

Contents

Breve descrizione	2
Obiettivi del modulo.....	2
Risultati di apprendimento	2
Prerequisiti (se applicabili)	2
Durata.....	3
3. Servizi ecosistemici, monitoraggio ambientale, gestione del rischio e resilienza climatica ..	3
3.1 Servizi ecosistemici: definizione, tipologie e politiche dell'UE in materia.....	3
3.1.1 Comprendere cosa sono i servizi ecosistemici	3
3.1.2 Comprendere l'impatto positivo dei servizi ecosistemici sull'ambiente marino	6
3.1.3 Comprendere le linee guida strategiche dell'UE per l'acquacoltura (2021–2030)	7
3.2 Impatto dell'acquacoltura di molluschi bivalvi: analisi dell'impronta di carbonio e Life Cycle Assessment (LCA)	8
3.2.1 Comprendere i potenziali impatti dell'allevamento di molluschi bivalvi e come possono essere mitigati.....	8
3.2.2 Conoscere meglio l'impronta di carbonio e la LCA (Life Cycle Assessment).....	9
3.3 Valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione di molluschi bivalvi europea	12
3.3.1 Comprendere gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi di acquacoltura (temperatura, variazioni di salinità, deplezione di ossigeno, eventi meteorologici estremi)	13
3.3.2 Soluzioni contro gli impatti del cambiamento climatico sull'acquacoltura dei molluschi bivalvi.....	14
3.4 Comprendere le diverse strategie a livello aziendale per adattarsi e mitigare il cambiamento climatico, inclusa la selezione di specie e le innovazioni tecnologiche	14
3.4.1 Comprendere come contrastare i danni causati dal cambiamento climatico all'acquacoltura dei bivalvi (spostamento della produzione, selezione di genotipi o specie più resistenti alla temperatura, policoltura per evitare perdite di prodotto)	15
3.4.2 Riconoscere il ruolo delle innovazioni tecnologiche (sensori per il monitoraggio della qualità dell'acqua) nell'adattamento e nella mitigazione	16
3.4.3 Dimostrare consapevolezza delle politiche, delle certificazioni e delle migliori pratiche che promuovono l'acquacoltura resiliente al cambiamento climatico (standard FAO, GAA, ASC)	18

Breve descrizione

Il Modulo 2 analizza il ruolo strategico dell’acquacoltura dei molluschi bivalvi in relazione all’ambiente, con particolare attenzione alle sfide poste dal cambiamento climatico. Il modulo, inoltre, introduce il concetto di servizi ecosistemici, illustrandone la definizione, le principali tipologie e il loro riconoscimento nell’ambito delle politiche UE, evidenziando il valore ambientale ed economico che tali servizi possono generare. Verrà inoltre approfondito l’impatto ambientale dell’allevamento dei bivalvi attraverso strumenti di analisi come l’impronta di carbonio e la valutazione del ciclo di vita (LCA), mettendo in luce le ragioni per cui questa forma di acquacoltura è considerata tra le più sostenibili. Una parte del modulo sarà dedicata alla valutazione degli effetti del cambiamento climatico sulla produzione di bivalvi e all’analisi delle principali strategie di adattamento e mitigazione, tra cui la selezione di specie e l’innovazione tecnologica.

Obiettivi del modulo

- Servizi ecosistemici: definizione, tipologie e politiche dell’UE in materia.
- Impatto ambientale dell’acquacoltura di molluschi bivalvi: analisi dell’impronta di carbonio e Life Cycle Assessment (LCA).
- Valutazione dell’impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione di bivalvi.
- Comprensione delle diverse strategie a livello aziendale per adattarsi e mitigare i cambiamenti climatici, incluse la selezione delle specie e le innovazioni tecnologiche.

Risultati di apprendimento

I partecipanti saranno in grado di comprendere l’importanza e il valore dei servizi ecosistemici forniti dall’allevamento di molluschi bivalvi: cosa sono, quali effetti producono sull’ambiente e quale valore economico possono avere per l’allevatore. Inoltre i partecipanti avranno nozioni riguardo l’impatto ambientale dell’allevamento dei bivalvi, evidenziando le ragioni per cui esso risulta particolarmente contenuto.

Infine, saranno affrontate le tematiche legate al cambiamento climatico: gli studenti saranno in grado di valutare l’impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione acquicola e di implementare strategie di adattamento per contrastarne gli effetti.

Prerequisiti (se applicabili)

Non applicabile.

Durata

240 minuti (150 faccia a faccia online, 90 e-learning)

3. Servizi ecosistemici, monitoraggio ambientale, gestione del rischio e resilienza climatica

3.1 Servizi ecosistemici: definizione, tipologie e politiche dell'UE in materia

Definizione dei servizi ecosistemici. Comprendere il concetto di servizi ecosistemici, gli impatti ambientali positivi dei servizi forniti dai molluschi bivalvi e le linee guida strategiche dell'UE per l'acquacoltura (2021–2030).

3.1.1 Comprendere cosa sono i servizi ecosistemici

L'acquacoltura dei molluschi bivalvi è importante anche per i significativi servizi ecosistemici che fornisce. I bivalvi, infatti, svolgono un ruolo cruciale nel mantenimento della salute degli ecosistemi costieri, contribuendo in modo rilevante alla regolazione dei cicli biogeochimici e alla protezione degli habitat, attraverso una serie di servizi che possiamo riassumere di seguito.

Filtrazione dell'acqua marina

Uno dei servizi ecosistemici più noti e rilevanti dal punto di vista ecologico fornito dai molluschi bivalvi, è la straordinaria capacità di filtrare grandi volumi d'acqua. Attraverso le loro caratteristiche alimentari - si nutrono filtrando fitoplancton, materia organica sospesa e detrito - i bivalvi possono migliorare la qualità dell'acqua circostante in caso di eccesso di nutrienti. Questo processo, noto come **depurazione biologica**, contribuisce a ridurre la torbidità dell'acqua, e svolge un ruolo fondamentale nella diminuzione dei livelli di nutrienti in eccesso, in particolare azoto e fosforo, principali responsabili dell'eutrofizzazione. Filtrando il particolato presente nella colonna d'acqua, i bivalvi contribuiscono a ristabilire l'equilibrio degli ecosistemi marini, riducendo il rischio di fioriture algali nocive (HABs), che possono avere effetti devastanti sulla biodiversità locale, sulla qualità dell'acqua e sulla pesca. La filtrazione dei bivalvi migliora inoltre in modo significativo la trasparenza dell'acqua, elemento essenziale per la salute della vegetazione sommersa come le fanerogame marine e le macroalghe. Questi organismi dipendono infatti da acque limpide per svolgere efficacemente la fotosintesi e, aumentando la penetrazione della luce, i molluschi bivalvi sostengono indirettamente la produttività di questi habitat fondamentali. Inoltre, il processo di filtrazione favorisce il riciclo dei nutrienti, contribuendo a ecosistemi più stabili e produttivi. Come evidenziato da Smaal e Poutiers (2003), un singolo individuo di *Mytilus edulis* (cozza blu) può filtrare fino a 25 litri d'acqua al giorno, dato che sottolinea il potenziale anche di popolazioni relativamente ridotte di bivalvi nel migliorare significativamente la qualità dell'acqua.

Questa capacità di filtrazione non è importante solo per il mantenimento dell'equilibrio ecologico, ma ha anche rilevanti implicazioni per la sostenibilità dell'acquacoltura. Ad esempio, nei sistemi di allevamento costieri, i molluschi bivalvi possono ridurre la necessità di interventi esterni di trattamento delle acque, rendendo le attività acquicole più sostenibili e meno dipendenti da tecnologie di filtrazione artificiale.

Un esempio pratico di questo servizio è rappresentato dall'ostrica piatta europea (*Ostrea edulis*), utilizzata per il bio-sequestro dei nutrienti nella laguna costiera del Mar Menor in Spagna. Questa specie ha dimostrato una notevole capacità di mitigare l'eutrofizzazione filtrando grandi quantità di materia organica dall'acqua, migliorandone così la qualità e contribuendo al recupero dell'ecosistema (Albentosa et al., 2023).

Ruolo dei bivalvi nei cicli del carbonio e dei nutrienti

I molluschi bivalvi svolgono un ruolo fondamentale nel ciclo del carbonio, sequestrando anidride carbonica (CO₂) dall'acqua marina e incorporandola nei loro gusci, costituiti principalmente da carbonato di calcio (CaCO₃). Questo processo biologico, noto come biomineralizzazione, contribuisce alla mitigazione del cambiamento climatico riducendo la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera.

Oltre al sequestro del carbonio inorganico, la biomassa dei bivalvi rappresenta anche un importante serbatoio di carbonio organico. Attraverso i loro processi metabolici e la successiva deposizione nei sedimenti, questi organismi favoriscono la sepoltura della materia organica, contribuendo ulteriormente al ciclo del carbonio. Sebbene i processi di calcificazione rilascino una parte di CO₂ come sottoprodotto, l'effetto netto dell'allevamento di bivalvi sul sequestro del carbonio rimane positivo, soprattutto in condizioni ambientali adeguatamente gestite (Heilweck et al., 2023).

Inoltre, l'acquacoltura dei bivalvi apporta significativi benefici ambientali attraverso il sequestro di nutrienti come azoto e fosforo. Questi organismi filtrano grandi quantità di particolato organico dall'acqua, rimuovendo l'eccesso di nutrienti che può causare fenomeni di eutrofizzazione nelle aree costiere.

Uno studio ha evidenziato che l'allevamento di bivalvi può contribuire alla rimozione dei nutrienti, al miglioramento della qualità dell'acqua e alla promozione della salute degli ecosistemi marini (Gren, 2019).

Inoltre, l'integrazione dell'acquacoltura di bivalvi nei sistemi di acquacoltura multitrofica integrata (IMTA, Integrated Multi-Trophic Aquaculture) può aumentare l'efficienza del recupero dei nutrienti, riducendo l'impatto ambientale complessivo delle attività di acquacoltura.

In conclusione, sebbene il contributo dei bivalvi al sequestro del carbonio richieda una gestione attenta per massimizzarne i benefici, il loro ruolo nei cicli dell'azoto e del fosforo rappresenta un servizio ecosistemico cruciale per la salute degli ambienti marini.

L'adozione di pratiche di gestione sostenibili nell'acquacoltura dei bivalvi può quindi offrire vantaggi sia per la produzione alimentare sia per la tutela dell'ambiente.

Creazione di habitat e aree di nursery

Gli allevamenti di molluschi bivalvi svolgono un ruolo importante nella creazione di habitat complessi che offrono rifugio e nutrimento a numerosi organismi marini.

Le strutture fisiche utilizzate in acquacoltura, come corde, reti e pali, forniscono superfici idonee alla colonizzazione da parte di epifauna sessile, dando origine a una matrice di habitat altamente complessa. I sedimenti arricchiti e differenziati presenti sotto queste strutture creano inoltre un ambiente favorevole per l'infauna, aumentando la biodiversità locale.

Ricerche condotte da Rumohr et al. (2016) evidenziano che gli allevamenti di mitili possono incrementare la biodiversità sostenendo diverse specie bentoniche e nectoniche.

Questi impianti fungono anche da aree nursery per giovani pesci e invertebrati, migliorandone i tassi di sopravvivenza grazie alla protezione dai predatori e a condizioni favorevoli alla crescita.

La maggiore complessità degli habitat associati agli allevamenti di bivalvi favorisce inoltre interazioni ecologiche che sostengono la produttività e la resilienza degli ecosistemi marini.

Le strutture formate dai bivalvi contribuiscono anche al riciclo dei nutrienti e alla stabilizzazione dei sedimenti, servizi essenziali per il mantenimento della salute degli ecosistemi marini, soprattutto in aree degradate dalle attività antropiche. Attraverso l'integrazione di queste pratiche, l'acquacoltura dei bivalvi ha quindi il potenziale di rafforzare i servizi ecosistemici, promuovere la biodiversità e sostenere la pesca sostenibile, contribuendo alla stabilità ecologica ed economica delle aree costiere.

Protezione dall'erosione costiera

Gli allevamenti di molluschi bivalvi possono contribuire alla protezione delle coste attenuando l'energia del moto ondoso e stabilizzando i sedimenti. Le strutture di allevamento possono agire come barriere frangiflutti, riducendo l'impatto delle mareggiate lungo la linea di costa.

Un'analisi condotta da Turner et al. (2009) ha evidenziato che gli allevamenti di ostriche possono ridurre significativamente l'erosione costiera, contribuendo alla tutela delle coste e delle comunità locali.

Inoltre, come evidenziato nella revisione completa di van der Schatte Olivier et al. (2018), l'acquacoltura dei bivalvi fornisce un'ampia gamma di servizi ecosistemici, tra cui, come già indicato, la protezione delle coste. Lo studio sottolinea che gli habitat densi e strutturati creati dagli allevamenti di bivalvi favoriscono la deposizione dei sedimenti e riducono i fenomeni di erosione, contribuendo alla stabilità complessiva degli ecosistemi costieri.

Agendo come barriere naturali, questi allevamenti non solo preservano le linee di costa, ma migliorano anche la qualità dell'acqua e promuovono la biodiversità.

Aquacoltura di Bivalvi: Servizi Ecosistemici e Strategia UE

Servizi Ecosistemici Essenziali



Depurazione Biologica dell'Acqua

Una singola cozza blu può filtrare fino a 25 litri di acqua marina al giorno.



Sequestro di Carbonio e Nutrienti

I bivalvi sequestrano CO₂ nei loro gusci e rimuovono l'azoto e il fosforo in eccesso dall'acqua.



Protezione dell'Habitat e della Costa

Gli allevamenti agiscono come aree di riproduzione per la biodiversità e barriere naturali contro l'erosione costiera.

Linee Guida Strategiche UE (2021-2030)



La Transizione Verde

Promuovere pratiche a basse emissioni di carbonio e ad alta efficienza energetica, allineate con il Green Deal europeo.



Resilienza e Competitività

Migliorare l'efficienza e semplificare i regolamenti per sostenere la crescita economica nelle regioni costiere.



Accettazione Sociale

Migliorare la trasparenza e gli standard per costruire la fiducia dei consumatori nell'acquacoltura sostenibile.

Fig. 20 - Servizi ecosistemici dei bivalvi e strategia dell'UE: un connubio perfetto

3.1.2 Comprendere l'impatto positivo dei servizi ecosistemici sull'ambiente marino

Nel giugno 2021, l'Aquaculture Advisory Council (AAC) ha pubblicato una raccomandazione intitolata *"The provision of ecosystem services by European aquaculture"*, che sottolinea l'importanza dell'acquacoltura nell'erogazione di servizi ecosistemici essenziali per l'ambiente marino.

In linea con il Green Deal europeo, la Strategia per la Biodiversità 2030 della Commissione europea prevede misure volte ad affrontare la perdita di biodiversità, integrando la strategia "Farm to Fork" per la transizione verso un sistema alimentare sostenibile ed equo.

Queste strategie evidenziano come la tutela della biodiversità sia parte integrante dei sistemi alimentari sostenibili, posizionando l'acquacoltura europea come un elemento chiave per la protezione della biodiversità, il miglioramento dei servizi ecosistemici e la conservazione del paesaggio.

Le raccomandazioni dell'AAC promuovono il riconoscimento e il sostegno dell'acquacoltura europea, in particolare dell'allevamento di molluschi bivalvi, come fornitore di servizi ecosistemici fondamentali.

Tra le principali proposte figurano:

- Riconoscere gli ecosistemi creati dall'acquacoltura, soprattutto quelli basati sull'allevamento estensivo di bivalvi, come parte del patrimonio naturale legato alle attività produttive umane.
- Garantire coerenza tra il registro delle aree di produzione dei bivalvi e la loro tutela, in conformità con la Direttiva quadro sulle Acque dell'UE, al fine di promuovere una

regolamentazione adeguata e sostenere i servizi ecosistemici forniti, in linea con la strategia europea sulla biodiversità.

- Studiare, valutare e valorizzare i servizi ecosistemici forniti dall'allevamento di bivalvi attraverso il finanziamento della ricerca volta a comprendere questi ecosistemi acquatici.
- Sostenere iniziative di sensibilizzazione pubblica per promuovere un'acquacoltura dei bivalvi sostenibili come sistema alimentare a basse emissioni di carbonio, capace di rafforzare la biodiversità e offrire significativi benefici ecosistemici.

Integrando queste evidenze, risulta chiaro che gli allevamenti di molluschi bivalvi non sono solo sistemi di produzione alimentare, ma componenti fondamentali della resilienza costiera, contribuendo alla stabilità ecologica ed economica delle regioni costiere.

3.1.3 Comprendere le linee guida strategiche dell'UE per l'acquacoltura (2021–2030)

Le *EU Strategic Guidelines for Aquaculture (2021–2030)*, sviluppate dalla Commissione europea, forniscono un quadro di riferimento coordinato per sostenere lo sviluppo di un settore acquicolo sostenibile, competitivo e resiliente negli Stati membri dell'UE.

Queste linee guida sono concepite per orientare le politiche nazionali contribuendo al contempo alle priorità più ampie dell'Unione Europea, come il Green Deal europeo, con particolare attenzione alla produzione alimentare ambientalmente responsabile, alla crescita economica e alla creazione di occupazione nelle aree costiere e rurali.

La visione generale delle linee guida è quella di costruire un settore acquicolo in equilibrio tra obiettivi ambientali, economici e sociali. Ciò implica lo sviluppo di sistemi produttivi che riducano al minimo l'impatto ambientale pur rimanendo economicamente sostenibili e competitivi a livello globale.

Allo stesso tempo, il settore deve essere trasparente e socialmente accettato da consumatori e comunità, con un forte accento su innovazione, ricerca e conoscenza a supporto della sostenibilità a lungo termine.

Le linee guida si articolano attorno a quattro priorità fondamentali che definiscono la direzione futura dell'acquacoltura europea.

La prima priorità riguarda il rafforzamento della competitività e della resilienza, attraverso il miglioramento dell'efficienza, la semplificazione delle procedure amministrative e un migliore accesso a siti e risorse idriche idonee.

La seconda priorità sostiene la transizione ecologica, puntando alla riduzione degli impatti ambientali, alla promozione di pratiche a basse emissioni e più efficienti nell'uso delle risorse, e al rafforzamento della capacità del settore di adattarsi ai cambiamenti climatici.

La terza priorità riguarda l'accettazione sociale e la fiducia dei consumatori, promuovendo la trasparenza, una migliore informazione ed etichettatura dei prodotti e il mantenimento di elevati standard in materia di sicurezza alimentare e benessere animale.

La quarta priorità evidenzia l'importanza di conoscenza, innovazione e digitalizzazione, incoraggiando investimenti in ricerca, nuove tecnologie, sistemi di dati e competenze della forza lavoro per favorire la crescita futura.

Per sostenere queste priorità, le linee guida individuano una serie di aree di intervento chiave che gli Stati membri sono invitati ad affrontare. Tra queste vi sono il miglioramento dell'accesso allo spazio attraverso la pianificazione dello spazio marino, la semplificazione delle procedure normative ed autorizzative e il potenziamento delle prestazioni ambientali delle attività di acquicole. Ulteriori azioni riguardano il rafforzamento della salute e del benessere animale, lo sviluppo dei mercati e delle filiere, l'aumento della consapevolezza pubblica e della comunicazione, e il progresso dell'innovazione tramite una migliore raccolta dati, ricerca e sviluppo tecnologico.

Le linee guida non sono giuridicamente vincolanti, ma rappresentano un quadro strategico per coordinare l'azione a livello europeo.

Gli Stati membri sono chiamati a tradurre questi obiettivi in politiche nazionali attraverso la definizione o l'aggiornamento dei propri Piani nazionali per l'acquacoltura.

L'attuazione è sostenuta da strumenti di finanziamento dell'UE, in particolare il Fondo europeo per gli affari marittimi, la pesca e l'acquacoltura (FEAMPA), che fornisce supporto economico per lo sviluppo sostenibile, l'innovazione e la crescita del settore.

Nel complesso, le linee guida strategiche dell'UE per l'acquacoltura (2021–2030) offrono un piano operativo completo per lo sviluppo di un'acquacoltura moderna che coniughi crescita e sostenibilità. Concentrandosi su competitività, responsabilità ambientale, accettazione sociale e innovazione, le linee guida mirano a garantire la sostenibilità a lungo termine e il contributo positivo dell'acquacoltura all'interno dell'Unione europea.

3.2 Impatto dell'acquacoltura di molluschi bivalvi: analisi dell'impronta di carbonio e Life Cycle Assessment (LCA)

Impatto dell'acquacoltura di molluschi bivalvi sull'ambiente e sulla biodiversità: anche se moderato, quali sono le principali fonti di impatto del settore e come gestirle?

3.2.1 Comprendere i potenziali impatti dell'allevamento di molluschi bivalvi e come possono essere mitigati

La Life Cycle Assessment (LCA) è uno strumento fondamentale per valutare l'impronta ecologica di qualsiasi attività. Questa analisi può essere applicata anche all'acquacoltura dei molluschi bivalvi al fine di identificare strategie per migliorarne la sostenibilità.

La LCA consente di valutare l'impatto ambientale di un prodotto o processo lungo tutto il suo ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime fino allo smaltimento dei rifiuti.

Esistono diversi approcci per condurre una LCA, e i due metodi più ampiamente utilizzati sono i modelli “**cradle-to-grave**” e “**cradle-to-gate**”.

- Il modello **cradle-to-grave** è un approccio completo che considera l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino alla fase di fine vita, includendo trasporto e smaltimento dei rifiuti. Questo metodo è particolarmente utile per valutare gli impatti ambientali associati all'intero ciclo dell'acquacoltura dei bivalvi, dalla produzione dei giovanili, all'allevamento, alla raccolta fino alla distribuzione e al consumo.
- Il modello **cradle-to-gate**, invece, si concentra solo sulle fasi precedenti all'uscita del prodotto dall'azienda, come la produzione dei giovanili, l'allevamento e la raccolta. Questo approccio è utile per analizzare le attività operative dirette e migliorare l'efficienza e la sostenibilità del processo produttivo

In entrambi i casi, la LCA permette di:

- Quantificare l'impronta di carbonio misurando le emissioni di gas serra.
- Valutare l'uso delle risorse, analizzando il consumo di acqua, energia e materie prime.
- Identificare gli impatti ambientali come eutrofizzazione, acidificazione degli oceani e inquinamento.
- Confrontare le pratiche di allevamento per individuare i metodi più sostenibili.

L'LCA dei molluschi bivalvi in acquacoltura comprende diverse fasi, ognuna caratterizzata da un contributo specifico all'impronta di carbonio:

- **Produzione dei giovanili:** in alcuni allevamenti vi è una fase di produzione in schiuditoi (hatchery). Questa fase richiede energia per il funzionamento delle strutture. In molti casi, l'uso degli schiuditoi viene evitato utilizzando giovanili raccolti direttamente dalle aree di riproduzione naturale (aree di nursery).
- **Fase di allevamento:** le emissioni sono principalmente legate al consumo energetico per la raccolta e la lavorazione dei molluschi. La raccolta richiede carburante per le imbarcazioni, mentre la lavorazione comporta energia per pulizia, confezionamento e refrigerazione.
- **Distribuzione e consumo:** il trasporto dei prodotti finiti verso i mercati e lo smaltimento degli imballaggi contribuiscono all'impronta di carbonio complessiva.

3.2.2 Conoscere meglio l'impronta di carbonio e la LCA (Life Cycle Assessment)

La valutazione dell'impronta di carbonio dell'acquacoltura marina dei molluschi bivalvi richiede certamente una stima accurata delle emissioni di CO₂ associate ai beni capitali e alle attività di allevamento. Tuttavia, in questo caso è importante considerare anche il bilancio metabolico di CO₂ delle specie allevate (Alvarez-Salgado et al., 2022). Anche le condizioni ambientali sito-specifiche e i metodi di coltivazione influenzano in modo significativo le stime.

Numerosi studi hanno dimostrato che l'acquacoltura dei molluschi bivalvi presenta un'impronta di carbonio significativamente più bassa rispetto ad altre produzioni animali, come l'allevamento bovino o suino. Ciò è dovuto principalmente al fatto che i molluschi bivalvi sono organismi a crescita rapida e con bassi fabbisogni energetici, poiché si nutrono principalmente filtrando l'acqua marina (Crawford et al., 2003; Dumbauld et al., 2009).

La capacità dei molluschi bivalvi di sequestrare carbonio è inoltre oggetto di crescente interesse scientifico. Attraverso il processo di filtrazione, questi organismi assimilano carbonato di calcio dall'acqua di mare per formare i loro gusci. Questo carbonato di calcio, una volta depositato sul fondale marino alla morte dell'organismo, può rimanere sequestrato per migliaia di anni, contribuendo così alla riduzione della concentrazione di anidride carbonica atmosferica.

Meccanismi di sequestro del carbonio:

- **Biom mineralizzazione:** la formazione del guscio rappresenta il principale processo attraverso cui i molluschi bivalvi sequestrano carbonio.
- **Sedimentazione:** alla morte dell'organismo, i gusci si depositano sul fondo marino, contribuendo alla formazione di banchi calcarei e sedimenti.

Fattori che influenzano il sequestro del carbonio:

- **Specie:** specie diverse presentano tassi di crescita e calcificazione differenti, influenzando la quantità di carbonio sequestrato.
- **Condizioni ambientali:** temperatura, salinità, disponibilità di cibo e altri fattori ambientali incidono sulla crescita e sulla calcificazione.
- **Gestione dell'allevamento:** le pratiche di gestione degli allevamenti, come la densità di stoccaggio e la frequenza di raccolta, influenzano il bilancio di carbonio.
- **Sistema di allevamento:** esistono diverse tecniche di allevamento, ciascuna con i propri vantaggi e svantaggi in termini di sostenibilità.
- **Localizzazione:** le condizioni ambientali del sito di allevamento (es. qualità dell'acqua, profondità e correnti) influenzano in modo significativo gli impatti.
- **Gestione dei rifiuti:** una corretta gestione dei materiali di scarto prodotti dagli animali allevati è essenziale per minimizzare l'inquinamento.

L'acquacoltura dei molluschi bivalvi ha un'impronta di carbonio eccezionalmente bassa: le emissioni di gas serra (GHG) per la produzione di mitili, ostriche e mitili allevati su fondo con sistemi a corda sono rispettivamente pari a 107 kg CO₂ eq./tonnellata, 235 kg CO₂ eq./tonnellata e 824 kg CO₂ eq./tonnellata.

Il consumo di carburante diesel per le imbarcazioni da lavoro rappresenta la principale fonte di emissioni nel settore dei mitili, contribuendo a quasi il 90% delle emissioni totali. I materiali di consumo incidono solo in minima parte, rappresentando meno del 10% delle emissioni complessive.

Analogamente, nel settore delle ostriche il diesel utilizzato dai trattori costituisce la principale fonte di emissione, pari a quasi il 60% delle emissioni totali.

Nel complesso, le emissioni del settore dell'acquacoltura dei molluschi bivalvi in Irlanda sono molto basse, contribuendo a meno dell'1% delle emissioni totali di gas serra del settore ittico nazionale.

Per ridurre ulteriormente l'impronta di carbonio dell'acquacoltura dei bivalvi, sono necessarie pratiche di gestione sostenibile e l'adozione di modelli di economia circolare.

Nel settore dell'acquacoltura dei molluschi bivalvi, l'applicazione dei principi dell'economia circolare, in particolare per i prodotti di scarto plastici, può portare a significativi benefici ambientali ed economici.

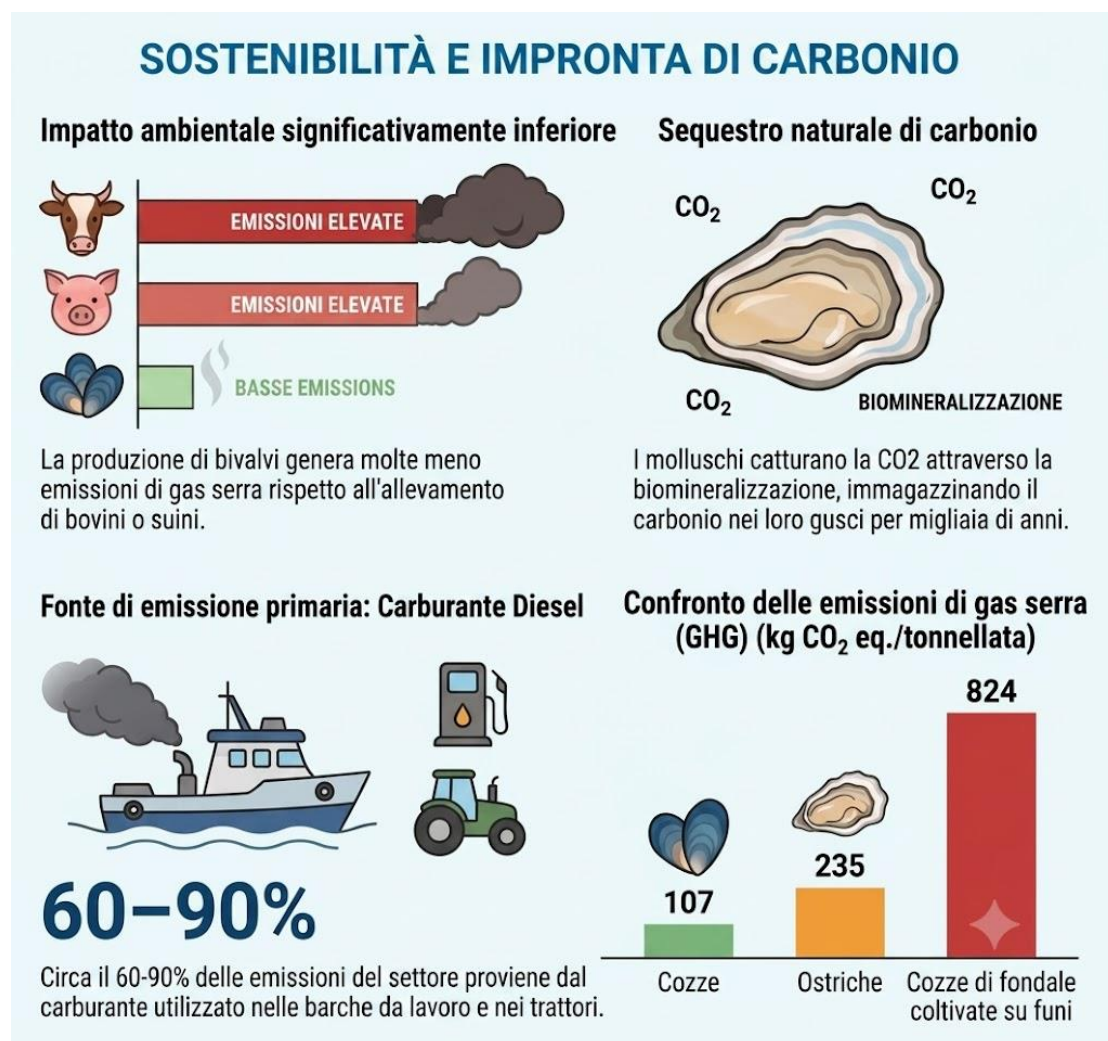


Fig. 21 - Differenze nell'impronta di carbonio tra l'allevamento di bestiame e l'allevamento di bivalvi e principali impatti

- **Ottimizzazione del consumo energetico:** utilizzo di energie rinnovabili, miglioramento dell'efficienza energetica e adozione di sistemi di monitoraggio e controllo.
- **Riduzione, riuso e riciclo:** minimizzazione della produzione di rifiuti, riutilizzo dei materiali e dei prodotti il più a lungo possibile e riciclo dei prodotti non più utilizzabili che devono essere gettati.

- **Ottimizzazione della logistica:** riduzione delle distanze di trasporto e utilizzo di imballaggi ecosostenibili.
- **Valorizzazione dei sottoprodotti:** recupero e valorizzazione dei sottoprodotti della lavorazione dei bivalvi, come le conchiglie, per ridurre gli scarti e generare nuovi prodotti.
- **Acquacoltura integrata:** integrazione dell'acquacoltura con altre attività, come l'allevamento di altre specie, per ottimizzare l'uso delle risorse e ridurre gli impatti ambientali.

I prodotti dell'acquacoltura hanno un'impronta di carbonio molto ridotta se non nulla, che contribuisce al raggiungimento degli obiettivi normativi europei di riduzione delle emissioni. Le imprese di produzione alimentare a basse emissioni di carbonio hanno il potenziale di aumentare la disponibilità e la sicurezza alimentare senza nuocere sull'effetto serra e garantendo ai consumatori una maggiore accessibilità a prodotti ittici nutrienti.

La valutazione dell'impronta di carbonio dell'acquacoltura marina dei molluschi bivalvi richiede una stima accurata delle emissioni di CO₂ associate ai beni capitali e alle attività di allevamento, ma anche del bilancio metabolico di CO₂ delle specie coltivate (Alvarez-Salgado et al., 2022).

Esistono tuttavia delle discrepanze nei processi considerati: come includere e stimare il bilancio del carbonio e quale scala applicare, da quella individuale fino a quella ecosistemica.

Le condizioni ambientali specifiche del sito di produzione ed i metodi di allevamento influenzano in modo significativo i calcoli e le stime.

Alvarez-Salgado et al. (2022), in uno studio sul bilancio metabolico di CO₂ dell'allevamento di mitili nelle insenature costiere di upwelling del Nord-Ovest della penisola iberica, hanno evidenziato un'elevata variabilità dei risultati in funzione del periodo di semina e della dimensione di raccolta, dovuta ai diversi pattern stagionali di crescita della carne e del guscio.

L'inclusione della CO₂ potenzialmente immobilizzata nelle feci dei mitili sepolte nei sedimenti porterebbe a una riduzione delle stime dell'impronta di carbonio metabolica fino al 6% rispetto alle stime basate sul singolo individuo.

3.3 Valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione di molluschi bivalvi europea

Impatto dei cambiamenti climatici sulla produzione di bivalvi in UE: principali criticità e soluzioni proposte.

3.3.1 Comprendere gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi di acquacoltura (temperatura, variazioni di salinità, deplezione di ossigeno, eventi meteorologici estremi)

Il cambiamento climatico sta avendo effetti significativi e diffusi sui sistemi di acquacoltura, influenzando le condizioni ambientali fondamentali per la sopravvivenza e la crescita di pesci, molluschi e alghe allevati.

Uno degli impatti più importanti è l'aumento della temperatura dell'acqua. Con l'aumento delle temperature, anche il metabolismo delle specie acquatiche accelera, il che può inizialmente favorire la crescita. Tuttavia, quando le temperature superano i livelli ottimali, gli organismi subiscono stress termico, con conseguente riduzione della crescita, indebolimento del sistema immunitario e, nei casi più gravi, mortalità. Acque più calde favoriscono inoltre la diffusione di malattie e parassiti, rendendo gli stock di acquacoltura più vulnerabili a focolai.

Le variazioni di salinità rappresentano un'altra criticità importante, soprattutto nei sistemi costieri ed estuarini. Il cambiamento climatico altera i regimi delle precipitazioni e aumenta la frequenza di siccità e alluvioni, causando variazioni significative della salinità. Queste fluttuazioni generano stress negli organismi acquatici, che devono consumare più energia per mantenere l'equilibrio interno, attraverso un processo chiamato osmoregolazione. Cambiamenti improvvisi o estremi della salinità possono ridurre la crescita o causare mortalità di massa, soprattutto nelle specie meno tolleranti.

La deplezione di ossigeno, o ipossia, è sempre più frequente negli ambienti di acquacoltura a causa dell'aumento delle temperature e dell'inquinamento da nutrienti. L'acqua più calda trattiene meno ossigeno disciolto, mentre l'eccesso di nutrienti può favorire fioriture algali che, decomponendosi, riducono ulteriormente l'ossigeno disponibile (processo legato all'eutrofizzazione). Condizioni di basso ossigeno causano forte stress negli organismi, limitando i processi di alimentazione e crescita e aumentando la suscettibilità alle malattie. Nei casi estremi, l'ipossia può provocare morie di pesci su larga scala con gravi perdite economiche.

Inoltre, la maggiore frequenza e intensità di eventi meteorologici estremi, legati al cambiamento climatico, rappresenta una minaccia diretta per le infrastrutture di acquacoltura e le attività produttive. Tempeste e alluvioni possono danneggiare gabbie, impianti e vasche, causando la perdita degli stock e costosi interventi di ripristino. Le acque di piena possono inoltre introdurre inquinanti, sedimenti e patogeni nei sistemi di allevamento, peggiorando ulteriormente la qualità dell'acqua. Questi eventi possono compromettere i programmi di alimentazione, le operazioni di raccolta e la gestione complessiva dell'azienda, rendendo l'acquacoltura più imprevedibile e rischiosa.

Nel complesso, gli effetti combinati dell'aumento della temperatura, delle variazioni di salinità, della riduzione dell'ossigeno e degli eventi estremi riducono la produttività, aumentano i costi operativi e generano maggiore incertezza per il settore. Per questo, l'adattamento a queste condizioni di cambiamento è diventato essenziale per garantire pratiche di acquacoltura sostenibili.

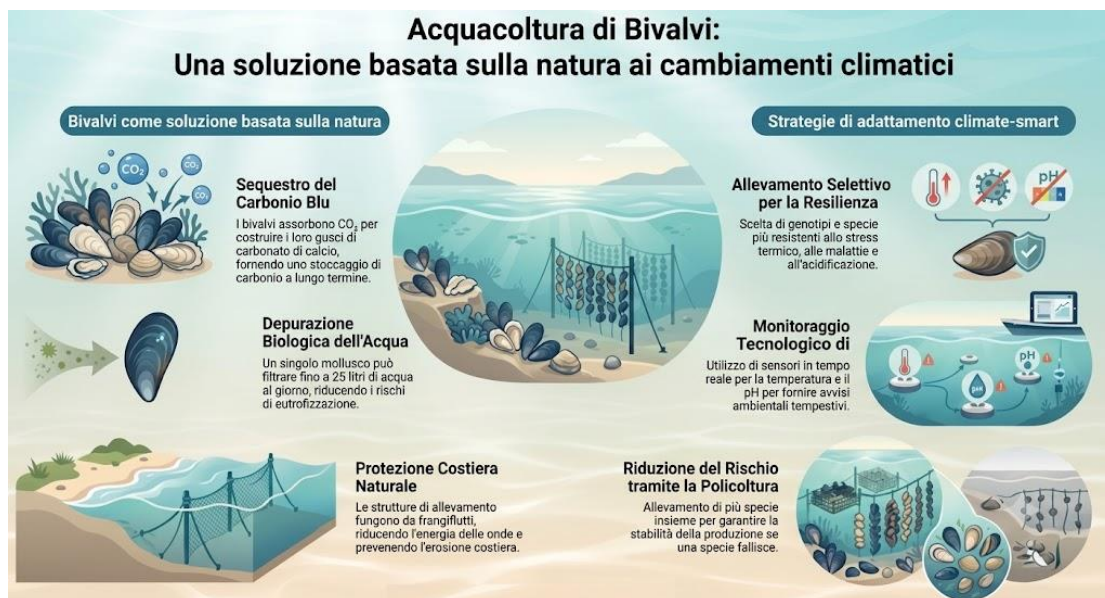


Fig. 22 - Alcune soluzioni per combattere il cambiamento climatico

3.3.2 Soluzioni contro gli impatti del cambiamento climatico sull'acquacoltura dei molluschi bivalvi

I molluschi bivalvi contribuiscono in modo significativo al ciclo del carbonio assorbendo anidride carbonica (CO₂) dall'acqua marina e immagazzinandola nei loro gusci di carbonato di calcio (CaCO₃) attraverso il processo di biomineralizzazione, contribuendo così a ridurre i livelli di CO₂ atmosferica. La loro biomassa rappresenta inoltre un importante serbatoio di carbonio organico, poiché l'attività biologica e la deposizione nei sedimenti favoriscono il seppellimento a lungo termine della materia organica. Sebbene la formazione del guscio comporti il rilascio di una certa quantità di CO₂, l'effetto complessivo dell'allevamento dei bivalvi sullo stoccaggio del carbonio rimane positivo, soprattutto in condizioni ambientali ben gestite (Heilweck et al., 2023).

Secondo Lalli et al. (2010), i sistemi di allevamento dei mitili possono sequestrare quantità significative di "blue carbon", offrendo il duplice vantaggio della produzione alimentare e della protezione ambientale. Studi recenti suggeriscono che l'espansione dell'acquacoltura dei bivalvi potrebbe essere utilizzata strategicamente come soluzione basata sulla natura per mitigare gli effetti del cambiamento climatico, integrando gli sforzi di sequestro del carbonio terrestri.

3.4 Comprendere le diverse strategie a livello aziendale per adattarsi e mitigare il cambiamento climatico, inclusa la selezione di specie e le innovazioni tecnologiche

Strategie di adattamento e mitigazione a livello di allevamento (es. selezione di specie/varietà, rilocalizzazione delle aree, innovazioni tecnologiche).

3.4.1 Comprendere come contrastare i danni causati dal cambiamento climatico all'acquacoltura dei bivalvi (spostamento della produzione, selezione di genotipi o specie più resistenti alla temperatura, policoltura per evitare perdite di prodotto)

Gli acquacoltori stanno adottando sempre di più una serie di strategie a livello aziendale per adattarsi ai cambiamenti climatici e mitigare i loro impatti sulle specie allevate.

Uno degli approcci più importanti ed innovativi è la selezione di specie e genotipi. Gli allevatori possono scegliere specie o genotipi più tolleranti a temperature elevate, variazioni di salinità e condizioni di basso ossigeno. Nell'acquacoltura dei bivalvi, ciò include la selezione o la riproduzione di genotipi con maggiore resistenza allo stress termico, alle malattie e all'acidificazione. Ad esempio, genotipi di ostriche selezionate geneticamente possono sopportare meglio acque più calde e condizioni ambientali variabili, mantenendo la produttività anche in scenari climatici mutevoli.

Un'altra strategia fondamentale è la ricollocazione delle aree di allevamento e/o la scelta del sito. Con il cambiamento delle condizioni ambientali, gli allevatori possono spostare la produzione verso aree con temperature più adatte, migliore qualità dell'acqua o livelli di salinità più stabili.

Ciò può comportare lo spostamento degli impianti in acque più profonde che hanno queste caratteristiche, in diverse zone costiere o in regioni meno esposte a eventi meteorologici estremi. Nell'allevamento dei bivalvi, lo spostamento dei longline o dei banchi di coltura può aiutare a evitare aree soggette a fioriture algali nocive, ipossia o eccessivo riscaldamento.

Per affrontare specificamente i rischi legati al clima nell'acquacoltura dei bivalvi, gli allevatori stanno inoltre adottando strategie di spostamento del prodotto allevato (product movement).

Questo consiste nel trasferire tutto il prodotto allevato in siti o a profondità diverse per evitare condizioni sfavorevoli, ad esempio spostando i molluschi in acque più fresche durante le ondate di calore o spostandoli lontano da aree con scarsa qualità dell'acqua. Questa flessibilità può aiutare a ridurre la mortalità durante eventi estremi, anche se lo spostamento del prodotto può avere costi enormi.

Un'altra possibilità è quella di anticipare la raccolta e di vendere tutto il prodotto prima che i mesi troppo caldi sopraggiungano. In questo modo si evitano perdite economiche e l'impianto si lascia "riposare" nei mesi più caldi.



Fig. 23 - Adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici nell'acquacoltura dei bivalvi

Un'ulteriore strategia efficace è la policoltura, ovvero l'allevamento congiunto di più specie. Nei sistemi a bivalvi, la combinazione di specie diverse (ad esempio mitili con ostriche o alghe) può ridurre il rischio complessivo. Se una specie è colpita negativamente da uno stress climatico, le altre possono continuare a produrre, evitando la perdita totale della produzione. La policoltura può anche migliorare la qualità dell'acqua, poiché alcune specie (come le alghe) assorbono nutrienti in eccesso, contribuendo a contrastare fenomeni come l'eutrofizzazione.

Nel complesso, queste strategie a livello aziendale - che vanno dalla selezione genetica alla rilocalizzazione, fino all'innovazione tecnologica e ai sistemi di produzione diversificati - sono essenziali per rafforzare la resilienza del settore acquicolo. L'adozione combinata di questi approcci consente agli allevatori, in particolare nei settori più vulnerabili come quello dei bivalvi, di affrontare meglio i cambiamenti ambientali mantenendo al contempo sistemi produttivi sostenibili ed efficienti.

3.4.2 Riconoscere il ruolo delle innovazioni tecnologiche (sensori per il monitoraggio della qualità dell'acqua) nell'adattamento e nella mitigazione

Le innovazioni tecnologiche, come i sensori per il monitoraggio della qualità dell'acqua, stanno diventando centrali nel modo in cui gli impianti di acquacoltura si adattano e mitigano gli effetti del cambiamento climatico.

Nell'acquacoltura dei molluschi bivalvi (come ostriche, mitili e vongole), questi strumenti sono particolarmente importanti perché i bivalvi sono organismi molto sensibili a variazioni anche minime del loro ambiente e non possono essere facilmente spostati o controllati una volta posizionati nei sistemi in mare aperto.

Alla base di queste innovazioni vi sono reti di sensori che misurano continuamente parametri ambientali chiave come temperatura, ossigeno disciolto, salinità, pH e clorofilla, offrendo una visione in tempo reale della situazione.

Questi sensori possono essere installati direttamente su longline, zattere o sistemi di coltivazione sul fondale utilizzati nella molluschicoltura. Fornendo dati in tempo reale, permettono agli allevatori di individuare precocemente segnali di stress ambientale — come eventi di riscaldamento, riduzioni di ossigeno o variazioni critiche di salinità — prima che raggiungano livelli dannosi.

Ciò supporta l'adattamento consentendo risposte rapide, come la modifica della densità di allevamento, il rinvio della raccolta o l'attuazione di strategie di spostamento del prodotto (ad esempio trasferimento dei molluschi in siti o profondità più idonee).

Nell'acquacoltura dei bivalvi, i sensori sono particolarmente importanti per il monitoraggio dei rischi legati all'eutrofizzazione e alle fioriture algali nocive (HABs). Ad esempio, sensori di clorofilla e torbidità possono indicare aumenti di fitoplancton, mentre i sensori di ossigeno possono rilevare condizioni di ipossia causate dalla decomposizione delle alghe. I sistemi di allerta precoce basati su queste misurazioni aiutano gli allevatori a evitare la raccolta durante eventi di fioriture tossiche, proteggendo sia lo stock sia la salute dei consumatori e riducendo le perdite economiche.

Un altro ruolo importante della tecnologia dei sensori è il miglioramento del processo decisionale e dell'efficienza gestionale. I dati raccolti possono essere integrati in piattaforme digitali o modelli previsionali che aiutano a prevedere cambiamenti ambientali, consentendo una migliore pianificazione di ondate di calore, tempeste o variazioni stagionali.

Negli schiuditori di bivalvi, il monitoraggio preciso di temperatura, pH e salinità è essenziale per lo sviluppo larvale: i sensori garantiscono condizioni stabili, migliorando i tassi di sopravvivenza e permettendo la produzione di giovanili (spat) più resilienti.

Dal punto di vista della mitigazione, queste tecnologie contribuiscono anche a ridurre l'impatto ambientale dell'acquacoltura. Ottimizzando densità di allevamento e tempi di raccolta sulla base delle condizioni in tempo reale, gli allevatori possono prevenire l'eccessivo sfruttamento delle risorse locali e ridurre l'accumulo di rifiuti organici. Il monitoraggio dei livelli di ossigeno e nutrienti aiuta inoltre a evitare accumuli eccessivi di materia organica che possono peggiorare la qualità dell'acqua.

Nei sistemi integrati (ad esempio bivalvi combinati alle alghe), i sensori permettono di valutare l'efficacia della rimozione dei nutrienti, favorendo pratiche più sostenibili.

Esempi nell'acquacoltura dei molluschi bivalvi includono:

- **Sistemi di boe intelligenti** dotati di sensori multiparametrici che trasmettono dati in tempo reale agli allevatori tramite smartphone o computer, comunemente utilizzati negli allevamenti di ostriche.
- **Reti di sensori fissi installate su longline di mitili** che monitorano temperatura e ossigeno a diverse profondità, aiutando gli allevatori a determinare i momenti ottimali di raccolta o a rilevare fenomeni di stratificazione delle acque.

- **Sistemi di monitoraggio negli schiuditori (hatchery)** che controllano in modo rigoroso pH e temperatura per contrastare gli effetti dell'acidificazione degli oceani sulle larve di ostrica.
- **Reti di allerta precoce per le fioriture algali nocive (HABs)**, in cui i dati dei sensori a livello regionale vengono condivisi tra diversi allevamenti.

Nel complesso, i sensori per il monitoraggio della qualità dell'acqua rappresentano uno strumento potente sia per l'adattamento ai cambiamenti delle condizioni ambientali sia per la mitigazione dei loro impatti negativi.

Nell'acquacoltura dei molluschi bivalvi, dove gli allevatori dipendono fortemente dalle condizioni naturali dell'acqua, queste tecnologie aumentano la resilienza, riducono il rischio e supportano pratiche gestionali più sostenibili e informate.

3.4.3 Dimostrare consapevolezza delle politiche, delle certificazioni e delle migliori pratiche che promuovono l'acquacoltura resiliente al cambiamento climatico (standard FAO, GAA, ASC)

L'acquacoltura resiliente al cambiamento climatico è supportata da una serie di politiche internazionali, schemi di certificazione e pratiche che mirano a rendere l'allevamento di pesci e molluschi più sostenibile, resiliente e responsabile dal punto di vista ambientale.

Organizzazioni chiave come la Food and Agriculture Organization (FAO), la Global Aquaculture Alliance (GAA) e l'Aquaculture Stewardship Council (ASC) svolgono un ruolo importante nel guidare questi sforzi.

La FAO fornisce orientamenti globali attraverso quadri e raccomandazioni che promuovono uno sviluppo sostenibile dell'acquacoltura. Incoraggia pratiche che riducono l'impatto ambientale, migliorano l'efficienza delle risorse e aiutano gli allevamenti ad adattarsi ai cambiamenti climatici, ad esempio attraverso una migliore scelta dei siti, una gestione basata sugli ecosistemi e un uso responsabile degli spazi acquatici. Le politiche della FAO enfatizzano anche la resilienza, aiutando gli allevatori a prepararsi a rischi come eventi meteorologici estremi e cambiamenti delle condizioni dell'acqua.

Gli schemi di certificazione come quelli sviluppati dalla Global Aquaculture Alliance (attraverso le Best Aquaculture Practices, BAP) e dall'Aquaculture Stewardship Council (ASC) stabiliscono standard chiari che gli allevamenti devono rispettare per essere riconosciuti come sostenibili. Queste certificazioni si concentrano su aspetti come la gestione della qualità dell'acqua, la tutela della biodiversità, la salute degli animali e la responsabilità sociale. Nel contesto del cambiamento climatico, promuovono la riduzione dell'inquinamento, l'uso efficiente dell'energia e un attento monitoraggio delle condizioni ambientali. Per l'allevamento dei molluschi, gli standard ASC incoraggiano anche il mantenimento di una buona qualità dell'acqua e la protezione degli ecosistemi circostanti.

Le pratiche promosse all'interno di questi quadri includono il monitoraggio regolare della qualità dell'acqua, densità di allevamento ragionevoli, l'uso di specie o genotipi resilienti e la riduzione dei rifiuti prodotti. Sostengono inoltre innovazioni come l'acquacoltura multitrofica

integrata (ad esempio la combinazione di molluschi e alghe), che può migliorare le prestazioni ambientali.

Nel complesso, queste politiche e certificazioni aiutano a garantire che i sistemi di acquacoltura siano meglio preparati ai cambiamenti climatici, riducendo al contempo il loro impatto sull'ambiente.