

Filiera IG e impatti ambientali

FOCUS – GRUPPO
DI RICERCA SETTORE IG



TITOLO DELLA RICERCA

L'impronta di carbonio della Cozza di Scardovari: qualità e sostenibilità



AUTORI

Arianna Martini (a), Riccardo Napolitano (a), Emanuele Rossetti (b), Domitilla Pulcini (a)



ENTI

a. CREA, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria
b. Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine



OBBIETTIVO DELLA RICERCA

Quantificare le performance ambientali della filiera mitilicola della Cozza di Scardovari DOP



FOCUS ANALISI

L'approccio utilizzato è quello del Life Cycle Assessment (LCA), con particolare attenzione ai risultati riguardanti la Carbon Footprint



PRINCIPALI RISULTATI

La Cozza di Scardovari DOP è caratterizzata da una Carbon Footprint bassa, collocando la filiera tra le più virtuose nel settore della produzione di proteine di origine animale



SUGGERIMENTI

Presidiare la Cozza di Scardovari DOP che ha dimostrato di avere impatti positivi sulla biodiversità, l'economia locale e l'ambiente, con particolare attenzione alla gestione della conchiglia, il cui mancato smaltimento provocherebbe la perdita dei vantaggi associati al sequestro di carbonio (carbon sink)

L'impronta di carbonio della Cozza di Scardovari: qualità e sostenibilità

**Arianna Martini^a, Riccardo Napolitano^a, Emanuele Rossetti^a,
Domitilla Pulcinia**

^a CREA-Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di Ricerca Zootecnia e Acquacoltura, Via Salaria 31, 00015 Monterotondo (RM), <https://acquacolturacrea.fish/>

^b Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine – Via della Sacca 11, 45018 Scardovari (RO)

Abstract:

L'allevamento di molluschi bivalvi è una delle principali attività che caratterizzano l'area del Delta del Po. La Cozza di Scardovari DOP è una produzione di grande pregio, che fornisce diversi servizi ecosistemici oltre all'approvvigionamento di cibo dalle ottime qualità nutrizionali. In questo articolo si riportano i risultati di uno studio volto a quantificare le performance ambientali di questa particolare filiera mitilicola. L'approccio utilizzato è quello del *Life Cycle Assessment* (LCA), una metodologia standardizzata (ISO 14040/14044) per la quantificazione dei potenziali impatti ambientali della produzione di un bene o servizio. Si riportano in particolare i risultati riguardanti la *Carbon Footprint*, parametro che quantifica le emissioni potenziali di gas climalteranti. I risultati evidenziano che la produzione della Cozza di Scardovari è caratterizzata da una *Carbon Footprint* bassa, collocando questa filiera tra quelle più virtuose nel settore della produzione di proteine di origine animale.

La molluschicoltura della Sacca di Scardovari

Uno dei fiori all'occhiello della Regione Veneto e dell'area del Delta del Po, è l'allevamento dei molluschi bivalvi, settore che domina l'acquacoltura nella zona. La raccolta del mitilo (*Mytilus galloprovincialis*) in quest'area era già praticata nei primi anni '60, ma è negli anni '70 che il settore si struttura e nascono i primi allevamenti. All'inizio degli anni '80, viene avviato anche l'allevamento della vongola verace filippina (*Ruditapes philippinarum*), specie a più rapida crescita rispetto alla vongola verace autoctona (*Ruditapes decussatus*) [1]. Più recentemente, nell'area del Polesine si è sviluppato l'allevamento dell'ostrica del Pacifico (*Crassostrea gigas*). Il Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine O.P., che opera nella Sacca di Scardovari, è una delle principali realtà italiane per la produzione di molluschi bivalvi e coinvolge 14 cooperative, per un totale di 1.450 operatori del settore, il 48% dei quali sono donne [2].

La Sacca di Scardovari è uno specchio d'acqua costiero, situato nell'area meridionale del Delta del Po, che copre una superficie di circa 3.200 ettari, con una profondità media di 1,5 m [3,4] e rappresenta una delle lagune costiere più produttive d'Italia. I molluschi prodotti dal Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine, sia nella Sacca che in impianti off-shore, rappresentano oltre il 10% (con 8.669 tonnellate prodotte nel 2021, Raccolta dati ai sensi del Reg. CE 762/2008) della produzione italiana (85.354 nel 2021). Le caratteristiche idromorfologiche della Sacca sono ciò che rendono questo ambiente estremamente vocato per la molluschicoltura: l'ambiente lagunare costiero nasce dall'incontro di acqua dolce marina; cordoni sabbiosi proteggono la sacca dall'Adriatico e due bocche consentono gli scambi tra l'ambiente lagunare e quello di mare aperto. La Sacca di Scardovari rappresenta, quindi, un ambiente caratterizzato da salinità, temperatura, idrodinamismo e trofismo peculiari e ideali per l'allevamento di molluschi bivalvi.



FIGURA 1

Le “Cavane” della Sacca di Scardovari, tipiche palafitte all’interno delle quali si svolgono le operazioni di reincalzo delle reste di mitili e pulizia di mitili e vongole; B) una delle piccole imbarcazioni utilizzate dagli allevatori per raggiungere gli impianti di allevamento di mitili (strutture a pali fissi) e vongole (vivai). C) tipica struttura a “pali fissi”, o impianto a riquadro, per l’allevamento della Cozza di Scardovari; D) Particolare di una delle strutture a pali fissi del Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine O.P.

La Cozza D.O.P. e gli altri molluschi allevati

Il Consorzio Cooperative Pescatori del Polesine alleva nella Sacca di Scardovari le tre più importanti specie di bivalvi: il mitilo, la vongola verace filippina e l’ostrica del Pacifico. Negli anni, il consorzio ha ottenuto numerose certificazioni [2]: nel 2022 è stata conferita la certificazione di “Acquacoltura Sostenibile” (Masaf, art. 4, comma 3 D.M. 01/03/2011 n. 4337); nel 2019 quella di IFS (International Food Standard), che garantisce il rispetto dei requisiti di qualità e sicurezza dell’intera filiera. Vongole veraci e mitili hanno ottenuto la Certificazione Biologica, che assicura sostenibilità ed ecocompatibilità della molluschicoltura polesana. Ma il primo riconoscimento ottenuto dal Consorzio, e vero motivo di orgoglio, è stato quello del 2013 di Denominazione di Origine Protetta per la “Cozza di Scardovari” allevata all’interno della Sacca, unico D.O.P. italiano per l’acquacoltura conferito dalla Comunità Europea. La Cozza di Scardovari è tale se rispetta una serie di requisiti morfologici ed organolettici, come descritto nel relativo Disciplinare, che acquisisce solamente se viene allevata all’interno della Sacca e depurata con acqua proveniente dalla Sacca stessa. Questo perché le caratteristiche chimico-fisiche delle acque di questo particolare ambiente lagunare conferiscono proprietà uniche agli organismi che vi si accrescono.

Servizi ecosistemici della molluschicoltura

La molluschicoltura fornisce importanti servizi ecosistemici: di supporto, di approvvigionamento, di regolazione, e culturali. I principali servizi offerti dai molluschi sono stati estesamente descritti da [5], e vengono qui brevemente riassunti.

I servizi di supporto sono quelli su cui si basano tutti gli altri servizi ecosistemici [5]. I molluschi bivalvi sono organismi filtratori che si nutrono del fitoplancton naturalmente presente negli ambienti acquatici. Alimentandosi di specie autotrofe e producendo di conseguenza feci e pseudofeci, i molluschi bivalvi rivestono un ruolo chiave nello stoccaggio e ricircolo dei nutrienti e nell'arricchimento dei sedimenti, favorendo l'incremento di biodiversità dell'infauna [6]. Il contributo dei molluschi bivalvi all'aumento della biodiversità locale è legato anche al fatto che le aggregazioni di molluschi, naturali o derivanti da attività di acquacoltura, forniscono un substrato di adesione e una fonte di alimentazione ad un alto numero di specie a diversi livelli trofici, come ad esempio altri molluschi, ascidie, policheti, crostacei ed echinodermi [6]. Questi ambienti "modellati" dai molluschi permettono di incrementare anche la presenza di altre specie di interesse commerciale, come pesci o altri invertebrati, target della piccola pesca ricreativa, con un importante risvolto economico [7, 8].

I **servizi di approvvigionamento** sono quelli che si basano sui flussi di materia o energia prodotti da un sistema e che possono essere oggetto di un mercato o consumati [5]. La molluschicoltura fornisce cibo, ricco in sostanze nutritive di elevata qualità, come proteine e acidi grassi polinsaturi omega-3 [9,10], e materiale di scarto, che può essere impiegato come fertilizzante o biomateriale, come ad esempio le conchiglie. La Cozza di Scardovari presenta un elevato contenuto proteico (50.5% di proteine sul peso secco) e un contenuto percentuale di acidi grassi che, seppur non molto elevato (12.2% sul peso secco), presenta una elevata percentuale relativa di acidi grassi polinsaturi (19%) (risultati conseguiti nell'ambito del Progetto AQUACULTURE2020).

I **servizi di regolazione** sono quei servizi che portano benefici diretti o indiretti alle attività e ai singoli individui, comunità o popolazioni che vivono a contatto con il sistema in oggetto. I molluschi sono in grado di modificare i cicli biogeochimici filtrando la biomassa microalgale e la sostanza organica nella colonna d'acqua [11]. Attraverso questa strategia alimentare, riescono a sottrarre all'ambiente acquatico grandi quantità di azoto e fosforo, che vengono utilizzate per la crescita della conchiglia e del mollusco. Una parte di questi nutrienti viene poi escreta sotto forma di feci e pseudofeci, che raggiungono il sedimento, lo arricchiscono di sostanze e, creando un ambiente anossico, aumentano il potenziale di denitrificazione da parte di batteri [12]. Attraverso i processi di denitrificazione, i prodotti finali (NO₂ e/o N₂) vengono infine reimmessi in atmosfera e sottratti dall'ambiente acquatico. Questo rende la molluschicoltura un'attività che favorisce la mitigazione di fenomeni di eutrofizzazione [13]. Nonostante questo tema sia ancora ampiamente dibattuto, un altro importante servizio di regolazione offerto dalla molluschicoltura è il sequestro di anidride carbonica, uno tra i principali gas climalteranti. La conchiglia dei molluschi è composta per circa il 95% da carbonato di calcio, il quale si forma attraverso la reazione chimica tra ione idrogenocarbonato (HCO₃⁻, la forma idratata dell'anidride carbonica disciolta in acqua) e ione calcio (Ca²⁺) (Equazione 1).



EQUAZIONE 1

Sebbene la reazione porti ad un rilascio di CO₂, potenzialmente la conchiglia ha la capacità di immagazzinare CO₂ sotto forma di carbonato di calcio (CaCO₃). Inoltre, la CO₂ precipitata nella conchiglia viene definitivamente rimossa dal sistema acquatico al momento della raccolta del prodotto da inviare alla depurazione ed è in una forma chimicamente stabile. Ovviamente, di particolare rilevanza è il destino della conchiglia dopo il consumo.

Infine, i **servizi culturali** sono quelli che nascono dall'interazione tra l'ambiente naturale e la comunità che vi interagisce. I servizi culturali sono benefici non materiali, che possono modificarsi nel tempo attraverso influenze culturali o sociali. Tra i servizi culturali offerti dalla molluschicoltura si possono annoverare la pesca ricreativa, la pesca storica artigianale, l'educazione e il turismo, le festività e le attività simboliche e spirituali. Non si può non citare la Sagra della Cozza di Scardovari, che si tiene generalmente nel mese di maggio, evento cui la comunità partecipa attivamente.

Life Cycle Assessment e impatti ambientali

I servizi ecosistemici associati alle attività di molluschicoltura sono, quindi, molteplici. Un aspetto altrettanto importante da tenere in considerazione è quello relativo alle performance ambientali della produzione dei molluschi bivalvi. Esse risultano infatti essere buone sotto il profilo di emissioni di gas ad effetto serra, di azoto e fosforo (queste ultime emissioni negative), tra le migliori nel vasto panorama della produzione di proteine di origine animale e non [14] (Figura 2). Nonostante questo, in linea con le principali strategie nazionali e internazionali (European Green Deal e la Farm to Fork strategy, Piano Strategico Nazionale per l'Acquacoltura italiana 2021-2027), è importante identificare le maggiori pressioni ambientali associate alla molluschicoltura, al fine di prendere provvedimenti correttivi mirati a migliorarne le performance e a rendere il settore ancora più efficiente e virtuoso.

A questo scopo, nell'ambito dei progetti AQUACULTURE2020 e VALUESHELL, finanziati dalla Direzione Generale della Pesca Marittima e l'Acquacoltura (DG PEMAC) del Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste (Masaf), il Centro di Ricerca Zootecnica ed Acquacoltura del Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA) ha condotto alcuni studi con l'obiettivo specifico di quantificare i costi ambientali associati alle principali filiere di produzione di molluschi bivalvi in Italia. Tra questi, uno studio si è concentrato specificatamente sulla valutazione delle performance ambientali della produzione della Cozza di Scardovari [15].

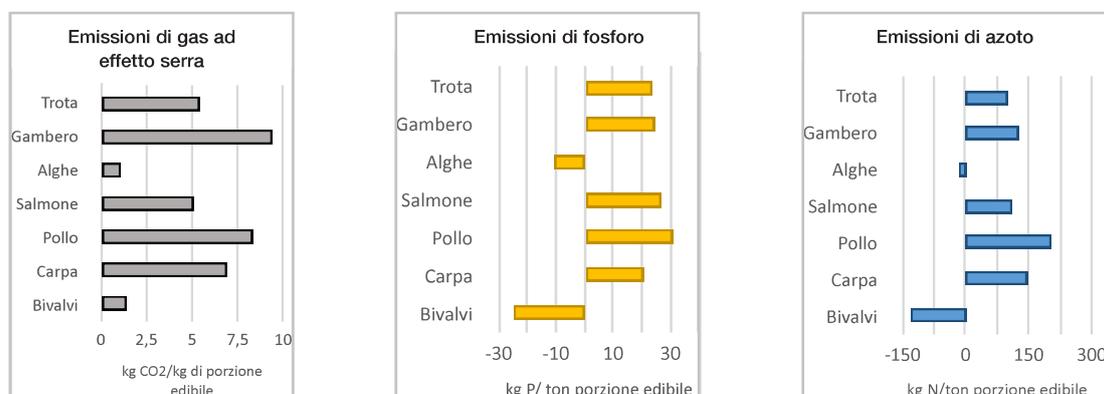


FIGURA 2

Emissioni di gas ad effetto serra, fosforo e azoto di alcuni sistemi di produzione di proteine animali da allevamento. Modificato da Gepbart et al., 2021

Per la valutazione delle performance ambientali della molluschicoltura è stato applicato un approccio di “valutazione del ciclo di vita” o “*Life Cycle Assessment*” (LCA). Il LCA è una metodologia standardizzata a livello internazionale (ISO 14040 e 14044) e fornisce il miglior quadro di riferimento per la valutazione dei potenziali impatti ambientali dei prodotti o servizi attualmente disponibile.

In particolare, con la metodologia LCA si quantificano, tenendo conto dell'intero ciclo di vita di un prodotto 1) le pressioni ambientali, 2) i benefici ambientali e 3) i compromessi e gli hotspot, ovvero quei processi all'interno della filiera per quali esiste un certo margine di miglioramento degli impatti.

Questo studio è stato svolto utilizzando un approccio LCA “dalla culla al cancello”, ovvero analizzando tutti i flussi di materia ed energia, in ingresso e uscita dal sistema, associati alle principali fasi della produzione di bivalvi: dal reperimento del seme all'ottenimento del prodotto pronto per la vendita.

L'approccio LCA segue le linee guida del Joint Research Centre della Commissione Europea [16] ed è organizzato secondo quattro fasi standardizzate: obiettivo e campo di applicazione, inventario del ciclo di vita (Life Cycle Inventory), *valutazione dell'impatto* del ciclo di vita (Life Cycle Impact Assessment) e *interpretazione* dei risultati.

L'obiettivo di questo studio è stato quello di documentare le prestazioni ambientali della mitilicoltura nella Sacca di Scardovari e identificare le potenziali aree di miglioramento della filiera produttiva. Particolare attenzione è stata data all'analisi dei flussi di carbonio attraverso il sistema. A tal fine, sono stati considerati e calcolati anche i flussi di carbonio biogenico derivanti dal processo di biocalcificazione responsabile della formazione del guscio dei mitili. Il lavoro qui presentato riporta i risultati dell'analisi del ciclo di vita in termini di Carbon Footprint.

Per il caso studio della Cozza di Scardovari, lo studio ha compreso l'analisi dei flussi di materia ed energia attraverso il sistema di produzione nel sito di allevamento in area di classe B (Reg. UE 2019/627) e durante le fasi di depurazione (Fig. 3).

Sono stati considerati i seguenti processi: 1) semina e coltivazione, 2) raccolta e trasporto a terra e 3) depurazione in Italia e Francia (circa il 50% del prodotto raccolto viene infatti venduto in Francia prima della depurazione). I confini del sistema includono i processi sopra citati e tutti gli input e gli output di materiale ed energia che passano attraverso i sistemi (Fig. 3). Nello studio sono stati inclusi tutti gli input relativi alla produzione dei beni strumentali dei sistemi di allevamento “a pali fissi” e le attrezzature utilizzate nei processi di raccolta e nella fase di depurazione. I dati relativi alla produzione di imbarcazioni e alla costruzione di edifici sono stati esclusi dall'analisi perché il loro ciclo di vita supera i 40 anni e le informazioni disponibili non sono affidabili. Inoltre, anche il materiale di scarto è stato escluso dall'analisi perché la sua quantificazione dettagliata è difficile e non è sembrata essere abbondante durante l'ispezione dell'azienda. L'unità funzionale (FU), unità di riferimento a cui i dati in entrata ed uscita verranno normalizzati, è 1 chilogrammo di cozze fresche, comprensive di guscio e al netto del liquido intervalvare, idonee alla vendita.

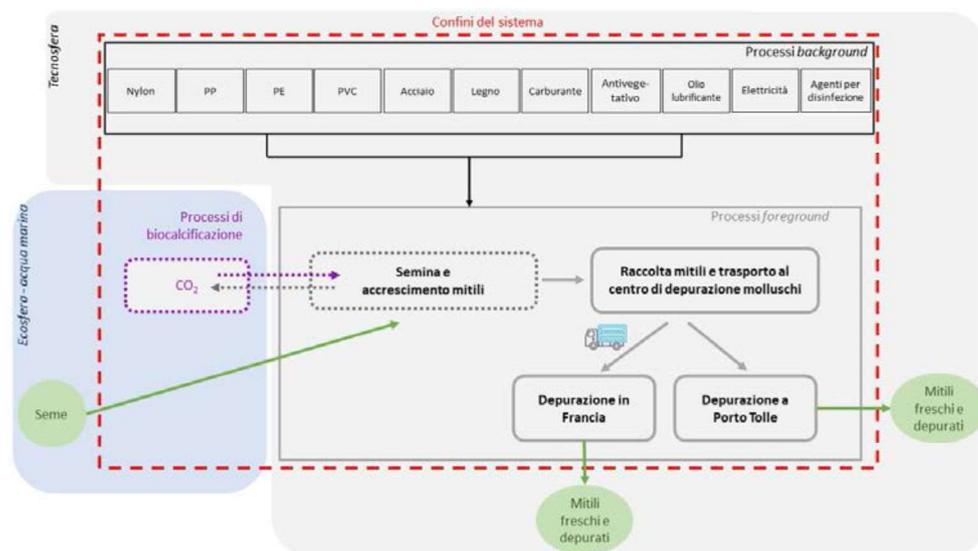


FIGURA 3

Confini del sistema (riquadro rosso tratteggiato) identificati per la valutazione di impatto ambientale relativa alla produzione di mitili nella Sacca di Scardovari. Alla tecnosfera (area grigia) appartengono i processi di produzione di materiali e combustibili (background processes, riquadri neri) impiegati nei processi di semina e crescita dei mitili, raccolta e trasporto a terra dei mitili e i processi di depurazione in impianto italiano e francese (foreground processes, riquadri grigi). I cerchi verdi identificano i prodotti, esterni ai confini del sistema. Le frecce indicano i flussi di materia. Il simbolo "veicolo" indica il processo di trasporto al centro di depurazione in Francia dei mitili non depurati.

Per la compilazione dell'*inventario del ciclo di vita*, i *foreground data* (dati specifici sui consumi di materia ed energia), riferiti ad un'annualità, sono stati forniti dagli allevatori e dal personale tecnico del Centro Depurazione Molluschi (CDM) attraverso questionari e interviste, mentre il database Ecoinvent 3 è stato utilizzato per raccogliere dati sulla produzione di elettricità, carburante, materie prime e trasporto (background data). È stato assunto che il protocollo di depurazione adottato nel CDM sito in Francia sia lo stesso di quello italiano. Si rimanda a [15] per la consultazione dell'*inventario* dettagliato. La valutazione dell'*impatto del ciclo di vita* (LCIA) è stata effettuata utilizzando il software SimaPro 9.1.0.7 (PRé Consultants), adottando il metodo ReCiPe 2016 (H). I flussi di carbonio biogenico relativi alla biocalcificazione (formazione della conchiglia) sono stati calcolati attraverso le seguenti equazioni:

$$\text{CO}_2 \text{ rilasciata} = \text{massa della conchiglia} \times \Psi \times \% \text{CaCO}_3 \text{ conchiglia} / \text{CO}_2 \text{ massa molecolare} \times \text{CaCO}_3 \text{ massa molecolare}$$

EQUAZIONE 2

$$\text{CO}_2 \text{ sequestrata} = \text{massa CaCO}_3 \text{ conchiglia} \times \text{CO}_2 \text{ massa molecolare} / \text{CaCO}_3 \text{ massa molecolare}$$

EQUAZIONE 3

Nell'Equazione 2, Ψ indica il rapporto tra CO_2 rilasciata per ogni CaCO_3 precipitata in funzione della capacità tampone dell'acqua marina [17]. I dati ambientali necessari per il calcolo di Ψ (pH, salinità, temperatura dell'acqua di mare e pressione parziale di CO_2 , specifici per il sito di allevamento in esame) sono stati ottenuti tramite la piattaforma online AquaX (Colombosky, <https://gis.aquaexploration.com>).

I dati sul rapporto del peso della conchiglia sull'intero mollusco sono stati misurati in campioni forniti dall'azienda. Sugli gli stessi individui è stata quantificata la percentuale di carbonato di calcio all'interno della conchiglia attraverso calcimetria.

Servizi ecosistemici della molluschicoltura

In Tabella 1 è mostrata la *Carbon Footprint* relativa alla Cozza di Scardovari allevata in zona di allevamento di classe B e depurata nel CDM si Porto Tolle e nel CDM francese.

TABELLA 1

Carbon Footprint della filiera del mitilo della Sacca di Scardovari. I risultati sono riferiti all'unità funzionale: 1 chilogrammo di cozze fresche, comprensive di guscio e al netto del liquido intervalvare, idonee alla vendita

	Unità	Allevamento e accrescimento in area di classe B	Depurazione in Italia	Trasporto e depurazione in Francia	Totale
Carbon Footprint	kg CO ₂ eq/kg mitili	0.162	0.103	0.336	0.601

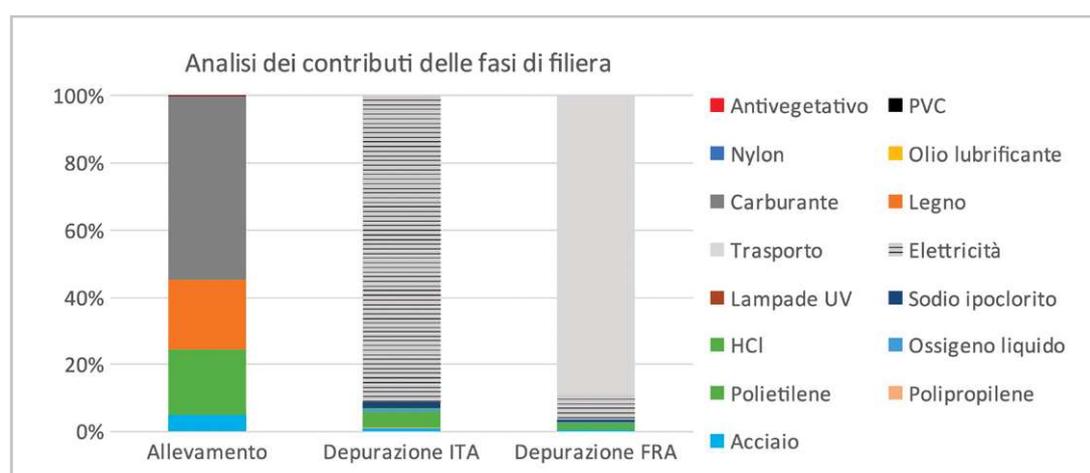


FIGURA 4

Analisi dei contributi per le diverse fasi di filiera: allevamento in zona di classe B, depurazione in CDM di Porto Tolle, depurazione in CDM francese

La *Carbon Footprint* della fase di allevamento è determinata maggiormente dall'utilizzo di carburante per lo svolgimento delle operazioni di semina e gestione dell'impianto, che contribuisce per il 54% alla valutazione di impatto. Seguono, in termini di contributo alla Carbon Footprint, l'utilizzo di legno per la costruzione dell'impianto a riquadro e il polietilene utilizzato per le calze. Per quanto riguarda la fase di depurazione in Italia, il contributo maggiore (91%) è dato dal consumo di elettricità da rete nazionale, mentre, per quanto riguarda la fase di depurazione in Francia, il trasporto dei mitili dal CDM in Italia a quello francese risulta essere il *driver* principale (89%). Consumo di carburante, elettricità e trasporto possono quindi essere considerati i principali hotspot di filiera che potrebbero essere migliorati adottando azioni volte a favorire l'utilizzo di energie da fonti rinnovabili.

TABELLA 2

Dati sui rapporti tra massa di conchiglia rispetto alla massa totale del mollusco (al netto del liquido intervalvare), il valore Ψ sito-specifico per la Sacca di Scardovari calcolato con il pacchetto R seacarb utilizzando dati ambientali ottenuti dalla piattaforma online AquaX, e i valori dei flussi di carbonio biogenico (anidride carbonica rilasciata e anidride carbonica equivalente sequestrata). Il bilancio netto dei flussi di carbonio biogenico relativi alla biocalcificazione è mostrato in grassetto. I dati si riferiscono a 1 kg di cozze fresche. I valori sono stati arrotondati alla seconda cifra decimale

Mytilus galloprovincialis – Sacca di Scardovari

Unità funzionale (kg)	1
Rapporto della massa della conchiglia su massa totale mollusco (al netto del liquido intervalvare)	0.46
Rapporto quantità di CaCO ₃ su peso conchiglia	0.92
Ψ (sito-specifico)	0.61
Massa di CO ₂ equivalente sequestrata (kg)	0.19
Massa di CO ₂ rilasciata durante la biocalcificazione (kg)	0.11
Bilancio netto dei flussi di CO₂ relativi alla biocalcificazione (kg)	-0.08

Proprio per via dell'accesso dibattito scientifico sul ruolo della biocalcificazione nel sequestro di anidride carbonica [15,18-22], uno degli obiettivi di questo studio è stato proprio quello di contribuire a definire una procedura per il calcolo del sequestro di carbonio a lungo termine all'interno della conchiglia dei mitili. Considerando quindi il bilancio netto dei flussi di CO₂ relativi alla biocalcificazione, la Carbon Footprint relativa alla produzione di un chilogrammo di mitili allevati in Sacca di Scardovari e depurati in CDM italiano e francese diminuirebbe di circa il 13%, mentre relativamente alla sola fase di allevamento, la riduzione potenziale è pari al 49%. Essendo la Cozza di Scardovari allevata in zone di classe B, la fase di depurazione è richiesta ai sensi del Reg. UE 2019/627. Qualora la comunità scientifica arrivi alla conclusione che il sequestro di carbonio nella conchiglia dei molluschi bivalvi possa essere considerato effettivamente come un meccanismo di carbon sink, a seconda dei siti di produzione, è importante tenere in considerazione il destino finale delle conchiglie alla fine della filiera. Nel caso in cui queste fossero smaltite come rifiuto generico e quindi destinate all'inceneritore, i vantaggi associati al sequestro di carbonio relativo alla formazione della conchiglia verrebbero persi. Sarebbe comunque importante cercare di trovare delle soluzioni per la valorizzazione di questo prodotto di scarto.

L'allevamento della Cozza di Scardovari è risultato essere estremamente efficiente sotto il profilo di emissioni di gas climalteranti, nonostante gli impatti della fase di depurazione e del trasporto di parte del prodotto in un altro Stato. Inoltre, il Life Cycle Assessment si conferma un approccio scientificamente valido per la valutazione delle performance della molluschicoltura e per l'identificazione di processi le cui prestazioni ambientali possano essere migliorate al fine di diminuire gli impatti ambientali dell'intera filiera. La crescita dell'Economia Blu passa necessariamente attraverso lo sviluppo di attività agroalimentari a basso impatto ambientale e che forniscano servizi ecosistemici utili alla mitigazione dei cambiamenti climatici. In questo contesto, la Cozza DOP di Scardovari rappresenta un connubio perfetto tra qualità e sostenibilità.

Riferimenti:

- [1] <http://www.galgargano.com/wp-content/uploads/2019/10/Scardovari.pdf>
- [2] <https://www.scardovari.org/>
- [3] <https://www.watermuseumofvenice.com/network/rete-delta-po/sacca-degli-scardovari/>
- [4] Disciplinare di produzione D.O.P. Cozza di Scardovari, revisione 19 ottobre 2011
- [5] van der Schatte Olivier, A., Jones, L., Vay, L. L., Christie, M., Wilson, J., & Malham, S. K. (2020). A global review of the ecosystem services provided by bivalve aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 3-25.
- [6] Mainwaring, K., Tillin, H., Tyler-Walters, H. (2014). Assessing the Sensitivity of Blue Mussel Beds to Pressures Associated with Human Activities. JNCC Report 506, pp. 96.
- [7] Coen, L.D., Brumbaugh, R.D., Bushek, D., Grizzle, R., Luckenbach, M.W., Posey, M.H., et al. (2007). Ecosystem services related to oyster restoration. *Marine Ecology Progress Series* 341:303–307.
- [8] Northern Economics, (2009). Valuation of ecosystem services from shellfish restoration, enhancement and management: a review of the literature. Prepared for Pacific Shellfish Institute.
- [9] Surm, J. M., Prentis, P. J., & Pavasovic, A. (2015). Comparative analysis and distribution of Omega-3 lcPUFA biosynthesis genes in marine molluscs. *PLoS One*, 10(8), e0136301.
- [10] Monroig, Ó., Tocher, D. R., & Navarro, J. C. (2013). Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in marine invertebrates: recent advances in molecular mechanisms. *Marine drugs*, 11(10), 3998-4018.
- [11] Kellog, L.M., Cornwell, J.C., Owens, M.S., Paynter, K.T. (2013). Denitrification and nutrient assimilation on a restored oyster reef. *Marine Ecology Progress Series* 480:1–19.
- [12] Newell R, Fisher T, Holyoke R, Cornwell J (2005) Influence of Eastern Oysters on Nitrogen and Phosphorus Regeneration in Chesapeake Bay, USA. Springer, Dordrecht.
- [13] Petersen JK, Hasler B, Timmermann K, Nielsen P, Tørring DB, Larsen MM et al. (2014) Mussels as a tool for mitigation of nutrients in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 82: 137–143.
- [14] Gephart, J. A., Henriksson, P. J., Parker, R. W., Shepon, A., Gorospe, K. D., Bergman, K., ... & Troell, M. (2021). Environmental performance of blue foods. *Nature*, 597(7876), 360-365.
- [15] Martini, A., Cali, M., Capoccioni, F., Martinoli, M., Pulcini, D., Buttazzoni, L., ... & Pirlo, G. (2022). Environmental performance and shell formation-related carbon flows for mussel farming systems. *Science of The Total Environment*, 831, 154891.
- [16] JRC, C. (2010). ILCG Handbook-General guide on LCA-Detailed guidance. Constraints. <https://doi.org/10.2788/38479>.
- [17] Frankignoulle, M., Canon, C., & Gattuso, J. P. (1994). Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO₂. *Limnology and Oceanography*, 39(2), 458-462.
- [18] Aubin, J., Fontaine, C., Callier, M., & Roque d'orbcastel, E. (2018). Blue mussel (*Mytilus edulis*) bouchot culture in Mont-St Michel Bay: potential mitigation effects on climate change and eutrophication. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1030-1041.
- [19] Suplicy, F. M. (2020). A review of the multiple benefits of mussel farming. *Reviews in Aquaculture*, 12(1), 204-223.
- [20] Álvarez-Salgado, X. A., Fernández-Reiriz, M. J., Fuentes-Santos, I., Antelo, L. T., Alonso, A. A., & Labarta, U. (2022). CO₂ budget of cultured mussels metabolism in the highly productive Northwest Iberian upwelling system. *Science of the Total Environment*, 849, 157867.
- [21] Alonso, A. A., Álvarez-Salgado, X. A., & Antelo, L. T. (2021). Assessing the impact of bivalve aquaculture on the carbon circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123873.
- [22] Tamburini, E., Turolla, E., Lanzoni, M., Moore, D., & Castaldelli, G. (2022). Manila clam and Mediterranean mussel aquaculture is sustainable and a net carbon sink. *Science of The Total Environment*, 848, 157508.