalmente da U.S. Department of Agriculture (USDA). L'USDA è una delle fonti più affidabili a livello internazionale per le informazioni nutrizionali sugli alimenti.

La prima colonna mostra la concentrazione di omega-3 per 100 grammi di alimento. I semi di chia, si distinguono come la fonte più ricca di omega-3, con 17,83 g di omega-3 per 100 g di prodotto. Questo li rende una fonte eccezionale di omega-3 (ALA). Il salmone ha un contenuto di 1,723 g di omega-3 per 100 g, il che lo rende una delle fonti animali principali di omega-3, specificamente delle forme EPA e DHA, che sono altamente biodisponibili. Anche se non ai livelli dei semi di chia o del salmone, sia l'olio d'oliva (0,761 g/100 g) che il tofu (0,582 g/100 g) offrono una discreta quantità di omega-3. Sono buone alternative, soprattutto in diete vegetali. Broccoli, quinoa, uova e carne di pollo contengono omega-3, ma in quantità relativamente basse.

La seconda colonna fornisce dati sulle emissioni di CO₂ per grammo di omega-3 contenuto in ciascun alimento, e qui emergono importanti considerazioni di sostenibilità. La bistecca di manzo ha il valore più alto, con 324 kg di CO₂ per grammo di omega-3. Ciò significa che, nonostante il basso contenuto di omega-3, la produzione di manzo è altamente impattante, soprattutto se considerata in termini di emissioni per unità di omega-3 ottenuta. Salmone e semi di chia

risultano molto efficienti per chi consuma prodotti animali o segue diete vegetali e che cerca di essere sostenibile e allo stesso tempo consumare un giusto quantitativo di omega 3.

È comunque fondamentale il concetto di nutrient density (densità di nutrienti) per capire quanto un alimento sia “nutritivo” in senso globale. È preferibile un alimento che offre un alto quantitativo di nutrienti per un basso impatto ambientale rispetto a uno che contribuisce a poche componenti nutritive ma ha un’alta impronta ecologica. La bistecca di manzo può avere un basso contenuto di omega-3 rispetto all’impatto ambientale per grammo di questo nutriente, ma è importante considerare il quadro nutrizionale complessivo dell’alimento. La carne rosse fornisce una serie di micronutrienti essenziali come ferro eme, zinco, vitamina B12 e altre vitamine del gruppo B, che sono cruciali per funzioni fisiologiche fondamentali per l’uomo. È fondamentale, perciò, sempre capire la densità nutrizionale globale in relazione all’impatto ambientale trovando un equilibrio che soddisfi le esigenze di salute che quelle di sostenibilità. Anche se il salmone come vediamo ha un rapporto impatto/apporto omega 3 basso, ha comunque un costo ecologico maggiore rispetto a pesci di livello trofico inferiore come le sardine. Il salmone essendo un pesce predatore occupa un livello trofico medio alto e si nutre di pesci come aringhe e sardine che a loro volta si nutrono di plancton e alghe (alimento alla base della produzione di EPA e DHA negli ambienti marini). Poiché ogni livello della catena alimentare comporta una perdita di energia il salmone non risulta uno dei pesci migliori come fonte di omega 3.

TABELLA 2 - SINTESI DEGLI IMPATTI AMBIENTALI E DEL CONTENUTO DI OMEGA-3 DI QUATTRO DIVERSI TIPI DI DIETE BASATE SU UN APPORTO CALORICO GIORNALIERO DI 2000 KCAL

DIETA (2000kcal)	CO2 EMESSA (g)	OMEGA 3 eq (g)	G CO2/G OMEGA 3
VEGETARIANA	3653	3,00	1239
VEGANA	2529	3,42	756
ONNIVORA	5882	4,13	1425
OCCIDENTALE ¹	23216	1.01	23036

¹ Regime alimentare tipico dei paesi industrializzati, caratterizzato da un’elevata quantità di alimenti processati, cibi pronti, fast food e bevande zuccherate. Dieta ricca di carne rossa, latticini ad alto contenuto di grassi e oli vegetali processati, tutti alimenti con pochi o nessun omega-3 ma con elevate quantità di omega-6.

- ⇒ La dieta vegetariana è considerata relativamente sostenibile, con basse emissioni di CO₂. Rispetto alla dieta vegana fornisce una quantità di omega 3 inferiore ma comunque abbastanza rispetto alle linee guida per una sana alimentazione che dicono di consumare 1-2 g di ALA al giorno per consentire un'adeguata assunzione di omega 3. Tuttavia, poiché gli omega 3 possono derivare anche da fonti non vegetali come uova e latticini, la dieta vegetariana potrebbe offrire una biodisponibilità di questi acidi grassi maggiore rispetto a quella vegana, che si basa esclusivamente su fonti vegetali. Infatti, le uova e i latticini (soprattutto se arricchiti con omega-3) possono contenere piccole quantità di EPA e DHA, le forme di omega-3 più attive biologicamente, che non si trovano nelle fonti vegetali. Pertanto, la dieta vegetariana potrebbe fornire un apporto di omega-3 "pronto all'uso" leggermente superiore.
- ⇒ La dieta vegana ha un impatto ambientale basso con un valore leggermente migliore (756 g CO₂/g di omega-3). Questo dato può essere spiegato considerando che le persone vegane spesso includono nella loro alimentazione un numero maggiore di semi e oli ricchi di omega-3, come i semi di chia, di lino e l'olio di lino. Inoltre, i vegani tendono a essere generalmente ben informati sugli aspetti nutrizionali, e quindi prestano attenzione a integrare alimenti ricchi di omega-3.
- ⇒ La dieta onnivora ha un impatto ambientale maggiore rispetto alle diete vegetariane e vegane. Tuttavia, fornisce una quantità di omega-3 più elevata, grazie alla presenza di pesce (come il salmone) e prodotti animali, che contengono EPA e DHA, forme di omega-3 più facilmente utilizzabili dall'organismo. Se però il quantitativo di carne rossa consumato è alto, questa dieta comporta un impatto ambientale maggiore rispetto alle diete base vegetale, con emissioni di CO₂ più elevate e un utilizzo più intensivo delle risorse naturali.
- ⇒ La dieta occidentale ha il maggiore impatto ambientale, con emissioni di CO₂ molto elevate. Inoltre, fornisce una quantità di omega-3 relativamente

bassa rispetto ai 1-2g consigliati dalle linee guida di ALA, nonostante includa alimenti di origine animale. Il basso quantitativo di omega 3 è principalmente causato dalle abitudini alimentari che favoriscono il consumo di carne, latticini e alimenti processati, a scapito di pesce, semi oleosi e altre fonti vegetali ricche di questi acidi grassi essenziali. Questo consumo elevato di prodotti ad alto impatto, oltre a comportare appunto l'aumento di CO₂ nell'ambiente porta anche a uno squilibrio di tra l'omega 6 e omega 3 riducendo l'efficacia di quest'ultimi.

Come già detto sopra, sebbene le diete vegane e vegetariane sembrano coprire ampiamente il fabbisogno di omega-3 in termini quantitativi, la qualità di questi omega-3 e la loro effettiva utilizzabilità da parte dell'organismo differisce rispetto alle diete che includono fonti animali. Questa distinzione è cruciale per interpretare correttamente i dati della tabella e per valutare il reale apporto di omega-3 di ciascun regime alimentare in un contesto di salute e benessere generale.

TABELLA 3 - CONFRONTO L'IMPATTO AMBIENTALE E IL CONTENUTO DI NUTRIENTI DI DIVERSE DIETE IN TERMINI DI EMISSIONI DI CO₂ PER GRAMMO DI OMEGA-3 TOTALE E PER GRAMMO DI EPA/DHA

DIETA	CO2 EMESSA (g)	OMEGA 3 EQ (g)	EPA DHA (g)	G CO2/G OMEGA 3	G CO2/G EPA E DHA
VEGETARIANA	3653	3,00	0,15	1239	20294
VEGANA	2529	3,42	0,17	756	12337
ONNIVORA	5882	4,13	2,4	1425	4206
OCCIDENTALE	23216	1.01	0,05	23036	387187

Attraverso diversi studi si è riusciti a capire la reale capacità del corpo umano di convertire l'ALA in EPA e DHA. Il principale studio (Burdge & Calder, 2005) ha

evidenziato che la conversione di ALA in EPA varia tra l'1% e il 10%, ma di solito si aggira attorno al 5-8% invece quella in DHA è ancora più bassa, in genere inferiore allo 0,5% e fino a circa 4%, ma spesso si attesta intorno all'1%. È così che si possono utilizzare i dati della tabella per stimare il quantitativo di EPA e DHA effettivamente disponibile a partire dagli omega-3 presenti nelle diete vegane e vegetariane costituite per lo più da ALA (piccolissime tracce di EPA e DHA possono trovarsi negli alimenti vegetali). Avremo perciò che dei 3g della dieta vegetariana solo circa 0,15 g (5% di 3 g) si convertirà in EPA e di questo solo l'1% di 0,15g si trasformerà in DHA invece per la vegana avremo 0,17g di EPA e 0,002g di DHA. Questi dati evidenziano come il quantitativo di EPA e DHA derivante dal consumo di ALA nelle diete vegane e vegetariane risulti molto più basso rispetto all'apporto di ALA totale. Nonostante l'assunzione complessiva di omega-3 sembri adeguata, la bassa conversione di ALA in EPA e DHA comporta che i livelli di questi acidi grassi essenziali restino al di sotto delle raccomandazioni nutrizionali di 250-500 mg al giorno. Con un apporto di circa 150-180 mg, inferiore alle linee guida, è quindi consigliato considerare l'integrazione di EPA e DHA per chi segue diete vegane e vegetariane.

Un'altra considerazione da fare è che una persona vegana o vegetariana deve consumare una quantità significativamente più alta di alimenti ricchi di ALA per raggiungere lo stesso livello di EPA e DHA che una persona onnivora. È per questo che è importante considerare che diete vegane e vegetariane, quindi, hanno un consumo di risorse più elevato per fornire lo stesso livello di EPA e DHA rispetto a una dieta onnivora con una fonte concentrata come il pesce. È stato calcolato tuttavia anche il quantitativo di EPA e DHA della dieta onnivora (usata nel caso studio) attraverso dati scientifici affidabili (U.S Department of agriculture) che forniscono i contenuti specifici di EPA e DHA nelle fonti animali più comuni, come il salmone, il pollo e il latte². I risultati ottenuti dalla conversione di ALA in EPA e DHA degli alimenti vegetali e animali che componevano la dieta onnivora è pari a un totale di 2400 mg di EPA e DHA.

² Sebbene non tutti gli alimenti di origine animale dispongano di dati precisi, queste fonti comuni hanno permesso di ottenere una stima rappresentativa

Le diete vegane e vegetariane (senza considerare la conversione in EPA e DHA) producono una quantità inferiore di CO₂ per grammo di omega-3 totale (colonna "G CO₂/G OMEGA 3") rispetto alla dieta onnivora e occidentale. Questo significa che per produrre una certa quantità di omega-3 totali, le diete vegane e vegetariane sono più efficienti. Tuttavia, quando si osserva l'emissione di CO₂ per grammo di EPA e DHA (colonna "G CO₂/G EPA E DHA"), i valori aumentano notevolmente nelle diete vegane e vegetariane. Questo aumento indica che, per ottenere quantità comparabili di EPA e DHA (gli omega-3 biologicamente attivi), queste diete richiedono una maggiore produzione di CO₂ rispetto alla dieta onnivora. Nella dieta onnivora, invece, l'aumento è meno marcato, poiché include fonti dirette di EPA e DHA (come il pesce), risultando in un rapporto di CO₂ relativamente più basso rispetto alle diete a base vegetale. La dieta occidentale, con un'impronta di 23036 g CO₂/g per omega-3 totali e 387187 g CO₂/g per EPA e DHA, è la meno efficiente in assoluto. Ciò è dovuto a un consumo maggiore di alimenti ad alto impatto ambientale e basso contenuto di omega-3 biodisponibili.

Conclusioni

In conclusione, questa tesi ha esaminato e confrontato l'impatto degli acidi grassi omega-3 nelle principali diete contemporanee. L'analisi iniziale, che ha spiegato cosa sono gli omega-3, i loro benefici per la salute e il loro impatto ambientale, ha fornito le basi necessarie per comprendere la parte sperimentale della tesi. Lo studio mette in evidenza come il quantitativo di EPA e DHA sia fondamentale per l'organismo umano e come la loro disponibilità vari notevolmente tra le diverse diete. Per calcolare i livelli di EPA e DHA nelle varie diete e il loro impatto ambientale, è stato essenziale utilizzare un elaboratore di diete in Excel. Questo strumento ha consentito di quantificare con precisione l'impatto di ogni alimento e il contenuto di omega-3, in base ai grammi consumati per ciascuna dieta, fornendo così una base solida per le comparazioni finali. Si è capito che la dieta onnivora, grazie all'assunzione diretta di EPA e DHA principalmente attraverso il consumo di pesce, consente un apporto sufficiente di omega-3 attivi senza richiedere la conversione dell'ALA, caratteristica delle diete vegetali. Attraverso il calcolo della quantità di acidi grassi biologicamente attivi nelle diverse diete,

inoltre, si è potuto capire che le diete vegane e vegetariane (a pari kcal assunte) presentano un impatto ambientale maggiore, dovendo compensare l'assenza di EPA e DHA con elevate quantità di ALA e con conseguente uso intensivo di risorse agricole per raggiungere livelli comparabili alla dieta onnivora. In un'ottica di sostenibilità e salute, la scelta di fonti alimentari contenenti EPA e DHA già biodisponibili, come il pesce, può risultare vantaggiosa sia per l'individuo che per l'ambiente, suggerendo una riflessione più approfondita sulle reali implicazioni ambientali delle diverse pratiche alimentari.

Bibliografia

- (FAO), F. a. (2016). Contributing to Food Security and Nutrition for All.
- A. Shepon, T. M. (2022).
- Abd El-Nasser Ahmed Mohammed¹ *, M. A.-S.-W.-S. (s.d.). Effects of Dietary Omega-3 Fatty Acids on Reproductive Performance and Biochemical Parameters of Lactating Cows in Arid Subtropics .
- Afaf Kamal-Eldin is Associate Professor at the Division of Plant Product Sciences, D. o. (s.d.).
- Appel LJ, M. E. (1993). Does supplementation with fish oil reduce blood pressure? A meta-analysis of controlled clinical trial. .
- Barroeta. (2004).
- Burdge, G. C. (2002). Conversion of a alfa-linolenic acid to eicosapentaenoic, docosapentaenoic, and docosahexaenoic acids in young women. *American Journal of Clinical Nutrition* , 679-688.
- Carrillo-Gómez, G. C.-V.-H.-B. (2017).
- Carrillo-Gómez, G.-C. M.-V.-H. (2017).
- Cladis, K. F. (2014).
- Colombo, S. M. (2020). Projected declines in global DHA availability for human.
- Corliss. (2015).
- Daniela Maria Pizzone, G. A. (s.d.). The Limofish Circular Economy Process for the Marine Bioeconomy.

- Davis BC, K.-E. P. (2003). Achieving optimal essential fatty acid status in vegetarians: current knowledge and practical implications. 640S-646S.
- Gonzalez-Esquerria, R. L. (2000). Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs.
- Goyens, P. L. (2006). Conversion of α -linolenic acid in humans is influenced by the absolute amounts of α -linolenic acid and linoleic acid in the diet. *The American Journal of Clinical Nutrition*.
- Hixson, S. M. (2016). Climate warming is predicted to reduce omega-3,. *Global Change Biology*.
- Holm T, A. A. (2001). Omega-3 fatty acids improve blood pressure control and preserve renal function in hypertensive heart transplant recipients. 428-436.
- https://www.veramaris.com/files/assets/downloads/publications/Imagebr_Veramaris_04-2018.pdf (accessed on 30 October 2018). (s.d.).
- Kaikaus RM, C. W. (1993). Induction of peroxisomal fatty acid β -oxidation and liver fatty acid-binding protein by peroxisome proliferates. *J Biol Chem* . 9593-9603.
- Krauss, R. E.-E. (2000).
- Lemahieu, C. B. (2015). Impact of different omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) sources (flaxseed, Isochrysis galbana, fish oil and DHA Gold) on n-3 LC-PUFA enrichment (efficiency) .
- Lemahieu, C. B.-V. (2015). Impact of different omega-3 fatty acid sources on egg quality and the deposition of omega-3 fatty acids in egg yolk and body tissues of the laying hen.
- Lj. Sretenović, V. P. (s.d.). IMPORTANCE OF UTILIZATION OF OMEGA-3 FATTY ACIDS IN HUMAN AND ANIMAL NUTRITION.
- Maral Bishekolaei a, Y. P. (s.d.). *Influence of omega n-6/n-3 ratio on cardiovascular disease and nutritional interventions*. Tratto da <https://pdf.sciencedirectassets.com/>.
- María Belen Salazar T a, H. C.-Y. (s.d.). Defining nutritionally and environmentally healthy dietary choices of omega-3 fatty acids.
- Morrissey, O. &. (2007).
- N Li, H. Y. (2019). *Effect of low-ratio n-6/n-3 PUFA on blood glucose: a meta-analysis*. Tratto da <https://doi.org/10.1039/ c9fo00323a>.
- Otterbach, D. H. (2014). Energía y calentamiento global: ¿Cómo asegurar la supervivencia de la humanidad?
- Peet M, B. J. (s.d.). *Two double-blind placebo-controlled pilot studies of eicosapentaenoic acid in the treatment of schizophrenia*.

- Pelletier, N. T. (2009). Comparative life cycle assessment of the use of fish oil and flaxseed oil in the production of n-3 fatty acids in eggs and fish.
- R. Ciriminna, F. M. (2017).
- Rosell MS, L.-W. Z. (2005). Long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids in plasma in British meat-eating, vegetarian, and vegan men. 327-334.
- Santigosa, E., Verlhac-Trichet, V., Olsen, R., & Figueredo-Silva, C. .. (2018). A microalgal oil containing EPA+DHA can be an effective source of omega 3 for Atlantic salmon post- smolts.
- Shahidi, F. &. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. 4067-4079.
- Simopoulos. (2011).
- Sprague, M., Dick, J., & Tocher, D. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon.
- Surette ME, W. J. (1992). Evidence for mechanisms of the hypotriglyceridemic effect of n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochim Biophys Acta* . 199-205.
- Svaneborg N, M. J. (1994). The acute effects of a single very high dose of n-3 fatty acids on plasma lipids and lipoproteins in Healthy subjects. .
- T. Yamashima, T. O. (2020). Intake of ω -6 polyunsaturated fatty acid-rich vegetable oils and risk of lifestyle diseases, *Adv. Nutr.* .
- Tocher, D. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. .
- Winswood. (2013).
- WS., H. (1989). Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans: a critical review. 785-807.