Food and Agriculture Organization of the United Nations

FAO DOCUMENTO TECNICO SULLA PESCA E L'ACQUACOLTURA DOCUMENTO

739

ISSN 2070-7010

Quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt)

Uno strumento a supporto dello sviluppo e dell'attuazione di strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici



Quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt)

Uno strumento a supporto dello sviluppo e dell'attuazione di per migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici

FAO
PESCA E
ACQUACOLTURA
TECNICO
DOCUMENTO

739

A cura di

Doris Soto
Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura, Universidad de Concepción Cile

Fernanda Garcia Sampaio
Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura Roma, Italia

ORGANIZZAZIONE DELLE NAZIONI UNITE PER L'ALIMENTAZIONE E L'AGRICOLTURA
Roma, 2025

Citazione richiesta:
Soto, D. & Garcia Sampaio, F., eds. 2025. *Quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt) – Uno strumento a sostegno dello sviluppo e dell'attuazione di strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.* Documenti tecnici della FAO sulla pesca e l'acquacoltura, n. 739. Roma, FAO. https://doi.org/10.4060/cd6476en

Le denominazioni utilizzate e la presentazione del materiale in questo prodotto informativo non implicano l'espressione di alcun parere da parte dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) in merito allo status giuridico o allo sviluppo di qualsiasi paese, territorio, città o area o delle sue autorità, né in merito alla delimitazione delle sue frontiere o confini. La menzione di specifiche aziende o prodotti di fabbricanti, siano essi brevettati o meno, non implica che questi siano stati approvati o raccomandati dalla FAO rispetto ad altri di natura simile che non sono menzionati.

Le opinioni espresse in questo prodotto informativo sono quelle dell'autore o degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni o le politiche della FAO.

ISSN 2070-7010 [Stampa]

ISSN 2664-5408 [Online]

ISBN 978-92-5-140015-9

© FAO, 2025



Alcuni diritti riservati. Questo lavoro è disponibile sotto la licenza Creative Commons Attribution- 4.0 International (CC BY 4.0: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.en).

Ai sensi di tale licenza, l'opera può essere copiata, ridistribuita e adattata, purché sia citata in modo appropriato. In qualsiasi utilizzo dell'opera non deve essere suggerito che la FAO approvi organizzazioni, prodotti o servizi specifici. Non è consentito l'uso del logo della FAO. Se viene creata una traduzione o un adattamento di questo lavoro, è necessario includere la seguente dichiarazione di non responsabilità insieme alla citazione richiesta: "Questa traduzione [o adattamento] non è stata creata dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO). La FAO non è responsabile del contenuto o dell'accuratezza di questa traduzione [o adattamento]. L'edizione originale [in lingua] è da considerarsi l'edizione autorevole".

Qualsiasi controversia derivante dalla presente licenza che non possa essere risolta in via amichevole sarà sottoposta ad arbitrato in conformità con il Regolamento arbitrale della Commissione delle Nazioni Unite per il diritto commerciale internazionale (UNCITRAL). Le parti saranno vincolate da qualsiasi lodo arbitrale emesso a seguito di tale arbitrato come sentenza definitiva della controversia.

Materiali di terzi. La licenza Creative Commons CC BY 4.0 non si applica ai materiali protetti da copyright non appartenenti alla FAO inclusi nella presente pubblicazione. Gli utenti che desiderano riutilizzare materiale proveniente da questa opera attribuito a terzi, come tabelle, figure o immagini, sono tenuti a verificare se sia necessaria un'autorizzazione per tale riutilizzo e a ottenere l'autorizzazione dal titolare del copyright. Il rischio di reclami derivanti dalla violazione di qualsiasi componente di proprietà di terzi presente nell'opera ricade esclusivamente sull'utente.

Fotografie della FAO. Le fotografie della FAO che possono apparire in questo lavoro non sono soggette alla suddetta licenza Creative Commons. Le richieste relative all'uso di qualsiasi fotografia della FAO devono essere inviate a:photo-library@fao.org .

Vendite, diritti e licenze. I prodotti informativi della FAO sono disponibili sul sito web della FAO (www.fao.org/publications) e le copie cartacee possono essere acquistate tramite i distributori ivi elencati. Per domande di carattere generale sulle pubblicazioni della FAO, si prega di contattare:publications@fao.org . Le richieste relative ai diritti e alle licenze delle pubblicazioni devono essere inviate a:copyright@fao.org .

Fotografie di copertina:
1. Allevamento di cozze a Chidguapi, Cile. ©Doris Soto
2. Allevamento policulturale a Chiloe, Cile. ©Doris Soto
3. Acquacoltura su piccola scala, Filippine. ©FAO. David Hogsholt
4. Area allagata. ©FAO. J. Thompson
5. Allevamento di ostriche a Chiloe, Cile. ©Doris

Soto Copertina disegnata da Doris Soto.

Preparazione del presente documento dell'

Il lavoro qui presentato riassume il processo di sviluppo e il contenuto del Quadro di riferimento per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt). In collaborazione con gli esperti del Centro Interdisciplinare per la Ricerca sull'Acquacoltura (INCAR) dell'Università di Concepción, in Cile, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) presenta Aqua-Adapt come uno strumento prezioso per guidare i paesi e le parti interessate nello sviluppo e nell'attuazione di strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

Il presente documento è stato redatto da un gruppo di esperti. Dopo aver proposto una versione preliminare di Aqua-Adapt, è stato sottoposto all'esame di un team globale di esperti e il loro feedback è stato incorporato nella versione finale. Successivamente, sono stati esaminati due casi di studio sull'allevamento di salmone e cozze in Cile attraverso l'attuazione preliminare di Aqua-Adapt.

Il documento è suddiviso in tre capitoli. Questi prendono in considerazione i) una revisione della letteratura sullo stato, le questioni e le sfide per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici; ii) il processo di sviluppo e implementazione di Aqua-Adapt; e iii) i risultati dell'applicazione di Aqua-Adapt a due casi di studio nell'acquacoltura cilena. Inoltre, l'allegato 1 contiene una sintesi di Aqua-Adapt che ne guida l'applicazione in una versione stampabile per facilitarne l'uso.

Il presente documento fornisce informazioni e orientamenti per aiutare a identificare i principali rischi legati al cambiamento climatico che l'acquacoltura deve affrontare e le possibili soluzioni per affrontarli.

Abstract

La vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici richiede urgentemente strategie di adattamento pratiche. Per rafforzare la resilienza del settore, i paesi dovrebbero sviluppare strategie che includano azioni da parte dei vari soggetti interessati, dal campo (specie, allevamenti, sistemi di allevamento, comunità di allevatori, sistemi di ricerca e innovazione, ecc.) fino al livello di governance. I risultati di studi precedenti indicano la necessità di misure più resilienti al clima e di orientamenti per riconoscere e classificare le tecnologie, le innovazioni e le soluzioni che possono ridurre il rischio di cambiamenti climatici e aumentare la resilienza agli stessi. Pertanto, l'iniziativa attuale ha sviluppato un quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt) come strumento per sostenere lo sviluppo e l'attuazione di strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

La FAO ha sviluppato Aqua-Adapt in collaborazione con i ricercatori del Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura (INCAR), includendo un processo consultivo con esperti internazionali provenienti da diverse regioni. Le deliberazioni e le raccomandazioni di questi esperti sono state incorporate nella versione finale di Aqua-Adapt. Per finalizzare lo sviluppo di Aqua-Adapt, sono stati realizzati due casi di studio, uno sull'allevamento del salmone e l'altro sulle cozze. Ciò ha consentito di apportare modifiche e di comprendere meglio le potenziali tecnologie per renderle più resilienti.

Aqua-Adapt è stato sviluppato utilizzando definizioni basate sul quinto e sesto rapporto di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che stabiliscono che il processo di adattamento dovrebbe concentrarsi sulla riduzione dei rischi aumentando al contempo le opportunità.

Aqua-Adapt propone un processo in sei fasi che deve prevedere la partecipazione delle parti interessate e l'accesso alle migliori informazioni disponibili per lo sviluppo di una strategia di adattamento. Il primo passo consiste nello stabilire l'unità di adattamento, che può variare dai singoli agricoltori all'unità geografica e/o geopolitica minima di adattamento. L'unità di adattamento comprende le specie allevate e i sistemi socio-ecologici associati su scale spaziali appropriate. La seconda fase consiste nell'identificare e scegliere i percorsi e i modelli di proiezione climatica più appropriati. La terza fase consiste nell'effettuare una valutazione del rischio e della vulnerabilità sull'unità definita. Questo compito cruciale comporta la previsione e l'identificazione dei pericoli più significativi per guidare le azioni di adattamento e la tempistica. Questa fase deve essere alimentata con le migliori informazioni disponibili, comprese le proiezioni climatiche e gli scenari e le scale temporali scelti. Il quarto passo consiste nel progettare un piano di lavoro di adattamento per ridurre l'esposizione e la sensibilità identificate e aumentare la capacità di adattamento nell'unità di adattamento. Ciò include l'elaborazione di una scala temporale per l'attuazione (azioni necessarie a breve, medio e lungo termine per migliorare la resilienza nell'unità di adattamento) e la scelta delle migliori opzioni di adattamento tenendo conto dell'efficacia delle misure, dei costi e delle difficoltà tecniche. Inoltre, deve considerare i benefici collaterali delle misure di adattamento, il potenziale di maladattamento e le risorse umane e finanziarie. Il quinto passo consiste nell'attuare la strategia seguendo il piano di lavoro. Il sesto passo implica il monitoraggio e la valutazione continui per migliorare l'efficienza e l'efficacia delle misure attuate, i costi e/o le difficoltà tecniche.

Indice

Preparazione del presente documento iii
Sommario iv
Ringraziamenti ix
Abbreviazioni x

CAPITOLO 1 – Situazione attuale, problematiche e sfide per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici: rassegna della letteratura 1

I. Introduzione 1
II. Approccio metodologico 1
III. Risultati principali 2
i. Tendenze e focus delle pubblicazioni 2
ii. Principali rischi per l'acquacoltura a livello globale 3
IV. Analisi e orientamenti sull'adattamento dell'acquacoltura 6
i. Strumenti e orientamenti della FAO: la governance dell'adattamento 6
V. Altre pubblicazioni pertinenti 8
i. Tecnologie, sistemi innovativi e soluzioni nell'acquacoltura che migliorano la resilienza ai cambiamenti climatici 10
ii. Prove di approcci di adattamento di successo 10
VI. Inclusione dell'acquacoltura nei piani nazionali di adattamento e necessità istituzionali e di governance 11
Riferimenti 12

CAPITOLO 2 – Un quadro di adattamento dell'acquacoltura (Aqua-Adapt) per valutare le strategie di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici 27

I. Introduzione 27
i. Aqua-Adapt e il suo processo di sviluppo 27
II. Passaggi per l'applicazione di Aqua-Adapt 29
i. Fase 1: Definire l'unità di adattamento dell'acquacoltura 29
ii. Fase 2: Considerare e valutare le proiezioni e i percorsi relativi ai cambiamenti climatici 30
iii. Fase 3: Eseguire o valutare una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita 31
iv. Fase 4: Elaborare un piano di lavoro per l'adattamento 35
Misure di adattamento che riducono l'esposizione 36
Misure di adattamento che riducono la sensibilità 40
Misure che aumentano la capacità di adattamento 42
Efficacia in termini di costi delle misure di adattamento 44
Considerazioni sull'efficacia in termini di costi per la scelta delle opzioni migliori nel tempo 45
Analisi del rapporto costo-efficacia attraverso un esercizio semiquantitativo 47
Alcuni messaggi chiave dall'analisi del rapporto costo-efficacia per la selezione delle migliori opzioni di adattamento 49
v. Fase 5: Attuare la strategia di adattamento 50
vi. Fase 6: Monitoraggio e valutazione 50
Riferimenti 53

CAPITOLO 3 – Opzioni di adattamento e analisi del rapporto costo-efficacia per ridurre i rischi associati ai cambiamenti climatici: due casi di studio dall'acquacoltura cilena **57**

I. Introduzione 57

II. Utilizzo di Aqua-Adapt per progettare una strategia di adattamento per l'allevamento del salmone cileno . 59

i. Fase 1: Definizione dell'unità di adattamento per l'allevamento del salmone 59

ii. Fase 2: Valutazione dei percorsi di proiezione climatica 59

iii. Fase 3: Eseguire una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità sull'unità definita 59

iv. Fase 4: Elaborazione di un piano di lavoro per l'adattamento 64

v. Fase 4a: Definire le misure di adattamento 64

vi. Fase 4b: Applicazione di un'analisi costo-efficacia 69

vii. Passaggi 5 e 6: Attuazione della strategia, monitoraggio e valutazione 72

III. Progettazione di una strategia di adattamento per la produzione di semenzai di cozze cilene utilizzando Aqua-Adapt 73

i. Fase 1: Definizione dell'unità di adattamento per l'allevamento delle cozze 74

ii. Fase 3: Eseguire una valutazione dei rischi e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento definita unità di adattamento dell'acquacoltura 74

iii. Fase 4: Progettare un piano di lavoro di adattamento 77

iv. Principali messaggi da ricordare da entrambi i casi di studio 80

Riferimenti 81

Allegato 1 – Sintesi delle fasi per l'applicazione di Aqua-Adapt. (Versione stampabile) **84**

TABELLE

1. Pubblicazioni e documenti della FAO che trattano gli impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e/o sulla pesca e sull'acquacoltura 6

2. Esempi di casi pubblicati di approcci di adattamento incentrati sulla riduzione dei rischi noti (o stimati) per l'acquacoltura 8

3. Esempi di opzioni di adattamento a breve e medio-lungo termine che possono migliorare la resilienza complessiva del settore, coinvolgendo direttamente gli allevatori 9

4. Principali fasi per l'inclusione dell'acquacoltura nel PNA e per lo sviluppo di un piano di adattamento specifico per l'acquacoltura 11

5A. Esempi di azioni e misure di adattamento a breve e medio termine (da 1 a 5 anni) per ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) per affrontare vari pericoli. Si noti che la tempistica è relativa, poiché alcune misure a breve termine possono continuare e persino essere modificate nel lungo termine 37

5B. Esempi di azioni e misure di adattamento a lungo termine (6-10 anni o più) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) per far fronte a vari pericoli, come descritto nella letteratura (capitolo 1) e negli studi di casi studi di casi (capitolo 3) 39

6. Matrice di efficacia dei costi per alcune misure di adattamento nell'allevamento ittico marino basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i pericoli e le opzioni più comuni descritti nella letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3) 48

7. Matrice di efficacia dei costi per l'allevamento di cozze (o altri molluschi bivalvi) in lunghe

basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i rischi e le opzioni più comuni descritti in letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3) 48

8. Matrice di costo-efficacia per l'allevamento di pesci d'acqua dolce in stagni basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i rischi e le opzioni più comuni descritti nella letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3) 49

9 Descrizione generale delle fasi proposte da Aqua-Adapt 50

10 Componenti di rischio legate al cambiamento climatico – pericolo (H), esposizione (E) e sensibilità (S) – per le 20 SFA e indicatori utilizzati per costruire ciascun rischio identificato 60

11. Punteggi relativi a pericolo (H), esposizione (E), sensibilità (S) (da 1 a 5) e capacità di adattamento (AC) (da 0 a 1) e rischio stimato di perdita di biomassa di salmone d'allevamento a causa dell'aumento del parassitismo, per 20 SFA organizzate da nord a sud nella regione di Los Lagos, in Cile. 65

12 Stima semiquantitativa dell'efficacia, dei costi e del rapporto costo-efficacia (C/E) di alcune delle misure di adattamento qui proposte per ridurre i rischi dell'allevamento del salmone in un contesto di cambiamenti climatici. 71

13 Componenti di rischio dei cambiamenti climatici – pericolo (H), esposizione (E) e sensibilità (S) – e indicatori e punteggi utilizzati in ciascun caso per stimare i rischi per la produzione di seme di cozze in Cile. 76

14 Punteggi delle componenti di rischio (da 1 a 5) e rischio stimato di perdita di seme di cozze per l'allevamento di cozze in 14 comuni organizzati da nord a sud nella regione di Los Lagos, Cile (Figura 12) 78

15. Stima semiquantitativa dell'efficacia, dei costi e del rapporto costo-efficacia (C/E) delle misure di adattamento proposte per ridurre la produzione di semenzale di cozze in seguito ai cambiamenti climatici. I punteggi di efficacia derivano dai punti di riduzione del rischio stimati (Tabella 14) quando la misura viene adottata. 79

A1. Foglio di calcolo del piano di lavoro per valutare le azioni e le misure di adattamento a breve e medio termine (da 1 a 5 anni) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) in risposta ai pericoli identificati (valutati nella Fase 3) 87

A2. Foglio di calcolo del piano di lavoro per valutare le azioni e le misure di adattamento a lungo termine (da 6 a 10 anni o più) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) in risposta ai pericoli identificati (valutati nella Fase 3) 88

CIFRE

1. Numero di pubblicazioni all'anno che trattano gli effetti diretti e indiretti di Cambiamenti climatici sull'acquacoltura, organizzati per argomento 3
2. Distribuzione delle pubblicazioni per regione 3
3. Numero di pubblicazioni per ambiente, compresi i pericoli indicati o le cause principali degli impatti 4
4. Numero di pubblicazioni per principale taxon allevato (oggetto della pubblicazione), compresi molluschi, pesci, crostacei, alghe e altre specie marine (OTHER_M) quali echinodermi, tunicati ecc., organizzate nelle seguenti categorie: ecosistemi d'acqua dolce e salmastra (FW&B), ecosistemi marini (MAR), pubblicazioni che non distinguono per tipo di ambiente (ALL) e pubblicazioni che includono tutti i gruppi allevati e tutti gli ambienti (ALL TAXA) 5
5. Tipi di approcci al rischio/vulnerabilità per regione 5
6. Processo che genera innovazione e adattamento. 10
7. Quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt) 28
8. La cascata dell'incertezza 31
9. Principali distretti/regioni di acquacoltura nel Cile meridionale: Los Lagos, Aysén e Magallanes 58
10. Indice di rischio di perdita di biomassa (raccolto) a causa dell'aumento del parassitismo in ciascuna SFA (poligoni colorati) dovuto all'aumento della salinità, che a sua volta è una conseguenza della riduzione delle precipitazioni. I colori dei poligoni rappresentano i rischi comparativi su una scala di cinque livelli, da molto basso (verde chiaro) a molto alto (rosso). Le tre sezioni colorate sulla terraferma rappresentano le regioni di Los Lagos, Aysen e Magallanes , da nord a sud 60
11. Catena di eventi che potrebbero influenzare l'allevamento del salmone a causa della riduzione delle precipitazioni 62
12. Rischi comparativi di perdita di seme di cozze selvatiche per i comuni in cui avviene la raccolta di seme di cozze nella regione di Los Lagos, Cile. I colori sono sopra l'area terrestre dei comuni perché la divisione marina di comuni è più difficile da rappresentare 74
13. Catena di eventi che potrebbero influire sulla produzione di cozze a causa della riduzione delle precipitazioni 75

RIQUADRI

1. Domande rilevanti volte a caratterizzare i rischi legati agli impatti climatici e alle risposte di adattamento 33
2. Tecnologie innovative 73

Ringraziamenti

Gli editori e gli autori desiderano ringraziare Anton Salgado, Cai Junning, Eranga Galappaththi, Graham Mair, Halley Froehlich, Helen Gurney-Smith, Lynne Falconer, Olalekan Adekola, Patrick White e Thuy Pham per il prezioso contributo fornito alla versione preliminare di Aqua-Adapt. Un ringraziamento speciale va anche a Lynne Falconer, Patrick White, Tarub Bahri, Xuechan Ma, Alessandro Lovatelli, Daniela Lucente, Mohamed Elsayed M.A. Megahed, Xinhua Yuan e Danielle Rizcallah per aver revisionato il documento e per le correzioni e i preziosi suggerimenti che hanno contribuito al miglioramento della versione finale. Ringraziamo inoltre le seguenti persone per aver contribuito alla preparazione del presente documento: Evan Jeffries per la revisione del testo dal punto di vista linguistico e tecnico, José Luis Castilla per la grafica e l'impaginazione e Alessandro Lovatelli per il gentile supporto nella finalizzazione del documento.

Abbreviazioni

AM	antimicrobici
ARClim	Atlante dei rischi climatici del Cile
AC	capacità di adattamento
C-E	rapporto costo-efficacia
EAA	approccio ecosistemico all'acquacoltura
E	esposizione
Eff	efficacia
FAO	Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura
FCR	indice di conversione alimentare
FW&B	ecosistemi d'acqua dolce e salmastra
GHG	gas serra
GSA	linee guida per l'acquacoltura sostenibile
H	pericolo
HAB	fioriture algali nocive
INCAR	Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura
IPCC	Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici
IMTA	acquacoltura multitrofica integrata
IA	acquacoltura integrata
M	marina
MMA	Ministero dell'Ambiente cileno
NAP	piani nazionali di adattamento
R	rischio
RAS	sistemi di acquacoltura a ricircolo
R&D	ricerca e sviluppo
RCP	percorsi di concentrazione rappresentativi
S	sensibilità
Sernapesca	Servizio Nazionale della Pesca e dell'Acquacoltura del Cile
SFA	Aree di concessione per l'allevamento del salmone
SSP	percorsi socioeconomici condivisi
UNFCCC	Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici
Va	vulnerabilità
WGII	Gruppo di lavoro II dell'IPCC AR6

CAPITOLO 1
Stato, problematiche e sfide per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici: revisione della letteratura

Doris Soto e Marcelo Fuentes
Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura, Universidad de Concepción, Cile

I. INTRODUZIONE

Le implicazioni dei cambiamenti climatici sulla produttività e sulla capacità produttiva dell'acquacoltura sono sempre più documentate (De Silva e Soto, 2009; Reid *et al.,* 2019; Froelich *et al.,* 2022). Ciò rafforza la necessità di prendere in considerazione strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici, comprese azioni da parte di vari soggetti interessati, dal campo (allevamenti, specie, sistemi, ecc.) al livello di governance.

La vulnerabilità dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici richiede urgentemente strategie di adattamento pratiche. La vulnerabilità del settore richiede il rafforzamento della governance per l'adattamento, compreso lo sviluppo e l'adozione di tecnologie e strategie che aumentino la capacità di adattamento dei sistemi di produzione (Soto *et al.,* 2018).

Una buona governance è essenziale per attuare strategie di adattamento dell'acquacoltura di successo, e la FAO e altre organizzazioni, tra cui il Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC, 2023), hanno elaborato linee guida per contribuire a migliorarla (FAO, 2022). La FAO ha pubblicato linee guida su come i paesi possono integrare la pesca e l'acquacoltura nei loro piani nazionali di adattamento (NAP) e nei contributi determinati a livello nazionale (NDC) (Brugère e De Young, 2020; Stanford Center for Ocean Solutions *et al.,* 2024), insieme a diversi altri manuali e strumenti per aumentare la resilienza del settore di fronte ai cambiamenti climatici. Inoltre, sono prontamente disponibili linee guida specifiche per l'acquacoltura adattate alle esigenze particolari del settore, che spesso è più simile all'agricoltura che alla pesca (cfr. ad esempio Norambuena *et al.*, 2024; Stanford Center for Ocean Solutions *et al.,* 2024).

I risultati di precedenti studi della FAO indicano la necessità di azioni e orientamenti più resilienti in materia di adattamento, compreso il modo di riconoscere e classificare le varie tecnologie e soluzioni che possono contribuire a raggiungerlo. In particolare, sono necessari orientamenti più dettagliati sui quadri pratici per migliorare la capacità di adattamento dell'acquacoltura e sulle modalità di progettazione delle iniziative di adattamento.

II. APPROCCIO METODOLOGICO

È stato utilizzato il motore di ricerca Scopus (www.scopus.com), nonché Google Scholar per aggiungere articoli della FAO che non comparivano nella ricerca Scopus; i termini di ricerca utilizzati sono stati "cambiamento climatico" + "acquacoltura" + "specie" nel periodo dal 2000 alla prima metà del 2023. Nella ricerca bibliografica sono stati utilizzati altri termini relativi all'acquacoltura (ad esempio, allevamento ittico, allevamento di gamberetti).

Per ogni pubblicazione sono state ottenute le seguenti informazioni:

- specie o gruppo di specie;
- principali fattori di forzatura e pericoli, compresi cambiamenti dannosi della temperatura dell'acqua, eventi climatici estremi, riduzione dell'ossigeno, aumento delle fioriture algali nocive (HAB), acidificazione degli oceani, cambiamenti dannosi della salinità, innalzamento del livello del mare, parassiti e

malattie, e "TUTTI" se sono inclusi più di tre fattori. La classificazione dei principali pericoli per l'acquacoltura ha seguito De Silva e Soto (2009);
- ambiente (marino, salmastro, d'acqua dolce e "TUTTI" se sono inclusi i tre precedenti); e
- regioni (continenti e regioni).

Si è quindi cercato di classificare e raggruppare i documenti pubblicati in base **all'enfasi o al focus principale nelle seguenti categorie**:
- **BRAd** – Ricerca di base sui potenziali impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e implicazioni generali per l'adattamento che affrontano aspetti fisiologici, specie, genetica, ecc., compresi modelli e proiezioni. Ciò include revisioni delle informazioni pubblicate sugli impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e percorsi di adattamento identificati.
- **RVAd** – Valutazioni dei rischi e/o delle vulnerabilità applicate a specifiche aree geografiche (anche di natura globale) e/o a sistemi o specie di acquacoltura che comportano misure di adattamento generali.
- **RVMP** – Valutazioni dei rischi e/o della vulnerabilità applicate ad aree e/o sistemi di acquacoltura che comportano misure di adattamento che tengono specificamente conto di una migliore gestione della produzione.

La categoria **BRAd** comprende la letteratura che descrive il processo di adattamento, che comporta la raccolta di informazioni per identificare gli impatti previsti dei cambiamenti climatici e gli approcci generali di adattamento. Mentre le categorie **RVAd** e **RVMP** si riferiscono ad articoli sulla valutazione dei rischi e/o della vulnerabilità, quest'ultima include articoli che identificano misure di adattamento specifiche per ridurre i rischi individuati. All'interno delle categorie **RVAd** e **RVMP**, gli autori hanno anche cercato di identificare e caratterizzare gli approcci di valutazione dei rischi.

In questa revisione, gli autori utilizzano il concetto di "misure **di adattamento**" per indicare qualsiasi misura volta a ridurre i rischi e gli impatti legati al cambiamento climatico. Alcune pubblicazioni offrono descrizioni generali dei **"percorsi o approcci di adattamento"** per indicare i processi verso l'adattamento, mentre altre descrivono strumenti e opzioni molto specifici come l'acquacoltura integrata (IA), i sistemi di acquacoltura a ricircolo (RAS), la diversificazione dell'acquacoltura, ecc. (Ahmed e Glaser, 2016; Galappaththi *et al.,* 2020). Pertanto, la classificazione delle pubblicazioni nelle tre categorie sopra definite presenta un certo grado di soggettività. Lo stesso vale per il tentativo di identificare le valutazioni dei rischi e della vulnerabilità.

III. PRINCIPALI RISULTATI DELL'

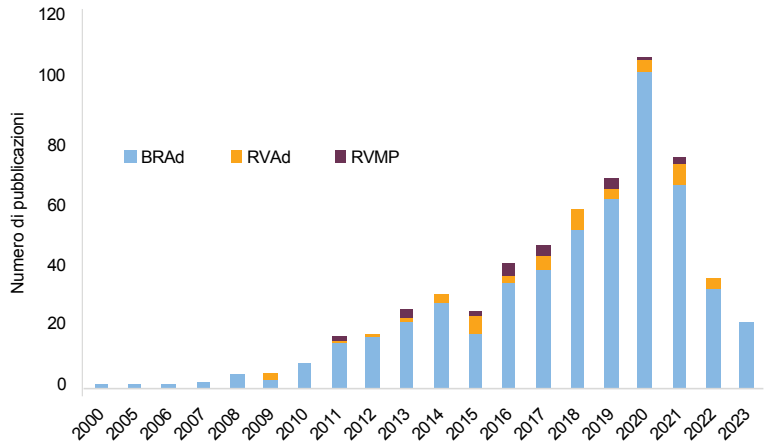
Gli autori hanno individuato 598 pubblicazioni (dal 2000 alla prima metà del 2023) che affrontavano i rischi diretti o indiretti dei cambiamenti climatici per l'acquacoltura e il loro impatto su di essa, e/o affrontavano il rischio e la vulnerabilità, e/o fornivano alcune informazioni sull'adattamento. Tutte le pubblicazioni individuate da Scopus erano in inglese, mentre alcuni documenti della FAO erano in spagnolo.

i. Tendenze delle pubblicazioni e focus dell'

Il numero di pubblicazioni che affrontano le implicazioni dei cambiamenti climatici per l'acquacoltura è aumentato costantemente dal 2000 al 2020 (Figura 1); questo andamento è già stato osservato da Dabbadie *et al.* (2018). Il forte calo dopo il 2020 è probabilmente dovuto alla pandemia globale di COVID-19.

Circa il 90% delle pubblicazioni identificate nella presente revisione affronta i rischi legati al cambiamento climatico, i potenziali impatti sulle specie e sui sistemi acquicoli, le implicazioni generali in termini di rischio e vulnerabilità e vari approcci e misure di adattamento. Tuttavia, solo nel 10% circa delle pubblicazioni è presente una descrizione specifica di alcuni

FIGURA 1
Numero di pubblicazioni all'anno che trattano gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura, organizzate per argomento

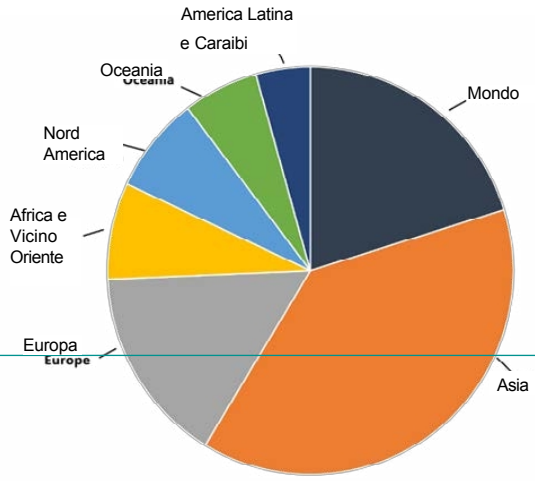


Nota: BRAd = Ricerca di base sui potenziali impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e implicazioni generali per l'adattamento che affrontano aspetti fisiologici, specie, genetica, ecc., compresi modelli e proiezioni; RVAd = valutazioni del rischio e/o della vulnerabilità applicate a specifiche aree geografiche (che potrebbero anche essere di natura globale) e/o a sistemi o specie di acquacoltura che comportano una misura di adattamento; e RVMP = valutazioni del rischio e/o della vulnerabilità applicate ad aree e/o sistemi di acquacoltura che comportano misure di adattamento che prendono in considerazione una migliore gestione della produzione. I dati per il 2023 coprono solo le pubblicazioni rilasciate durante la prima metà dell'anno.

forma di valutazione del rischio[1] e/o della vulnerabilità, secondo i concetti descritti dall'IPCC (IPCC, 2014; Cooley *et al.,* 2022) e da altri autori, anche nelle pubblicazioni della FAO (Handisyde, Telfer e Ross, 2017; Brugère e De Young, 2015; Bueno e Soto, 2017; Soto *et al.,* 2018; Comte, 2021) (Figura 1).

Mentre il 20% delle pubblicazioni è di carattere globale, quelle generate da regioni specifiche (Figura 2) sono dominate dall'Asia (48%). Ciò potrebbe essere considerato una sottorappresentazione, poiché questa regione è responsabile di quasi il 90% della produzione acquicola globale (FAO, 2024).

FIGURA 2
Distribuzione delle pubblicazioni per regione

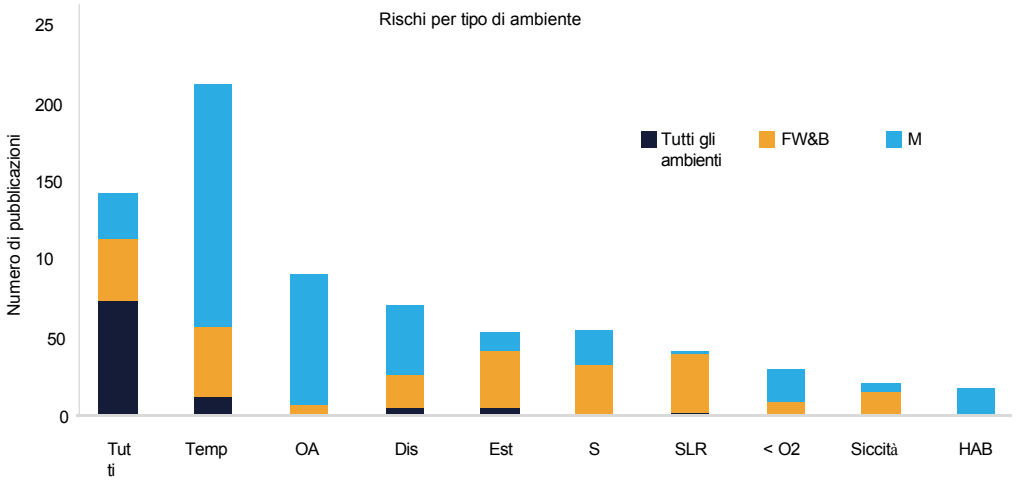


ii. Principali pericoli per l'acquacoltura a livello globale

I rischi e la catena di eventi che incidono sull'acquacoltura sono descritti in diverse pubblicazioni (De Silva e Soto, 2009; Dabbadie *et al.,* 2018; Froehlich *et al*., 2022) e sono raggruppati principalmente in sei categorie descritte nella Figura 3. In tutti i casi, uno o più pericoli hanno causato perdite dirette o indirette all'acquacoltura (aumento della mortalità degli allevamenti

[1] Il rischio è una funzione del pericolo, dell'esposizione e della vulnerabilità (**FAO.** 2016. Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: sintesi dei risultati del Quinto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici, di Anika Seggel e Cassandra De Young. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1122. Roma, Italia. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ccddd8cf-c3dc-4750-a16a-7a00db334908/content)

FIGURA 3
Numero di pubblicazioni per ambiente, compresi i pericoli indicati o le cause principali degli impatti



Nota: Tutti = pubblicazioni che includono tutti i potenziali fattori; Temp = che includono la temperatura come fattore determinante principale; OA = acidificazione degli oceani; Dis = malattie e/o parassiti; Ext = eventi meteorologici estremi; S% = variazioni della salinità; SLR = innalzamento del livello del mare; <O2 = riduzione dell'ossigeno; Drought = siccità; HAB = fioriture algali nocive. Molte pubblicazioni includono più di un fattore. I colori delle barre indicano il tipo di ambiente in cui sono state identificate le informazioni: Tutti gli ambienti = tutti i tipi di ambienti; FW&B = acqua dolce e salmastra; e M = ambienti marini.

individui, riduzione della crescita e delle prestazioni, perdita di infrastrutture, ecc.). Per quanto riguarda il tipo di ambiente in cui si svolge l'acquacoltura, circa il 20% delle pubblicazioni tratta gli impatti dei cambiamenti climatici in tutti gli ambienti; tuttavia, le pubblicazioni e le informazioni che identificano un tipo specifico di ambiente di allevamento sono più comuni per l'acquacoltura marina (62%). Pertanto, l'acquacoltura interna, che rappresenta oltre il 60% della produzione globale, è sottorappresentata. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che vi è una maggiore attività di ricerca e monitoraggio nelle regioni più sviluppate del mondo in cui si svolge la maricoltura, mentre l'acquacoltura interna si svolge principalmente nelle regioni meno sviluppate, dove la letteratura scientifica è meno abbondante. I pericoli identificati a livello globale riflettono questo modello, con l'acidificazione degli oceani che sembra essere il secondo fattore più importante dopo i cambiamenti di temperatura (Figura 3), mentre i paesi più vulnerabili a livello globale devono adattarsi a fattori quali eventi meteorologici estremi, salinizzazione e innalzamento del livello del mare (Handisyde, Telfer e Ross, 2017; Dabbadie *et al.,* 2018). Le malattie e i parassiti associati ai cambiamenti climatici sembrano essere un fattore importante sia per l'acquacoltura marina che per quella continentale.

Quando le pubblicazioni sono organizzate per taxa principali, si riconosce lo stesso schema. Pertanto, vi è una maggiore attenzione per i molluschi marini d'allevamento rispetto ai pesci d'allevamento d'acqua dolce (Figura 4).

Pertanto, l'analisi della letteratura suggerisce che sono necessari ulteriori sforzi di ricerca e comunicazione per comprendere le implicazioni dei cambiamenti climatici (impatti, rischi, capacità di adattamento) per i pesci d'allevamento d'acqua dolce, che sono molto importanti per la sicurezza alimentare nei paesi meno sviluppati, e per le alghe marine, che svolgono anch'esse un ruolo chiave nella mitigazione dei cambiamenti climatici. Questo modello è stato osservato anche da altre recenti revisioni (Froelich *et al.,* 2022).

Approcci di valutazione del rischio

Di tutte le pubblicazioni esaminate, solo una piccola parte ha affrontato la valutazione del rischio e/o della vulnerabilità descrivendone alcune componenti (Figura 5). È importante notare che, sebbene la maggior parte degli studi provenga dall'Asia,

FIGURA 4

Numero di pubblicazioni per principali taxa allevati (oggetto della pubblicazione), compresi tutti i gruppi e gli ambienti di allevamento (TUTTI I TAXA), molluschi (MOLLUSC), pesci (FISH), crostacei (CRUST), alghe (SEAWEED) e altre specie marine (OTHER_M) come echinodermi, tunicati ecc., organizzate nelle seguenti categorie: ecosistemi d'acqua dolce e salmastra (FW&B), ecosistemi marini (M) e pubblicazioni che non distinguono i tipi di ambiente (ALL)

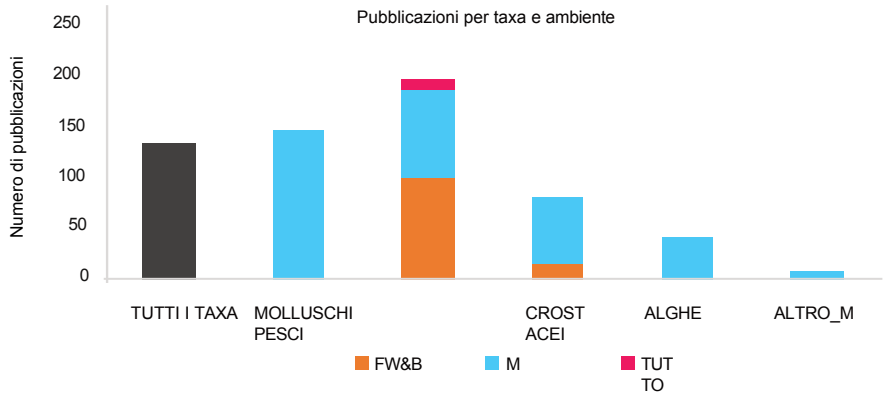
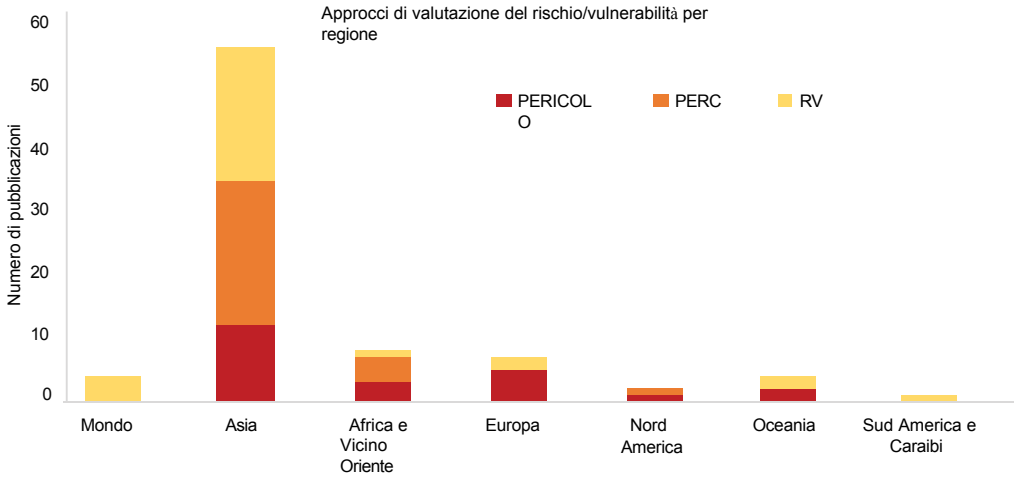


FIGURA 5

Tipi di approcci al rischio/alla vulnerabilità per regione



Nota: PERICOLO = incentrato principalmente sull'identificazione dei pericoli; PERC = stimato attraverso le percezioni delle parti interessate; RV = valutazione del rischio più formale effettuata identificando e stimando le componenti di rischio, compresi i pericoli.

questa percentuale non tiene conto della rappresentanza più elevata di quella regione nella produzione globale. Sono stati identificati tre tipi di valutazioni:

- **Identificazione dei pericoli.** In alcune pubblicazioni è stata effettuata una chiara identificazione dei pericoli attraverso la valutazione sul campo, con la modellizzazione delle proiezioni climatiche per determinate specie o sistemi agricoli o per una specifica area geografica, seguita da proiezioni degli impatti e suggerimenti per approcci di mitigazione e adattamento.
- **Valutazione attraverso le percezioni delle parti interessate.** Un tipo comune di valutazione, soprattutto in alcuni paesi dell'Asia e dell'Africa, prevedeva la valutazione delle percezioni degli agricoltori e delle altre parti interessate in merito ai rischi e agli impatti, spesso accompagnata dall'identificazione di misure di adattamento pratiche (Figura 5). La maggior parte di questi casi riguarda l'acquacoltura su piccola scala, il che indica anche che tali attività sono più vulnerabili (Lebel

et al., 2015). Solo in pochissimi casi è stata effettuata una valutazione dell'efficacia delle misure di adattamento.

- **Valutazioni del rischio e/o della vulnerabilità che prevedono l'adattamento.** In un numero minore di casi, sono state effettuate valutazioni più tradizionali del rischio e/o della vulnerabilità che hanno identificato le componenti di rischio, tra cui pericoli, esposizione, sensibilità e **capacità di adattamento**. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, gli autori erano anche interessati a identificare i casi in cui erano state individuate come importanti migliori pratiche di gestione.

IV. REVISIONI E LINEE GUIDA SULL'ADATTAMENTO ALL' E NELL'ACQUACOLTURA

i. Strumenti e orientamenti della FAO: la governance dell'adattamento dell' e

Sono state individuate in totale 50 pubblicazioni della FAO che forniscono analisi dei rischi, degli impatti, degli aspetti di vulnerabilità e raccomandazioni per l'adattamento (Tabella 1). La maggior parte di esse ha carattere globale e copre tutti i taxa e gli ambienti. Inoltre, gran parte delle pubblicazioni riguarda sia la pesca che l'acquacoltura. Molte affrontano gli impatti dei cambiamenti climatici e le opzioni di adattamento in modo generale.

La FAO ha prodotto due ampie analisi sullo stato della pesca e dell'acquacoltura nel contesto dei cambiamenti climatici (Cochrane *et al.,* 2009; Barange *et al.,* 2018; cfr. tabella 1). Queste coprono diverse regioni, tipi di impatti e alcune raccomandazioni per l'adattamento, tra cui una serie di strumenti (Poulain, Himes-Cornell e Shelton, 2018) che forniscono un quadro iniziale e una strategia per affrontare l'adattamento nella pesca e nell'acquacoltura. La prima revisione globale della pesca e dell'acquacoltura nel contesto dei cambiamenti climatici (Cochrane *et al.,* 2009) includeva un capitolo specifico sull'acquacoltura (De Silva e Soto, 2009) che forniva un'analisi iniziale degli impatti sul settore. La seconda revisione (Barange *et al.,* 2018) comprende quattro capitoli dedicati all'acquacoltura (FTP 627, capitoli da 20 a 24). Più recentemente, le pubblicazioni della FAO si sono concentrate sulla necessità di includere l'acquacoltura nei Piani di Adattamento Nazionale (NAP) e nei Contributi Determinati a Livello Nazionale (NDC) per affrontare il cambiamento climatico (Brugère e De Young, 2020; Stanford Center for Ocean Solutions *et al.,* 2024). Sebbene molte di queste pubblicazioni della FAO affrontino gli approcci di adattamento per l'acquacoltura, nella letteratura globale qui esaminata non sono ancora state adeguatamente affrontate misure e approcci di adattamento specifici per il settore. Ciò è importante, considerando l'importanza globale dell'acquacoltura e dato che essa è molto diversa dalla pesca. Tuttavia, alcune pubblicazioni forniscono informazioni e orientamenti pertinenti (Tabella 2), e questo è anche un punto centrale nello sviluppo dei casi di studio che saranno descritti nel capitolo 3.

TABELLA 1
Pubblicazioni e documenti della FAO che trattano gli impatti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura e/o sulla pesca e sull'acquacoltura

Autori	Anno	Ambito
Focus: Impatto dei cambiamenti climatici e adattamento		
Barange *et al.*	2018	Globale
Dabbadie *et al.*	2018	Globale
Bueno e Soto	2017	Globale
FAO	2017a	Globale
FAO	2017b	Africa e Vicino Oriente
FAO	2016a,b	Globale
FAO	2016c	America Latina e Caraibi
Seggel e De Young	2016	Globale
Shelton	2014	Globale
Soto e Quiñones	2013	America Latina e Caraibi
Curtis *et al.*	2011	Africa e Vicino Oriente
FAO	2011	Asia

TABELLA 1 (CONTINUA)

Autori	Anno	Ambito
Focus: Impatto dei cambiamenti climatici e adattamento		
Sriskanthan e Funge-Smith	2011	Asia
Cochrane *et al.*	2009	Globale
De Silva e Soto	2009	Globale
FAO	2008	Globale
Focus: Impatto dei cambiamenti climatici e biosicurezza		
Bondad-Reantaso, Garrido-Gamarro e McGladdery	2018	Globale
Focus: Impatto delle crisi quali il cambiamento climatico		
FAO	2018	Globale
Focus: Risposta alle emergenze legate al cambiamento climatico		
McConney *et al.*	2015	America Latina e Caraibi
Cattermoul, Brown e Poulain	2014	Globale
Davies *et al.*	2014	Africa e Vicino Oriente
FAO	2014a	Africa e Vicino Oriente
FAO	2014b	Africa e Vicino Oriente
Brown e Poulain	2013	Globale
Focus: Impatto dei cambiamenti climatici e interazioni con altri settori		
Beveridge *et al.*	2018	Globale
Gregory, Funge-Smith e Baumgartner	2018	Globale
Ottaviani, De Young e Tsuji	2017	Asia/Africa e Vicino Oriente
Ottaviani, De Young e Tsuji	2016	Globale
Focus: Strumenti di adattamento		
Poulain, Himes-Cornell e Shelton (Capitolo 25 in FTP 627)	2018	Globale
Focus: Piani nazionali di adattamento (NAP), politiche e strategie		
Norambuena *et al.*	2024	Globale
Brugère e De Young	2020	Globale
Vadacchino, De Young e Brown	2011	Globale
FAO	2010	Globale
Focus: Rischio/vulnerabilità e adattamento		
Thein *et al.*	2019	Asia
Soto *et al.*	2018	Globale
FAO	2016a,b	Globale
Brugère e De Young	2015	Globale
Brugère e De Young	2013	Africa e Vicino Oriente
Barsley, De Young e Brugère	2013	Globale
Johnson, Bell e De Young	2013	Globale
Focus: Economia dell'adattamento		
Watkiss, Ventura e Poulain	2019	Globale
Cai *et al.*	2018	Globale
Focus: Diversificazione per l'adattamento		
Harvey *et al.*	2017	Globale
Focus: Monitoraggio ambientale e allerta precoce		
Virapat, Wilkinson e Soto	2017	Asia
Bravo Moreno, Orozco Montiel e Soto	2016	America Latina e Caraibi
Focus: Pianificazione territoriale		
Aguilar-Manjarrez, Wickliffe e Dean	2018	Globale
Aguilar-Manjarrez, Soto e Brummet	2017	Globale

Fonte: Elaborazione dell'autore sulla base delle informazioni fornite dalla **FAO**. 2019. Il lavoro della FAO sui cambiamenti climatici – Pesca e acquacoltura 2019. Roma, FAO. 61 pagg. www.fao.org/3/ca7166en/ca7166en.pdf

V. ALTRE PUBBLICAZIONI RILEVANTI DELL'

Tra le pubblicazioni esaminate, gli autori hanno individuato almeno 60 documenti pubblicati (Scopus) che forniscono informazioni e orientamenti pertinenti.

La tabella 2 e la tabella 3 mostrano una serie di pubblicazioni che forniscono informazioni utili sul processo di adattamento e sulle opzioni di adattamento specifiche, rispettivamente. In particolare, la tabella 2 mostra le pubblicazioni che non includono valutazioni dirette del rischio e/o della vulnerabilità, ma che contribuiscono con nuove ricerche, analisi delle informazioni, revisioni e sintesi degli approcci di adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. La tabella 3 mostra gli studi che prevedono una qualche forma di valutazione del rischio e/o della vulnerabilità e forniscono raccomandazioni per approcci di adattamento specifici.

Le pubblicazioni includono approcci di governance per affrontare rischi specifici come l'acidificazione degli oceani (Greenhill, Kenter e Dannevig, 2020) e descrizioni di approcci strategici come quello sviluppato dall'Unione Europea per la pesca e l'acquacoltura (Pham *et al*., 2020; Pham *et al*., 2021), che sviluppa un quadro di riferimento per i rischi e le opportunità.

Le pubblicazioni rilevanti all'interno di questo gruppo (Tabella 2) includono revisioni sistematiche delle pratiche di adattamento (Ahmed, Thompson e Glaser, 2019; Galappaththi *et al*., 2020; Abu Samah *et al*., 2021; Lebel *et al.*, 2021a). Alcune pubblicazioni sottolineano il fatto che l'identificazione di pericoli specifici è molto importante per il successo dell'adattamento (Abisha *et al.*, 2022). Diverse pubblicazioni affrontano anche opzioni di adattamento specifiche, come il miglioramento genetico dei pesci e di altri organismi d'allevamento per aumentare la resistenza alla salinità, in caso di innalzamento del livello del mare (Dao Minh *et al.*, 2022). Il miglioramento della biosicurezza appare importante per affrontare le malattie indotte dai cambiamenti climatici (Ferreira *et al.*, 2021; Reverter *et al.*, 2020). La diversificazione dei mezzi di sussistenza, compresa l'acquacoltura diversificata e l'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA), appare spesso come un approccio di adattamento (Tran *et al.*, 2020; Basu e Roy, 2021; Bernzen *et al.*, 2023). Tuttavia, il successo di tali approcci non sembra essere garantito; in molti casi non è chiaro se le diverse specie presenti in un sistema IMTA o di policoltura rispondano in modo diverso allo stesso pericolo.

TABELLA 2

Esempi di casi pubblicati di approcci di adattamento che si concentrano sulla riduzione dei rischi noti (o stimati) per l'acquacoltura

Autori	Approcci di adattamento	Paese	Specie/sistema di acquacoltura
Biswas e Mallick, 2021	Diversificazione dei mezzi di sussistenza	Bangladesh	Gamberetti
Poelma *et al*., 2021	Agricoltura integrata per l'adattamento	Vietnam	Gamberetti
Soto *et al*., 2021	Ridurre la produzione nelle aree ad alto rischio	Cile	Salmone
Akter e Ahmed, 2021	Modificare le stagioni di coltivazione e le specie coltivate	Bangladesh	Gamberetti, granchi
Lebel *et al*., 2015, 2018b; Lebel, Lebel e Lebel, 2016	Strategie senza rimpianti (ad es. raccolta anticipata del pesce, aerazione) e strategie a basso rimpianto (ad es. adeguamento dell'alimentazione)	Thailand	Pesci d'acqua dolce
Asiedu, Adetola e Odame Kissi, 2017	Costruzione di pozzi trivellati, ubicazione degli allevamenti vicino a corpi idrici, adeguamento dei tempi di immissione dei pesci	Ghana	Tilapia
Ahmed e Diana, 2016	Strategie di adattamento in base ai rischi (ad esempio, recinzione e copertura degli stagni con reti, raccolta dell'acqua piovana)	Bangladesh	Pesci d'acqua dolce
Seekao e Pharino, 2016	Aumento dell'altezza delle dighe intorno agli stagni	Thailand	Gamberetti
Pimolrat *et al*., 2013	Gestione dell'alimentazione e della raccolta	Thailandia	Tilapia

Fonte: Tutti i riferimenti utilizzati sono inclusi nella sezione Riferimenti a pagina 12.

TABELLA 3

Esempi di opzioni di adattamento a breve e medio-lungo termine che possono migliorare la resilienza complessiva del settore, coinvolgendo direttamente gli agricoltori

Opzioni di adattamento immediate a breve termine (migliore gestione)		Opzioni di adattamento a medio-lungo termine (strategie di beneficio futuro)	
Nessun rimpianto*/fornirà comunque dei benefici	**Basso rimpianto/alcuni costi aggiuntivi**	**Basso rimpianto/alcuni costi aggiuntivi**	**Costi sostanziali, solitamente è richiesta l'assistenza tecnica e governativa**
Fornire aerazione supplementare secondo necessità (stress/variazioni legati alle condizioni meteorologiche)	Modificare le date di immagazzinamento e regolare la densità di stoccaggio	Proteggere e migliorare il paesaggio e la vegetazione circostanti copertura (ad es. ripristino delle mangrovie)	Pianificazione territoriale strategica per ridurre i rischi Monitoraggio strategico dell'ambiente e del clima e sistemi di allerta precoce
Pescherecci precoci per ridurre le perdite (eventi meteorologici estremi, HAB, ecc.)	Cambia le specie disponibili, modifica la combinazione delle specie	Effettuare una selezione locale delle specie per migliorare la razza	Diversificazione dell'acquacoltura Sviluppare nuovi ceppi e specie di allevamento più resistenti ai cambiamenti climatici
		Implementazione dell'IMTA	
Gestione intelligente delle risorse idriche	Utilizzare le acque sotterranee per pompare gli stagni	Implementare nuove tecnologie di allevamento, ridurre il consumo idrico	Implementare sistemi RAS
Monitoraggio delle condizioni dell'acqua e del comportamento dei pesci, in particolare durante i periodi di stress elevato stress (alte temperature, basso livello di ossigeno, fioriture algali nocive, ecc.)	Adattare/costruire infrastrutture, dighe e stagni resilienti Rafforzare le gabbie	Ricorrere a sistemi di allevamento certificati e resistenti ai cambiamenti climatici	
Migliorare la biosicurezza	Valutare l'uso di vaccini, integratori per la salute dei pesci, ecc.	Migliorare la fornitura di servizi per l'acquacoltura (ad esempio servizi veterinari, gestione della mortalità, raccolta, ecc.)	
Adottare buone pratiche di gestione dell'alimentazione per ridurre lo stress dei pesci (ad esempio, nutrirli presto per evitare tempeste, calore eccessivo)			

* Nessun rimpianto in questo caso si riferisce al fatto che, se sono previsti dei costi, questi probabilmente genereranno benefici in relazione ad altri scopi o risultati.

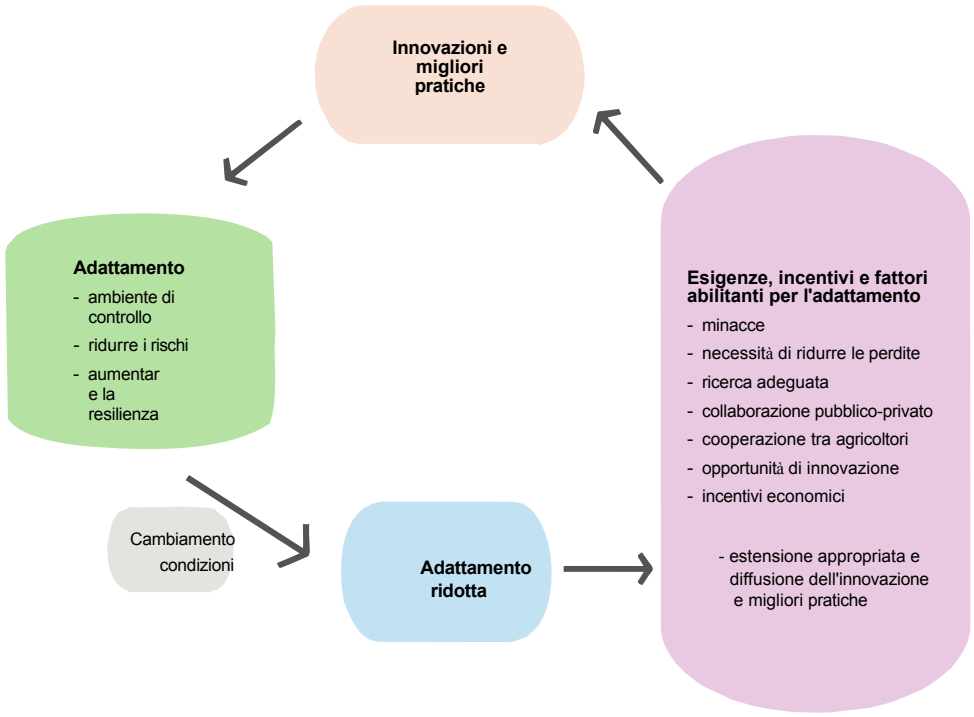
Nota: HAB = fioritura algale nociva; RAS = sistemi di acquacoltura a ricircolo; IMTA = acquacoltura multitrofica integrata.

Fonte: vedi riferimenti.

Poche pubblicazioni hanno utilizzato l'approccio graduale che consiste nell'identificare i pericoli, effettuare una valutazione dei rischi e/o della vulnerabilità e quindi individuare le migliori opzioni di adattamento; tuttavia, al loro interno sono presenti alcuni risultati molto utili da integrare in un quadro di adattamento. Nella maggior parte dei casi, le pubblicazioni descrivono la specifica "unità di adattamento", ovvero un'area geografica e/o un sistema di acquacoltura. La maggior parte di queste si trova in Asia (Pimolrat *et al.,* 2013; Ahmed e Glaser, 2016; Nguyen *et al.*, 2016; Lebel *et al.*, 2016; 2018a,b; 2021a; Macusi *et al.*, 2021, 2022), tra gli altri, con alcune in Africa (Onyeneke *et al.*, 2020; Adekola *et al.*, 2022) e in America Latina (Soto *et al.*, 2019; Matoju *et al.*, 2022., Engelhard *et al.,* 2022).

La maggior parte delle pubblicazioni, tuttavia, tratta delle opzioni di adattamento pratico nei sistemi interni, e la maggior parte di queste sono state identificate da strumenti che valutano le percezioni delle parti interessate.

FIGURA 6
Processo che genera innovazione e adattamento



Fonte: Modificato da **Lebel, L., Navy, H., Jutagate, T., Akester, M.J., Sturm, L., Lebel, P. e Lebel, B.** 2021. Innovazione, pratica e adattamento al clima nel settore dell'acquacoltura. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture,* 29 (4): 721–738 https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1869695

Le pubblicazioni che trattano l'acquacoltura in ambiente marino sottolineano l'importanza del processo di valutazione del rischio e/o della vulnerabilità e dell'identificazione dei pericoli (Tabella 3; Hobday *et al*., 2016; Handisyde, Telfer e Ross, 2017; Soto *et al.*, 2019; Falconer *et al.*, 2020; Adekola, Gatonye e Orina, 2022). Altre pubblicazioni fanno riferimento all'acquacoltura come opzione di adattamento (Dam *et al.*, 2021)

i. Tecnologie, sistemi innovativi e soluzioni nell'acquacoltura che migliorano la resilienza ai cambiamenti climatici

Diversi autori descrivono un processo graduale verso l'adattamento e i tipi di azioni possibili; ad esempio, Lebel *et al*. (2018a, b) descrivono cinque tipi di strategie basate su modelli di riduzione del rischio e i loro benefici e costi nel tempo.

Lebel *et al*. (2021a) descrivono tre tipi di azioni di adattamento – materiali, procedurali e informative – e descrivono diversi meccanismi per svilupparle, sottolineando al contempo che l'innovazione è essenziale (Figura 6). Tuttavia, ciò tralascia azioni specifiche per una migliore gestione che costituiscono il primo passo verso l'adattamento e non richiedono necessariamente innovazione, ma una migliore comprensione di come migliorare la gestione dell'acquacoltura.

ii. Prove di adattamento riuscito Approcci " "

La maggior parte delle prove relative agli approcci di adattamento sul campo proviene dalla valutazione delle percezioni degli stakeholder sui rischi legati ai cambiamenti climatici e sulle modalità con cui essi affrontano tali rischi. Il maggior numero di studi proviene dal Bangladesh, dal Vietnam e dalla Thailandia, con alcuni provenienti dalle Filippine e dall'India e un paio dall'Africa (Tabella 2).

In linea di massima, non vi sono prove sufficienti del successo dell'adattamento in termini di valutazione oggettiva della riduzione delle perdite o dell'aumento della redditività. Tuttavia, vi sono alcuni casi in cui sono stati sviluppati modelli per prevedere i cambiamenti nella redditività; alcuni buoni casi di studio sono descritti da Lebel *et al*. (2018a,b).

È chiaro che i governi e il settore privato devono valutare diverse alternative di adattamento in termini di efficacia, costi e benefici aggiuntivi (vedi anche i casi di studio nel capitolo 3).

VI. INCLUSIONE DELL'ACQUACOLTURA NEI PIANI NAZIONALI DI ADATTAMENTO E ESIGENZE ISTITUZIONALI E DI GOVERNANCE

Un modo essenziale per stimolare e unire gli sforzi verso una strategia di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici è fornire indicazioni per la sua inclusione nei piani nazionali di adattamento (PNA). I PNA consentono di identificare le esigenze di adattamento a medio e lungo termine e di sviluppare e attuare strategie e programmi per affrontarle. I NAP dovrebbero includere tutti i settori di sviluppo e garantire l'integrazione dei singoli approcci di adattamento, evitando un adattamento inadeguato[2] o interferenze negative tra le opzioni di adattamento dei settori.

Il processo di formulazione e attuazione dei NAP è stato formalmente istituito alla 16a Conferenza delle Parti della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) nel 2010 nell'ambito del Quadro di adattamento di Cancún (Decisione 1/CP.16 della COP dell'UNFCCC, LEG, 2012). È quindi essenziale integrare l'acquacoltura nei Piani di adattamento nazionali ed è anche necessario sviluppare strategie specifiche e piani di adattamento per il settore. Brugère e De Young (2020) forniscono linee guida supplementari per l'inclusione della pesca e dell'acquacoltura nei Piani di adattamento nazionali.

L'inclusione dell'acquacoltura nei Piani di adattamento nazionali (NAP) è estremamente rilevante, soprattutto quando l'acquacoltura condivide lo spazio e le risorse terrestri e idriche (ad esempio acqua, ingredienti per mangimi) con altri settori, quali la pesca, l'agricoltura, l'energia e lo sviluppo urbano. Brugère e De Young (2020) raccomandano un processo e una serie di passaggi per i PNA, che possono essere applicati anche per affrontare l'adattamento su scala subnazionale (Tabella 4). Questi autori utilizzano una checklist per descrivere il processo di miglioramento dell'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici a livello nazionale al fine di migliorare un PNA, includendo informazioni e indicazioni tratte dalle pubblicazioni disponibili (prodotte principalmente dalla FAO).

TABELLA 4
Fasi principali per includere l'acquacoltura nel NAP e per sviluppare un piano di adattamento specifico per l'acquacoltura

A. Valutare la struttura e la capacità istituzionale e colmare le lacune	A1 – Valutazione della capacità istituzionale e individuale dell'acquacoltura di partecipare allo sviluppo e all'attuazione del NAP. A2 – Valutazione del coinvolgimento precedente e attuale del settore dell'acquacoltura nei processi di adattamento ai cambiamenti climatici. A3 – Garantire un adeguato coordinamento interistituzionale e intraistituzionale per facilitare l'efficacia delle misure di adattamento.
B. Elementi preparatori	B1 – Fare il punto sulle informazioni disponibili a sostegno dell'inclusione dell'acquacoltura nel PAN. B2 – Analizzare gli impatti previsti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura. B3 – Valutare i rischi e la vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei sistemi di acquacoltura e delle persone che essi sostengono a livelli adeguati. B4 – Sintetizzare e classificare i rischi, gli impatti e le vulnerabilità socio-ecologiche dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici per determinare gli obiettivi di adattamento. B5 – Identificazione e revisione delle opzioni di adattamento dell'acquacoltura e analisi costi/benefici.
C. Strategie di attuazione	C1 – Identificazione dei meccanismi politici che sostengono l'adattamento istituzionale e dei mezzi di sussistenza, la riduzione dei rischi e la gestione della resilienza. C2 – Integrare le opzioni di adattamento dell'acquacoltura e sostenere le misure politiche. C3 – Mobilitare fondi e risorse umane per l'attuazione. C4 – Inserire i contenuti del piano di adattamento dell'acquacoltura nel PNA e nelle politiche nazionali di sviluppo dell'acquacoltura.
D. Comunicazione, monitoraggio e revisione	D1 – Diffusione e comunicazione delle informazioni relative all'adattamento ai cambiamenti climatici. D2 – Monitoraggio e valutazione. D3 – Miglioramento del piano e della sua attuazione.

Fonte: Adattato da **Brugère, C. e De Young, C.** 2020. *Affrontare la pesca e l'acquacoltura nei piani nazionali di adattamento.* Supplemento alle Linee guida tecniche NAP dell'UNFCCC. Roma, FAO. https://doi.org/10.4060/ca2215en

[2] Come definito dall'IPCC, vedere la definizione a pagina 42.

Molti paesi hanno sviluppato i propri Piani di Adattamento Nazionale (NAP) e in alcuni casi l'acquacoltura è stata esplicitamente inclusa nei piani (De Jesus-Ayson, 2019); tuttavia, nella maggior parte dei casi, l'attenzione è ancora rivolta all'agricoltura e alla protezione urbana. A questo proposito, è necessario rafforzare la capacità dei ministeri responsabili dell'acquacoltura affinché possano sviluppare, attuare e promuovere un ambiente favorevole che faciliti l'integrazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici (ad esempio UNFCC, 2022; Cubillos-Santander *et al.,* 2021).

Poulain, Himes-Cornell e Shelton (2018) forniscono una serie di misure per affrontare l'adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura e sostengono il rafforzamento delle capacità in alcuni settori specifici. Per l'acquacoltura, queste devono includere:

- le risorse, compresi i finanziamenti, la tecnologia, i servizi, il territorio e lo spazio idrico, a cui le parti interessate possono accedere quando necessario;
- la flessibilità di modificare le strategie relative all'allevamento, alle specie, ai sistemi, alla commercializzazione, ecc.
- la capacità di organizzarsi e agire collettivamente; e
- apprendimento continuo per riconoscere e rispondere agli effetti dei cambiamenti climatici.

Secondo gli stessi autori, questi ambiti sono trasversali e devono essere considerati in tre aree principali: istituzioni, mezzi di sussistenza e riduzione e gestione dei rischi per la resilienza. Nel caso dell'acquacoltura, è anche importante considerare i ruoli e le responsabilità del settore privato a tutti i livelli di produzione. Il ruolo dell'acquacoltura nell'occupazione diretta e indiretta e nella creazione di posti di lavoro è una parte essenziale di questa equazione (Bueno e Soto, 2017).

Recentemente la FAO ha pubblicato le linee guida NDC-Fish che forniscono un quadro di riferimento fondamentale per integrare gli alimenti acquatici nei contributi determinati a livello nazionale (NDC) e in altre strategie climatiche (Stanford Center for Ocean Solutions *et al.,* 2024). Progettate per i responsabili politici e le parti interessate coinvolte nella formulazione e nell'attuazione degli NDC e di strategie climatiche più ampie, queste linee guida forniscono diversi punti di partenza per sfruttare gli alimenti acquatici al fine di mitigare e adattarsi ai cambiamenti climatici, compreso il sostegno a tecnologie e pratiche di adattamento al clima per aumentare la resilienza ai cambiamenti climatici.

L'inclusione dell'acquacoltura nei Piani di Adattamento Nazionale (NAP), tuttavia, ha avuto tendenzialmente un carattere generale, sia perché il processo dei NAP è nuovo per la maggior parte dei paesi, sia perché l'acquacoltura è un settore relativamente nuovo rispetto all'agricoltura e spesso non è considerata una priorità rispetto all'agricoltura e alla pesca. Sebbene, nella pratica, i NAP sottolineino che il miglioramento della governance è un'azione prioritaria per l'adattamento ai cambiamenti climatici, le esigenze tecniche specifiche dell'acquacoltura non sono state adeguatamente affrontate.

La dichiarazione di cui sopra è confermata dalla revisione della letteratura. Circa il 90% delle pubblicazioni analizzate per questa revisione affronta i rischi legati ai cambiamenti climatici, i potenziali impatti sulle specie e sui sistemi di acquacoltura, le implicazioni in termini di rischio e vulnerabilità e vari approcci di adattamento. Tuttavia, **solo nel 10% circa delle pubblicazioni è presente una descrizione di una qualche forma di valutazione del rischio e/o della vulnerabilità, o di azioni specifiche per ridurre i rischi.** Ciononostante, esistono alcune pubblicazioni che riassumono diversi tipi di azioni volte a migliorare l'adattamento ai cambiamenti climatici, che potrebbero aumentare la resilienza complessiva del settore.

RIFERIMENTI

Abisha, R., Krishnani, K.K., Sukhdhane, K., Verma A.K., Brahmane, M. e Chadha, N.K. 2022. Sviluppo sostenibile dell'acquacoltura resiliente al clima e della pesca basata sulla cultura attraverso l'adattamento agli stress abiotici: una revisione. *Journal of Water and Climate Change,* 13(7): 2671–2689. https://doi.org/10.2166/wcc.2022.045

Abu Samah, A., Shaffril, H.A.M., Fadzil, M.F., Ahmad, N. e Idris, K. 2021. Una revisione sistematica delle pratiche di adattamento nell'acquacoltura agli impatti dei cambiamenti climatici. *Sostenibilità,* 13(20): 11410. https://doi.org/10.3390/su132011410

Adekola, O., Gatonye, M. e Orina, P. 2022. Status e prospettive per l'acquacoltura resiliente al clima in Kenya: il punto di vista delle parti interessate. *Case Studies in the Environment*, 6(1): 1544759. https://doi.org/10.1525/cse.2022.1544759

Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. e Brummett, R. 2017. *Zonizzazione dell'acquacoltura, selezione dei siti e gestione delle aree nell'ambito dell'approccio ecosistemico all'acquacoltura. Un manuale.* Relazione ACS18071. Roma, FAO e Gruppo della Banca mondiale, Washington, DC. 62 pagg. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6834en

Aguilar-Manjarrez, J., Wickliffe, L.C. e Dean, A. 2018. *Linee guida sulle tecnologie spaziali per la gestione del rischio di catastrofi nell'acquacoltura. Un manuale*. Roma, FAO. 120 pp. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2368en

Ahmed, N. e Diana, J.S. 2016. Il cambiamento climatico ha importanza per l'acquacoltura d'acqua dolce in Bangladesh? *Regional Environmental Change*, 16: 1659–1669. https://doi.org/10.1007/ s10113-015-0899-6

Ahmed, N. e Glaser, M. 2016. L'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA) può adattarsi ai cambiamenti climatici nella zona costiera del Bangladesh? *Ocean G Coastal Management*, 132: 120–131. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.08.017

Ahmed, N., Thompson, S. e Glaser, M. 2019. Produttività globale dell'acquacoltura, sostenibilità ambientale e adattabilità ai cambiamenti climatici. *Environmental Management*, 63: 159–172. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3

Akter, S. e Ahmed, K.R. 2021. Approfondimento ed esplorazione delle misure di adattamento agricolo a sostegno dell'obiettivo di sviluppo sostenibile 2 nella regione costiera sud-occidentale del Bangladesh. *Ambiente, sviluppo e sostenibilità*, 23, 4358-4384. https://doi.org/10.1007/ s10668-020-00778-y

Asiedu, B., Adetola, J. O. e Odame Kissi, I. 2017. L'acquacoltura in un clima difficile: la percezione degli agricoltori sul cambiamento climatico e il loro adattamento. Cogent Food & Agriculture, 3(1): 1296400. https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296400

Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. 2018. *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 627. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ i9705en

Barsley, W., De Young, C. e Brugère, C. 2013. *Metodologie di valutazione della vulnerabilità: bibliografia commentata sui cambiamenti climatici e il settore della pesca e dell'acquacoltura.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1083. Roma, FAO. 43 pp. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3315e

Basu, S. e Roy, A. 2021. Valutazione economica della policoltura ittica come strategia di adattamento ai cambiamenti ambientali nella regione costiera sud-occidentale del Bangladesh. *International Journal of Environmental Studies*, 78(1): 105–116. https://doi.org/10.1080 /00207233.2020.1754560

Beveridge, M., Dabbadie, L., Soto, D., Ross, L.G., Bueno, P.B. e Aguilar-Manjarrez, J. 2018. Cambiamenti climatici e acquacoltura – interazioni con la pesca e l'agricoltura. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione,* pp. 535–566. Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/i9705en

Biswas, B. e Mallick, B. 2021. La diversificazione dei mezzi di sussistenza come chiave per la non migrazione a lungo termine: prove dalla costa del Bangladesh. *Ambiente, sviluppo e sostenibilità*, 23: 8924-8948. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01644-1

Bondad-Reantaso, M., Garrido-Gamarro, E. e McGladdery, E. 2018. Rischi legati ai cambiamenti climatici per la sicurezza alimentare e la salute degli animali acquatici. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627, pagg. 517-
533. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9705en

Bravo Moreno, J.R., Orozco Montiel, W.A. e Soto, D. 2016. *Sviluppo di un sistema di monitoraggio ambientale per migliorare la prevenzione e la capacità di adattamento al cambiamento climatico delle comunità di pescatori e acquacoltori: caso di studio Estero Real Nicaragua.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1112. Roma, FAO. 63 pp. http://www.fao. org/3/i5509s/i5509s.pdf

Brown, D. e Poulain, F. 2013. Linee guida per il settore della pesca e dell'acquacoltura sulla valutazione dei danni e delle esigenze in situazioni di emergenza. Roma, FAO. 114 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3433e

Brugère, C. e De Young, C. 2013. *Valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura: metodologie disponibili e loro rilevanza per il settore.* Relazione del seminario di esperti FAO/PaCFA. Windhoek, Namibia, 8-10 aprile 2013. FAO Fisheries and Aquaculture Report n. 1047. Roma. 29 pagine. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3357e

Brugère, C. e De Young, C. 2015. *Valutazione della vulnerabilità al cambiamento climatico nella pesca e nell'acquacoltura: metodologie disponibili e loro rilevanza per il settore.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 597. Roma, FAO. 86 pagine. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5109e

Brugère, C. e De Young, C. 2020. *Affrontare la pesca e l'acquacoltura nei piani nazionali di adattamento.* Supplemento alle linee guida tecniche NAP dell'UNFCCC. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2215en

Bueno, P. e Soto, D. 2017. *Strategie di adattamento del settore dell'acquacoltura agli impatti dei cambiamenti climatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1142. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6943en

Cai, J.N., Leung, P.S., Luo, Y.J., Yuan, X.H. e Yuan, Y.M. 2018. *Migliorare le prestazioni dell'allevamento della tilapia in condizioni di variazione climatica: prospettiva dalla modellizzazione bioeconomica.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 608. Roma, FAO. 76 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8442en

Cattermoul, B., Brown, D. e Poulain, F. 2014. *Linee guida per la risposta alle emergenze nel settore della pesca e dell'acquacoltura.* Roma, FAO. 117 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3432e

Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. e Bahri, T. 2009. *Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: panoramica delle attuali conoscenze scientifiche.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura. N. 530. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i0994e

Comte, A. 2021. Recenti progressi nella valutazione della vulnerabilità/rischio dei cambiamenti climatici nel settore della pesca e dell'acquacoltura. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1225. Roma. FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb4585en

Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ghebrehiwet, D.Y., Ito, S.-I., Kiessling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M.-F., Rost, B. e Skern-Mauritzen, M. 2022: Oceani ed ecosistemi costieri e i loro servizi. In: Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem A. e Rama B. (a cura di) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA, pp. 379–550. https://doi. org/10.1017/9781009325844.005

Cubillos Santander, L., Norambuena Cleveland, R., Soto Benavides, D., Jacques Coper, M., Simon Rodgers, J. e Carmona Montenegro, M.A. 2021. Manuale di formazione sull'adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura in Cile. Santiago del Cile, FAO e Università di Concepción. https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/cb5556es

Curtis, L., Beveridge, M.C.M., el-Gamal, A.R. e Mannini, P. 2011. Adattarsi ai cambiamenti climatici: l'approccio ecosistemico alla pesca e all'acquacoltura nella regione del Vicino Oriente e del Nord Africa – Atti del workshop. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura. N. 1066. Roma, FAO. 2011. 130 pagine. https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/i2146e

Dabbadie, L., Aguilar-Manjarrez, J.J., Beveridge, M.C.M., Bueno, P.B., Ross, L.G. e Soto, D. 2018. *Effetti dei cambiamenti climatici sull'acquacoltura: fattori determinanti, impatti e politiche.* In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627, pagg. 449-463. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/i9705en

Dao Minh, H., Duong Thuy, Y., Pham Thanh, L., Bui Minh, T., Vo Nam, S., Do Thi Thanh, H., Bui Thi Bich, H., Nguyen Thi Ngoc, T., Dang Quang, H., Kestemont, P., Nguyen Thanh, P. e Farnir, F. 2022. Allevamento selettivo di pesci gatto striati tolleranti alla salinità (Pangasianodon hypophthalmus) per un allevamento sostenibile nel delta del Mekong, Vietnam, vulnerabile ai cambiamenti climatici. Aquaculture Reports, 25: 101263. https://doi. org/10.1016/j.aqrep.2022.101263

Davies, S., Sheridan, S., Hjort, A. e Boyer, H. 2014. *Analisi delle lacune nelle priorità e nelle iniziative nazionali e regionali in materia di pesca e acquacoltura nell'Africa meridionale e orientale in relazione ai cambiamenti climatici e alle catastrofi.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1095. Roma, FAO. 100 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3756e

De Jesus-Ayson, E.G. 2019. Migliorare la capacità di adattamento e rafforzare la resilienza nel settore dell'acquacoltura rispetto agli impatti dei cambiamenti climatici, pagg. 99-129. In: Wongbusarakum, S., De Jesus-Ayson, E.G., Weimin, M. e De Young, C. (a cura di). Costruire una pesca e un'acquacoltura resilienti ai cambiamenti climatici nella regione Asia-Pacifico – Workshop consultivo regionale FAO/APFIC. Bangkok, Thailandia, 14-16 novembre 2017. Bangkok, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca5770en

De Silva, S.S. e Soto, D. 2009. Cambiamenti climatici e acquacoltura: potenziali impatti, adattamento e mitigazione. In: Cochrane, K., De Young, C., Soto, D. e Bahri, T. (a cura di) *Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: panoramica delle attuali conoscenze scientifiche.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura. N. 530. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i0994e

Falconer, R.L., Hjøllo, S.S., Telfer, T.C., McAdam, B.J., Hermansen, Ø. e Ytteborg, E. 2020. L'importanza di calibrare le proiezioni sui cambiamenti climatici alle condizioni locali nei siti di acquacoltura. *Acquacoltura*, 514: 734487. https://doi.org/10.1016/j. aquaculture.2019.734487

FAO. 2008. *Relazione del seminario di esperti della FAO sulle implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura. Roma, Italia, 7-9 aprile 2008.* Relazione della FAO sulla pesca. N. 870. Roma, FAO. 2008. 32 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i0203e

FAO. 2010. Sviluppo dell'acquacoltura. 4. Approccio ecosistemico all'acquacoltura. Linee guida tecniche della FAO per una pesca responsabile. N. 5, Suppl. 4. Roma, FAO. 53 p. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1750e

FAO. 2011. *Implicazioni dei cambiamenti climatici sulla pesca e sull'acquacoltura: sfide per l'adattamento e la mitigazione nella regione Asia-Pacifico. Workshop consultivo regionale APFIC/FAO, 24-26 maggio 2011, Kathmandu, Nepal.* Ufficio regionale della FAO per l'Asia e il Pacifico, Bangkok, Thailandia. 52 pagg. https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/ba0084e

FAO. 2014a. *Relazione del seminario FAO/NEPAD sui cambiamenti climatici, le catastrofi e le crisi nel settore della pesca e dell'acquacoltura nell'Africa occidentale e centrale, Accra, Ghana, 1-2 novembre 2012. Relazione della FAO sulla pesca e l'acquacoltura/FAO Rapport sur les pêches et l'aquaculture n. 1037,* Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3239b

FAO. 2014b. *Relazione del seminario FAO/NEPAD sui cambiamenti climatici, le catastrofi e le crisi nel settore della pesca e dell'acquacoltura nell'Africa meridionale e orientale, Maputo, Mozambico, 22-24 aprile 2013.* https://openknowledge.fao.org/ handle/20.500.14283/i3843b

FAO. 2016a. *Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: sintesi dei risultati della quinta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1122. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5707e

FAO. 2016b. *Sintesi sulla pesca, l'acquacoltura e i cambiamenti climatici nel Quinto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Roma, FAO. 16 pagine. https:// openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5871e

FAO. 2016c. *Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (orientaciones de política)*. Santiago, FAO. 38 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6311s

FAO. 2017a. *Climate-smart Agriculture Sourcebook.* Seconda edizione. Roma, FAO. 31 pagine. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i7994en

FAO. 2017b. *Relazione del seminario sull'acquacoltura a prova di clima nell'Africa subsahariana: revisione delle politiche e dei sistemi di produzione per la resilienza ai cambiamenti climatici. Addis Abeba, Etiopia, 9-10 giugno 2016.* https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ i6907en

FAO. 2018. *L'impatto dei disastri e delle crisi sull'agricoltura e la sicurezza alimentare 2017*. Roma, FAO. 168 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8656en

FAO. 2022. *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nel mondo 2022. Verso la trasformazione blu*. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0461en

FAO. 2024. *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nel mondo 2024 – La trasformazione blu in azione*. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ cd0683en

Ferreira, J.G., Taylor, N.G.H., Cubillo, A., Lencart-Silva, J., Pastres, R., Bergh, Ø. e Guilder, J. 2021. Un modello integrato per la produzione acquicola, l'interazione dei patogeni e gli effetti ambientali. *Acquacoltura*, 30: 736438. https://doi.org/10.1016/j. aquaculture.2021.736438

Froehlich, H.E., Koehn, Z., Holsman, K.K. e Halpern, B.S. 2022. Tendenze emergenti nella scienza e notizie sulle minacce dei cambiamenti climatici e sull'adattamento dell'acquacoltura. *Acquacoltura*, 549, 737812. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737812

Galappaththi, E.K., Ichien, S.T., Hyman, A.A., Aubrac, C.J. e Ford, J.D. 2020. Adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. *Reviews in Aquaculture,* 12 (4): 2160–2176. https://doi.org/10.1111/raq.12427

Greenhill, L., Kenter, J.O. e Dannevig, H. 2020. Adattamento all'acidificazione degli oceani legata al cambiamento climatico: un approccio di governance adattativa. *Ocean G Coastal Management*, 191(15): 105176. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105176

Gregory, R., Funge-Smith, S.J. e Baumgartner, L. 2018. *Un approccio ecosistemico per promuovere l'integrazione e la coesistenza della pesca nei sistemi di irrigazione.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1169. Roma, FAO. 65 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2675en

Handisyde, N., Telfer, T.C. e Ross, L.G. 2017. Vulnerabilità dei mezzi di sussistenza legati all'acquacoltura ai cambiamenti climatici su scala globale. *Fish and Fisheries*, 18(3): 466–488. https://doi.org/10.1111/faf.12186

Harvey, B., Soto, D., Carolsfeld, J., Beveridge, M. e Bartley, D.M. 2017. *Pianificazione della diversificazione dell'acquacoltura: l'importanza dei cambiamenti climatici e di altri fattori determinanti. Workshop tecnico della FAO, 23-25 giugno 2016, FAO Roma.* Atti della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 47. Roma, FAO. 166 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i7358en

Hobday, A.J., Spillman, C.M., Paige Eveson, J. e Hartog, J.R. 2016. Previsioni stagionali a supporto delle decisioni nella pesca marina e nell'acquacoltura. *Oceanografia della pesca,* 25(S1): Numero speciale: Riunione SPICES (South Pacific Integrated Ecosystem Studies), 45–56. https://doi.org/10.1111/fog.12083

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2014. *Cambiamenti climatici 2014: impatti, adattamento e vulnerabilità. Parte A: Aspetti globali e settoriali. Contributo del Gruppo di lavoro II alla Quinta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA, 1132 pp.

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2023. Cambiamenti climatici 2023: Relazione di sintesi. Contributo dei gruppi di lavoro I, II e III alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici. IPCC, Ginevra, Svizzera. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Johnson, J., Bell, J. e De Young, C. 2013. *Adattamenti prioritari ai cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura nel Pacifico: ridurre i rischi e sfruttare le opportunità. Workshop FAO/Segretariato della Comunità del Pacifico, 5-8 giugno 2012, Noumea, Nuova Caledonia.* https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3159e

Lebel, L., Lebel, P. e Lebel, B. 2016. Impatto, percezione e gestione dei rischi climatici per l'acquacoltura in gabbia nei bacini idrici della Thailandia settentrionale. *Gestione ambientale*, 58(6): 931–945. https://doi.org/10.1007/s00267-016-0764-5 **Lebel, L., Lebel, P., Lebel, B., Uppanunchai, A. e Duangsuwan, C.** 2018a. Gli effetti dell'inserimento di messaggi tattici nella comunicazione dei rischi con gli allevatori ittici nel nord della Thailandia. *Regional Environmental Change,* 18: 2471–2481. https://doi.org/10.1007/s10113-018-1367-x

Lebel, L., Lebel, P., Chitmanat, C., Uppanunchai, A. e Apirumanekul, C. 2018b. Gestione dei rischi derivanti dagli impatti idrici degli eventi meteorologici estremi e dai cambiamenti climatici incerti sull'acquacoltura interna nel nord della Thailandia. *Water International*, 43(2): 257–280. https://doi.org/10.1080/02508060.2017.1416446

Lebel, L., Navy, H., Jutagate, T., Akester, M.J., Sturm, L., Lebel, P. e Lebel, B. 2021. Innovazione, pratica e adattamento al clima nel settore dell'acquacoltura. *Reviews in Fisheries Science G Aquaculture*, 29 (4): 721–738. https://doi.org/10.1080/23308249.2020

Lebel, P., Whangchai N., Chitmanat, C., Promya, J. e Lebel, L. 2015. Percezioni dei rischi legati al clima e consapevolezza dei cambiamenti climatici degli allevatori di pesci in gabbie nel nord della Thailandia. *Gestione del rischio*, 17(1): 1–22. https://www.jstor.org/stable/43695452

McConney, P., Charlery, J., Pena, M., Phillips, T., Van Anrooy, R., Poulain, F. e Bahri, T. 2015. *Gestione del rischio di catastrofi e adattamento ai cambiamenti climatici nella CARICOM e nella regione dei Caraibi – Proposte di programma. Roma. 21 pp.* https://openknowledge. fao.org/handle/20.500.14283/i4385e

Minh, H. D., Duong Thuy, Y., Pham Thanh, L., Bui Minh, T., Vo Nam, S., Do Thi Thanh, H., Bui Thi Bich, H., Nguyen Thi Ngoc, T., Dang Quang, H., Kestemont, P., Nguyen Thanh, P. e Farnir, F. 2022. Allevamento selettivo di pesci gatto striati tolleranti alla salinità (Pangasianodon hypophthalmus) per un allevamento sostenibile nel delta del Mekong, Vietnam, vulnerabile ai cambiamenti climatici. Aquaculture Reports, 25: 101263. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101263

Nguyen, L.A., Verreth, J.A.J., Leemans, R., Bosma, R. e De Silva, S. 2016. Analisi dell'albero decisionale a supporto dei potenziali adattamenti ai cambiamenti climatici dell'allevamento del pesce gatto striato (Pangasianodon hypophthalmus Sauvage) nel delta del Mekong, Vietnam. *Tropicultura, NS:* 105–115. http://www.tropicultura.org/text/v34ns/105.pdf

Norambuena, R., Soto, D., Núñez Montaner, L. e Aguilar-Manjarrez, J. 2024. Valutazione dello stato di avanzamento delle politiche e dei piani di adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura in America Latina e nei Caraibi. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura, n. 1270. Santiago, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ cc9985es

Onyeneke, R.U., Igberi, C.O., Aligbe, J.O., Iruo, F.A., Amadi, M.U., Iheanacho, S.C., Osuji, E.E., Munonye, J. e Uwadoka, C. 2020. Azioni di adattamento ai cambiamenti climatici da parte degli allevatori ittici: evidenze dalla regione del delta del Niger in Nigeria. *The Australian Journal of Agriculture and Resource Economics,* 64(2): 347–375. https://doi.org/10.1111/1467-8489.12359

Ottaviani, D., De Young, C. e Tsuji, S. 2016. *Lezioni apprese nella contabilità idrica: la prospettiva della pesca e dell'acquacoltura nel quadro del Sistema di contabilità ambientale ed economica (SEEA).* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 599. Roma, FAO. 82 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5880e

Ottaviani, D., De Young, C. e Tsuji, S. 2017. *Valutazione della disponibilità idrica e dei contributi economici, sociali e nutrizionali della pesca interna e dell'acquacoltura: un quadro basato su indicatori – Una raccolta di indicatori relativi all'acqua in alcuni paesi africani e asiatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1116. Roma, FAO. 339 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6681en

Pham, T.T.T., Friðriksdóttir, R., Weber, C.T., Viðarsson, J.R., Papandroulakis, N., Baudron, A.R., Olsen, P., Hansen, J.A., Laksá, U., Fernandes, P.G., Bahri, T., Ragnarsson, S.Ö. e Aschan, M. 2021. Linee guida per la co-creazione di piani di adattamento climatico per la pesca e l'acquacoltura. *Cambiamenti climatici,* 164, 62. https://doi.org/10.1007/ s10584-021-03041-z

Pham, V.H.T., Febriamansyah, R., Afrizal, A. e Tran, T.A. 2020. Adattarsi all'intrusione salina: approfondimenti empirici da due aree costiere nel delta del Mekong vietnamita. *Pertanika Journal of Social Science and Humanities*, 28(2): 1553–1566. http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/22799

Pimolrat, P., Whangchai, N., Chitmanat, C., Promya, J. e Lebel, L. 2013. Indagine sui rischi legati al clima per gli allevamenti di tilapia nel nord della Thailandia. *International Journal of Geosciences,* 4(5): 54–59. https://doi.org/10.4236/ijg.2013.45B009

Poelma, T., Bayrak, M.M., Van Nha, D. e Tran, T.A. 2021. Cambiamenti climatici e capacità di resilienza dei mezzi di sussistenza nel delta del Mekong: un caso di studio sulla transizione all'allevamento di riso e gamberetti nella provincia di Kien Giang in Vietnam. *Cambiamenti climatici,* 164, 9. https:// doi.org/10.1007/s10584-021-02973-w

Poulain, F., Himes-Cornell, A. e Shelton, C. 2018. Metodi e strumenti per l'adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e sull'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627, pagg. 535-566. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9705en

Reid, G.K., Gurney-Smith, H.J., Flaherty, M., Garber, A.F., Forster, I., Brewer-Dalton, K. e Moccia, R.D. 2019. Cambiamenti climatici e acquacoltura: considerare il potenziale di adattamento. Aquaculture Environment Interactions, 11, 603–624. https://doi.org/10.3354/aei00333

Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D., Avarre, J.-C., Combe, M., Pepey, E., Pouyaud, L., Vega-Heredía, S., de Verdal, H. e Gozlan, R.E. 2020. L'acquacoltura al crocevia tra riscaldamento globale e resistenza antimicrobica. *Nature Communications,* 11(1): 1870. www.nature.com/articles/s41467-020-15735-6

Seekao, C. e Pharino, C. 2016. Valutazione della vulnerabilità alle inondazioni degli allevamenti di gamberetti utilizzando una valutazione multicriterio e GIS: un caso di studio nel sottobacino di Bangpakong, Thailandia. *Environmental Earth Sciences*, 75: 308. https://doi.org/10.1007/s12665-015-5154-4

Seggel, A. e De Young, C. 2016. *Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: sintesi dei risultati del Quinto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1122. Roma, FAO. 65 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5707e

Shelton, C. 2014. *Adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura – raccolta di esempi iniziali.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1088. Roma, FAO. 45 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3569e

Soto, D. e Quiñones, R. 2013. *Cambio climático, pesca y acuicultura en América Latina: Potenciales impactos y desafíospara la adaptación.Taller FAO/Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental (COPAS), Universidad de Concepción, Concepción, Chile.FAO Actas de Pesca y Acuicultura. N. 29. Roma, FAO. 335 pp.* https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3356s

Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F.J. e Garreaud, R. 2019. Vulnerabilità dell'allevamento del salmone ai cambiamenti climatici nel Cile meridionale: comprensione dei legami biofisici, socioeconomici e di governance. *Reviews in Aquaculture,* 11(2): 354–374: https://doi.org/10.1111/raq.12336

Soto, D., Ross, L.G., Handisyde, N., Bueno, P.B., Beveridge, M.C.M., Dabbadie, L. e Pongthanapanich, T. 2018. Cambiamenti climatici e acquacoltura: vulnerabilità e opzioni di adattamento. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627, pagg. 535-566. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i9705en

Soto, D., León-Muñoz, J., Garreaud, R., Quiñones, R.A. e Morey, F. 2021. Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. Marine Policy, 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705

Sriskanthan, G. e Funge-Smith, S. 2011. *Il potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura nella regione asiatica.* Ufficio regionale della FAO per l'Asia e il Pacifico, Bangkok, Thailandia. Pubblicazione RAP 2011/16, 41 pagine. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ba0083e

Stanford Center for Ocean Solutions, WorldFish, Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Beijer Institute of Ecological Economics, CARE e Environmental Defense Fund. 2024. *Integrare gli alimenti blu nelle strategie climatiche nazionali: migliorare i contributi determinati a livello nazionale e rafforzare l'azione per il clima.* Stanford Center for Ocean Solutions. https://doi.org/10.25740/ cq607gn4098

Thein, A. K., Gregory, R., Akester, M., Poulain, F. e Langeard, R. 2019. Valutazione rurale partecipativa: studio sulla vulnerabilità delle comunità di pescatori del delta dell'Ayeyarwady in Myanmar e sulle loro opportunità di protezione sociale. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura, 1-47, I, III, VII. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca2893en

Tran, N., Cao, Q.L., Shikuku, K.M., Phan, T.P. e Banks, L.K. 2020. Redditività e benefici percepiti in termini di resilienza dell'acquacoltura integrata di gamberetti, tilapia e alghe nella costa centro-settentrionale del Vietnam. *Marine Policy*, 120: 104153. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104153

UNFCCC (Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici), 2021. Cambiamenti climatici delle Nazioni Unite, Relazione annuale 2021, 63 pagg. https://unfccc.int/sites/default/ files/resource/UNFCCC_Annual_Report_2021.pdf

Vadacchino, L., De Young, C. e Brown, D. 2011. Il settore della pesca e dell'acquacoltura nei programmi d'azione nazionali di adattamento: importanza, vulnerabilità e priorità. Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura. N. 1064. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9b0ac5a1-bba6-43b2-8e02-df30bb665fbf/content

Virapat, C., Wilkinson, S. e Soto, D. 2017. *Sviluppo di un sistema di monitoraggio ambientale per rafforzare la resilienza della pesca e dell'acquacoltura e migliorare l'allerta precoce nel bacino inferiore del Mekong. Bangkok, Thailandia, 25-27 marzo 2015.* http://www.fao.org/3/i6641e/i6641e.pdf

Watkiss, P., Ventura, A. e Poulain, F. 2019. *Processo decisionale ed aspetti economici dell'adattamento ai cambiamenti climatici nel settore della pesca e dell'acquacoltura.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 650. Roma, FAO. 70 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca7229en

ELENCO DEI RIFERIMENTI UTILIZZATI PER ELABORARE LA TABELLA 3

Adhikari, S., Chaudhury, A.K., Barlaya, G., Rathod, R., Mandal R.N., Ikmail, S., Saha, G.S., De, H.K., Sivaraman, I., Mahapatra, A.S., Sarkar, S., Routray, P., Bindu, R., Pillai e Sundaray, J.K. 2018. Strategie di adattamento e mitigazione dell'impatto dei cambiamenti climatici nell'acquacoltura d'acqua dolce in alcuni stati dell'India. *Journal of Fisheries Science,* 12(1): 18–21. https://doi.org/10.21767/1307-234X.1000142

Bernzen, A., Sohns, F., Jia, Y. e Braun, B. 2023. La diversificazione delle colture come strategia di sussistenza delle famiglie in condizioni di stress ambientale. Fattori che contribuiscono all'adozione della diversificazione delle colture nell'allevamento di gamberetti e nelle zone agricole costiere del Bangladesh. *Land Use Policy*, 132: 106796. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106796

Di Giusto, B., Le, T.M.N., Nguyen, T.T.M., Nguyen, T.T.H., Vu, N.U.M. e Lavallee, J.P. 2021. Sviluppo contro adattamento? Affrontare il cambiamento climatico a Ca Mau, Vietnam. *Atmosphere*, 12(9): 1160. https://doi.org/10.3390/atmos12091160

Do, H.-L. e Ho, T.Q. 2022. Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici e acquacoltura dei gamberetti: prove empiriche dal delta del Mekong in Vietnam. *Ecological Economics*, 196: 107411. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107411

Engelhard, G.H., Howes, E.L., Pinnegar, J.K. e Le Quesne, W.J.F. 2022. Valutazione del rischio dei cambiamenti climatici per l'acquacoltura: un caso di studio su scala nazionale per il Sultanato dell'Oman. *Climate Risk Management*, 35: 100416. https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100416

FAO. 2019. *Il lavoro della FAO sui cambiamenti climatici – Pesca e acquacoltura 2019*. Roma, FAO. 61 pagine. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f089ddc4-c5a1-4ac0-b392-84039212128b/content

Galappaththi, E.K., Ichien, S.T., Hyman, A.A., Aubrac, C.J. & Ford, J.D. 2020. Adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. *Reviews in Aquaculture*, 12 (4): 2160–2176. https://doi.org/10.1111/raq.12427

Hassan, I.H. e Othman, W.J. 2019. La coltivazione di alghe marine (Mwani) come strategia di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici e della variabilità climatica a Zanzibar. In: Yanda P.Z. e Bryceson I. (a cura di) *Cambiamenti climatici e risorse costiere in Tanzania.* 370 pp. Springer. https://doi. org/10.1007/978-3-030-04897-6_4

Kais, S.M. e Islam, M.S. 2021. Resilienza ai cambiamenti climatici nella pesca industriale dei gamberetti in Bangladesh: valutazione del ruolo comparativo delle parti interessate. *Sostenibilità*, 13(1): 307. https://doi.org/10.3390/su13010307

Lebel, L., Jutagate, T., Thanh Phuong, N., Akester, M.J., Rangsiwiwat, A., Lebel, P., Phousavanh, P., Navy, H., Soe, K.M. e Lebel, B. 2021b. Pratiche di gestione dei rischi climatici degli allevatori di pesce e gamberetti nella regione del Mekong. *Aquaculture Economics G Management,* 25(4): 388–410. https://doi.org/10.1080/13657305.2021.1917727

Lebel, L., Lebel, P., Lebel, B., Uppanunchai, A. e Duangsuwan, C. 2018a. Gli effetti degli inserti di messaggi tattici sulla comunicazione del rischio con gli allevatori ittici nel nord della Thailandia. *Regional Environmental Change*, 18: 2471–2481. https://doi.org/10.1007/ s10113-018-1367-x

Lebel, L., Navy, H., Jutagate, T., Akester, M.J., Sturm, L., Lebel, P. e Lebel, B. 2021a. Innovazione, pratica e adattamento al clima nel settore dell'acquacoltura. *Reviews in Fisheries Science G Aquaculture,* 29 (4): 721–738 https://doi.org/10.1080/23308249.2 020.1869695

Macusi, E.D., Albarido, N.A., Clapano, M.B. e Santos, M.D. 2022. Valutazione della vulnerabilità degli allevamenti e dei venditori di gamberi bianchi del Pacifico (*Penaeus vannamei*) a Davao, nelle Filippine, utilizzando FishVool. *Sostenibilità*, 14(8): 4541. https://doi.org/10.3390/ su14084541

Macusi, E.D., Geronimo, R.C. e Santos, M.D. 2021. Fattori di vulnerabilità per la catena del valore dell'acquacoltura dei piccoli pelagici e del pesce latte determinati attraverso un approccio partecipativo online. *Marine Policy*, 133: 104710. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104710

Matoju, I., Le Masson, V., Montalescot, V., Ndawala, M.A. e Msuya, F.E. 2022. Una prospettiva di resilienza per esplorare le risposte dei coltivatori di alghe marine agli impatti dei cambiamenti climatici in Tanzania. *Applied Phycology*, 3(1): 132–148. https://doi.org/10.1080/26388081.2022 .2091951

Ngo, T.T.T., Nguyen, H.Q., Gorman, T., Ngo Xuan, Q., Ngo, P.L.T. e Vanreusel, A. 2022. Impatto di un progetto di controllo dell'acqua salina sui mezzi di sussistenza dell'acquacoltura nel delta del Mekong vietnamita. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 13(3): 418–436. https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2021-0155

Nguyen, H.Q., Tran, D.D., Luan, P.D.M.H., Ho, L.H., Loan, V.T.K., Anh Ngoc, P.T., Quang, N.D., Wyatt, A. e Sea, W. 2020. Resilienza socio-ecologica dei modelli mangrovia-gambero sotto varie minacce esacerbate dall'intrusione salina nella zona costiera del delta del Mekong vietnamita. *International Journal of Sustainable Development G World Ecology*, 27(7): 638–651. https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1731859

Norambuena, F., Rombenso, A. e Turchini, G.M. 2016. Verso l'ottimizzazione delle prestazioni del salmone atlantico allevato a diverse temperature dell'acqua attraverso la manipolazione del rapporto ARA/EPA nella dieta. *Acquacoltura,* 450: 48–57. https://doi. org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.044

Oparinde, L.O. 2021. Benessere degli allevatori ittici e strategie di adattamento ai cambiamenti climatici nella Nigeria sud-occidentale: applicazione del modello di regressione multinomiale endogena con commutazione. *Aquaculture Economics G Management*, 25(4): 450–471. https://doi.org/10.1080/136 57305.2021.1893863

Pernet, F. e Browman, H.I. 2021. Il futuro è adesso: l'acquacoltura marina nell'Antropocene. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1): 315–322. https://doi.org/10.1093/ icesjms/fsaa248

Rusekwa, S.B., Campbell, I., Msuya, F.E., Buriyo, A.S. e Cottier-Cook, E.J. 2020. Politica e legislazione in materia di biosicurezza nell'industria dell'acquacoltura delle alghe marine in Tanzania. *Journal of Applied Phycology*, 32: 4411–4422. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02194-1

San Martin, V.A., Vasquez Lavín, F., Ponce Oliva, R.D., Lerdón, X.P., Rivera, A., Sarramalera, L. e Gelcich, S. 2020. Esplorazione della capacità di adattamento dell'industria della maricoltura delle cozze in Cile. *Aquaculture*, 519: 734856. https://doi.org/10.1016/j. aquaculture.2019.734856

Sharaan, M., Iskander, M. e Udo, K. 2022. Adattamento costiero all'innalzamento del livello del mare: una panoramica degli sforzi compiuti dall'Egitto. *Ocean G Coastal Management*, 218: 106024. https://doi. org/10.1016/j.ocecoaman.2021.106024

Spillman, C.M., Hartog, J.R., Hobday, A.J. e Hudson, D. 2015. Previsione dei fattori ambientali che influenzano la produzione dell'acquacoltura di gamberi per migliorare la gestione degli allevamenti. *Aquaculture,* 447: 56–65. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.008

Steeves, L. e Filgueira, R. 2019. Percezioni delle parti interessate sul cambiamento climatico nel contesto dell'acquacoltura dei molluschi bivalvi. *Marine Policy*, 103: 121–129. https://doi.org/10.1016/j. marpol.2019.02.024

Stewart-Sinclair, P.J., Last, K.S., Payne, B.L. e Wilding, T.A. 2020. Valutazione globale della vulnerabilità dell'acquacoltura dei molluschi al cambiamento climatico e all'acidificazione degli oceani. *Ecology and Evolution*, 10(7): 3518–3534. https://doi.org/10.1002/ece3.6149

Sujan, M.H.K., Kazal, M.M.H., Ali, M.S. e Rahman, M.S. 2021. Analisi costi-benefici dell'ingrasso dei granchi di fango nelle zone costiere del Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 19: 100612. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100612

Thai-Nghe, N., Thanh-Hai, N. e Ngon, N.C. 2020. Approccio di deep learning per la previsione della qualità dell'acqua nei sistemi IoT. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(8): 686–693. https://doi.org/10.14569/ IJACSA.2020.0110883

Ward, M., Spalding, A.K., Levine, A. e Wolters, E.A. 2022. Allevatori di molluschi della California: percezioni dei cambiamenti delle condizioni oceaniche e strategie per la capacità di adattamento. *Ocean G Coastal Management*, 225: 106155. https://doi.org/10.1016/j. ocecoaman.2022.106155

Whitney, C.K., Conger, T., Ban, N.C. e McPhie, R. 2020. Sintesi e comunicazione degli impatti dei cambiamenti climatici per informare la pianificazione dell'adattamento costiero. *FACETS*, 5: 704–737. https://doi.org/10.1139/facets-2019-0027

Xiao, X., Agustí, S., Yu, Y., Huang, Y., Chen, W., Hu, J., Li, C., Li, K., Wei, F., Lu, Y., Xu, C., Chen, Z., Liu, S., Zeng, J., Wu, J. e Duarte, C.M. 2021. Le coltivazioni di alghe marine offrono rifugio dall'acidificazione degli oceani. *Science of the Total Environment,* 776: 145192 https:// doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145192

Zhang, Y.-Y., Yu, S.-E., Wang, W.-L., Yang, L.-E., Lu, Q.-Q., Xie, C.-T., Liu, T. e Dong, Y.-W. 2023. Sensibilità alla temperatura delle macroalghe marine per l'acquacoltura in Cina. *Aquaculture*, 567: 739262. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739262

McConney, P., Charlery, J., Pena, M., Phillips, T., Van Anrooy, R., Poulain, F. e Bahri, T. 2015. *Gestione dei rischi di catastrofi e adattamento ai cambiamenti climatici nella regione CARICOM e nei Caraibi in generale – Formulazione di una strategia, un piano d'azione e un programma per la pesca e l'acquacoltura. Relazione sul workshop regionale 10-12 dicembre 2012, Kingston, Giamaica.* http://www.fao.org/3/i4369e/i4369e.pdf

Ngo, T.T.T., Nguyen, H.Q., Gorman, T., Ngo Xuan, Q., Ngo, P.L.T. e Vanreusel, A. 2022. Impatto di un progetto di controllo dell'acqua salina sui mezzi di sussistenza dell'acquacoltura nel delta del Mekong vietnamita. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 13(3): 418–436. https://doi.org/10.1108/JADEE-06-2021-0155

Nguyen, H.Q., Tran, D.D., Luan, P.D.M.H., Ho, L.H., Loan, V.T.K., Anh Ngoc, P.T., Quang, N.D., Wyatt, A. e Sea, W. 2020. Resilienza socio-ecologica dei modelli mangrovia-gambero sotto varie minacce esacerbate dall'intrusione salina nella zona costiera del delta del Mekong vietnamita. *International Journal of Sustainable Development G World Ecology*, 27(7): 638–651. https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1731859

Nguyen, L.A., Verreth, J.A.J., Leemans, R., Bosma, R. e De Silva, S. 2016. Analisi dell'albero decisionale a supporto dei potenziali adattamenti ai cambiamenti climatici dell'allevamento del pesce gatto striato (Pangasianodon hypophthalmus Sauvage) nel delta del Mekong, Vietnam. *Tropicultura, NS:* 105–115. http://www.tropicultura.org/text/v34ns/105.pdf

Norambuena, F., Rombenso, A. e Turchini, G.M. 2016. Verso l'ottimizzazione delle prestazioni del salmone atlantico allevato a diverse temperature dell'acqua attraverso la manipolazione del rapporto ARA/EPA nella dieta. *Aquaculture,* 450: 48–57. https://doi. org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.044

Onyeneke, R.U., Igberi, C.O., Aligbe, J.O., Iruo, F.A., Amadi, M.U., Iheanacho, S.C., Osuji, E.E., Munonye, J. e Uwadoka, C. 2020. Azioni di adattamento ai cambiamenti climatici da parte degli allevatori ittici: evidenze dalla regione del delta del Niger in Nigeria. *The Australian Journal of Agriculture and Resource Economics,* 64(2): 347–375. https://doi.org/10.1111/1467-8489.12359

Oparinde, L.O. 2021. Benessere degli allevatori ittici e strategie di adattamento ai cambiamenti climatici nella Nigeria sud-occidentale: applicazione del modello di regressione multinomiale endogena con commutazione. *Aquaculture Economics G Management*, 25(4): 450–471. https://doi.org/10.1080/136573 05.2021.1893863

Ottaviani, D., De Young, C. e Tsuji, S. 2016. *Lezioni apprese nella contabilità idrica: la prospettiva della pesca e dell'acquacoltura nel quadro del Sistema di contabilità ambientale ed economica (SEEA).* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 599. Roma, FAO. 82 pp. www.fao.org/3/i5880e/i5880e.pdf

Ottaviani, D., De Young, C. e Tsuji, S. 2017. *Valutazione della disponibilità idrica e dei contributi economici, sociali e nutrizionali della pesca interna e dell'acquacoltura: un quadro basato su indicatori – Una raccolta di indicatori relativi all'acqua in alcuni paesi africani e asiatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1116. Roma, FAO. 339 pagg. www.fao.org/3/i6681e/i6681e.pdf

Pernet, F. e Browman, H.I. 2021. Il futuro è adesso: l'acquacoltura marina nell'Antropocene. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1): 315–322. https://doi.org/10.1093/ icesjms/fsaa248

Pham, T.T.T., Friðriksdóttir, R., Weber, C.T., Viðarsson, J.R., Papandroulakis, N., Baudron, A.R., Olsen, P., Hansen, J.A., Laksá, U., Fernandes, P.G., Bahri, T., Ragnarsson, S.Ö. e Aschan, M. 2021. Linee guida per la co-creazione di piani di adattamento climatico per la pesca e l'acquacoltura. *Climatic Change,* 164, 62. https://doi.org/10.1007/ s10584-021-03041-z

Pham, V.H.T., Febriamansyah, R., Afrizal, A. e Tran, T.A. 2020. Adattarsi all'intrusione salina: approfondimenti empirici da due aree costiere nel delta del Mekong vietnamita. *Pertanika Journal of Social Science and Humanities*, 28(2): 1553–1566. http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/22799

Pimolrat, P., Whangchai, N., Chitmanat, C., Promya, J. e Lebel, L. 2013. Indagine sui rischi legati al clima per gli allevamenti di tilapia nel nord della Thailandia. *International Journal of Geosciences,* 4(5): 54–59. https://doi.org/10.4236/ijg.2013.45B009

Poelma, T., Bayrak, M.M., Van Nha, D. e Tran, T.A. 2021. Cambiamenti climatici e capacità di resilienza dei mezzi di sussistenza nel delta del Mekong: un caso di studio sulla transizione all'allevamento di riso e gamberetti nella provincia di Kien Giang in Vietnam. *Climatic Change,* 164, 9. https:// doi.org/10.1007/s10584-021-02973-w

Poulain, F., Himes-Cornell, A. e Shelton, C. 2018. Metodi e strumenti per l'adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura. In: Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. e Poulain, F. (a cura di) *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali, opzioni di adattamento e mitigazione.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura 627, pagg. 535-566. Roma, FAO. http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf

Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D., Avarre, J.-C., Combe, M., Pepey, E., Pouyaud, L., Vega-Heredía, S., de Verdal, H. e Gozlan, R.E. 2020. L'acquacoltura al crocevia tra riscaldamento globale e resistenza antimicrobica. *Nature Communications,* 11(1): 1870. https://doi.org/10.1038/s41467-020-15735-6

Rusekwa, S.B., Campbell, I., Msuya, F.E., Buriyo, A.S. e Cottier-Cook, E.J. 2020. Politica e legislazione in materia di biosicurezza nell'industria dell'acquacoltura delle alghe marine in Tanzania. *Journal of Applied Phycology*, 32: 4411–4422. https://doi.org/10.1007/s10811-020-02194-1

San Martin, V.A., Vasquez Lavín, F., Ponce Oliva, R.D., Lerdón, X.P., Rivera, A., Sarramalera, L. e Gelcich, S. 2020. Esplorazione della capacità di adattamento dell'industria della maricoltura delle cozze in Cile. *Aquaculture*, 519: 734856. https://doi.org/10.1016/j. aquaculture.2019.734856

Seekao, C. e Pharino, C. 2016. Valutazione della vulnerabilità alle inondazioni degli allevamenti di gamberetti utilizzando una valutazione multicriterio e GIS: un caso di studio nel sottobacino di Bangpakong, Thailandia. *Scienze ambientali della Terra*, 75: 308. https://doi.org/10.1007/s12665-015-5154-4

Seggel, A. e De Young, C. 2016. *Implicazioni dei cambiamenti climatici per la pesca e l'acquacoltura: sintesi dei risultati della quinta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1122. Roma, FAO. 65 pagg. https://www.fao.org/3/i5707e/i5707e.pdf

Sharaan, M., Iskander, M. e Udo, K. 2022. Adattamento costiero all'innalzamento del livello del mare: una panoramica degli sforzi compiuti dall'Egitto. *Ocean G Coastal Management*, 218: 106024. https://doi. org/10.1016/j.ocecoaman.2021.106024

Shelton, C. 2014. *Adattamento ai cambiamenti climatici nella pesca e nell'acquacoltura – raccolta di esempi iniziali.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1088. Roma, FAO. 45 pp. http://www.fao.org/3/i3569e/i3569e.pdf

Soto, D. e Quiñones, R. 2013. *Cambio climático, pesca y acuicultura en América latina: potenciales impactos y desafíos para la adaptación.* Actas de Pesca y Acuicultura N° 29. 344 p. Roma, FAO. http://www.fao.org/3/i3356s/i3356s.pdf

Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F.J. e Garreaud, R. 2019. Vulnerabilità dell'allevamento del salmone ai cambiamenti climatici nel Cile meridionale: comprensione dei legami biofisici, socioeconomici e di governance. *Reviews in Aquaculture,* 11(2): 354–374: https://doi.org/10.1111/raq.12336

Soto, D., Ross, L.G., Handisyde, N., Bueno, P.B., Beveridge, M.C.M., Dabbadie, L. e Pongthanapanich, T. 2018. Cambiamenti climatici e acquacoltura: vulnerabilità e opzioni di adattamento. In: FAO (ed.), *Impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura: sintesi delle conoscenze attuali. Opzioni di adattamento e mitigazione*, pp. 465–490. Roma, FAO.

Spillman, C.M., Hartog, J.R., Hobday, A.J. e Hudson, D. 2015. Previsione dei fattori ambientali che influenzano la produzione dell'acquacoltura dei gamberi per migliorare la gestione degli allevamenti. *Acquacoltura,* 447: 56–65. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.008

Sriskanthan, G. e Funge-Smith, S. 2011. *Il potenziale impatto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura nella regione asiatica.* Ufficio regionale della FAO per l'Asia e il Pacifico, Bangkok, Thailandia. Pubblicazione RAP 2011/16, 41 pp. http://www.fao.org/3/ba0083e/ba0083e00.pdf

Stanford Center for Ocean Solutions, WorldFish, Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura, Beijer Institute of Ecological Economics, CARE e Environmental Defense Fund. 2024. *Integrare gli alimenti blu nelle strategie climatiche nazionali: migliorare i contributi determinati a livello nazionale e rafforzare l'azione per il clima.* Stanford Center for Ocean Solutions. https://doi.org/10.25740/ cq607gn4098

Steeves, L. e Filgueira, R. 2019. Percezioni delle parti interessate sul cambiamento climatico nel contesto dell'acquacoltura dei molluschi bivalvi. *Marine Policy*, 103: 121–129. https://doi.org/10.1016/j. marpol.2019.02.024

Stewart-Sinclair, P.J., Last, K.S., Payne, B.L. e Wilding, T.A. 2020. Valutazione globale della vulnerabilità dell'acquacoltura dei molluschi al cambiamento climatico e all'acidificazione degli oceani. *Ecology and Evolution*, 10(7): 3518–3534. https://doi.org/10.1002/ece3.6149

Sujan, M.H.K., Kazal, M.M.H., Ali, M.S. e Rahman, M.S. 2021. Analisi costi-benefici dell'ingrasso dei granchi di fango nelle zone costiere del Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 19: 100612. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100612

Thai-Nghe, N., Thanh-Hai, N. e Ngon, N.C. 2020. Approccio di deep learning per la previsione della qualità dell'acqua nei sistemi IoT. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(8): 686–693. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110883 **Tran, N ., Cao, Q .L., Shikuku, K .M., Phan, T .P. e Banks, L .K.** 2020. Redditività e benefici percepiti in termini di resilienza dell'acquacoltura integrata di gamberetti, tilapia e alghe nella costa centro-settentrionale del Vietnam. *Marine Policy,* 120: 104153. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104153

Virapat, C., Wilkinson, S. e Soto, D. 2017. *Sviluppo di un sistema di monitoraggio ambientale per rafforzare la resilienza della pesca e dell'acquacoltura e migliorare l'allerta precoce nel bacino inferiore del Mekong. Bangkok, Thailandia, 25-27 marzo 2015.* http://www.fao.org/3/i6641e/i6641e.pdf

Ward, M., Spalding, A.K., Levine, A. e Wolters, E.A. 2022. Allevatori di molluschi della California: percezioni dei cambiamenti delle condizioni oceaniche e strategie per la capacità di adattamento. *Ocean G Coastal Management*, 225: 106155. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106155

Watkiss, P., Ventura, A. e Poulain, F. 2019. *Processo decisionale ed aspetti economici dell'adattamento ai cambiamenti climatici nel settore della pesca e dell'acquacoltura.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 650. Roma, FAO. 70 pagg.www.fao.org/3/ca7229en/ca7229en.pdf

Whitney, C.K., Conger, T., Ban, N.C. e McPhie, R. 2020. Sintesi e comunicazione degli impatti dei cambiamenti climatici per informare la pianificazione dell'adattamento costiero. *FACETS*, 5: 704–737. https://doi.org/10.1139/facets-2019-0027

Xiao, X., Agustí, S., Yu, Y., Huang, Y., Chen, W., Hu, J., Li, C., Li, K., Wei, F., Lu, Y., Xu, C., Chen, Z., Liu, S., Zeng, J., Wu, J. e Duarte, C.M. 2021. Le coltivazioni di alghe marine offrono rifugio dall'acidificazione degli oceani. *Science of the Total Environment,* 776: 145192 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145192

Zhang, Y.-Y., Yu, S.-E., Wang, W.-L., Yang, L.-E., Lu, Q.-Q., Xie, C.-T., Liu, T. e Dong, Y.-W. 2023. Sensibilità alla temperatura delle macroalghe marine per l'acquacoltura in Cina. *Acquacoltura*, 567: 739262. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739262

CAPITOLO 2
Un quadro di adattamento dell'acquacoltura (Aqua-Adapt) per valutare le strategie di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici

Doris Soto[1] , Carlos Chávez[1,2] e Jorge Dresdner[1]
[1] Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura, Universidad de Concepción, Cile
[2] Facoltà di Economia e Commercio, Università di Talca, Cile

I. INTRODUZIONE

L'acquacoltura è altamente vulnerabile ai cambiamenti climatici, che hanno importanti implicazioni sulla produttività. In quanto settore chiave, l'acquacoltura deve riconoscere le proprie vulnerabilità e creare strategie per promuovere la resilienza, al fine di continuare a contribuire alla sicurezza alimentare e ai mezzi di sussistenza. Le soluzioni esistenti includono tecnologie e approcci di gestione migliori che aumentano la capacità di adattamento dei sistemi di produzione per affrontare meglio i cambiamenti climatici, come richiesto.

Migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici è essenziale, considerando l'attuale vulnerabilità del settore che richiede strategie di adattamento pratiche e urgenti, con azioni a tutti i livelli delle parti interessate, dai proprietari di allevamenti, ai lavoratori, alle comunità di acquacoltura, ai fornitori di servizi, alle istituzioni scientifiche e di innovazione, ecc. fino ai responsabili della governance, compresi i responsabili politici e gli attuatori.

Come illustrato nel Capitolo 1, sono stati compiuti molti progressi negli studi scientifici e nelle strategie di governance proposte per migliorare la capacità di adattamento dell'acquacoltura. Inoltre, è necessario identificare e sviluppare soluzioni tecnologiche e innovazioni per aumentare la resilienza del settore ai cambiamenti climatici. Sebbene le risposte di adattamento stiano diventando disponibili e l'innovazione stia progredendo, è necessario fornire una guida nel processo di identificazione e scelta delle opzioni di adattamento da parte dei paesi e delle parti interessate; pertanto, questo capitolo presenta un quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt) per contribuire a colmare questa lacuna. L'obiettivo del quadro è sostenere lo sviluppo e l'attuazione di strategie volte a migliorare la resilienza dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici, tenendo conto delle peculiarità locali, nazionali o regionali.

Aqua-Adapt può anche essere inteso come uno strumento per promuovere e aumentare la resilienza dell'acquacoltura e pertanto in questo documento viene spesso utilizzato il "concetto di strumento".

i. Aqua-Adapt e il suo processo di sviluppo " "

Aqua-Adapt è stato sviluppato utilizzando concetti e definizioni basati sul 5° e 6° Rapporto di valutazione dell'IPCC e propone un processo di adattamento che si concentra sulla riduzione dei rischi, aumentando al contempo le opportunità di sviluppo che possono derivare anche dai cambiamenti climatici (Figura 7). Il quadro è in linea con l'approccio ecosistemico all'acquacoltura (EAA; FAO, 2010) e pertanto il processo di adattamento e le opzioni di adattamento dovrebbero essere sviluppati secondo i seguenti principi:

- Considerare le funzioni e i servizi ecosistemici (compresa la biodiversità) con la dovuta attenzione ad evitarne il degrado e a rafforzarne la resilienza.
- Migliorare il benessere umano e l'equità per tutte le parti interessate.

- Considerare altri settori, politiche e obiettivi, a seconda dei casi, in particolare quando si condividono risorse comuni quali acqua, spazio, fattori di produzione e prodotti agricoli, ecc.

Questi principi sono anche in linea con le Linee guida per l'acquacoltura sostenibile (FAO, 2025) recentemente adottate, nonché con il ciclo politico di adattamento descritto nel documento tecnico n. 650 della FAO sulla pesca e l'acquacoltura (Watkiss, Ventura e Poulain, 2019). Inoltre, il quadro qui proposto può essere utilizzato per lo sviluppo di piani di gestione EAA e/o strategie di cogestione dell'acquacoltura.

A livello nazionale, Aqua-Adapt dovrebbe essere uno degli strumenti utilizzati per progettare e attuare il NAP (vedi Tabella 4 nel Capitolo 1), garantendo che l'acquacoltura disponga delle risorse necessarie e dell'accesso alle opzioni di adattamento e alla loro attuazione, e che le azioni intraprese in altri settori non compromettano la capacità di adattamento dell'acquacoltura.

Il processo Aqua-Adapt comprende sei fasi per la definizione di una strategia di adattamento (Figura 7):

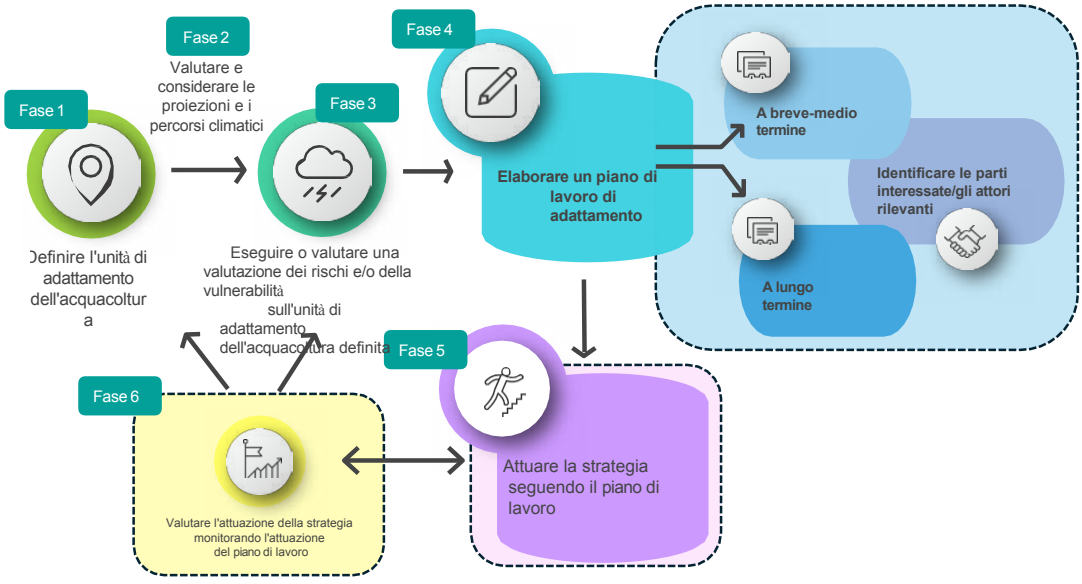
Fase 1: Definire l'unità di adattamento dell'acquacoltura, dai singoli allevatori all'area geopolitica minima di adattamento, tenendo conto delle specie/sistemi allevati e dei sistemi socioecologici associati su scale spaziali appropriate.

Fase 2: valutare e considerare le proiezioni e i percorsi climatici, compresa la selezione di un modello climatico regionale appropriato, la selezione della scala temporale (alcuni anni, decenni, ecc.) e gli scenari climatici.

Fase 3: eseguire o valutare una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita, alimentata con le migliori informazioni disponibili, comprese le proiezioni climatiche per scenari specifici.

Fase 4: Elaborare un piano di lavoro di adattamento per ridurre i rischi, tenendo conto dei tempi di attuazione; scegliere le migliori opzioni di adattamento tenendo conto dell'efficacia delle misure, dei costi e delle difficoltà tecniche. Benefici collaterali dell'adattamento

FIGURA 7
Quadro di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici (Aqua-Adapt)



È necessario considerare anche le misure e il potenziale di maladattamento (come definito dall'IPCC, vedere la definizione a pagina 42). Sviluppare un piano di lavoro che stabilisca obiettivi chiari e misurabili, definendo ruoli e responsabilità per tutte le parti coinvolte.

Fase 5: Attuare la strategia seguendo il piano di lavoro. Tutto ciò dovrebbe essere supportato da un'adeguata governance per le unità di adattamento definite, compresi investimenti, ricerca e sviluppo (R&S), formazione, sostegno all'estensione e incentivi. È inoltre molto importante includere l'acquacoltura nei PNA, poiché spesso le opzioni di adattamento coinvolgono altri settori. È il caso, ad esempio, della scarsità di acqua dolce, dove può esserci competizione per l'accesso all'acqua con l'agricoltura.

Fase 6: Valutare l'attuazione della strategia monitorando l'attuazione del piano di lavoro, compreso l'accesso ai risultati fissati nella fase 4 e raggiunti nella fase 5. È inoltre necessario monitorare regolarmente l'attuazione del piano di lavoro seguendo la serie di indicatori e apportando le modifiche necessarie. È inoltre necessario coinvolgere tutte le parti interessate promuovendo revisioni periodiche per garantire che la strategia rimanga pertinente rispetto agli obiettivi.

Nota: uno degli aspetti più impegnativi dell'adozione e dell'attuazione di Aqua-Adapt o di qualsiasi altro approccio di adattamento è disporre della governance adeguata per farlo. La struttura di governance necessaria, come definita dalle Linee guida per l'acquacoltura sostenibile recentemente pubblicate dalla FAO (FAO, 2025), dovrebbe includere almeno: i) un'istituzione e/o un team di riferimento ben preparato, di dimensioni adeguate e che tenga conto dei processi decisionali a più livelli (nazionale, provinciale, distrettuale, comunale, locale, ecc.); ii) un meccanismo per coordinare le istituzioni e il settore privato, la società civile, gli istituti di ricerca e innovazione, ecc. iii) politiche e norme adeguate per attuare azioni e misure di adattamento; e iv) risorse economiche e umane sufficienti per attuare Aqua-Adapt.

L'intero processo deve essere condotto utilizzando le migliori informazioni scientifiche disponibili e le conoscenze locali, a seconda dei casi, e deve essere pienamente inclusivo e partecipativo (prestando attenzione all'inclusione di genere e alle minoranze interessate), in particolare nella scelta delle migliori opzioni di adattamento.

L'Aqua-Adapt qui proposto è un modello possibile. Sebbene esistano altri approcci e percorsi, il semplice approccio graduale qui proposto può essere modificato in termini di complessità e portata, se necessario.

Questo capitolo presenta la base teorica su cui è stato sviluppato Aqua-Adapt, concentrandosi sui passaggi da 1 a 4 (vedi sopra), mentre l'Allegato 1 presenta una versione sintetica di Aqua-Adapt come strumento per aiutare a progettare una strategia di adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

II. FASI PER L'APPLICAZIONE DI AQUA-

i. Fase 1: Definire l'unità di adattamento dell'acquacoltura

Lo sviluppo e l'attuazione di una strategia di adattamento dell'acquacoltura richiedono una definizione dell'unità di adattamento dell'acquacoltura, ovvero l'obiettivo dell'adattamento.

In generale, ciò implica un settore produttivo e/o un'area geopolitica in cui gli stakeholder, tra cui governi, agricoltori, trasformatori, mercati, istituti di ricerca e sviluppo, comunità locali, ecc. intraprenderanno azioni di adattamento. È necessario definirne i confini per valutare i rischi climatici e la vulnerabilità e per attuare efficacemente la strategia Aqua-Adapt.

L'unità di adattamento dell'acquacoltura può essere, ad esempio:

- il settore acquicolo nazionale
- il settore dell'acquacoltura su scala geopolitica subnazionale, ad esempio in una provincia, un distretto, uno stato, una comunità, ecc.
- un'area geografica - nazionale, comunitaria o zona di acquacoltura, quartiere di acquacoltura, ecc.
- un gruppo specifico di specie coltivate, ad esempio pesce gatto, salmone, tilapia, gamberetti, cozze, ecc.
- un produttore specifico, un proprietario agricolo o un'azienda
- un sito agricolo o altra unità spaziale, produttiva o geopolitica
- un sistema di produzione, ad esempio stagni, gabbie, vasche
- una o più parti della catena del valore dell'acquacoltura, come la produzione di novellame (sia essa basata su incubatoi o dipendente dalla raccolta di novellame da stock selvatici)

È importante considerare che i diversi componenti della catena del valore possono presentare livelli di rischio diversi. Inoltre, a seconda della scala spaziale e dell'ambito di applicazione, è possibile integrare approcci di adattamento su scale diverse, ad esempio da quella nazionale a quella provinciale e locale. Tuttavia, va anche notato che se l'unità di adattamento è un'unità territoriale, le specie e i sistemi di acquacoltura in tale unità possono essere esposti a pericoli diversi e, pertanto, possono essere soggetti a rischi diversi. D'altra parte, se l'unità target identificata è un settore acquicolo nazionale, ad esempio l'industria della tilapia, la stessa specie potrebbe essere soggetta a rischi diversi se allevata in territori, paesi, ecc. diversi. In questi casi, è opportuno lavorare con unità di adattamento più piccole, ad esempio corrispondenti ai distretti geopolitici esistenti o alle aree in cui la specie è allevata.

È più probabile che i governi nazionali e locali favoriscano le unità di adattamento territoriali a causa della struttura di governance, delle normative e delle politiche esistenti nei territori. Al contrario, è più probabile che il settore privato si concentri su specie specifiche di interesse e sulla distribuzione spaziale delle proprie risorse.

Ad esempio, come descritto nei casi di studio (Capitolo 3), in Cile le autorità nazionali hanno deciso di preparare mappe settoriali dei rischi legati ai cambiamenti climatici su tutto il territorio nazionale. L'acquacoltura cilena è composta principalmente dall'allevamento di salmone e mitili, che rappresentano oltre il 95% della produzione annuale. Le mappe dei rischi per l'allevamento del salmone hanno utilizzato le aree di allevamento consolidate come unità di adattamento, mentre le aree marine di ciascun comune sono state utilizzate come unità di adattamento per l'allevamento dei mitili (Soto *et al.*, 2020). In ciascun caso, la decisione si è basata sulla distribuzione degli allevamenti e sulla disponibilità di informazioni.

ii. Fase 2: Valutare e considerare le proiezioni e i percorsi dei cambiamenti climatici

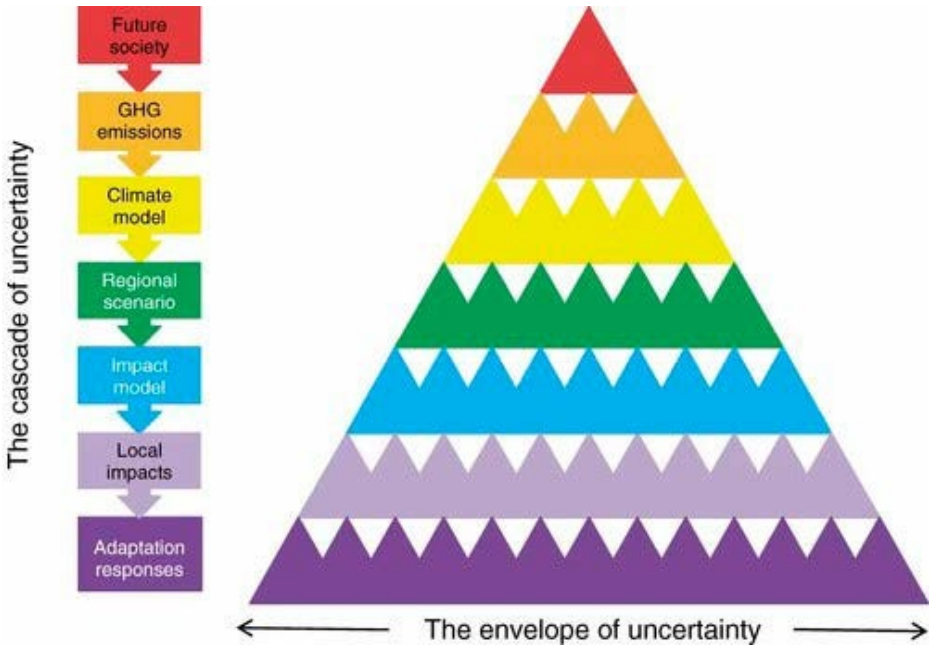
Esplorare e selezionare gli scenari di cambiamento climatico (IPCC, 2021, 2022a). Questi scenari, noti come percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) o percorsi socioeconomici condivisi (SSP) nei modelli più recenti, prendono in considerazione vari fattori come la crescita economica, i cambiamenti demografici, la produzione di energia e i cambiamenti nell'uso del suolo. Essi forniscono un quadro di riferimento per comprendere come le diverse scelte politiche e di stile di vita possano influire sul clima. Si raccomanda di utilizzare il modello dello scenario peggiore, RCP8.0, perché dovrebbe generare la risposta più resiliente. Gli scenari generali, i percorsi climatici e i loro impatti sono disponibili per grandi regioni ed ecosistemi a livello globale ed è possibile identificare i pericoli generali da inserire nelle valutazioni dei rischi (fase successiva).

È necessario valutare le previsioni e/o le proiezioni:

- selezionando un modello climatico regionale appropriato[3] ;
- definendo una scala temporale – 10 anni, 50 anni, 100 anni, ecc.

[3] L'IPCC fornisce modelli climatici regionali e proiezioni aggiornati con ogni rapporto scientifico. https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/regional-climate-projections/

FIGURA 8
La cascata di incertezze



Fonte: **Wilby, R.L. e Dessai, S.** 2010. Adattamento robusto ai cambiamenti climatici. *Weather* 65(7): pp. 180–185. https://doi.org/10.1002/wea.543

- selezionando un modello di scenario per eseguire la valutazione. Questi scenari sono noti come RCP o SSP.

Essere consapevoli delle tendenze attuali e delle previsioni per i prossimi anni, decenni e persino per il resto del secolo è di fondamentale importanza per formulare la risposta dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici.

Questo passo è necessario per identificare e prevedere i pericoli più importanti, al fine di orientare le azioni di adattamento e i relativi calendari.

Identificare le tendenze e i cambiamenti a lungo termine è un compito molto difficile per gli agricoltori (soprattutto quelli su piccola scala), mentre i governi dovrebbero avere una visione più ampia dei rischi a lungo termine e quindi svolgere un ruolo chiave nel fornire informazioni e orientamenti. Si tratta di una sfida per molti paesi, considerando la cascata di incertezze che va dalle concentrazioni di gas serra ai risultati dei modelli climatici globali e regionali e, successivamente, agli impatti locali (Wilby e Dessai, 2010; cfr. anche la figura 8), soprattutto perché la maggior parte degli attuali modelli climatici sono geograficamente approssimativi e non necessariamente utili quando l'unità di adattamento è molto remota, piccola o priva di informazioni oggettive (supportate da dati scientifici o prove concrete di qualsiasi tipo).

iii. Fase 3: Eseguire o valutare una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità su l'unità di adattamento dell'acquacoltura definita

L'esecuzione di una valutazione del rischio è essenziale per comprendere l'entità e la portata delle potenziali perdite dovute ai cambiamenti climatici, in questo caso per il settore dell'acquacoltura.

Prima di comprendere la proposta di Aqua-Adapt di valutare i rischi e la vulnerabilità dell'unità di adattamento, verranno introdotti alcuni concetti. Le seguenti definizioni sono utilizzate in conformità con il quinto e il sesto rapporto di valutazione dell'IPCC (AR5 e AR6) (IPCC, 2022a):

L'adattamento nei sistemi umani è definito come il processo di adeguamento al clima attuale o previsto e ai suoi effetti al fine di moderare i danni o trarre vantaggio dalle

opportunità vantaggiose. Nei sistemi naturali, l'adattamento è il processo di adeguamento al clima effettivo e ai suoi effetti; l'intervento umano può facilitarlo (IPCC, 2022a). L'adattamento svolge un ruolo fondamentale nella riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Nei sistemi umani, l'adattamento può essere anticipatorio o reattivo, nonché incrementale e/o trasformazionale. Secondo lo stesso rapporto, un processo di adattamento è in atto in vari modi in tutte le regioni e in tutti i settori.

Per **adattamento** inadeguato si intende qualsiasi azione intrapresa per affrontare i cambiamenti climatici che inavvertitamente aumenta la vulnerabilità ai loro impatti, peggiorando sostanzialmente la situazione creando nuovi rischi o esacerbando quelli esistenti, anche se l'intenzione iniziale era quella di adattarsi in modo positivo; significa una risposta ai cambiamenti climatici che porta involontariamente a un aumento dei risultati negativi o a una riduzione della resilienza (IPCC, 2022b).

Il rischio legato al cambiamento climatico (R) è il potenziale di conseguenze derivanti da un particolare pericolo, considerando la probabilità, l'entità e la tempistica di tali conseguenze. Il rischio legato al cambiamento climatico comprende i potenziali effetti negativi del cambiamento climatico, compresa l'interazione tra pericoli, vulnerabilità ed esposizioni.

Le componenti del rischio sono:

- **Il pericolo (H)** si riferisce alla possibilità che un evento o un fenomeno fisico causi danni o pregiudizi a un sistema. Ciò può comprendere un'ampia gamma di pericoli diretti naturali e indotti dall'uomo, nel caso specifico derivanti dai cambiamenti climatici (associati all'aumento delle emissioni di gas serra (GHG)), quali l'aumento della temperatura, le temperature estreme, le ondate di calore, i cambiamenti delle precipitazioni (siccità), i cambiamenti stagionali (anticipo, ritardo), l'innalzamento del livello del mare, gli eventi meteorologici estremi, l'acidificazione degli oceani, la salinizzazione, l'ipossia e le zone morte di ossigeno. I pericoli indiretti includono epidemie, incapacità di riprodursi (ad esempio, temperature troppo elevate per la riproduzione), fioriture algali tossiche, ecc. (vedi Figura 3, nel Capitolo 1).
- **L'esposizione (E)** si riferisce alla presenza di persone, infrastrutture, sistemi produttivi o naturali in aree soggette agli effetti dei rischi legati ai cambiamenti climatici e che potrebbero andare perse o subire danni. Si tratta essenzialmente della misura della gravità dell'esposizione di un sistema a un particolare rischio, tenendo conto di fattori quali la posizione geografica e la vulnerabilità dei beni. Per quanto riguarda l'acquacoltura, l'esposizione ai cambiamenti climatici è la misura in cui i sistemi di acquacoltura e le comunità che da essi dipendono sono soggetti a potenziali danni dovuti ai cambiamenti climatici. Ciò include l'esposizione a rischi diretti e indiretti legati al clima che possono avere un impatto significativo sulla produttività, la sostenibilità e la redditività socioeconomica delle attività di acquacoltura.
- **La vulnerabilità (Va)** si riferisce al grado in cui un sistema è suscettibile e/o incapace di far fronte agli effetti negativi dei cambiamenti climatici, compresa la gravità dell'impatto e la capacità di recupero. Pertanto, la vulnerabilità ha due componenti: la sensibilità e la capacità di adattamento.
  - **La sensibilità (S)** si riferisce al grado in cui un sistema può essere influenzato dalla variabilità climatica a causa della naturale suscettibilità dell'ecosistema e delle caratteristiche dell'allevamento acquicolo, delle specie, degli habitat, dei mezzi di sussistenza, delle comunità che dipendono dall'acquacoltura, ecc. che li rendono più inclini a essere colpiti. Ad esempio, una cattiva gestione dei pesci, lo stress dei pesci e una biosicurezza debole o assente sono tutte condizioni che rendono l'acquacoltura più suscettibile agli impatti dei cambiamenti climatici.
  - **La capacità di adattamento (AC)** è la capacità di un sistema di adeguarsi ai rischi legati ai cambiamenti climatici (compresa la variabilità climatica e gli eventi estremi), di moderare i potenziali danni, di sfruttare le opportunità o di far fronte alle conseguenze. Questa capacità può essere influenzata dalle risorse tecnologiche, finanziarie, istituzionali, organizzative e umane disponibili, compreso l'accesso

a specie o varietà con una maggiore tolleranza alle condizioni mutevoli (cfr. Brugère e De Young, 2015).

La valutazione del rischio può essere effettuata per i sistemi di acquacoltura e per la produzione di mezzi di sussistenza legati all'acquacoltura, alle specie acquicole e così via. Può anche essere applicata a una serie di settori (Bondad-Reantaso, Arthur e Subasinghe, 2008). Secondo l'IPCC (2022a), l'attuale definizione di "rischio" relativo agli impatti dei cambiamenti climatici ha mantenuto il concetto di "pericolo" per descrivere il fattore climatico che determina un rischio. Ciò è coerente con la definizione di "pericolo", che si concentra anche sul potenziale di conseguenze negative. Definire un evento o una tendenza climatica come "pericolo" si basa quindi su una valutazione delle sue potenziali conseguenze, non solo su una valutazione del cambiamento osservato o previsto in una variabile climatica di per sé.

Il concetto di rischio è centrale nell'AR6 (IPCC, 2023). L'inquadramento del rischio e i concetti di adattamento, vulnerabilità, esposizione, resilienza, equità e giustizia e trasformazione forniscono punti di accesso alternativi, sovrapposti, complementari e ampiamente utilizzati alla letteratura valutata dal Gruppo di lavoro II (WGII) dell'IPCC AR6.

Il rapporto WGII, che è il più rilevante per il rischio dell'acquacoltura (Riquadro 1), fornisce un quadro di riferimento per comprendere: gli impatti sempre più gravi, interconnessi e spesso irreversibili dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi, sulla biodiversità e sui sistemi umani; gli impatti diversi tra regioni, settori e comunità; e come ridurre al meglio le conseguenze negative per le generazioni attuali e future. Nel contesto dei cambiamenti climatici, il rischio può derivare dalle interazioni dinamiche tra **i pericoli** legati al clima e **l'esposizione** e **la vulnerabilità** dei sistemi umani ed ecologici interessati.

Queste considerazioni si applicano non solo ai rischi legati agli impatti dei cambiamenti climatici, ma anche ai rischi legati alle risposte ai cambiamenti climatici, comprese le tecnologie di adattamento e mitigazione, gli investimenti, le pratiche e i comportamenti e le politiche (Riquadro 1). Ciò è importante perché alcune risposte di riduzione del rischio (adattamento, prevenzione, ecc.) possono generare inavvertitamente nuove minacce (adattamento inadeguato).

RIQUADRO 1

Domande rilevanti volte a caratterizzare i rischi legati agli impatti climatici e alle risposte di adattamento

Secondo l'AR6, un processo decisionale informato richiede una caratterizzazione accurata e trasparente del rischio, che tenga conto sia *delle* sue *conseguenze negative* che del suo *potenziale*:

- Qual è l'entità, la reversibilità, gli effetti distributivi, ecc. delle conseguenze negative?
- Quanto *siamo* sicuri della nostra comprensione di tali aspetti?
- In che misura tali conseguenze dipendono dalle tendenze socioeconomiche o da altre ipotesi?
- Quanto comprendiamo il *potenziale* che tali eventi/risultati si verifichino e quanto questo potenziale dipende dai cambiamenti climatici, dalla progettazione delle politiche o dalle variabili socioeconomiche?
- È possibile quantificare la probabilità che si verifichino? In caso contrario, è possibile caratterizzare il *potenziale* in qualche altro modo che aiuti le parti interessate a decidere se prendere sul serio tale potenziale e come esso si collochi rispetto alle potenziali conseguenze negative derivanti da linee d'azione alternative?

Fonte: modificato da **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. ~~Alegría, M. C~~raig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, Stati Uniti, 3056 pagine. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

a) Eseguire la valutazione del rischio e/o della vulnerabilità

Come descritto sopra, **il rischio (R)** degli impatti dei cambiamenti climatici è considerato come una funzione del *pericolo* (H), *dell'esposizione* (E) e *della vulnerabilità* (Va). In questo contesto, il rischio è inteso come la possibilità di esiti negativi quando i pericoli interagiscono con sistemi vulnerabili ed esposti.

Rischio = f (E, H, Va) dove

Va = f (+S, -AC)

Formula IPCC (2014) R = f(+H), f(+E), f(+Va)

f(+H) indica che il rischio è una funzione di **H**.

Il segno (+) suggerisce che un aumento del pericolo (ad esempio eventi meteorologici più frequenti o più gravi) aumenta il rischio. I pericoli per l'acquacoltura sono ampiamente descritti in letteratura (vedi Figura 3 nel Capitolo 1). Il segno (-) indica che Va diminuisce quando AC aumenta.

b) Identificare i pericoli più importanti per orientare l'adattamento e la tempistica delle azioni Una volta ottenute alcune informazioni sulle proiezioni climatiche per l'unità di adattamento (vedere la fase 2), è necessario identificare la catena di eventi correlati ai pericoli principali; ad esempio, un aumento della temperatura dell'aria a livello regionale può causare una diminuzione dell'ossigeno e episodi di ipossia negli stagni d'acqua dolce. Questo diventa il pericolo più immediato per la produzione acquicola. In molti casi potrebbero esserci diversi pericoli correlati alle proiezioni climatiche e potrebbe essere necessario stabilire delle priorità in base alla loro rilevanza e alla loro scala temporale. In diversi casi, specialmente in Asia e in Africa, gli sforzi per identificare i pericoli più immediati hanno comportato la consultazione delle parti interessate in merito alle loro percezioni (vedi Capitolo 1, Revisione della letteratura), con i risultati utilizzati per sviluppare indicatori di rischio e vulnerabilità.

Come illustrato sopra, il rischio è anche una funzione **dell'esposizione (E)**. La definizione di ciò che potrebbe andare perso (produzione acquicola, mezzi di sussistenza, ecc.) dovrebbe essere concordata attraverso un processo partecipativo.

Inoltre, il rischio è una funzione della **vulnerabilità (Va)**. Il segno (+) suggerisce che una maggiore vulnerabilità aumenta il rischio.

Va = f(+S), f(-AC)

Questa parte della formula approfondisce ulteriormente il concetto di **vulnerabilità (Va)**, suddividendolo nelle sue componenti di sensibilità e capacità di adattamento: **f(+S)** indica che la vulnerabilità è una funzione della **sensibilità (+S)**. La sensibilità è il grado in cui un sistema o una specie è influenzato, negativamente o positivamente, dalla variabilità climatica o dai cambiamenti climatici. Il segno (+) indica che una maggiore sensibilità (ad esempio, una coltura più soggetta allo stress da siccità) aumenta la vulnerabilità. Come descritto sopra, diversi fattori potrebbero rendere un sistema più suscettibile ai danni: ad esempio, un allevamento ittico affollato e stressato è più soggetto agli effetti dell'aumento delle temperature rispetto a un allevamento in cui i pesci vivono in condizioni più rilassate a densità inferiori. Anche altri fattori esterni potrebbero essere rilevanti, ad esempio la misura in cui l'uso dell'acqua da parte di altri settori all'interno dello stesso bacino idrografico potrebbe rendere l'acquacoltura più sensibile.

f(-AC) indica che la vulnerabilità è inversamente proporzionale alla **capacità di adattamento (AC)**. La capacità di adattamento è la capacità di un sistema, di una comunità o di una società di adeguarsi ai cambiamenti climatici (per moderare i potenziali danni, sfruttare le opportunità o far fronte alle conseguenze). **Il segno (-) suggerisce che una maggiore capacità di adattamento riduce la vulnerabilità e potrebbe quindi ridurre il rischio complessivo.**

In questo semplice modello, **la resilienza** può essere considerata l'opposto della vulnerabilità, ma è composta da quegli aspetti di sensibilità e capacità di adattamento che possono essere modificati in modo pratico per rendere il sistema più forte, in grado di resistere agli impatti e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

I principali risultati di una valutazione del rischio sono i) l'identificazione e la stima delle componenti di rischio; ii) i valori di rischio; e iii) la possibilità di confrontare il livello di rischio per diverse aree o unità di adattamento e identificare quelle con un rischio più elevato che richiedono azioni più urgenti. Quando sono disponibili valutazioni del rischio per una serie di aree di acquacoltura, è possibile creare mappe di rischio (vedere il capitolo 3, casi di studio).

La stima delle componenti del rischio – ovvero pericolo, esposizione, sensibilità e capacità di adattamento – consente anche di comprendere come il rischio potrebbe essere potenzialmente ridotto modificando (alcune di) queste componenti. Nei casi di studio descritti nel capitolo 3 utilizziamo una semplice valutazione semiquantitativa di queste componenti e stimiamo il rischio come R = H x E x Va.

Nota di cautela: l'Aqua-Adapt qui proposto si basa sul modello IPCC più recente [4].Sebbene esistano altri approcci e percorsi, abbiamo scelto un approccio semplice e graduale che può essere modificato in termini di complessità e portata, se necessario.

È inoltre importante sottolineare che, nel contesto attuale, il valore di rischio risultante da una valutazione ha principalmente un valore comparativo. È utile per confrontare i rischi tra diversi sistemi o unità di adattamento al fine di stabilire le priorità delle azioni, ed è utile per valutare la riduzione del rischio nel tempo per la stessa unità dopo l'attuazione di alcune misure di adattamento.

L'allegato 1 è un modello graduale sintetico di Aqua-Adapt che funge da guida per la sua attuazione.

iv. Fase 4: Progettare un piano di lavoro di adattamento

La selezione delle azioni di adattamento dovrebbe comportare i) la riduzione dei rischi e, se possibile, ii) lo sfruttamento delle nuove opportunità create dai cambiamenti climatici. Infatti, l'adattamento potrebbe anche comportare lo sfruttamento delle nuove opportunità generate dai cambiamenti climatici. Ad esempio, l'aumento delle temperature potrebbe favorire la crescita di alcune specie come la tilapia, ampliando il suo areale di allevamento in considerazione delle temperature più elevate, ecc. (Maulu *et al.,* 2021). Tuttavia, considerando le informazioni disponibili, le prove scientifiche e le pressanti esigenze di una maggiore resilienza dell'acquacoltura, lo strumento Aqua-Adapt si concentra maggiormente sulla riduzione dei rischi.

La riduzione dei rischi deve tenere conto dei pericoli (H) che si devono affrontare e deve considerare che i rischi possono essere ridotti: i) riducendo l'esposizione (E); e ii) riducendo la vulnerabilità (Va), cosa che può essere ottenuta riducendo la sensibilità (S) e aumentando la capacità di adattamento (AC) (IPCC, 2023).

a) Identificazione e scelta delle migliori azioni di adattamento disponibili

Come descritto nell'analisi della letteratura, diverse pubblicazioni hanno esplorato potenziali "azioni e misure" di adattamento [5] (Capitolo 1, Tabella 2 e Tabella 3). Nella maggior parte dei casi, l'esplorazione delle azioni deve rispondere al livello di rischio e ai tempi di attuazione della strategia. Le azioni immediate – e probabilmente più convenienti dal punto di vista economico – tendono ad essere quelle che apportano benefici all'azienda agricola, al sistema di acquacoltura, ecc. anche in assenza di cambiamenti climatici. È il caso di una migliore gestione, che è anche considerata una misura senza rimpianti che migliora il benessere dei pesci d'allevamento, riduce lo stress

[4] Questo modello è un adattamento dell'IPCC AR5 e AR6. Esistono altri modelli alternativi, come quello basato sulla vulnerabilità socio-ecologica (IPCC, 2021), ad esempio Handisyde, Telfer e Ross (2017). Anche questi possono essere utili.

[5] Nel testo, il termine "azioni" si riferisce all'implementazione di strumenti, innovazioni, ecc., mentre "misure" è usato per riferirsi a un insieme di azioni complementari. Tuttavia, l'uso di entrambi i termini è spesso intercambiabile, come nella letteratura.

condizioni, riduce le densità, ecc. Particolarmente importanti sono le misure di biosicurezza che riducono l'impatto delle malattie, poiché queste sono spesso soggette a fattori di forzatura legati al cambiamento climatico, come l'aumento della temperatura, la riduzione dei livelli di ossigeno e l'aumento della suscettibilità alle malattie (capitolo 1, tabella 2 e tabella 3).

Idealmente, le azioni e le misure sono più efficaci quando sono mirate a ridurre componenti di rischio specifiche, una volta identificati i pericoli. Tuttavia, misure senza rimpianti o con pochi rimpianti, come il miglioramento della biosicurezza, possono ridurre i rischi di fronte a molti pericoli e migliorare la resilienza dell'acquacoltura in generale.

b) Considerazioni da tenere presenti nell'esaminare le opzioni relative alle azioni di adattamento

Le azioni descritte nella Tabella 5A e nella Tabella 5B hanno lo scopo di ridurre l'esposizione e la sensibilità identificate e di aumentare la capacità di adattamento, rispettivamente a breve, medio e lungo termine. È tuttavia importante chiarire che la categoria di azione proposta è il risultato di un processo partecipativo e che le azioni e il loro impatto sulla riduzione del rischio potrebbero non essere indipendenti l'una dall'altra. Ad esempio, alcune azioni volte a ridurre l'esposizione incideranno anche sulla sensibilità; ad esempio, la riduzione della biomassa agricola in una determinata zona ridurrà la diffusione delle malattie, riducendo quindi la sensibilità quando le malattie non sono legate ai cambiamenti climatici. Inoltre, alcune azioni in determinati contesti potrebbero essere classificate sia come azioni volte a ridurre la sensibilità sia come azioni volte ad aumentare la capacità di adattamento. Pertanto, il processo proposto per identificare le componenti di rischio e le azioni mirate a ridurre tali rischi è un processo operativo volto a facilitare le discussioni e il processo decisionale partecipativo e può essere modificato secondo necessità.

Di seguito descriviamo **alcune misure** che possono essere adottate per ridurre i rischi modificandone le componenti. Va notato che il pericolo è l'unica componente che in generale non può essere modificata dal solo settore dell'acquacoltura, soprattutto dato il contributo minore dell'acquacoltura all'impronta di carbonio globale, a meno che non vi sia un'azione globale decisa per ridurre i gas serra.

Misure di adattamento che riducono l'esposizione all'

La misura principale individuata per ridurre **l'esposizione** è l'attuazione di una pianificazione territoriale basata sul rischio. Ciò implica la riduzione della produzione agricola nelle zone a rischio più elevato quando l'esposizione è una componente di rischio rilevante e l'utilizzo di altri corpi idrici o bacini idrografici a rischio minore nel caso dell'allevamento in stagni.

Ciò comporterà spesso costi elevati, compresa la ricerca di mezzi di sussistenza alternativi se gli agricoltori e/o gli investitori intendono rimanere nelle zone ad alto rischio. Queste misure possono essere attuate a lungo termine e possono essere molto costose, soprattutto per i piccoli agricoltori. È il caso di molte zone di acquacoltura dell'entroterra asiatico (Islam *et al*., 2019).

Nei casi di studio presentati nel capitolo 3, relativi all'allevamento di salmone e cozze nel sud del Cile, uno dei principali rischi associati al pericolo di "riduzione delle precipitazioni" è l'aumento delle malattie e delle fioriture algali nocive (HAB) causato dall'aumento della salinità e da altri cambiamenti delle condizioni oceanografiche legati alla siccità. Le mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici elaborate per l'acquacoltura (Soto *et al.*, 2020, 2021) hanno individuato alcune aree più soggette a tali eventi, sia per l a concentrazione della produzione di salmone (alta esposizione, u n a componente di rischio che può essere ridotta), e anche all'elevata sensibilità, dovuta in parte a fattori oceanografici specifici che non possono essere modificati, come il basso tasso di ricambio dell'acqua in alcuni fiordi, ulteriormente ridotto da un minore apporto di acqua dolce. In questo caso l'esposizione può essere ridotta attraverso una pianificazione territoriale strategica. Realisticamente, tuttavia, mentre questa misura può essere possibile per le gabbie galleggianti situate in uno spazio marino in affitto (come spesso accade per l'allevamento su larga scala), può essere molto più difficile o impossibile per l'allevamento ittico su piccola scala o per l'allevamento costiero di gamberetti.
agricoltura a causa della proprietà della terra e dell'accesso all'acqua.

TABELLA 5A

Alcuni esempi di azioni e misure di adattamento a breve e medio termine (da 1 a 5 anni) per ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) per affrontare vari pericoli. Si noti che la tempistica è relativa, poiché alcune misure a breve termine possono continuare e persino essere modificate a lungo termine.

Opzioni di adattamento	Azioni a breve e medio termine					
	Azioni/misure	**Da parte del governo**	**Da parte degli agricoltori**	**Cooperazione pubblico-privato**	**Implicazioni in termini di costi**	**Efficacia della riduzione del rischio**
Ridurre l'esposizione	Ridurre la produzione agricola nelle aree a rischio più elevato	Potrebbero essere necessarie modifiche normative, incentivi economici e sostegno all'estensione	Attuare cambiamenti nella produzione in determinate aree	Promuovere/attuare incentivi per trasferire l'agricoltura in altre aree	Normalmente ciò comporta un costo rilevante per il governo e il settore privato	Da medio ad alto
	Ridurre i mezzi di sussistenza dipendenti dall'acquacoltura nelle aree a più alto rischio	Potrebbe essere necessario il sostegno da parte di istituzioni che si occupano di acquacoltura e istituzioni che non rientrano nell'ambito dell'acquacoltura	Acquisire nuove competenze per mezzi di sussistenza alternativi	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione per la diversificazione dei mezzi di sussistenza		
Ridurre la sensibilità	Ridurre le densità di allevamento che causano stress o problemi di salute (malattie, riduzione del benessere degli animali)	Supporto alla divulgazione basato sulla ricerca	Attuare cambiamenti nelle densità di produzione	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione quali la certificazione delle buone pratiche	Azioni considerate "a basso impatto" (ad esempio, a basso costo e/o con effetti positivi aggiuntivi)	Da medio ad alto
	Migliorare le misure di biosicurezza adottando misure di prevenzione delle malattie quali vaccini o utilizzando probiotici per rafforzare il sistema immunitario dei pesci, ecc.	Potrebbero essere necessarie anche modifiche normative per promuovere la ricerca e il sostegno all'estensione	Adottare misure di biosicurezza	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione e meccanismi di cooperazione tra gli allevatori		
	Promuovere processi e sistemi di alimentazione più efficienti	Promuovere la ricerca e lo sviluppo, il sostegno alla divulgazione	Adottare sistemi di alimentazione migliorati	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione e cooperazione tra gli agricoltori	Può essere costoso per gli agricoltori a basso reddito	Medio
	Promuovere una gestione coordinata del territorio in base alla capacità di carico degli ecosistemi	Potrebbero essere necessari cambiamenti normativi basati sulla ricerca; spesso guidati dal governo	Adeguare l'agricoltura per conformarsi alla gestione concordata	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione e cooperazione tra gli agricoltori		
	Promuovere l'IMTA e le aree di policoltura (su scala territoriale/paesaggistica)	Spesso guidate dal governo su scala regionale e dell'area agricola	Acquisire nuove competenze (coltivazione di altre specie), cooperare con altri agricoltori			
	Proteggere, migliorare, rigenerare la copertura forestale e la gestione dei bacini idrografici per garantire la fornitura di acqua di qualità e in quantità sufficiente	Guidato dal governo; ambito spesso oltre l'acquacoltura	Coinvolgimento, negoziazione del pagamento per i servizi ecosistemici forestali	Promuovere azioni immediate, pianificazione a medio e lungo termine e cooperazione tra le parti coinvolte		
	Garantire i diritti di utilizzo dell'acqua (e dello spazio) per l'acquacoltura					

TABELLA 5A (CONTINUA)

Opzioni di adattamento	Azioni a breve e medio termine					
	Azioni/misure	**Da parte del governo**	**Da parte degli agricoltori**	**Cooperazione pubblico-privato**	**Implicazioni in termini di costi**	**Efficacia della riduzione dei rischi**
Aumento della capacità di adattamento	Attuazione di sistemi di previsione climatica, monitoraggio ambientale e allerta precoce	Guidata dal governo su scala regionale e nelle aree agricole	Il monitoraggio nelle aziende agricole può essere utile	È necessaria la cooperazione e il coordinamento tra settore pubblico e privato per migliorare le informazioni permanenti in loco e le previsioni		
	Capacità di modificare i tempi di coltivazione e raccolta (senza influire sulla produzione totale)	Supporto all'estensione e promozione di alcuni incentivi (ad esempio, commercializzazione)	Attuazione di modifiche alla raccolta con maggiore flessibilità	Promuovere/attuare sistemi di incentivazione		
	Implementare tecnologie avanzate, IA, ecc. per monitorare le aziende agricole e gli ecosistemi rilevanti	Ricerca e supporto all'estensione	Spesso è necessario il monitoraggio in azienda			
	Costruire sistemi di allevamento più solidi ed efficienti, stagni più profondi, ecc.	Supporto alla ricerca e alla divulgazione, promozione di prestiti agevolati				
	Implementare recinzioni e sistemi di sicurezza per proteggere dalle HAB, ad esempio cortine di microbolle	Come sopra	Gli agricoltori devono adottare sistemi di sicurezza			
	Sistemi di microbolle e altri sistemi di ossigenazione per gabbie galleggianti e stagni	Come sopra				
	Adottare sistemi IMTA a livello di azienda agricola e a livello paesaggistico (area agricola)	È necessario un intervento normativo che tenga conto della pianificazione strategica dello spazio; potrebbero inoltre essere necessarie modifiche normative per promuovere la ricerca e il sostegno all'estensione	Gli agricoltori devono adottare nuove attività agricole e/o essere disposti a trasferire le aziende agricole			
	Garantire trasporti e accessi più resilienti alle aziende agricole, agli impianti di trasformazione e ai mercati	Guidato dal governo; ambito spesso oltre l'acquacoltura				
	Promuovere meccanismi di coordinamento o task force pubblico-private per affrontare gli impatti e ricostruire in modo migliore	Guidato dal governo	Coordinamento degli agricoltori per zone agricole	Necessaria collaborazione pubblico-privata		
	Promuovere mezzi di sussistenza diversificati	Guidato dal governo, ambito spesso oltre l'acquacoltura; occorre evitare un'esposizione simile a rischi comuni				

Nota: molte celle, in particolare quelle relative alle "implicazioni in termini di costi" e all'"efficacia della riduzione del rischio", sono vuote in quanto altamente specifiche del contesto e destinate ad essere compilate attraverso un processo partecipativo.

HAB = fioritura algale nociva; AI = intelligenza artificiale; IMTA = acquacoltura multitrofica integrata.

TABELLA 5B

Alcuni esempi di azioni e misure di adattamento a lungo termine (6-10 anni o più) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) per affrontare i vari pericoli descritti nella letteratura (capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3)

Opzioni di adattamento	**Azioni a lungo termine**					
	Azioni	**Da parte del governo**	**Da parte degli agricoltori**	**Cooperazione pubblico-privato**	**Implicazioni in termini di costi**	**Efficacia della riduzione del rischio**
Ridurre l'esposizione	Attuare una pianificazione territoriale basata sul rischio	Decisioni basate sulla ricerca, potrebbero essere necessarie modifiche normative; spesso guidate dal governo e sostenute con alcuni incentivi	Trasferimento delle aziende agricole, implementazione di nuove aziende agricole in aree designate, ecc.	È necessaria la cooperazione pubblico-privata per implementare una localizzazione nuova/migliorata	I costi sono normalmente elevati sia per il governo che per gli agricoltori e le altre parti interessate	A lungo termine l'efficacia dovrebbe essere elevata grazie alla maggiore resilienza; tuttavia, la pianificazione territoriale basata sul rischio dovrebbe essere dinamica e deve essere monitorata
Ridurre la sensibilità	Promuovere la diversificazione dei mezzi di sussistenza	Ricerca e divulgazione supportate, spesso al di là dell'ambito dell'acquacoltura	Adottare nuovi mezzi di sussistenza			
	Migliorare la gestione dei bacini idrografici	Potrebbero essere necessarie modifiche normative al di là dell'ambito dell'acquacoltura				
	Sviluppare strumenti e approcci biotecnologici per aumentare la prevenzione e la resistenza alle malattie (ad esempio vaccini, stimolatori immunitari, ecc.)	Ricerca e supporto alla divulgazione, potrebbero essere necessarie alcune modifiche normative				
Aumentare la capacità di adattamento	Adottare sistemi RAS	Ricerca e sostegno alla divulgazione, promuovere prestiti agevolati	Adottare sistemi RAS			
	Utilizzare ceppi più resistenti (ad esempio a T°più elevata, O_2più basso, salinità più elevata, ecc.)	Promuovere la ricerca e l'innovazione, il supporto tecnico e la divulgazione; potrebbero essere necessarie alcune modifiche normative	Adottare nuovi ceppi	Spesso è necessaria la cooperazione pubblico-privata per implementare la produzione di avannotti di ceppi adattati; sono necessari cooperazione e incentivi per adottare nuove varietà	I costi delle varietà selezionate geneticamente possono essere elevati e normalmente richiedono finanziamenti governativi relativi alla ricerca, all'innovazione, alla produzione di sementi selezionate, ecc.	L'efficacia può essere elevata quando si affronta un unico pericolo principale, ad esempio quando si affronta il problema dell'aumento della salinità nell'agricoltura interna e costiera colpita dall'innalzamento del livello del mare. aumento della salinità nelle coltivazioni interne e costiere colpite dall'innalzamento del livello del mare
	Sviluppare e promuovere l'allevamento di specie più resistenti	Come sopra	Sviluppare e adottare nuove specie	Lo sviluppo e l'adozione di una nuova specie è un processo lungo che coinvolge l'intera catena del valore e in cui la protezione delle piante e la ricerca e sviluppo sono essenziali	I costi sono solitamente elevati e spesso sono necessari altri motivi per diversificare	
	Utilizzare tecnologie innovative per la circolazione e il controllo dell'acqua negli stagni	Come sopra				
	Utilizzare gabbie sommergibili	Come sopra				
	Utilizzare specie e ceppi a crescita più rapida	Come sopra				
	Adottare mangimi più resistenti	Come sopra				

Nota: molte celle, in particolare quelle relative alle "implicazioni in termini di costi" e all'"efficacia della riduzione del rischio", sono vuote in quanto altamente specifiche del contesto e destinate ad essere compilate attraverso un processo partecipativo.

P-P = Cooperazione pubblico-privato; RAS = sistemi di acquacoltura a ricircolo; R&D = ricerca e sviluppo.

Attuare una pianificazione territoriale basata sul rischio

La pianificazione territoriale potrebbe essere considerata parte di un quadro strategico più ampio e a lungo termine che regola l'ubicazione geografica degli allevamenti ed è normalmente guidata dal governo (Aguilar-Manjarrez, Soto e Brummet, 2017; FAO, 2017).

Il trasferimento dell'ubicazione delle aziende agricole e, in alcuni casi, le decisioni relative all'intensità dell'attività agricola per area o stagione agricola dovrebbero essere trattati nelle norme e nei regolamenti in materia di acquacoltura. Tuttavia, nel caso della pianificazione territoriale basata sul rischio di cambiamenti climatici, è spesso necessario un trasferimento più permanente e a lungo termine dei siti di produzione, il che richiede una solida conoscenza delle aree che saranno colpite dal pericolo.

Chiaramente, la progettazione e l'attuazione di questo tipo di pianificazione territoriale comportano dei costi. Inoltre, dato che le conoscenze, comprese le previsioni, sono in continuo aumento, potrebbe essere opportuno garantire un certo grado di flessibilità. Questa azione potrebbe essere sviluppata su diverse scale spaziali e probabilmente richiederà il coinvolgimento di un'autorità di regolamentazione; pertanto, il costo della progettazione della pianificazione territoriale sarà pubblico. Tuttavia, l'attuazione potrebbe comportare dei costi per gli agricoltori privati e/o le aziende agricole. Ci sono due tipi di costi coinvolti. In primo luogo, il costo dello sviluppo della pianificazione territoriale (personale tecnico e acquisizione di informazioni rilevanti per il processo decisionale). In secondo luogo, i costi di attuazione, che dipenderanno probabilmente dalle restrizioni sull'uso dello spazio considerate nella pianificazione territoriale e dalla conseguente riorganizzazione delle attività che ne deriva. I costi potrebbero variare da bassi ad alti, a seconda di come la proprietà e l'uso dello spazio e dei siti operativi influiscono sulla produzione. In alcuni casi, gli agricoltori opteranno per innovazioni tecniche meno costose (in termini di capacità di adattamento) che consentiranno loro di rimanere in aree ad alto rischio (vedere i casi di studio nel capitolo 3). Inoltre, potrebbero ricorrere ad assicurazioni per essere preparati a mitigare gli impatti.

Adattare l'acquacoltura ai cambiamenti climatici – come nel caso della maggior parte dei settori agricoli – richiede necessariamente una certa flessibilità nell'uso dello spazio e dei corpi idrici (ad esempio attraverso un sistema di leasing). Si tratta di una sfida importante per la regolamentazione dell'acquacoltura, che richiede un'attenzione urgente a livello globale (Engler, 2024).

Tuttavia, modificare la distribuzione spaziale della produzione acquicola, in particolare per i sistemi d'acqua dolce e costieri, è spesso difficile, se non impossibile. In molti casi l'acquacoltura in stagni interni e costieri si basa sui diritti di proprietà o di utilizzo del suolo, formali e informali, di molti piccoli agricoltori che vivono nelle vicinanze, e così è stato fin dall'antichità. Inoltre, può essere impossibile trovare nuove località in cui trasferire gli acquacoltori, tranne nei luoghi in cui l'acquacoltura è un'attività nuova. Per questo motivo, la pianificazione spaziale dell'acquacoltura in parte dell'Europa, dell'Africa, del Nord America, dell'America Latina e dei Caraibi, dove il settore è molto recente, potrebbe essere considerata un'opportunità nel contesto dei cambiamenti climatici. Al contrario, la pianificazione spaziale che comporta lo spostamento degli allevamenti potrebbe non essere un'opzione praticabile in molti paesi asiatici.

Misure di adattamento che riducono la sensibilità dell'

Tra le misure in grado di ridurre la sensibilità, sono state individuate in modo specifico quelle che ridurranno l'insorgenza e la diffusione delle malattie dovute ai cambiamenti climatici; esse comprendono:

- riduzione della densità degli allevamenti;
- miglioramento della biosicurezza attraverso l'innovazione e l'uso di biotecnologie quali i vaccini per far fronte al probabile aumento delle malattie; e
- promuovere la policoltura e le aree di acquacoltura multitrofica integrata, evitando così la monocoltura (stessa specie) nelle zone ad alto rischio.

Altre misure che non coinvolgono direttamente l'acquacoltura includono:

- migliorare la conservazione e la gestione dei bacini idrografici e dei paesaggi, ad esempio migliorando la vegetazione ripariale, le zone di mangrovie, ecc., per diminuire o mitigare le inondazioni e garantire la qualità e la quantità dell'acqua per l'acquacoltura.

Ridurre la densità di allevamento nelle aree a più alto rischio

Questa misura, che consiste nel ridurre le densità nei singoli allevamenti, sebbene classificata sotto la voce "riduzione della sensibilità", è anche correlata alla riduzione dell'esposizione.

La riduzione delle densità di allevamento iniziali potrebbe ridurre la biomassa totale al momento del raccolto, il che potrebbe comportare un aumento dei costi unitari totali di produzione. Tuttavia, ciò non è affatto inevitabile: una biomassa inferiore durante il ciclo di crescita presenta vantaggi in termini di minor rischio di malattie dei pesci, minore mortalità dei pesci, maggiore crescita degli individui e costi inferiori grazie al ridotto uso di antimicrobici e altri trattamenti contro le malattie. L'effetto netto sui costi totali è incerto, pertanto è necessaria un'analisi caso per caso.

La riduzione della densità degli allevamenti diminuirà il numero di individui potenzialmente esposti a un pericolo, semplicemente perché ci saranno meno individui per sito di allevamento, ma ciò non influirà *di per sé* sull'impatto del pericolo sulla biomassa totale.

Inoltre, è in corso un dibattito sul grado in cui un'alta concentrazione di individui allevati e le sostanze nutritive che essi rilasciano nell'ambiente possano agire come fattore che facilita l'espansione, l'entità e la persistenza di pericoli quali malattie, fioriture algali nocive (HAB) ed eventi ipossici.

Se questo fosse effettivamente un fattore determinante, la riduzione della densità degli allevamenti potrebbe avere un certo impatto sulla propagazione del pericolo e quindi ridurre la sensibilità dell'area di allevamento. Una misura di questo tipo potrebbe ridurre il rischio nel medio-lungo termine, a seconda del contesto climatico, delle dimensioni degli allevamenti, ecc.

Il miglioramento della biosicurezza e del benessere degli individui allevati aumenterà la loro resilienza.

Il miglioramento della biosicurezza e del benessere degli individui allevati comprende alcune misure specifiche quali il rafforzamento del sistema immunitario dei pesci, la riduzione dei fattori di stress (ad esempio, carenza di ossigeno, presenza di predatori) e la prevenzione delle malattie (ad esempio, vaccini, probiotici), nonché l'aumento della distanza tra i singoli allevamenti. Queste misure sono azioni senza rimpianti che migliorerebbero la sostenibilità e la produttività dell'allevamento anche in assenza di cambiamenti climatici: le malattie sono probabilmente il singolo pericolo più grave per l'acquacoltura, in particolare per l'allevamento di pesci e gamberetti.

Promuovere le aree di policoltura invece della monocoltura

L'idea alla base dello sviluppo di una policoltura di specie diverse nella stessa area è che queste specie avranno sensibilità diverse ad alcuni tipi di **pericoli**; ciò è particolarmente rilevante per ridurre al minimo i rischi di malattie in un contesto di cambiamento climatico.

Questo concetto riguarda anche l'acquacoltura integrata (vedi sotto). Il caso studio sull'allevamento del salmone (vedi capitolo 3) mostra che il salmone atlantico è sensibile ai pidocchi di mare, mentre il salmone del Pacifico "Coho" sembra essere più resistente a questo parassita e persino la trota iridea è in grado di sopportarlo più efficacemente (Gallardo-Escarate *et al*., 2019). Pertanto, quando la salinità dell'acqua aumenta a causa della siccità, le zone con allevamenti misti di due o tre specie di salmonidi potrebbero essere meno sensibili rispetto alle zone con monocoltura di salmone atlantico (Soto *et al.*, 2020).

La policoltura su scala individuale è invece piuttosto comune nell'acquacoltura interna in molte zone dell'Asia, ad esempio l'allevamento di varie specie di carpe nello stesso stagno in Cina, o l'allevamento di gamberetti, carpe e gamberi in alcune zone del Bangladesh (Islam *et al*., 2019) ed è spesso descritta come un meccanismo per aumentare la resilienza (Thomas *et al*., 2021). Ad esempio, specie diverse in uno stesso stagno potrebbero avere risposte diverse all'aumento delle temperature. Tuttavia, nonostante siano stati dimostrati diversi vantaggi della policoltura, il suo rendimento finanziario e le sue prestazioni economiche rimangono scarsamente valutati, con poche eccezioni (Basu e Roy, 2021). Inoltre, non ci sono informazioni sufficienti sui vantaggi in termini di biosicurezza e resilienza alle malattie e non sono stati riportati dati sufficienti sul loro effetto sulle aree al di fuori delle aziende agricole.

Promuovere l'attuazione dell'acquacoltura integrata

L'acquacoltura integrata (IA) (Soto, 2009; Ahmed, Thompson e Glaser, 2019) e l'IMTA (Chopin, 2013) sono spesso descritte come opzioni per aumentare l'adattamento ai cambiamenti climatici. I sistemi IA potrebbero ridurre la sensibilità dell'allevamento ai cambiamenti climatici, poiché gli allevatori dispongono di una varietà di specie e prodotti allevati che avranno risposte diverse a un pericolo comune.

Ad esempio, l'allevamento di specie acquatiche insieme a prodotti agricoli che hanno una diversa resistenza all'aumento della salinità o ai periodi di siccità riduce l'impatto sulle aree agricole. È il caso dell'allevamento di gamberetti e della coltivazione del riso in alcuni paesi asiatici, dove i periodi di siccità e aumento della salinità sono dannosi per il riso, ma gli agricoltori compensano i guadagni attraverso l'allevamento di gamberetti. D'altra parte, le inondazioni sono spesso dannose per l'allevamento dei gamberetti, ma non per il riso. Secondo Tran *et al.* (2020), gli agricoltori ritengono che le pratiche di agricoltura integrata migliorino l'accesso al cibo e aumentino la resilienza e la capacità di adattamento ai rischi climatici. Tuttavia, è essenziale che le diverse specie allevate abbiano risposte diverse a un pericolo comune, aumentando così la resilienza del sistema di produzione. Ad esempio, se un'area è soggetta a inondazioni estreme e/o forti tempeste, uragani, ecc., tutte le aziende agricole e le specie allevate in quella zona saranno a rischio, indipendentemente da quanto siano integrate e diversificate.

L'IMTA è stato anche suggerito come un efficace meccanismo di adattamento per proteggere i molluschi dall'acidificazione degli oceani, poiché quando vengono allevati insieme alle alghe, queste ultime possono ridurre la concentrazione di CO_2 e aumentare il pH. Tuttavia, l'allevamento delle alghe richiede molto spazio per aumentare il pH in modo significativo (Chopin, 2020), quindi in questo caso l'IMTA deve essere pianificato strategicamente su scala paesaggistica, nel qual caso è essenziale l'intervento del governo.

Proteggere e migliorare la gestione dei bacini idrografici

Nel caso dell'acquacoltura in acqua dolce, la protezione e la rigenerazione della copertura forestale e una migliore gestione dei bacini idrografici possono contribuire a garantire la qualità e la quantità di acqua necessarie per gli stagni e gli incubatoi. Ad esempio, Leon-Muñoz *et al*. (2023) illustrano la dipendenza dal paesaggio degli incubatoi di salmone e degli allevamenti di pesci d'acqua dolce che producono salmonidi giovani. La pubblicazione approfondisce anche le mappe dei rischi legati al cambiamento climatico per l'allevamento del salmone nella fase d'acqua dolce (Soto *et al.*, 2020) e mostra come la protezione delle foreste dei bacini idrografici possa ridurre la sensibilità - e quindi i rischi - per la produzione di salmoni giovani in condizioni di siccità crescente indotta dal cambiamento climatico.

La protezione dei bacini idrografici può essere essenziale per l'allevamento ittico in acqua dolce a livello globale, soprattutto per ridurre le perdite dovute a inondazioni e siccità (Bueno e Soto, 2017). Tuttavia, va notato che l'attuazione di tali misure va oltre le capacità degli allevatori e che spesso le istituzioni che si occupano di acquacoltura non dispongono dell'autorità decisionale necessaria, pertanto è essenziale che l'acquacoltura sia presa in considerazione nei Piani di Adattamento Nazionale (NAP).

Misure che aumentano la capacità di adattamento dell'

Attuazione/miglioramento di sistemi di monitoraggio strategico e integrato e di allerta precoce Il monitoraggio dell'ambiente acquatico nelle zone di acquacoltura è fondamentale per individuare i cambiamenti che possono influire negativamente sugli individui allevati, sulle infrastrutture, sulla catena del valore, ecc. I sistemi di monitoraggio integrati comportano la misurazione e la segnalazione continua di alcune variabili (che possono variare da molto complesse a molto semplici) in luoghi strategici all'interno di un ecosistema connesso, in modo tale che le informazioni possano essere integrate in un GIS o in un semplice database, quando le informazioni sono raccolte dagli stessi agricoltori.

Idealmente, gli agricoltori dovrebbero essere coinvolti nel monitoraggio delle loro aziende agricole e delle aree coltivate, ma ciò richiede spesso formazione e coordinamento per gestire le informazioni, pertanto le istituzioni locali e il governo svolgono un ruolo fondamentale nel fornire tale supporto (FAO, 2017; Bueno e Soto, 2017).

Le informazioni raccolte dovrebbero essere periodicamente valutate da un team tecnico in grado di individuare i primi segnali di allarme e fornire un feedback agli utenti da tenere in considerazione al momento di prendere decisioni gestionali. Anche i sistemi di monitoraggio locali implementati dai singoli agricoltori possono essere molto utili per fornire allarmi precoci. A seconda dei pericoli identificati, questi sistemi possono spingere gli agricoltori a raccogliere in anticipo, aumentare l'ossigenazione dell'acqua, rafforzare le strutture agricole, proteggere le aziende agricole dalle HAB, ecc. (FAO, 2017). Misure di allerta precoce rapide ed efficaci possono salvare la produzione, o parte di essa, e talvolta possono anche ridurre i danni alle infrastrutture o persino salvare la vita degli agricoltori.

Modifica dei tempi di coltivazione e raccolta senza ridurre il raccolto e la produzione totali nelle aree valutate

Ciò può essere fatto per ridurre o evitare l'esposizione a condizioni meteorologiche più rischiose o condizioni ambientali avverse, comprese malattie e parassiti. Ad esempio, per ridurre i rischi durante l'ingrasso dei salmoni nelle gabbie marine, è possibile aumentare il tempo che i pesci trascorrono negli allevamenti terrestri di acqua dolce oltre la taglia di smolt[6] (vedi caso di studio, capitolo 3).

Questa misura consente agli allevatori di adeguare i tempi di immissione dei pesci nell'ambiente marino, evitando l'estate o i periodi a più alto rischio a causa dei parassiti o delle fioriture algali nocive causate dai cambiamenti climatici. La produzione finale da raccogliere non cambia (questo è l'indicatore utilizzato come esposizione nel caso di studio), grazie all'adattamento alla variabilità climatica e alle tendenze correlate.

Affinché i pesci possano trascorrere più tempo in sistemi chiusi a terra, sono necessarie varie innovazioni e progressi tecnologici, tra cui i) strutture terrestri migliorate e ii) selezione genetica di ceppi a crescita più rapida e/o ceppi che possono trascorrere più tempo nel ciclo dell'acqua dolce, in modo da ridurre il tempo trascorso in aree esposte. Una crescita più rapida nelle strutture interne può essere favorita anche da mangimi migliorati. È anche possibile sostituire le specie allevate con altre specie a crescita più rapida e più resistenti che necessitano di trascorrere meno tempo in situazioni più esposte. Questo sembra essere il caso dell'allevamento di salmone cileno, dove il salmone atlantico (*Salmo salar)* è stato sostituito dal salmone coho (*Oncorhynchus kisutch)* in diverse zone, data la maggiore resistenza di quest'ultima specie ai pidocchi di mare e alle malattie e considerando la sua crescita più rapida in mare.

Come riportato da Lebel, Lebel e Lebel (2016), gli allevatori che producono pesce d'acqua dolce in gabbie nei bacini idrici della Thailandia settentrionale modificano sia il tempo di allevamento che quello di raccolta come misure a breve termine per ridurre i rischi in determinate condizioni pericolose, come l'aumento della temperatura o le ondate di freddo.

Trasferimento dei pesci d'allevamento in strutture migliorate e più resilienti, come i sistemi di acquacoltura a ricircolo

Il trasferimento dei pesci d'allevamento in un sistema a ricircolo (ad esempio RAS) è un'altra misura da prendere in considerazione nell'ambito della capacità di adattamento, poiché riduce il rischio della maggior parte dei pericoli grazie al controllo accurato delle condizioni di allevamento (ad esempio temperatura, ossigeno, malattie, ecc.). Tuttavia, si tratta di una soluzione molto costosa e potrebbe non essere climaticamente intelligente a causa dell'elevato consumo energetico richiesto. Tuttavia, questo inconveniente potrebbe essere superato con una rapida innovazione nell'uso dell'energia solare o eolica o di altre fonti di energia pulita. Tuttavia, i sistemi RAS attualmente sono probabilmente troppo costosi per la maggior parte dei piccoli allevatori sia nei sistemi d'acqua dolce che in quelli marini e potrebbero esserci anche limitazioni di spazio e costi degli spazi disponibili sul terreno per l'installazione dei RAS. Tuttavia, altre opzioni come la circolazione dell'acqua parzialmente controllata che prevede l'aerazione negli stagni possono essere una scelta con un costo di investimento inferiore.

[6] Dimensione in cui i salmonidi (pesci anadromi) normalmente cambiano il loro sistema fisiologico per passare dall'ambiente d'acqua dolce a quello marino.

Rafforzamento e approfondimento degli stagni

Questa è una delle misure più frequentemente citate per aumentare la capacità di adattamento dell'acquacoltura in acque dolci e in stagni costieri, poiché gli stagni più profondi hanno una maggiore resilienza alle variazioni di temperatura rispetto a quelli meno profondi e questo può essere un fattore scatenante chiave per altri pericoli, ad esempio l'ipossia e le malattie. Tuttavia, gli stagni più profondi possono richiedere sistemi di riciclaggio dell'acqua più efficaci. Pertanto, è sempre consigliabile ottimizzare la progettazione degli stagni in base alla quantità e alla qualità dell'acqua disponibile e alle condizioni ambientali generali, al fine di rendere il sistema più resiliente agli shock.

Nota di cautela: la classificazione delle misure sopra descritte nelle categorie di riduzione **dell'esposizione**, riduzione **della sensibilità** e aumento **della capacità di adattamento** è stata effettuata ai fini del modello semplificato qui utilizzato. Pertanto, alcune misure che aumentano la capacità di adattamento, ad esempio l'uso di RAS al posto delle gabbie galleggianti, potrebbero anche essere considerate come opzioni per ridurre l'esposizione se i sistemi di ricircolo si trovano nella stessa area. Poiché le componenti del **rischio** che possono essere modificate (E, S, AC) hanno lo stesso peso in questo modello, è importante comprendere e modificare le componenti in modo coerente, in modo da promuovere la riduzione del rischio nel suo complesso.

Efficacia in termini di costi delle misure di adattamento

La riduzione della produzione agricola nelle aree a più alto rischio ha diverse implicazioni per i vari attori coinvolti e può anche comportare costi sociali. Per attuare questa azione, gli agenti devono disporre di informazioni sufficienti sui **siti** con una maggiore probabilità di essere colpiti dal pericolo e il governo deve disporre **di strumenti** o **incentivi** per indurre gli agricoltori ad attuare la misura proposta. La portata della produzione e la capacità economica dei singoli agricoltori, nonché il loro legame sociale con lo spazio utilizzato, determineranno la loro risposta.

Le grandi aziende con diverse aziende agricole (il più delle volte concessioni o locazioni per l'acquacoltura in laghi o zone marine) in diverse aree geografiche possono trasferire la loro produzione da zone più esposte a zone meno esposte, anche se ciò comporta costi di trasferimento. Le zone utilizzate prima del trasferimento sono probabilmente quelle più produttive o redditizie, quindi il trasferimento comporterà probabilmente un aumento permanente dei costi totali e una riduzione dei profitti. Inoltre, il trasferimento in zone meno esposte che non sono attualmente utilizzate comporta costi di avviamento per gli allevamenti che potrebbero includere, ad esempio, investimenti di capitale in infrastrutture. È anche possibile che il trasferimento aumenti i costi operativi, ad esempio se i nuovi siti di produzione sono situati in zone più remote.

I piccoli agricoltori con una sola o poche aziende agricole (concessioni per l'acquacoltura) potrebbero incontrare difficoltà nel trasferire la produzione. I costi privati potrebbero essere notevoli ed è necessario aggiungere i potenziali costi della riduzione del reddito se l'agricoltore non è in grado di mantenere i livelli di produzione precedenti per continuare a fornire i contratti. In casi estremi, se l'aumento dei costi è molto elevato, l'agricoltore potrebbe essere costretto a cessare l'attività agricola.

Un meccanismo che potrebbe ridurre i costi di adattamento sia per i grandi che per i piccoli agricoltori è lo sviluppo di un mercato secondario per la locazione delle concessioni di acquacoltura. Ciò potrebbe consentire ai produttori con concessioni situate in zone ad alto rischio di affittare concessioni in zone meno esposte, rendendo possibile mantenere la produzione e ridurre i costi netti totali. Lo sviluppo di un tale mercato richiederebbe probabilmente il coinvolgimento del settore pubblico per creare e dare status giuridico alle norme che lo regolerebbero.

Altre potenziali implicazioni sociali includono l'impatto sui lavoratori che non sono in grado di trasferirsi o di recarsi in una nuova zona, o dove i costi di trasferimento sono molto elevati. Se non riescono a trovare un nuovo lavoro che paghi uno stipendio simile a quello precedente, il reddito familiare ne risentirà.

Le comunità delle zone isolate con una concentrazione di aziende agricole possono subire una riduzione dei redditi quando le attività agricole diminuiscono, a causa della riduzione dei servizi a sostegno delle attività produttive e persino della riduzione delle entrate comunali relative alla gestione delle concessioni per l'acquacoltura. Allo stesso modo, quando l'aumento della disoccupazione si concentra in luoghi specifici, può generare diversi costi sociali in una comunità. È molto importante che nessuna misura di adattamento finisca per creare costi sociali a lungo termine più elevati dei rischi che si intendono affrontare.

Considerazioni di efficacia in termini di costi per la scelta delle opzioni migliori nel corso del tempo dell'

Come descritto sopra, le misure di gestione possono essere più o meno efficaci a seconda dei pericoli coinvolti, del contesto di tutte le componenti di rischio e dei tempi di risposta: il passaggio a una condizione più adeguata e resiliente è un processo continuo e in corso (Figura 7). È inoltre importante considerare i costi (sia privati che pubblici/governativi) di tutte le misure coinvolte.

Alcune misure potrebbero essere appropriate per ridurre i rischi associati a vari pericoli e la loro riduzione del rischio prevista può essere considerata una stima della loro efficacia, come ben spiegato nei casi di studio (Capitolo 3). Dobbiamo anche sottolineare che le misure di adattamento qui discusse possono essere attuate anche per ragioni non legate al cambiamento climatico, il che potrebbe essere rilevante dal punto di vista dei costi: ad esempio, il RAS potrebbe essere sviluppato perché lo spazio marino è scarso o non disponibile.

Di seguito esaminiamo più in dettaglio le potenziali implicazioni in termini di costi di diverse misure.

– ***La modifica dei tempi di coltivazione e raccolta*** (periodo di stoccaggio, periodo di coltivazione, periodo di raccolta) comporta costi privati che possono essere inferiori rispetto alla riduzione della produzione totale o al trasferimento della produzione in altre aree. Un prerequisito importante affinché questa azione sia efficace è disporre di informazioni affidabili e tempestive sul **momento** e **sui luoghi** che saranno colpiti dal pericolo. Scegliendo quando avviare o terminare il ciclo produttivo, gli agricoltori possono evitare in parte o totalmente l'impatto del pericolo, anche se ciò può significare che la produzione avviene in un momento meno ottimale rispetto a quanto sarebbe in assenza di tali considerazioni. Ciò potrebbe comportare alcuni costi per l'agricoltore in termini di pesci raccolti più piccoli e biomassa totale inferiore, che potrebbero influire sui profitti totali. Tuttavia, se i profitti sono ridotti nelle zone più esposte, i grandi agricoltori e le grandi aziende possono trasferire la produzione in zone meno esposte, come analizzato nel caso di studio sul salmone (capitolo 3).([7])

  Se si confrontano i costi di queste due azioni – ad esempio, la riduzione della produzione totale rispetto alla riduzione del tempo di allevamento o all'accorciamento del ciclo di allevamento – i costi della riduzione dell'allevamento nelle zone più esposte saranno probabilmente più elevati, sia a livello privato che sociale, rispetto alla modifica dei tempi di crescita e di raccolta. Tuttavia, questo potrebbe non essere vero per tutte le parti interessate, il che riflette gli effetti distributivi diseguali che tali azioni potrebbero avere tra i diversi gruppi.

  Tuttavia, anche l'efficacia delle azioni potrebbe differire, rendendo la riduzione dell'allevamento nelle zone più esposte una misura di riduzione del rischio più efficace rispetto alla modifica dei tempi di crescita e di raccolta. Pertanto, non è ovvio quale misura sia la più efficace in termini di costi, ed è quindi necessario analizzare attentamente sia i costi che l'efficacia.

  Infine, è importante sottolineare le diverse ipotesi alla base di queste due misure: nel primo caso la posizione del pericolo è nota, mentre nel secondo caso

[7] Ad esempio, nel caso dell'allevamento di salmone cileno, questa misura richiede una revisione dell'attuale regolamento sui periodi di follow-up per le zone di allevamento del salmone (SFA). In un certo senso, questo regolamento può essere interpretato come una misura di trasferimento a breve termine (temporanea). Le operazioni produttive sono consentite in alcune località, entro un ciclo temporale limitato. Tuttavia, questa misura non tiene conto del rischio di un pericolo come l'HAB nella definizione della finestra temporale di produzione.

Nel secondo caso, invece, la posizione e il momento in cui si verificherà il pericolo sono noti. Le conoscenze necessarie per attuare queste misure sono diverse in ciascun caso, il che potrebbe anche influenzare la scelta tra l'una e l'altra. In altre parole, vi sono costi associati all'acquisizione di informazioni che differenziano le misure.

- ***Adozione di sistemi di ricircolo chiusi (RAS).*** L'adozione dei sistemi RAS è una soluzione a lungo termine che isola l'attività dall'impatto della maggior parte dei pericoli presenti nelle condizioni oceaniche naturali. Può essere o meno una misura utile da attuare nell'ambito di una strategia di pianificazione territoriale basata sul rischio. Si tratta di una soluzione a lungo termine perché richiede una tecnologia economicamente sostenibile e un quadro istituzionale per il suo sviluppo. Può essere applicata come misura per affrontare i rischi legati al cambiamento climatico, ma può anche essere motivata da altre considerazioni. Il costo dell'attuazione dei RAS sarà sostenuto privatamente dalle singole aziende; tuttavia, può comportare anche una spesa pubblica nella misura in cui è necessario sviluppare un quadro istituzionale. Il costo dell'introduzione del RAS dovrebbe essere elevato ed è un'opzione improbabile per i singoli piccoli agricoltori: probabilmente sarà più costoso rispetto **al trasferimento dei siti di produzione** attraverso la pianificazione territoriale. Tuttavia, ciò dipende fortemente dalla disponibilità di spazi e dal costo che le aziende private dovranno sostenere per seguire le nuove regole sull'uso dello spazio a fini produttivi.

- ***Sistemi efficaci di monitoraggio e allerta precoce.*** I sistemi di monitoraggio e allerta precoce possono essere implementati su diverse scale geografiche e da diversi attori. Ad esempio, le agenzie governative potrebbero fornire informazioni al pubblico in determinate aree per sensibilizzarlo sui potenziali pericoli quali HAB, parassiti, ecc. che potrebbero avere effetti oltre la produzione acquicola (impatti sulla salute, sicurezza dei prodotti ittici, ecc.) (cfr. FAO, 2017 e Bueno e Soto, 2017). Inoltre, i singoli agricoltori o le associazioni di agricoltori potrebbero partecipare agli sforzi per installare e gestire un sistema di monitoraggio e allerta precoce. Data la natura delle informazioni pubbliche prodotte da questo tipo di sistemi, sembra ragionevole evitare sistemi individuali e coordinare gli sforzi pubblici e privati o coordinare i produttori. Il costo include l'investimento di capitale in attrezzature e le spese operative per gestire il sistema e rendere le informazioni che genera disponibili alle parti interessate. Indubbiamente, i progressi tecnologici stanno rendendo possibile l'accesso a strumenti di monitoraggio semplici ma molto potenti, ad esempio per la temperatura, l'ossigeno, il colore e la torbidità dell'acqua (Bueno e Soto, 2017; FAO, 2017). Queste misure potrebbero funzionare in modo sinergico e complementare con quelle dedicate alla riduzione della sensibilità e dell'esposizione. Ad esempio, aiutando a identificare le aree più a rischio, i modelli geografici o temporali dei pericoli, ecc., che dovrebbero essere integrati con misure che riducono la densità di allevamento e la biomassa nelle aree esposte.

- ***Adottare gabbie sommergibili e acquacoltura offshore.*** Si tratta di misure basate sulla tecnologia. Le spese in conto capitale sono legate alla ristrutturazione delle infrastrutture, all'installazione e alla manutenzione, che incideranno sul fabbisogno di investimenti e potenzialmente sui costi operativi. I costi di adozione saranno a carico degli allevatori ittici e potrebbero essere significativi, almeno nel breve termine.

- ***Tecnologie innovative come soluzioni rapide.*** L'allevamento del salmone è probabilmente il settore dell'acquacoltura più innovativo dal punto di vista tecnologico a livello globale (Iversen e Hydle, 2023), poiché gli stadi giovanili richiedono sia stagni d'acqua dolce che sistemi di contenimento, mentre gli adulti vengono ingrassati in gabbie in ambiente marino. Sistemi avanzati di gorgogliamento dell'acqua e di recinzione/sicurezza (ad esempio microbolle e tende per fermare le HAB e alcuni parassiti come i pidocchi di mare) per proteggere i pesci dalle HAB e da altri parassiti vengono rapidamente adottati come soluzioni rapide per eventi estremi improvvisi di questo tipo (vedi capitolo 3, casi di studio).

– ***Sistemi avanzati di ossigenazione.*** L'uso di nanobolle per aumentare l'ossigenazione è considerato una buona soluzione per affrontare le condizioni di ipossia, migliorare le condizioni dei pesci in presenza di malattie e aumentare il rapporto di conversione alimentare (FCR). Inoltre, i sistemi a microbolle vengono utilizzati per mobilitare la colonna d'acqua dal basso verso l'alto e anche intorno agli allevamenti, al fine di ridurre la densità delle microalghe in caso di HAB e quindi diminuirne l'impatto sui pesci. Queste tecnologie di soluzione rapida possono essere meno costose per gli allevatori rispetto alla riduzione della loro produzione totale e potrebbero alla fine consentire loro di mantenere la biomassa agricola prevista in aree ad alto rischio; tuttavia, non vi è stato ancora un monitoraggio e un'analisi sufficienti dei risultati di tali innovazioni per valutarne l'efficacia in termini di costi. Ciononostante, tutte queste tecnologie possono essere estese ad altri sistemi di acquacoltura; ad esempio, l'uso delle microbolle è già una tecnica utilizzata negli allevamenti di gamberetti per aumentare il benessere e il FCR (Shin Lim *et al.,* 2021).

Esplorazione dell'efficacia in termini di costi attraverso un esercizio semi-quantitativo di analisi del costo-efficacia ( ).

In questa sezione viene sviluppato un semplice esercizio per illustrare come è possibile analizzare il rapporto costo-efficacia. La tabella 6, la tabella 7 e la tabella 8 descrivono una serie di misure di adattamento ai cambiamenti climatici (colonne) e la valutazione dell'efficacia (in termini di capacità di ridurre il rischio) effettuata dal valutatore esperto rispetto a diversi pericoli (righe) utilizzando un sistema di punteggio Likert in cui **1** equivale a inefficace e **5** descrive una riduzione massima del rischio altamente efficace. Utilizzando un approccio simile, viene utilizzata una scala di valutazione a 5 punti per i costi comparativi stimati, dove 1 indica sostanzialmente nessun costo aggiuntivo e 5 indica un costo estremamente elevato.

La tabella 6 riporta le stime relative al pesce d'allevamento in gabbie e descrive il costo e l'efficacia delle misure per 5 pericoli. Le scale cromatiche sono utilizzate per evidenziare le misure più efficaci e più costose in ciascun caso. Inoltre, l'efficacia in termini di costi è stimata dividendo il costo per l'efficacia e poi dividendo il risultato per 5 per normalizzare i risultati. Pertanto, i valori più bassi (e il blu più scuro) sulle linee e sulle righe inferiori sono i migliori, nel senso che sono le misure più efficaci in termini di costi o "il costo più basso con il massimo effetto sulla riduzione del rischio", mentre i valori più alti (rosso) sono i peggiori, ovvero "molto costosi con un effetto minimo o nullo sulla riduzione del rischio".

Un'analisi simile è riportata per i molluschi allevati su palangari (cozze, ostriche, ecc.) (Tabella 7) e per gli stagni di acqua dolce (Tabella 8). In tutte le tabelle le misure di adattamento sono organizzate da quelle meno costose (a sinistra) a quelle più costose (a destra); queste ultime misure richiedono probabilmente anche più tempo per essere attuate.

I casi di studio utilizzati per descrivere l'attuazione di questo quadro (capitolo 3) includono un modello concettuale di base per l'analisi del rapporto costo-efficacia, utilizzando informazioni provenienti dall'allevamento di salmone e cozze in Cile. Questo può anche servire da guida per un'analisi in qualsiasi sistema di acquacoltura.

Nota: i casi di studio utilizzati per descrivere l'attuazione di questo quadro (capitolo 3) includono un modello concettuale di base per l'analisi del rapporto costo-efficacia, utilizzando informazioni provenienti dall'allevamento di salmone e cozze in Cile. Questo può anche servire da guida per un'analisi in qualsiasi sistema di acquacoltura. Una semplice modellizzazione della potenziale riduzione del rischio grazie all'attuazione di alcune misure può guidare la selezione delle azioni e delle misure migliori.

TABELLA 6

Matrice di costo-efficacia per alcune misure di adattamento nell'allevamento ittico marino basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i pericoli e le opzioni più comuni descritti nella letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3)

Pericoli	Miglioramento del monitoraggio e dell'allerta precoce (AI, IOT ecc.)	Riduzione della densità dei pesci	Ottimizzazione della biosicurezza	alimentazione adattata (probiotici, prebiotici)	Migliore ossigenazione (ad es. nanobolle)	Barriere flessibili, microbolle	Strutture più resistenti	Riduzione della produzione nelle aree a maggior rischio		Passaggio al RAS	Utilizzo di ceppi più adatti
	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec	Costo	Effec	Effec
>T°C (ondate di caldo)	3	4	3	3	3	3	1	3		5	4
<O_2 (ipossia)	3	4	3	1	4	3	1	4		5	4
Condizioni meteorologiche estreme	3	2	2	1	2	2	5	4		3	1
>HAB	3	2	2	1				4			
>Parassiti e malattie	3	3			3	4	1			5	4
>Salinità	3	5	5	4	3	3	1	3		4	
		2	3	2	2	2	1	4		5	

	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo
Efficacia e costo per vari rischi	3,0	2	3,3	3	3,0	2	2,0	3	2,8	2	2,8	3	1,7	4	3,7	4	4,5	5	3,3	1
Rapporto costo-efficacia																				
>T°C (ondate di caldo)	0,13		0,15		0,13		0,20		0,13		0,20				0,27		0,20		0,25	
<O_2 (ipossia)	0,13		0,15		0,13				0,10		0,20				0,20		0,20		0,25	
Condizioni meteorologiche estreme	0,13		0,30		0,20				0,20		0,30		0,16		0,20		0,33		1,00	
>HAB	0,13		0,20		0,20				0,13		0,15				0,20		0,20		?	
>Parassiti e malattie	0,13		0,12		0,08		0,15		0,13		0,20				0,27		0,25		?	
>Salinità	0,13		0,30		0,13		0,30		0,20		0,30				0,20		0,20		?	

Nota: l'efficacia (Effec) è stimata sulla base di 5 punti, dove 1 = non efficace (colore rosso) e 5 = molto efficace (riduzione dei rischi a un valore minimo, rappresentato dal verde scuro). Anche i costi (Cost) sono stimati sulla base di 5 punti, da 1 come minimo (verde) o trascurabile a 5 come misura molto costosa (rosso). Si noti che il costo di una misura specifica è lo stesso per tutti i pericoli. Viene stimata anche l'efficacia media (Av Effec) di una misura contro diversi pericoli e il rapporto costo-efficacia viene calcolato come (costo/efficacia)/5 per normalizzare il valore tra 0 e 1. I valori vicini a 0 sono ottimali (blu più scuro) e quelli vicini a 1 sono i peggiori (rosso). In tutti i casi le scale di colore corrispondono ai punteggi indicati in ciascuna cella. ? = rappresenta i casi in cui le misure di adattamento potrebbero essere rilevanti ma non ci sono informazioni sufficienti sulla loro efficacia. AI = intelligenza artificiale, IOT = internet delle cose, ToC = temperatura, RAS = sistemi di acquacoltura a ricircolo e HAB = fioriture algali nocive.

TABELLA 7

Matrice di efficacia dei costi per l'allevamento di cozze (o altri molluschi bivalvi) in filari lunghi basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i rischi e le opzioni più comuni descritti nella letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3)

Rischi	Miglioramento del monitoraggio e dell'allerta precoce (AI, IOT ecc.)	Riduzione della densità delle cozze	Ottimizzazione della biosicurezza	Barriere flessibili, microbolle	Strutture più resistenti	Riduzione della produzione nelle aree a maggior rischio		Utilizzo di ceppi più adatti	
	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec	Effec		Effec	
>T°C (ondate di caldo)	3	2	3	2	2	3		4	
<O_2 (ipossia)	3	2	3	3	2	4		4	
Condizioni meteorologiche estreme	3	2	2	1	5	3			
>HAB	3	1	2	4	3	4		4	
Parassiti e malattie	3	4	5	2	2	4		?	
>Salinità	3	2	3	1	1	4			
<pH		1	3	3	1	3		4	

	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo
Efficacia e costo per vari pericoli	3	2	2,0	3	3,0	3	2,3	3	2,3	4	3,6	4	4,0	5
Rapporto costo-efficacia														
>T°C (ondate di caldo)	0,13		0,30		0,20		0,30		0,40		0,27		0,25	
<O_2 (ipossia)	0,13		0,30		0,20		0,20		0,40		0,20		0,25	
Condizioni meteorologiche estreme	0,13		0,30		0,30		0,60		0,16		0,27			
>HAB	0,13		0,60		0,30		0,15		0,27		0,20		0,25	
Parassiti e malattie	0,13		0,15		0,12		0,30		0,40		0,20			
>Salinità	0,13		0,30		0,20		0,60		0,80		0,20			
<pH	0,13		0,60		0,20		0,20		0,80		0,27		0,25	

Nota: l'efficacia (Effec) è stimata sulla base di 5 punti, dove 1 = non efficace (colore rosso) e 5 = molto efficace (riduzione dei rischi a un valore minimo, rappresentato dal verde scuro). Anche i costi (Cost) sono stimati sulla base di 5 punti, da 1 come minimo (verde) o trascurabile a 5 come misura molto costosa (rosso). Si noti che il costo di una misura specifica è lo stesso per tutti i pericoli. Viene stimata anche l'efficacia media (Av Effec) di una misura contro diversi pericoli e il rapporto costo-efficacia viene calcolato come (costo/efficacia)/5 per normalizzare il valore tra 0 e 1. I valori vicini a 0 sono ottimali (blu più scuro) e quelli vicini a 1 sono i peggiori (rosso). In tutti i casi le scale di colore corrispondono ai punteggi indicati in ciascuna cella. ? = rappresenta i casi in cui le misure di adattamento potrebbero essere rilevanti ma non ci sono informazioni sufficienti sulla loro efficacia. AI = intelligenza artificiale, IOT = internet delle cose, ToC = temperatura e HAB = fioriture algali nocive.

TABELLA 8

Matrice di efficacia dei costi per l'allevamento di pesci d'acqua dolce in stagni basata sulle ipotesi degli autori per un esempio "inventato" che rappresenta i rischi e le opzioni più comuni descritti nella letteratura (vedi capitolo 1) e nei casi di studio (capitolo 3)

Rischio	Miglioramento del monitoraggio e dell'allerta precoce (AI, IOT ecc.)		Riduzione della densità dei pesci		Ottimizzazione della biosicurezza		Mangimi adattati (probiotici, prebiotici)		Miglioramento dell'ossigenazione (ad es. nanobolle)		Stagni più profondi		Implementare l'IMTA		Strutture più resistenti		Ridurre la produzione nelle aree a maggiore rischio		Passare a sistemi RAS/chiusi		Utilizzare ceppi più adatti	
	Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec		Effec	
>T°C (ondate di caldo)	3		4		3		3		3		4		3		1		4		5		4	
<O_2 (ipossia)	3		4		3		1		4		4		4		1		4		5		4	
Condizioni meteorologiche estreme	3		2		2		1		1		3		1		5		4		4		1	
>Parassiti e malattie	3		5		5		4		3		2		4		1		2		4			
>Salinità	3		1		3		1		1		2		3		1		4		5			
	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Effetto medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo	Eff. medio	Costo
Efficacia e costo per vari rischi	3,0	2	3,2	3	3,2	2	2,0	3	2,4	3	3,0	3	3	3	1,8	4	3,6	4	4,6	5	3,0	5
Rapporto costo-efficacia																						
>T°C (ondate di caldo)	0,13		0,15		0,13		0,20		0,20		0,15		0,20				0,20		0,20		0,25	
<O_2 (ipossia)	0,13		0,15		0,13				0,15		0,15		0,15				0,20		0,20		0,25	
Condizioni meteorologiche estreme	0,13		0,30		0,20				0,60		0,20		0,60		0,16		0,20		0,25		1,00	
>Parassiti e malattie	0,13		0,12		0,08		0,15		0,13		0,30		0,15				0,40		0,25		?	
>Salinità	0,13		0,60		0,13		0,60		0,40		0,30		0,20				0,20		0,20			

Nota: l'efficacia (Effec) è stimata sulla base di 5 punti, dove 1 = non efficace (colore rosso) e 5 = molto efficace (riduzione dei rischi a un valore minimo, rappresentato dal verde scuro). Anche i costi (Cost) sono stimati sulla base di 5 punti, da 1 come minimo (verde) o trascurabile a 5 come misura molto costosa (rosso). Si noti che il costo di una misura specifica è lo stesso per tutti i pericoli. Viene stimata anche l'efficacia media (Av Effec) di una misura contro diversi pericoli e il rapporto costo-efficacia viene calcolato come (costo/efficacia)/5 per normalizzare il valore tra 0 e 1. I valori vicini a 0 sono ottimali (blu più scuro) e quelli vicini a 1 sono i peggiori (rosso). In tutti i casi le scale di colore corrispondono ai punteggi indicati in ciascuna cella. ? = rappresenta i casi in cui le misure di adattamento potrebbero essere rilevanti ma non ci sono informazioni sufficienti sulla loro efficacia. AI = intelligenza artificiale, IOT = internet delle cose, ToC = temperatura, RAS = sistemi di acquacoltura a ricircolo, IMTA = acquacoltura multitrofica integrata e HAB = fioriture algali nocive.

Alcuni messaggi chiave dall'analisi del rapporto costo-efficacia per la selezione delle migliori opzioni di adattamento

Gli esempi e il formato delle tabelle qui riportati (Tabella 6, Tabella 7 e Tabella 8) possono essere adattati a qualsiasi situazione, mentre il sistema di punteggio può essere modificato e ottimizzato in base alle informazioni disponibili. Compilare le tabelle attraverso processi partecipativi può favorire il senso di appartenenza, poiché gli attori a tutti i livelli vengono coinvolti nella creazione dei piani di adattamento. Alcune misure possono essere utili per affrontare i rischi dovuti a pericoli diversi; ad esempio, nel caso dell'allevamento ittico in gabbie o stagni, il passaggio al RAS può ridurre i rischi dovuti alla maggior parte dei pericoli (vedere l'efficacia media nella tabella 6, tabella 7 e tabella 8). Tuttavia, questa è la soluzione più costosa, quindi ha un rapporto costo-efficacia molto basso nel breve termine. L'opzione *"ridurre la produzione nelle aree a maggior rischio"* è simile, ma potrebbe non essere in grado di ridurre i rischi in presenza di determinati pericoli (ad esempio, eventi estremi *rispetto* alle malattie). Inoltre, lo spazio e le aree per farlo potrebbero non essere disponibili, pertanto diventa essenziale una pianificazione strategica dell'acquacoltura (FAO, 2025). Nel caso dell'allevamento di molluschi (Tabella 7), lo sviluppo di ceppi meglio adattati a un pH più basso è particolarmente importante nel lungo termine, poiché questo è uno dei principali pericoli per questi sistemi di allevamento.

È importante sottolineare che la diversificazione della produzione acquicola attraverso la ricerca di nuove varietà o tipi di allevamento e/o specie più adatte è una raccomandazione molto comune per adattare l'acquacoltura ai cambiamenti climatici. Tuttavia, può essere difficile trovare specie o sviluppare varietà in grado di adattarsi a tutti i pericoli. Chiaramente si tratta di un processo più adatto ad affrontare rischi specifici, come l'aumento della salinità dovuto all'innalzamento del livello del mare che influenzerà sempre più l'acquacoltura nelle zone di pianura come il Bangladesh, alcune zone dell'India, il Mekong e il bacino del Nilo. In questi casi è in corso la ricerca di ceppi di pesce gatto (Minh *et al.*, 2022) e tilapia (Mehrim e Refaey, 2023) più adatti. Tuttavia, permangono altri pericoli, dall'aumento delle malattie agli eventi meteorologici estremi. Lo sviluppo e l'adozione di nuove varietà e specie è costoso, richiede tempo e necessita dell'intervento del governo e della collaborazione tra pubblico e privato. A breve termine potrebbe non essere una misura conveniente dal punto di vista economico, ma a lungo termine può esserlo.

Nel breve termine, le misure più efficaci in termini di costi sembrano essere *la "riduzione della densità degli allevamenti ittici"*, *il "miglioramento del monitoraggio e dell'allerta precoce"*, *l'"ottimizzazione della biosicurezza*" e *il "miglioramento/ottimizzazione dell'ossigenazione"*. Queste misure sono anche meno costose rispetto alle precedenti e quindi sono anche relativamente più efficaci in termini di costi, ma questo vale solo nel breve termine. Infine, la realizzazione di strutture di allevamento più resistenti è una buona misura soprattutto per affrontare eventi estremi e può essere più conveniente rispetto al trasferimento degli allevamenti in aree a minor rischio, se questo è il pericolo principale (Tabella 6, Tabella 7 e Tabella 8). Come accennato in precedenza, la pianificazione strategica dell'acquacoltura deve tenere conto di tutti gli aspetti sopra citati (FAO, 2025).

v. Fase 5: Attuare la strategia di adattamento dell'

Le azioni e le misure proposte dalla strategia di adattamento vengono attuate. A tal fine è necessario che i diversi soggetti coinvolti, pur comprendendo i costi e i benefici, assumano i ruoli corrispondenti e che vengano assegnate risorse umane ed economiche sufficienti. Spesso non sarà possibile attuare la strategia nella sua interezza, ma la valutazione dei rischi dovrebbe fungere da guida per comprendere le situazioni più rischiose e i loro probabili impatti, in modo da poter stabilire le priorità degli interventi. Le linee guida sull'approccio ecosistemico all'acquacoltura (FAO, 2010) forniscono alcune indicazioni sul processo di attuazione che potrebbero essere applicate anche a una strategia di adattamento. È essenziale sviluppare un piano di lavoro (fase 4) per l'attuazione della strategia, che dovrebbe essere un processo trasparente e partecipativo con scadenze chiare e realistiche e stime delle risorse umane e dei budget necessari per le diverse attività. L'attuazione della strategia può richiedere supporto tecnico e formazione, tenendo conto degli aspetti economici, tecnici, sociali e ambientali.

vi. Fase 6: Monitoraggio e valutazione dell'

Le azioni e le misure previste dalla strategia dovrebbero essere monitorate e valutate al fine di migliorarne l'attuazione, utilizzando scadenze e indicatori concordati dalle parti interessate coinvolte nell'elaborazione della strategia. Una volta che le azioni e le misure sono state messe in atto e la strategia è stata attuata in parte o completamente, è necessaria una nuova valutazione del rischio. Il successo teorico della strategia può essere valutato in termini di riduzione del rischio. Tuttavia, la sua reale efficacia può essere valutata solo in base alla misura in cui riduce le perdite quando si trova ad affrontare un pericolo reale, ad esempio un evento estremo improvviso come una tempesta, un calo di ossigeno o una fioritura algale nociva (HAB).

La tabella 9 fornisce una descrizione delle fasi proposte da Aqua-Adapt, suggerendo anche come e chi dovrebbe assumere la guida o essere coinvolto. Questa tabella può anche essere utilizzata come lista di controllo per pianificare il processo e monitorare i risultati.

TABELLA 9
Descrizione generale delle fasi proposte da Aqua-Adapt

	Da fare	Come	Da parte di
Fase 1 – Definire l'unità di adattamento dell'acquacoltura	Stabilire l'unità di adattamento: l'oggetto dell'adattamento riguarda solitamente le specie allevate e il sistema socioecologico associato su scale spaziali appropriate: • area geografica dell'acquacoltura (acquacoltura nazionale, comunità acquicola, zona acquicola, vicinato, ecc.); oppure • settore dell'acquacoltura (ad esempio allevamento di pesci gatto, allevamento di tilapia, allevamento di cozze); oppure una specie specifica dell'acquacoltura (ad esempio *Oreochromis niloticus*) • altre unità spaziali, produttive o geopolitiche • sistemi di produzione (stagni, gabbie, vasche)	Considerare gli sforzi nazionali per affrontare il cambiamento climatico, ad esempio il piano nazionale di adattamento (NAP). Questi spesso identificano le aree nazionali, le province, ecc. pertinenti e spesso identificano le esigenze settoriali	Le parti interessate possono variare dalle autorità nazionali alle autorità provinciali e comunali, nonché a quelle locali. Possono anche includere organizzazioni del settore privato

TABELLA 9 (CONTINUA)

	Da fare	Come	Da parte di
Fase 2 – Valutare e considerare le proiezioni climatiche e i percorsi	Selezionare un modello climatico regionale appropriato Selezionare la scala temporale: 10 anni, 50 anni, 100 anni, ecc. Selezionare lo scenario. Questi scenari, noti come Representative Concentration Pathways (RCP) o Shared Socioeconomic Pathways (SSP) nei modelli più recenti, prendono in considerazione vari fattori quali la crescita economica, i cambiamenti demografici, la produzione energetica e i cambiamenti nell'uso del suolo. Essi forniscono un quadro di riferimento per comprendere in che modo le diverse scelte politiche e di stile di vita possono influire sul clima. Si raccomanda di utilizzare il modello dello scenario peggiore, RCP8.0, poiché dovrebbe generare la risposta più resiliente.	Utilizzare le migliori fonti scientifiche e competenze a livello globale, nazionale e locale, a seconda dei casi	Le parti interessate dovrebbero includere esperti e scienziati nazionali, nonché supporto internazionale quando necessario
Fase 3 – Eseguire o valutare una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita	Eseguire una valutazione del rischio tenendo conto del pericolo (H), dell'esposizione (E), della vulnerabilità (Va) e della capacità di adattamento (AC) come segue:		
Pericoli	Stabilire proiezioni associate al cambiamento climatico per un determinato periodo (ad esempio i prossimi 30 anni, la fine del secolo, ecc.) e identificare i principali pericoli. Questi possono includere **l'aumento (o la variazione) della temperatura dell'aria e dell' acqua (come fattori principali), la riduzione dell'ossigeno, l'aumento della salinità, l'innalzamento del livello del mare, l'aumento di parassiti e malattie, l'aumento di eventi estremi, siccità e inondazioni, l'acidificazione degli oceani**	Utilizzare le migliori informazioni disponibili su eventi passati, attuali e previsti, compresi modelli, conoscenze scientifiche, conoscenze locali, ecc. Le scale temporali dovrebbero essere allineate alle azioni e alle misure Identificare le lacune informative. Ciò può essere fatto con gruppi di esperti e parti interessate locali utilizzando approcci semi-quantitativi, ad esempio con punteggi di tipo Likert, o altri approcci e modelli più quantitativi disponibili	Istituzioni di ricerca e monitoraggio e altri soggetti interessati. La partecipazione locale è sempre incoraggiata (ci sono molti esempi in cui è stata utilizzata la percezione locale)
	Stabilire una catena di eventi/impatti associati ai pericoli; considerare che potrebbero esserci diversi pericoli che generano impatti congiunti e spesso sinergici		
	Dare priorità ai pericoli principali		
Esposizione	Stabilire/valutare la produzione, i beni e i mezzi di sussistenza che potrebbero andare persi	Utilizzare i migliori dati disponibili su raccolti/produzione per località, specie, mezzi di sussistenza, ecc.	Governo, in collaborazione con gli agricoltori e il settore privato
Sensibilità	Stabilire e valutare i fattori che rendono il sistema più suscettibile agli effetti dei cambiamenti climatici (i fattori potrebbero essere interni o esterni al sistema di acquacoltura)	Utilizzare le migliori informazioni disponibili, che spesso richiedono informazioni a livello di ecosistema, interazioni terra-acqua, aspetti di gestione dell'acquacoltura, biosicurezza, ecc. Identificare le lacune informative	Il governo, in collaborazione con gli allevatori e il settore privato, le conoscenze locali, ecc.
Capacità di adattamento	Stabilire e valutare i fattori e le condizioni che possono rendere il sistema più resiliente e meglio preparato ad affrontare i cambiamenti climatici impatti; ad esempio la capacità di innovazione, l'accesso alle nuove tecnologie, l'estensione e il sostegno economico, ecc. È inoltre importante considerare i fattori che contribuiranno a una ricostruzione migliore e le condizioni che consentono di individuare le lacune principali.	Utilizzare le migliori informazioni disponibili, dagli aspetti legali, alla governance, ai finanziamenti, alle tecnologie, ecc.; identificare le lacune	Il governo, in collaborazione con gli agricoltori e le parti interessate. Se l'unità di adattamento è un'azienda agricola, utilizzerà le proprie risorse
Considerare la certezza	In qualsiasi valutazione del rischio, è necessario considerare alcuni indicatori di certezza, soprattutto quando si utilizzano modelli di proiezione dei pericoli. Inoltre, la stima dell'esposizione e della sensibilità comporta l'utilizzo di informazioni spesso incomplete o carenti. Le opzioni di capacità di adattamento, d'altra parte, possono essere identificate e concordate tra le parti interessate	Stabilire alcuni indicatori di certezza. La qualità e l'estensione delle informazioni disponibili sono fondamentali	Il governo, in collaborazione con gli agricoltori e il settore privato, le conoscenze locali, ecc.

TABELLA 9 (CONTINUA)

	Da fare	Come	Da parte di chi
Fase 4 – Elaborazione di un piano di lavoro per l'adattamento	Elaborare un piano di lavoro: • Stabilire la governance della strategia, ad esempio chi sarà il responsabile, come saranno coordinate le istituzioni e il settore privato, ecc. Identificare le opzioni di adattamento: • Identificare strategie e opzioni per ridurre l'esposizione e la sensibilità individuate e per aumentare la capacità di adattamento; • Elaborare un calendario per l'attuazione (a breve-medio termine da 1 a 3 anni; a lungo termine da 4 a 6 anni o più); • Selezionare le opzioni/azioni di adattamento e le modalità di attuazione più appropriate; • Identificare le risorse umane e finanziarie necessarie per l'attuazione della strategia; • Identificare le misure di adattamento che il governo può attuare, ad esempio difese costiere, difese contro le inondazioni, piantumazione di mangrovie; • Identificare le misure di adattamento che la scienza può gestire, ad esempio la selezione genetica per la tolleranza alle nuove condizioni; • Identificare le azioni di adattamento che gli agricoltori possono attuare, ad esempio stagni più profondi, dighe più alte, reti sulla sommità delle dighe, cambiamento delle specie.	Utilizzare le migliori informazioni disponibili e un approccio strategico, con capacità umane e risorse adeguate Utilizzare indicatori di efficacia in termini di costi e il livello target di rischio e/o vulnerabilità per scegliere l'opzione migliore. Le azioni a basso impatto[1] potrebbero essere adeguate come misure iniziali e a breve termine. Potrebbero essere utili valutazioni dei compromessi. I costi potrebbero includere ricerca e sviluppo, accessibilità, estensione, effettiva attuazione in loco, ecc. È necessario considerare il potenziale di maladattamento[3] L'analisi dei compromessi potrebbe includere anche ulteriori opportunità[4] È possibile eseguire una semplice modellizzazione della potenziale riduzione del rischio derivante da alcune misure per guidare la selezione delle misure La tempistica di implementazione dovrebbe anche tenere conto della tempistica dei pericoli previsti	Le parti interessate coinvolgono il governo e il settore privato, le comunità locali, ecc. su una scala geografica adeguata
Fase 5 – Attuare la strategia seguendo il piano di lavoro	Le azioni proposte vengono attuate seguendo un piano di lavoro che tiene conto di scadenze chiare e realistiche e delle stime delle risorse umane e dei budget necessari per le diverse attività.	Utilizzare la formazione e il coaching per elaborare e attuare il piano. Considerare tempistiche, risorse, leadership, ecc. Spesso è necessaria un'analisi costi-benefici	Governo, settore privato, comunità
Fase 6 – Valutare l'attuazione della strategia monitorando l'attuazione del piano di lavoro	L'attuazione viene monitorata e, per valutarne il successo, è possibile stimare nuovamente i rischi dopo che le azioni sono state messe in atto. Si tratterà del rischio Rx, dove x è il momento in cui la strategia è stata attuata in parte o completamente. Il successo teorico della strategia può essere valutato in termini di riduzione del rischio. Tuttavia, la sua reale efficacia può essere valutata solo in base alla riduzione delle perdite in risposta a un pericolo reale crescente o a un evento improvviso	Progettare indicatori di monitoraggio, ad esempio la riduzione delle perdite. Eseguire nuove valutazioni dei rischi dopo l'attuazione delle misure	Governo, settore privato, comunità

[1] **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2022b: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (a cura di)]. In: Cambiamenti climatici 2022: impatti, adattamento e vulnerabilità. Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press. [2] **Galappaththi, E.K., Ichien, S.T., Hyman, A.A., Aubrac, C.J. e Ford, J.D.** 2020. Adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. *Reviews in Aquaculture*, 12 (4): 2160–2176. https://doi.org/10.1111/raq.12427; ([3]) Il maladattamento ai cambiamenti climatici comprende misure di adattamento che potrebbero aumentare indirettamente gli impatti negativi dei cambiamenti climatici e/o aumentare la vulnerabilità del settore stesso o di altri settori (**Schipper, E.L.F.** 2020, Maladaptation: When Adaptation to Climate Change Goes Very Wrong. One Earth, 3: 409-414) e ([4]) **Pham, T.T.T., Friðriksdóttir, R., Weber, C.T., Viðarsson, J.R., Papandroulakis, N ., Baudron, A.R., Olsen, P., Hansen, J.A., Laksá, U., Fernandes, P.G., Bahri, T., Ragnarsson, S.Ö. e Aschan, M.** 2021. Linee guida per la co-creazione di piani di adattamento climatico per la pesca e l'acquacoltura. *Climatic Change,* 164, 62. https://doi.org/10.1007/s10584-021-03041-z

RIFERIMENTI

Aguilar-Manjarrez, J., Soto, D. e Brummett, R. 2017. *Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture. A handbook.* Report ACS18071. Roma, FAO e Gruppo Banca Mondiale, Washington, DC. 62 pp. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6834en

Ahmed, N., Thompson, S. e Glaser, M. 2019. Produttività globale dell'acquacoltura, sostenibilità ambientale e adattabilità ai cambiamenti climatici. *Gestione ambientale*, 63: 159-172. https://doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3

Basu, S. e Roy, A. 2021. Valutazione economica della policoltura ittica come strategia di adattamento ai cambiamenti ambientali nella regione costiera sud-occidentale del Bangladesh. *Rivista internazionale di studi ambientali*, 78(1): 105–116. https://doi.org/10.1080/00207233.2020.1754560

Bondad-Reantaso, M.G., Arthur, J.R. e Subasinghe, R.P. (a cura di). 2008. *Comprendere e applicare l'analisi dei rischi nell'acquacoltura.* Documento tecnico della FAO sulla pesca e l'acquacoltura. N. 519, 304 p. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ i0490e

Bueno, P. e Soto, D. 2017. *Strategie di adattamento del settore dell'acquacoltura agli impatti dei cambiamenti climatici.* Circolare FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 1142. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6943en

Chopin, T. 2013. Acquacoltura, multi-trofica integrata (IMTA). In: R.A. Meyers, ed. *Enciclopedia della scienza e della tecnologia della sostenibilità*, pp. 542–564. New York, Springer. **Engler C.** 2024. Adatto allo scopo? Valutazione delle leggi e delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici per l'acquacoltura marina in Cile. *Frontiers in Marine Science* 11:1386545. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1386545

FAO. 2010. *Sviluppo dell'acquacoltura. 4. Approccio ecosistemico all'acquacoltura*. Linee guida tecniche della FAO per una pesca responsabile. N. 5, Suppl. 4. Roma, FAO. 53 p. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1750e

FAO. 2017. *Sviluppo di un sistema di monitoraggio ambientale per rafforzare la resilienza della pesca e dell'acquacoltura e migliorare l'allerta precoce nel bacino inferiore del Mekong*. Bangkok, Thailandia, 25-27 marzo 2015, di Virapat, C., Wilkinson, S. e Soto, D. Atti della FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 45. Roma, Italia. https://openknowledge. fao.org/items/7e6d6943-268d-406a-bf65-789283a51242

FAO. 2025. *Linee guida per l'acquacoltura sostenibile.* Roma. DOI https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd3785en

Gallardo-Escarate, C., Arriagada, G., Carrera, C., Gonçalves, A.T., Nuñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D. e Valenzuela-Muñoz, V. 2019. La corsa tra ospite e pidocchi di mare nell'allevamento del salmone cileno: un approccio genomico. *Reviews in Aquaculture,* 11: 325–339. https://doi.org/10.1111/raq.12334

Galappaththi, E.K., Ichien, S.T., Hyman, A.A., Aubrac, C.J. e Ford, J.D. 2020. Adattamento ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. *Reviews in Aquaculture,* 12 (4): 2160–2176. https://doi.org/10.1111/raq.12427

Handisyde, N., Telfer, T.C. e Ross, L.G. 2017. Vulnerabilità dei mezzi di sussistenza legati all'acquacoltura ai cambiamenti climatici su scala globale. *Fish and Fisheries*, 18(3): 466–488. https://doi.org/10.1111/faf.12186

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2014. Cambiamenti climatici 2014: impatti, adattamento e vulnerabilità. Parte A: aspetti globali e settoriali. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee,
M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R. e White, L.L. (a cura di). *Contributo del Gruppo di lavoro II alla Quinta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA.

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2021. Sintesi per i responsabili politici. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou (a cura di). *Cambiamenti climatici 2021: le basi scientifiche fisiche. Contributo del Gruppo di lavoro I alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA.

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2022a. *Cambiamenti climatici 2022: impatti, adattamento e vulnerabilità.* Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, Stati Uniti, 3056 pagine. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022b. Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (a cura di)]. In: *Cambiamenti climatici 2022: impatti, adattamento e vulnerabilità. Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press.

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2023. *Cambiamenti climatici 2023: Relazione di sintesi. Contributo dei gruppi di lavoro I, II e III alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici.* IPCC, Ginevra, Svizzera. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Islam, M.M., Barman, A., Kundu, G.K., Kabir, M.A. e Paul, B. 2019. Vulnerabilità dell'acquacoltura interna e costiera ai cambiamenti climatici: prove da un paese in via di sviluppo. *Acquacoltura e pesca*, 4(5): 183-189. https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.02.007

Iversen, A. e Hydle, K.M. 2023. Elevata intensità di innovazione nell'allevamento ittico: il ruolo dell'apertura nell'innovazione e nella strategia. *Aquaculture Economics G Management*, *27*(4), 760–789. https://doi.org/10.1080/13657305.2023.2193161

Lebel, L., Lebel, P. e Lebel, B. 2016. Impatto, percezione e gestione dei rischi climatici per l'acquacoltura in gabbia nei bacini idrici della Thailandia settentrionale. *Gestione ambientale*, 58, 931–945. https://doi.org/10.1007/s00267-016-0764-5

León-Muñoz, J., Aguayo, R., Soto, D., Avendaño-Herrera, R. Nimptsch, J., Wolfl, S., Simon, J., Echeverría, C., Aguayo, M., Salazar, C., Garay, O. e Fox, S. 2023. Dipendenza dal paesaggio dell'allevamento di salmone terrestre in condizioni di cambiamento climatico. *Climate Risk Management,* 40, 100504. https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100504.

Maulu, S., Hasimuna, O.J., Haambiya, L.H., Monde, C., Musuka, C.G., Makorwa, T.H., Munganga, B.P., Phiri, K.J. e Nsekanabo, J.D. 2021. Effetti dei cambiamenti climatici sulla produzione acquicola: implicazioni per la sostenibilità, mitigazione e adattamenti. *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 5: 609097. https://doi.org/10.3389/ fsufs.2021.609097

Mehrim, A.I. e Refaey, M. 2023. Una panoramica delle implicazioni dei cambiamenti climatici sull'allevamento ittico in Egitto. *Sostenibilità*, 15: 1679. https://doi.org/10.3390/su15021679

Minh, H. D., Duong Thuy, Y., Pham Thanh, L., Bui Minh, T., Vo Nam, S., Do Thi Thanh, H., Bui Thi Bich, H., Nguyen Thi Ngoc, T., Dang Quang, H., Kestemont, P., Nguyen Thanh, P. e Farnir, F. 2022. Allevamento selettivo di pesci gatto striati tolleranti alla salinità (Pangasianodon hypophthalmus) per un allevamento sostenibile nel delta del Mekong, Vietnam, vulnerabile ai cambiamenti climatici. *Aquaculture Reports,* 25: 101263. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101263

Pham, T.T.T., Friðriksdóttir, R., Weber, C.T., Viðarsson, J.R., Papandroulakis, N., Baudron, A.R., Olsen, P., Hansen, J.A., Laksá, U., Fernandes, P.G., Bahri, T., Ragnarsson, S.Ö. e Aschan, M. 2021. Linee guida per la co-creazione di piani di adattamento climatico per la pesca e l'acquacoltura. *Cambiamenti climatici,* 164, 62. https://doi.org/10.1007/ s10584-021-03041-z

Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S. e Lecocq, T. 2021. Quando più è meglio: sfruttare la diversità delle specie per passare a un'acquacoltura sostenibile. *Biological Reviews*, 96: 767-784. https://doi.org/10.1111/brv.12677

Shin Lim, Y., Ganesan, P., Varman, M., Hamad, F.A. e Krishnasamy, S. 2021. Effetti dell'aerazione con microbolle sulla qualità dell'acqua e sulle prestazioni di crescita del *Litopenaeus vannamei* nel sistema biofloc. *Aquacultural Engineering,* 93, 102159. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102159

Schipper, E.L.F. 2020, Maladaptation: When Adaptation to Climate Change Goes Very Wrong. One Earth, 3: 409-414. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.09.014

Soto, D. (ed.) 2009. *Maricoltura integrata: una rassegna globale.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 529. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1092e

Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C. 2020. *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura.* INCAR, Universidad de Concepción, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Universidad Austral de Chile, INFOP, Universidad de Los Lagos, e INTEMIT coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Puerto Montt. https://arclim.mma.gob.cl/ media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf

Soto, D., León-Muñoz, J., Garreaud, R., Quiñones, R.A. e Morey, F. 2021. Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. *Marine Policy*, 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705

Tran, N., Le Cao, Q., Mashisia Shikuku, K., Phuong Phan, T. e Banks, L.K. 2020. Redditività e benefici percepiti in termini di resilienza dell'acquacoltura integrata di gamberetti, tilapia e alghe nella costa centro-settentrionale del Vietnam. *Marine Policy*, 120: 104153. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104153

Watkiss, P., Ventura, A. e Poulain, F. 2019. *Processo decisionale ed aspetti economici dell'adattamento ai cambiamenti climatici nel settore della pesca e dell'acquacoltura.* Documento tecnico FAO sulla pesca e l'acquacoltura n. 650. Roma, FAO. 70 pagg. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca7229en

Wilby, R.L. e Dessai, S. 2010. Adattamento robusto ai cambiamenti climatici. *Weather*, 65(7): pp. 180-185. https://doi.org/10.1002/wea.543

CAPITOLO 3
Opzioni di adattamento e analisi del rapporto costo-efficacia per ridurre i rischi associati ai cambiamenti climatici: due casi di studio dall'acquacoltura cilena

Doris Soto,[1] Carlos Chávez,[2] Jorge Dresdner,[1] Jorge León-Muñoz[1,3] e Carlos Molinet[1,4]

[1] Centro interdisciplinare per la ricerca sull'acquacoltura, Universidad de Concepción, Cile

[2] Facoltà di Economia e Commercio, Università di Talca, Cile

[3] Dipartimento di Chimica Ambientale, Facoltà di Scienze, Università Cattolica della Santissima Concezione, Concepción, Cile

[4] Dipartimento di Chimica Ambientale, Facoltà di Scienze, Università Cattolica della Santissima Concezione, Concepción, Cile

I. INTRODUZIONE

Questo capitolo presenta e discute due esempi del processo utilizzato per valutare e scegliere le opzioni di adattamento tenendo conto della loro efficacia, dei loro costi e dell'efficacia in termini di costi della riduzione dei rischi (e dell'aumento della resilienza) in risposta ai vari pericoli associati al cambiamento climatico. Le opzioni di adattamento sono state selezionate dopo l'applicazione di Aqua-Adapt, sviluppato e presentato nel capitolo 2. L'esercizio funge da test sul campo di Aqua-Adapt, anche se in entrambi i casi il processo effettivo non è stato completato, pertanto parte del processo è stata modellizzata.

Il primo caso di studio riguarda il settore dell'allevamento del salmone in Cile. Le unità di adattamento definite sono state le 20 aree di concessione per l'allevamento del salmone (SFA) nella regione di Los Lagos, uno dei 13 distretti geopolitici del Cile. Questo caso di studio rappresenta un'attività di acquacoltura di medie-grandi dimensioni. Lo studio si è concentrato sulla fase di crescita (fase di ingrasso). Questa specifica fase di produzione sarà soggetta a rischi più elevati di parassitismo a causa dell'aumento della salinità derivante dalla riduzione delle precipitazioni come principale pericolo.

Un secondo caso di studio descrive il sistema di allevamento delle cozze cilene, considerando il rischio di perdere il raccolto di semi di cozze selvatiche a causa della riduzione delle precipitazioni che generano un aumento della salinità nei fiordi. La raccolta e l'allevamento delle larve di cozze è essenzialmente un caso di acquacoltura su piccola scala.

I due casi di studio hanno utilizzato le informazioni del recente progetto cileno di mappatura dei rischi climatici. Il Ministero dell'Ambiente cileno (MMA), in collaborazione con istituti di ricerca nazionali, ha organizzato la creazione di mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici per vari settori produttivi (MMA, 2020), compresa l'acquacoltura. Sono state create mappe di rischio per i due principali sistemi di produzione acquicola del Cile: l'allevamento di salmone e di cozze. Utilizzando le informazioni dell'Atlante dei rischi climatici per il Cile (ARClim) (Soto *et al.*, 2020), i nostri casi di studio esaminano attentamente la valutazione dei rischi, la mappatura dei rischi e le misure di riduzione dei rischi in ciascun caso.

Lo scopo di presentare questi casi di studio è mostrare come, con informazioni limitate, sia possibile seguire l'Aqua-Adapt proposto per supportare il processo decisionale nella scelta delle opzioni di adattamento per affrontare i rischi legati ai cambiamenti climatici. I

Casi di studio hanno anche fornito l'opportunità di modificare Aqua-Adapt e testarne l'efficacia come strumento per diversi settori dell'acquacoltura.

Il caso studio relativo all'allevamento del salmone è descritto qui in modo molto più dettagliato rispetto a quello relativo all'allevamento delle cozze, principalmente a causa della maggiore disponibilità e qualità delle informazioni ad esso relative.

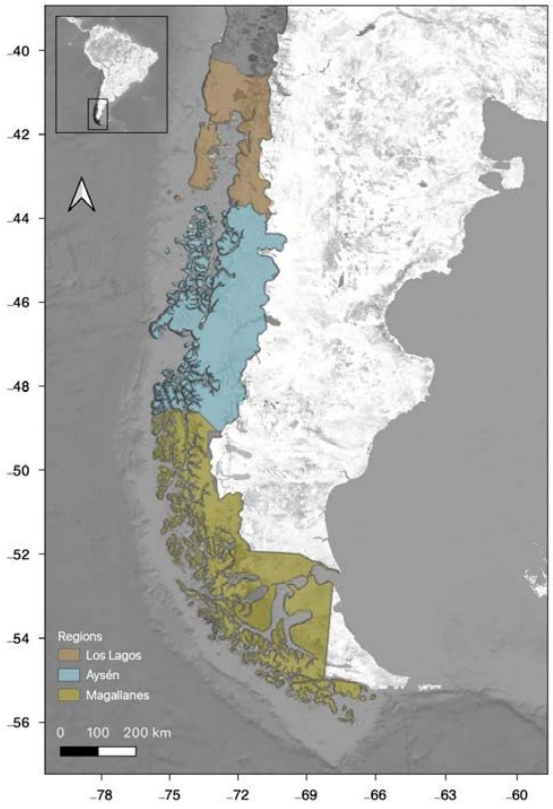
Nota: gli esempi che prendiamo in esame esplorano il rischio di perdita della biomassa produttiva del salmone d'allevamento e della perdita di seme di cozze. La perdita della produzione acquicola può avere gravi conseguenze sociali ed economiche, influenzando i mezzi di sussistenza a livello locale e oltre (ad esempio León-Muñoz *et al*., 2018; Soto *et al*., 2019); tuttavia, non approfondiamo questi aspetti in dettaglio in questa sede. Ciononostante, il modello e l'analisi correlata possono essere facilmente ampliati per affrontare tali perdite.

Breve panoramica del settore dell'acquacoltura cileno

Il Cile è tra i primi dieci produttori mondiali di acquacoltura (FAO, 2024). È il secondo produttore ed esportatore di salmone d'allevamento, con una produzione di quasi 1 milione di tonnellate nel 2023 per un valore di circa 6 000 milioni di dollari USA, e il maggiore esportatore di cozze, con una produzione di quasi 426 000 tonnellate nel 2021 per un valore stimato di 225 milioni di dollari USA.

I salmonidi sono specie esotiche in Cile e le specie allevate comprendono il salmone atlantico (*Salmo salar*) con circa il 70% della produzione, il salmone Coho (*Oncorhynchus kisutch*) con il 18% e la trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*) con il 12%. La fase di allevamento in acqua dolce del salmone (dalle uova agli avannotti e ai giovani esemplari) si svolge in allevamenti terrestri, mentre la fase di crescita o ingrasso avviene in gabbie galleggianti in mare. L'allevamento è intensivo: i singoli allevamenti possono raccogliere tra le 2 000 e le 6 000 tonnellate per ciclo (da 16 a 18 mesi).

FIGURA 9
Principali distretti/regioni di acquacoltura nel Cile meridionale: Los Lagos, Aysén e Magallanes



Nota: per i nomi e i confini utilizzati in questa mappa, consultare la dichiarazione di non responsabilità a pagina [ii].

Fonte: Adattato da **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C.** 2020. *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura.* https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf

Ci sono più di 400 siti di allevamento distribuiti lungo i fiordi costieri, i canali e le insenature della Patagonia tra il 42°° S e 54° S. Gli allevamenti sono organizzati in circa 68 aree o quartieri di allevamento del salmone (SFA) distribuiti tra le tre regioni di allevamento del salmone, ovvero i distretti nazionali di Los Lagos, Aysén e Magallanes (Soto *et al*., 2019; Figura 9).

La produzione cilena di cozze d'allevamento, al contrario, si basa su una specie autoctona (*Mytilus chilensis*). Si trova nel distretto di Los Lagos, nella Patagonia settentrionale, e a differenza del salmone, l'industria è composta principalmente da allevatori di medie dimensioni che si occupano delle fasi di ingrasso, lavorazione ed esportazione. Tuttavia, la produzione di cozze d'allevamento si basa sulla cattura di seme selvatico (o larve), che è essenzialmente un'acquacoltura su piccola scala basata sulla cattura: ciò offre un'opportunità a molti pescatori artigianali locali che utilizzano palangari nei fiordi e nelle acque costiere. Il caso di studio sulle cozze che discutiamo qui si concentra sulla raccolta del seme selvatico.

II. UTILIZZO DI AQUA-ADAPT PER PROGETTARE UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO PER L'ALLEVAMENTO DEL SALMONE CILENO

i. Fase 1 – Definire l'unità di adattamento per l'allevamento del salmone in c

L'area di studio per l'applicazione del caso di studio è il distretto di Los Lagos nella Patagonia settentrionale, in Cile (Figura 9); l'unità di adattamento definita è ciascuna delle sue 20 SFA. Ciascuna SFA è un'area di gestione definita dal governo per affrontare un'epidemia di salmonellosi nel 2010 ed è stata scelta come unità di adattamento perché le normative vigenti consentono misure di gestione specifiche per ciascuna di esse (Soto *et al.,* 2020). Le SFA nella parte settentrionale di questa regione sono quelle che probabilmente subiranno il pericolo maggiore in termini di siccità più marcata e, a causa della maggiore esposizione, sono quelle che corrono i rischi più elevati.

ii. Fase 2 – Valutazione delle proiezioni climatiche

Come descritto sopra, i casi studio qui riportati si basano su un'iniziativa promossa dal Ministero dell'Ambiente cileno per sviluppare mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici per vari settori nazionali. La valutazione ha seguito le linee guida del Quinto Rapporto (AR5) e del Sesto Rapporto (AR6) (IPCC 2014, 2022) del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici, in entrambi i casi seguendo l'analisi del Gruppo di lavoro dell'IPCC AR6 (IPCC, 2023). Le proiezioni climatiche e le minacce hanno tenuto conto del cambiamento climatico tra il recente passato (1980-2010) e il futuro medio (2035-2065) in uno scenario pessimistico di GHG (RCP8.5). Le condizioni climatiche storiche e future sono state ottenute considerando la media di 20-30 simulazioni basate su modelli numerici dell'atmosfera (vedi dettagli nel Climate Threat Explorer: https://arclim.mma.gob.cl/ amenazas/). I risultati del modello sono stati inoltre ridimensionati e corretti in modo da essere attualmente imparziali rispetto al clima osservato a cui fa riferimento il database CR2Met (http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/).

Le valutazioni delle proiezioni climatiche hanno sottolineato gli impatti dei previsti aumenti di temperatura e della riduzione delle precipitazioni che interessano in modo particolare la zona centrale e la Patagonia settentrionale. Entrambi questi fenomeni sono già in atto (per ulteriori informazioni, consultare https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/acuicultura_f_salmon_fan/).

iii. Fase 3 – Eseguire una valutazione dei rischi e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita

a) Valutazione del rischio

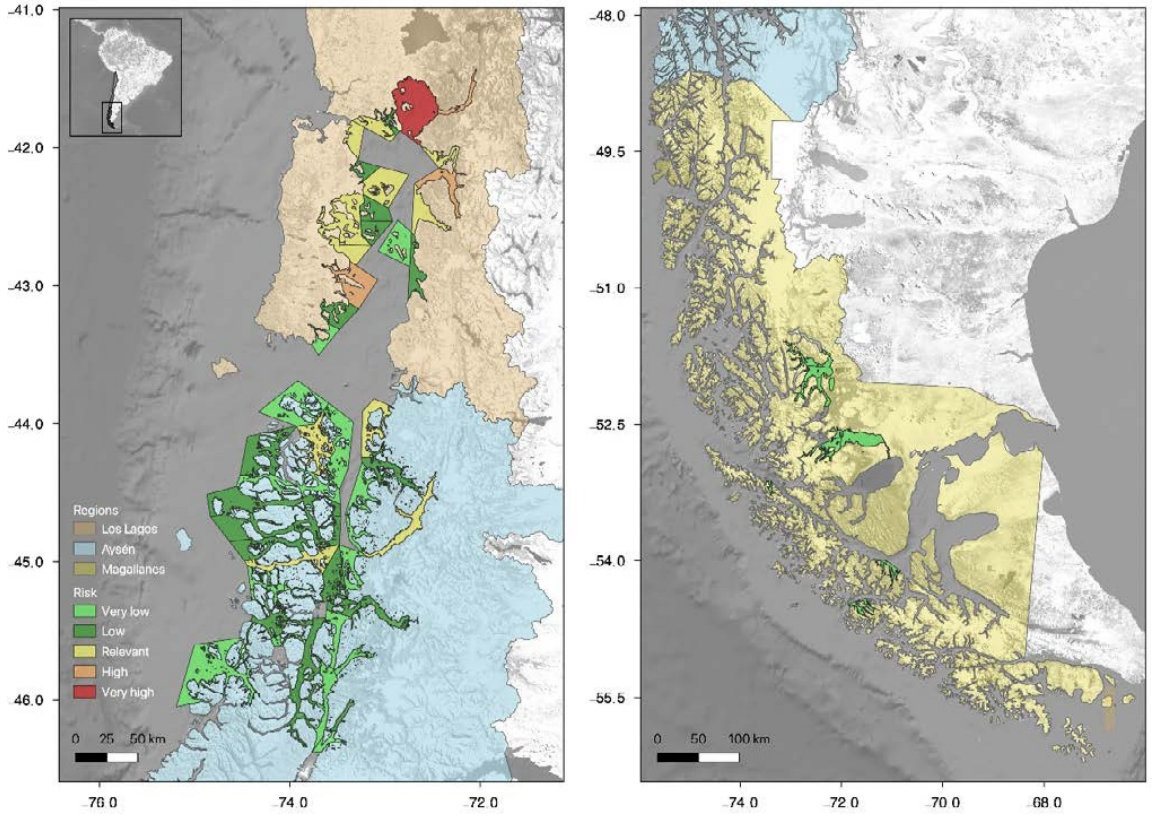
È stata effettuata una valutazione dei rischi legati ai cambiamenti climatici per l'allevamento del salmone che copre l'intera area marina costiera del Cile meridionale, con l'aumento delle fioriture algali nocive (HAB) e del parassitismo come principali pericoli, che ha portato alla creazione di mappe di rischio per le 69 SFA (da 41° S a 54° S) (mappe ARClim (per ulteriori informazioni consultare https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/acuicultura_f_salmon_fan/ e https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/acuicultura_f_salmon_para/)). In questo esempio viene affrontato solo il rischio di aumento del parassitismo.

Le mappe di rischio rappresentano il rischio per il prossimo futuro (2035-2060), rispetto al periodo storico (1981-2010). L'indice varia tra 0 e 1, dove 1 è il valore massimo (adattato dalla bozza del Piano nazionale di adattamento cileno per la pesca e l'acquacoltura). I rischi più elevati di aumento del parassitismo si sono registrati nella regione di Los Lagos, nella Patagonia settentrionale, principalmente a causa dei livelli di pericolo più elevati combinati in alcuni casi con un'esposizione e/o una sensibilità elevate (Figura 10, Tabella 10). Per questo motivo, solo le 20 SFA di Los Lagos sono state utilizzate per illustrare il processo Aqua-Adapt.

La valutazione delle componenti di rischio stimate e dei livelli di rischio finali di ciascuna unità di adattamento si è basata sui sistemi di monitoraggio esistenti per la produzione di salmone, sui parametri di biosicurezza (relazioni e informazioni raccolte dal Servizio nazionale per la pesca e l'acquacoltura del Cile; Sernapesca) e sulle informazioni oceanografiche disponibili (Soto *et al.*, 2019, 2020, 2021).

FIGURA 10

Indice di rischio di perdita di biomassa (raccolto) dovuto all'aumento del parassitismo in ciascuna SFA (poligoni colorati) a causa dell'aumento della salinità, che a sua volta è una conseguenza della riduzione delle precipitazioni. I colori dei poligoni rappresentano i rischi comparativi in una scala di cinque livelli da molto basso (verde chiaro) a molto alto (rosso). Le tre sezioni colorate sulla terraferma rappresentano le regioni di Los Lagos, Aysen e Magallanes, da nord a sud.



Nota: per i nomi e i confini utilizzati in questa mappa, consultare la dichiarazione di non responsabilità a pagina [ii].

Fonte: Adattato da **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C.** 2020. *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura*. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf

TABELLA 10

Componenti di rischio dei cambiamenti climatici – pericolo (H), esposizione (E) e sensibilità (S) – per le 20 SFA e indicatori utilizzati per costruire ciascun rischio identificato

	Descrizione	Indicatori	Commenti/ipotesi
Pericolo (H)	**Riduzione delle precipitazioni con conseguente catena di eventi ed effetti**	**Il valore H è un composto di diversi indicatori (media semplice) descritti di seguito**	
Catena di eventi causati dai cambiamenti climatici che influiscono sull'allevamento del salmone	La diminuzione dell'acqua dolce che entra nei fiordi e nei mari interni provoca un aumento della salinità, una riduzione della ventilazione e dei tempi di ricambio. L'aumento della salinità può generare una maggiore incidenza di alcuni parassiti e malattie	Il numero previsto di giorni di siccità sull'indice di frequenza della siccità atteso è stato valutato tra 1 e 5, che rappresentano i valori più bassi e più alti (Soto *et al.*, 2020[1] , 2021[2])	Non esistono modelli semplici che colleghino direttamente le precipitazioni al parassitismo nel salmone, ma vi sono numerose informazioni che dimostrano una correlazione tra l'aumento della salinità e l'aumento dei tassi di sopravvivenza e di infestazione dei pidocchi di mare (Soto *et al.*, 2019[3] ; Zalcman *et al.*, 2021[4])
Esposizione (E)	Biomassa di salmone che potrebbe andare persa all'interno di ciascuna SFA	Abbiamo utilizzato la media del totale del salmone pescato nel periodo 2017-2018* per ciascuna SFA, con un punteggio compreso tra 1 e 5, che rappresenta i valori dal più basso al più alto (Soto *et al.*, 2021[1])	Poiché i valori di rischio stimati sono comparativi, viene utilizzata come proxy la biomassa totale raccolta come proxy. Le perdite dovute ai pidocchi di mare potrebbero variare tra il 10 e il 30% del raccolto previsto (Gallardo-Escárate *et al.*, 2019[5])

TABELLA 10 (CONTINUA)

	Descrizione	Indicatori	Commenti/ipotesi
Pericolo (H)	**Riduzione delle precipitazioni con conseguente catena di eventi ed effetti**	**Il valore H è una combinazione di diversi indicatori (media semplice) descritti di seguito**	
Sensibilità (S)	Tutti i fattori (non associati al cambiamento climatico) che potrebbero aumentare la perdita di salmoni	Il valore S finale è una combinazione di diversi indicatori (media semplice) descritti di seguito (da S1 a S4)	
S1 – Dipendenza dall'acqua dolce	Influenza attuale dell'acqua dolce sulla salinità e sulla picnoclina nei fiordi e nelle insenature. Le aree con salinità inferiore presentano una minore incidenza di pidocchi di mare e amebe branchiali	La densità attuale dell'acqua è stata valutata su una scala da 1 a 5, che rappresenta i valori dal più basso al più alto	Il salmone d'allevamento tende ad avere meno parassiti nelle zone con minore salinità (Soto *et al*., 2019; Lepe-López *et al*., 2021[6])
S2 – Biomassa raccolta accumulata	Le zone con una storia più lunga di allevamento del salmone e dove è stato prodotto più salmone tendono ad avere livelli più elevati di parassiti e insetti nocivi	La biomassa raccolta accumulata (2010-2018) per SFA è stata valutata con un punteggio compreso tra 1 e 5, che rappresenta i valori più bassi e più alti (MMA, 2020[7] ; Soto *et al*., 2020, 2021)	
S3 – Precedente stato di salute dei salmoni	L'alta densità e la cattiva gestione aggravano le malattie (Figueroa *et al*., 2019[8])	L'uso precedente di antimicrobici è stato utilizzato come proxy. L'uso totale per SFA nel periodo 2017-2018 è stato valutato con un punteggio compreso tra 1 e 5, che rappresenta i valori dal più basso al più alto	Non abbiamo utilizzato indicatori diretti della presenza di pidocchi di mare perché sono correlati all'attuale influenza dell'acqua dolce. Non disponevamo di informazioni sulla densità media di allevamento per azienda
S4 – Dominanza del salmone atlantico	Una maggiore predominanza di una specie (tendenza alla monocoltura) favorirà la diffusione di più malattie rispetto all'allevamento misto (ad esempio, le tre specie di salmone). Inoltre, il salmone atlantico è più soggetto alla presenza di pidocchi di mare (Gallardo-Escarate *et al*., 2019[5])	Abbiamo valutato il predominio del salmone atlantico da 1 a 5, dove 5 rappresenta il 100%, il che significa che tutti gli allevamenti della SFA allevano questa specie	
Capacità di adattamento (AC)	La capacità di adattamento delle mappe di rischio è stata considerata pari a 0 (Soto *et al*., 2020[1]), poiché non erano disponibili informazioni sufficienti sulle misure specifiche per valutare e confrontare le diverse SFA. Tuttavia, per l'esercizio attuale abbiamo proposto alcune misure e innovazioni tecniche che consentono di ridurre i rischi senza modificare l'esposizione o la sensibilità	Sia per l'allevamento del salmone che per quello delle cozze abbiamo utilizzato un semplice aumento dell'AC consistente nell'implementazione di sistemi di monitoraggio ambientale. Tuttavia, vengono offerti anche altri esempi di AC a complemento dei casi di studio	

Nota: SFA = Aree di concessione per l'allevamento del salmone.

* Migliori informazioni disponibili per tutte le SFA, fornite dal Servizio nazionale della pesca e dell'acquacoltura del Cile (Sernapesca; Soto *et al*., 2020, 2021[1,2]).

[1] **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C.** 2020. Informe Proyecto ARClim: Acuicultura. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf; ([2]) **Soto, D ., León-Muñoz, J., ([2]) Garreaud, R., Quiñones, R.A. e Morey, F.** 2021. Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. *Marine Policy,* 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705; ([3]) **Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, ([3]) F.J. e Garreaud, R.** 2019. Vulnerabilità dell'allevamento del salmone ai cambiamenti climatici nel Cile meridionale: comprensione dei legami biofisici, socioeconomici e di governance. *Reviews in Aquaculture,* 11, 354–374. https://doi.org/10.1111/raq.12336; ([4]) **Zalcman, E., Burroughs, A., Meyer, A., Hillman, A., Sadler,R., Madin,B., Mackenzie, C., Ward, MP., Stevenson, M., Happold, J., Hutchison, J., Gallardo AL, Cameron, A. e Cowled, B.** 2021. Infestazione da pidocchi di mare dei salmonidi in Cile tra il 2011 e il 2017: Utilizzo di dati normativi per descrivere le caratteristiche e identificare i fattori di rischio, *Acquacoltura,* 530, 2021, 735752, ISSN 0044-8486, https://doi.org/10.1016/j. acquacoltura.2020.735752; ([5]) **Gallardo-Escárate, C., Arriagada, C., Carrera, C., Gonçalves, A.T., Nuñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D. e Valenzuela-Muñoz, V.** 2019. La corsa tra ospite e pidocchi di mare nell'allevamento del salmone cileno: un approccio genomico. *Reviews in Aquaculture,* 11(2): 325–229. https://doi.org/10.1111/raq.12334; ([6]) **Lepe-López M, Escobar-Dodero J, Rubio D, Alvarez J, Zimin-Veselkoff N. e Mardones FO** 2021. Fattori epidemiologici associati all'infezione da Caligus rogercresseyi, alla sua abbondanza e alla sua distribuzione spaziale nel Cile meridionale. *Frontiers in Veterinary Science,* 8:595024. doi: 10.3389/fvets.2021.595024; ([7]) **MMA (Ministerio de Medio Ambiente).** 2020. Ministerio de Medio Ambiente, Cile. Mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. https://arclim.mma.gob.cl/atlas/sector_index/ acuicultura/ ([8]) **Figueroa, J., Cárcamo, J., Yañez, A., Olavarria, V., Ruiz, P., Manríquez, R., Muñoz, C., Romero, A. e Avendaño-Herrera, R.** 2019. Affrontare le minacce virali e batteriche all'allevamento del salmone in Cile: contesti storici e prospettive per la gestione e il controllo. *Reviews in Aquaculture*, 11: 299–324. https://doi.org/10.1111/raq.12333.

b) Componenti di rischio

Il termine **"pericolo" (H)** si riferisce alla possibilità che un evento o un fenomeno fisico/biofisico causi danni o pregiudizi al sistema o all'unità di adattamento definita (per ulteriori informazioni, cfr. capitolo 2 e tabella 10).

I pericoli possono causare danni diretti o innescare una catena di eventi che potrebbero causare danni, e per identificarli è necessario comprendere i fattori coinvolti e il modo in cui potrebbero influenzare le attività di acquacoltura. Tuttavia, anche quando vengono identificati i principali pericoli, fattori e catene di eventi, spesso non esistono modelli affidabili delle loro traiettorie future nel contesto dei cambiamenti climatici.

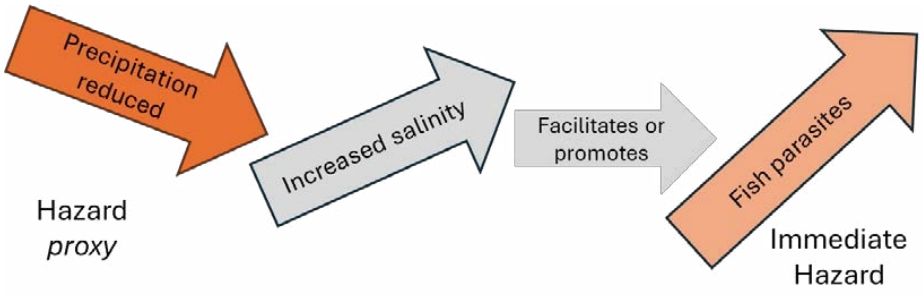
Nel presente caso di studio, la riduzione delle precipitazioni dovuta al cambiamento climatico è stata identificata come il fattore determinante più rilevante che influenza sia l'allevamento del salmone che quello delle cozze nell'area marina della Patagonia settentrionale, dove si svolgono tali attività (Garreaud *et al*., 2012; Soto *et al*., 2019, 2020, 2021). **Pertanto, utilizziamo la proiezione della siccità per i prossimi 50 anni come principale pericolo ed esploriamo la catena di eventi che potrebbero influenzare l'allevamento del salmone a causa della riduzione delle precipitazioni (**Figura 11). Il calo delle precipitazioni ha ridotto e continuerà a ridurre l'apporto di acqua dolce dai fiumi che sfociano nei fiordi, causando così un aumento della salinità dei fiordi (Aguayo *et al.,* 2019) che, a sua volta, può favorire un aumento del parassitismo dei salmoni, anche da parte dei pidocchi di mare e delle amebe branchiali (Padrós e Constenla, 2021). Tuttavia, non disponiamo di un modello quantitativo preciso che colleghi la diminuzione delle precipitazioni all'aumento della salinità che determina un aumento del parassitismo, e per questo motivo **la "riduzione delle precipitazioni" è considerata un indicatore del pericolo immediato di aumento del parassitismo in condizioni di cambiamenti climatici**.

La figura 11 illustra la catena di eventi che potrebbero influenzare l'allevamento del salmone a causa della riduzione delle precipitazioni. La riduzione delle precipitazioni è il principale fattore di forzante del cambiamento climatico che può essere previsto in linea con l'aumento dei percorsi dei gas serra e altri fattori per il Cile meridionale. Pertanto, viene qui utilizzato come proxy del rischio di cambiamento climatico (IPCC, 2014, 2022), mentre la catena di eventi che porta a condizioni più favorevoli per un aumento dei parassiti del salmone è il rischio immediato, ovvero la condizione che causa danni all'attività.

Sebbene il parassitismo non sia una causa diretta di mortalità nel salmone d'allevamento, può ridurre l'alimentazione, la crescita, la produttività e la salute generale dei pesci, il che a sua volta può aumentare la mortalità dovuta a malattie batteriche e virali. In linea di massima, un aumento del parassitismo genera perdite di biomassa e perdite economiche (Gallardo-Escarate *et al.*, 2019; Soto *et al.*, 2019, 2020; mappe di rischio su MMA (2020); https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/ acuicultura_f_salmon_para/).

La tabella 10 presenta le componenti di rischio legate al cambiamento climatico per gli allevamenti di salmone nelle 20 SFA. Per ogni rischio identificato vengono proposti una descrizione e degli indicatori.

FIGURA 11
Catena di eventi che potrebbero influire sull'allevamento del salmone a causa della riduzione delle precipitazioni



L'esposizione (E) rappresenta ciò che può essere perso, misurato in termini di biomassa di salmone, da ciascuna SFA ogni anno. Per questo esercizio, abbiamo utilizzato la produzione media di salmone (raccolto) del 2017-2018 riportata per ciascuna SFA.

La sensibilità (S) si riferisce al grado in cui un sistema può essere influenzato dalla variabilità climatica a causa della naturale suscettibilità dell'ecosistema e delle condizioni dell'allevamento ittico, delle specie, degli habitat, dei mezzi di sussistenza, delle comunità che dipendono dall'acquacoltura, ecc. che lo rendono più incline a subire effetti negativi. Ad esempio, le caratteristiche idrologiche specifiche delle zone in cui si allevano i pesci, le cattive pratiche di gestione che stressano i pesci o l'assenza o la debolezza della biosicurezza possono rendere i sistemi di acquacoltura più suscettibili di essere influenzati. Alcune di queste condizioni non possono essere modificate (ad esempio le caratteristiche idrologiche), ma altre, come la gestione degli allevamenti, possono esserlo.

Nell'esempio attuale, le condizioni di sensibilità includono:

- **Un indicatore dell'«età dell'acqua», che rappresenta la ritenzione idrica (il contrario del ricambio idrologico) di un fiordo o di un sistema costiero.** Un corpo idrico con un'«età» maggiore o un tasso di ricambio inferiore, in generale, contiene meno ossigeno, accumula più nutrienti ed è un serbatoio più efficace per i parassiti. Tutti questi fattori potrebbero creare condizioni di stress per i pesci.
- **La densità dell'acqua attuale (combinazione di salinità e temperatura) come indicatore della sensibilità alla riduzione dell'apporto di acqua dolce.** Un ambiente con bassa salinità e alto afflusso fluviale è più sensibile alla riduzione delle precipitazioni rispetto a un ambiente marino, la cui salinità non cambierebbe in modo significativo anche con meno pioggia.
- **La biomassa accumulata prodotta nella SFA negli ultimi 10 anni è un indicatore del potenziale accumulo di nutrienti (introdotti dall'allevamento di salmone) e della potenziale riserva/accumulo di malattie e parassiti (Soto *et al.*, 2019, 2020).** Una SFA di lunga data avrà un punteggio più alto rispetto a una con una storia di allevamento di salmone molto recente.
- **Il predominio del *Salmo salar* è considerato anche un indicatore di sensibilità, soprattutto in considerazione del potenziale aumento dei parassiti e delle malattie, poiché è la specie più sensibile alle infezioni da pidocchi di mare (*Caligus rogercresseyi*) e alla principale malattia batterica SRS (*Piscirickettsia salmonis*).** Al contrario, il salmone Coho e la trota iridea sembrano essere più resistenti ai pidocchi di mare e alla SRS (Gallardo-Escarate *et al.*, 2019; Figueroa *et al.*, 2019). Pertanto, un'alta concentrazione di *Salmo salar* nella SFA indica una maggiore sensibilità al pericolo. In generale, un'area di allevamento in monocoltura sarà più sensibile ai parassiti rispetto a una con una gamma più diversificata di specie. In questo caso, utilizziamo il termine "policoltura" quando due o più specie allevate condividono un bacino idrico comune.
- **La gestione sanitaria è un importante indicatore di sensibilità,** dato che i pesci in condizioni di salute e benessere migliori saranno probabilmente più resistenti ai parassiti e ad altri fattori di stress esterni. In questo caso, prendiamo il livello di antimicrobici (AM) utilizzati nei due cicli di produzione precedenti come indicatore/proxy delle condizioni sanitarie, poiché le malattie batteriche e di altro tipo sono spesso favorite e facilitate dalle infestazioni di pidocchi di mare. Pertanto, un elevato uso di AM è considerato un indicatore di cattive condizioni igieniche.

La capacità di adattamento (AC) si riferisce a tutte le misure e le condizioni (compresi gli sforzi sia privati che pubblici) che consentono all'unità di governance locale di prevenire e mitigare gli impatti dei pericoli.

La valutazione del rischio e le mappe ARClim non includevano la capacità di adattamento; questa componente è stata considerata pari a zero perché al momento della creazione delle mappe di rischio

in fase di sviluppo non erano disponibili informazioni sufficienti o indicatori comparabili per misurare l'AC per tutte le SFA. Pertanto, nell'attuale caso di studio esploriamo e modelliamo alcune misure e innovazioni tecniche, che vengono implementate principalmente dagli allevatori e dalle aziende di allevamento del salmone, che riducono il rischio senza modificare l'esposizione o la sensibilità.

Seguendo Aqua-Adapt, di seguito descriviamo passo dopo passo la valutazione del rischio di perdita di biomassa di salmone d'allevamento a causa dell'aumento del parassitismo (Soto *et al*., 2020).

I punteggi delle componenti di rischio vanno da 1 a 5, per pericolo (H), esposizione (E) e vulnerabilità (Va). Va è qui rappresentata dalla sensibilità (S) e dalla capacità di adattamento (AC). S è stata stimata con punteggi fissati per 5 sottocomponenti, mentre AC è stata definita in un intervallo compreso tra 0 e 1.

Il punteggio di rischio per ciascuna SFA è stato calcolato sulla base delle componenti climatiche previste per la latitudine centrale di ciascuna SFA (utilizzando le informazioni descritte nella fase 1 sopra riportata). I valori di rischio sono stati ottenuti dal cambiamento che le variabili climatiche subiranno tra il recente passato (1980-2010) e il prossimo futuro (2035-2065), considerando lo scenario peggiore di gas serra (RCP 8.5). Le componenti di rischio includevano un indice di tendenza alla siccità, il numero di giorni consecutivi con precipitazioni, un indice di frequenza della siccità e il numero di giorni con temperature superiori a 25 °C. ($^{o)}$ ^{C}. Le proiezioni climatiche sono state generate dal progetto ARClim, utilizzando modelli di circolazione generale (per ulteriori informazioni, consultare https://arclim.mma.gob.cl/). Le descrizioni e i dettagli di punteggio utilizzati per stimare E, S e AC sono riportati nella tabella 10.

La formula per stimare il rischio è R = E*Va*H, dove Va = S*(1-AC), e il valore finale del rischio è normalizzato dividendo per 125 (in base ai punteggi massimi di 5 per E, S e H). Per ciascuna componente di rischio abbiamo utilizzato diverse sottocomponenti/indicatori (vedere Tabella 10), calcolandone la media per ottenere i valori finali di H, E, S e AC (Tabella 11). La Figura 10 utilizza i colori per rappresentare i cinque valori di rischio comparativi della scala.

iv. Fase 4. Progettare un piano di lavoro di adattamento

Come spiegato sopra, la progettazione di una strategia di adattamento è in parte in corso attraverso il PAN per la pesca e l'acquacoltura, pertanto è stata eseguita una semplice modellizzazione.

Per valutare il potenziale effetto dell'introduzione di misure di adattamento specifiche volte a ridurre i rischi, abbiamo modellato una situazione in cui tali misure sono state incorporate. Pertanto, la tabella 11 descrive le condizioni attuali (T_0) e una condizione in cui abbiamo modificato alcune componenti per ridurre i rischi (T_1); la riduzione del rischio è stimata come differenza tra il rischio in T_0 e T_1 . Il simbolo $T_{(1E)}$ corrisponde a una riduzione dell'esposizione a $T_{(1)}$; $T_{(1S)}$ corrisponde a una riduzione della sensibilità a $T_{(1)}$; mentre $T_{(1AC)}$ corrisponde a un aumento della capacità di adattamento a $T_{(1)}$ La selezione delle misure e una spiegazione dettagliata della situazione di rischio ridotto sono presentate nella seguente sezione del punto 4, relativa all'identificazione e all'attuazione delle misure di adattamento.

v. Fase 4a – Definire le misure di adattamento

a) Opzioni e misure di adattamento per ridurre i rischi legati ai cambiamenti climatici nell'allevamento del salmone

Poiché i rischi legati ai cambiamenti climatici, come l'aumento del parassitismo, riducono il tasso di crescita dei salmoni e/o ne aumentano la mortalità, è necessario intervenire per ridurre tali rischi ed evitare perdite; tuttavia, tutte le azioni comportano dei costi. Tali costi potrebbero ridurre la redditività dell'allevamento dei salmoni e le misure di adattamento che consentono di evitarli possono essere vantaggiose per le aziende salmonicole sia dal punto di vista ambientale che economico. Tuttavia, le misure di adattamento potrebbero avere diversi gradi di efficacia nell'evitare gli impatti dei cambiamenti climatici e costi diversi associati alla loro attuazione. Pertanto, è importante valutare il rapporto costo-efficacia delle potenziali misure di adattamento. Inoltre, è necessario distinguere tra costi pubblici e privati. I costi privati sono sostenuti dai singoli agenti (imprese, lavoratori, famiglie,

TABELLA 11

Punteggi relativi a pericolo (H), esposizione (E), sensibilità (S) (da 1 a 5) e capacità di adattamento (AC) (da 0 a 1) e rischio stimato di perdita di biomassa di salmone d'allevamento a causa dell'aumento del parassitismo, per 20 SFA organizzate da nord a sud a Los Lagos, Cile.

	Pericolo (H)	Esposizione (E)		Biomassa raccolta accumulata (2010-2018)	*Salmo salar* monocoltura		Dipendenza dall'acqua dolce	Condizioni igieniche		Indice di pidocchi marini		Sensibilità (S)		Capacità di adattamento (AC)		Linea di base del rischio (T_0) e considerando T_{1E} o T_{1S} o T_{1AC}				Riduzione del rischio con misure individuali			Rischio e riduzione con tutti T_{1E}, T_{1S}, T_{1AC}	
SFA	T_0	T_0	T1E	T_0	T_0	T_1	T_0	T_0	T_1	T_0	T_1	T_0	T1S	T_0	T1AC	T_0	T1E	T1S	T1AC	Esposizione ridotta	Sensibilità ridotta	AC Aumento	Rischio	Riduzione del rischio riduzione
1	5	5		5	1		5	3		2		3,2		0,0		0,64								
2	5	5	4	5	4	3	3	5	3	5	3	4,4	3,5	0,0	0,2	0,88	0,70	0,70	0,70	0,18	0,18	0,18	0,45	0,70
3A	5	3		5	1		3	3				3		0,0		0,36								
3B	5	3		5	3		3	4		2		3,4		0,0		0,41								
6	5	5		3	5		3	1		2		2,8		0,0		0,56								
17B	5	3		5	3		4	4		4		4		0,0		0,48								
7	5	3		4	3		2	3		4		3,2		0,0		0,38								
17A	4,8	4		5	5	3	4	5	3	2		4,2	3,4	0,0		0,64		0,52			0,12			
8	5,0	3		5	3		2	4		5		3,8		0,0		0,46								
9A	4,8	4		5	4		2	4		4		3,8		0,0		0,58								
10A	4,5	4		5	4		2	4		4		3,8		0,0		0,55								
9B	4,8	3		3	4		2	4		5		3,6		0,0		0,41								
15	4,8	1		2	5		1	3		3		2,8		0,0		0,11								
16	4,8	3		4	5		3	4		3		3,8		0,0		0,43								
9C	4,8	2		3	5		2	1		3		2,8		0,0		0,21								
10B	4,5	4		4	5		2	5		5		4,2		0,0		0,60								
14	4,8	3		4	5		1	4		3		3,4		0,0		0,39								
11	4,5	5		5	3		2	5		3		3,6		0,0		0,65								
12A	4,3	3		4	3		2	3		4		3,2		0,0		0,33								
12B	4,0	1		2	5		1	3		2		2,6		0,0		0,08								

Nota: i valori del punteggio sono descritti tenendo conto delle condizioni attuali (T_0) per tutte le SFA e a T_1 solo per le SFA 2 e 17A, dove abbiamo modificato i componenti per ridurre i rischi. Una scala di colori rossi fornisce una valutazione visiva comparativa dei rischi stimati dal più alto (rosso più scuro) al più basso (rosso chiaro, dal rosa al bianco). Il rischio è R = E*Va*H, dove Va = S*(1-AC). Le condizioni agricole attuali sono considerate come tempo = 0 e sono rappresentate da "T_0" e una condizione in un momento successivo in cui abbiamo modificato i componenti per ridurre i rischi è rappresentata da "T_1"; la riduzione del rischio è stimata come la differenza tra il rischio in T_0 e T_1. Il simbolo T_{1E} corrisponde a una riduzione dell'esposizione in T_1; T_{1S} corrisponde a una riduzione della sensibilità in T_1; mentre T_{1AC} corrisponde a un aumento della capacità di adattamento in T_1.

Il rischio è R = E*Va*H, dove Va = S*(1-AC). Nelle attuali condizioni agricole, il tempo è considerato pari a 0 ed è rappresentato da "T_0" e una condizione in un momento successivo in cui abbiamo modificato i componenti per ridurre i rischi è rappresentato da "T_1"; la riduzione del rischio è stimata come la differenza tra il rischio a T_0 e T_1. Il simbolo $T_{(1E)}$ corrisponde a una riduzione dell'esposizione a $T_{(1)}$; $T_{(1S)}$ corrisponde a una riduzione della sensibilità a $T_{(1)}$; mentre $T_{(1AC)}$ corrisponde a un aumento della capacità di adattamento a $T_{(1)}$.

AC = capacità di adattamento.

comunità, comuni), mentre i costi sociali si riferiscono ai costi totali sostenuti dal governo e dalla società in generale. I costi privati possono essere finanziati dagli stessi agenti individuali o con il sostegno parziale o totale del governo o di altri enti.

Per discutere le diverse misure di adattamento, le suddivideremo in misure che **riducono l'esposizione** al pericolo, misure che **riducono la sensibilità** e misure che **aumentano la capacità di adattamento**. Le misure che riducono la sensibilità e aumentano la capacità di adattamento possono essere considerate misure che migliorano **la resilienza.** Come menzionato sopra, le mappe di rischio relative all'allevamento di salmone e cozze non includevano l'AC; tuttavia, nei casi di studio qui descritti, modelliamo l'adozione di misure che includono alcuni indicatori AC nel confronto dei rischi nelle condizioni attuali ($T_{(0)}$) e a $T_{(1)}$, come descritto nella tabella 11.

Come discusso nel testo principale di Aqua-Adapt (Capitolo 2), misure e opzioni diverse possono avere tempistiche diverse a seconda del contesto di attuazione; questo è un elemento fondamentale del processo di pianificazione.

Per il caso di studio, prendiamo in considerazione le seguenti azioni di adattamento per ridurre i rischi:

b) Ridurre l'esposizione (E)

Ridurre E riducendo la biomassa agricola nelle aree a rischio più elevato. Ciò potrebbe significare spostare la biomassa da una determinata area agricola (o aree agricole) a un'altra area agricola (o aree agricole) con rischi inferiori all'interno della stessa regione o ridurre la produzione totale di salmone in tutta la regione di Los Lagos, il che potrebbe comportare lo spostamento della biomassa in un'altra regione.

Nell'analisi attuale, come discusso, affrontiamo solo le opzioni di adattamento per 20 SFA nella parte settentrionale della regione di Los Lagos (Figura 9), poiché queste sono le SFA che con maggiore probabilità subiranno il pericolo più grave (siccità) e mostrano la maggiore esposizione. In questa analisi, simuliamo cosa succede se l'intervento riduce la biomassa di salmone in una delle SFA con la produzione più elevata. Questo tipo di misura deve essere attuata dal governo utilizzando strumenti normativi obbligatori o non obbligatori, ma efficaci, e si presume che abbia un impatto su tutti i singoli agricoltori/aziende titolari di licenze di allevamento nella specifica SFA in cui è richiesta la riduzione della biomassa.

Inoltre, questo tipo di misura comporta costi per diversi gruppi di parti interessate. Per il governo significa sviluppare regolamenti per attuare la misura e mettere in atto sistemi di monitoraggio e controllo. Per gli agricoltori potrebbe comportare costi di trasferimento, oltre a una riduzione della produttività e della redditività nella misura in cui potrebbero dover modificare la precedente pianificazione della produzione. Per i lavoratori e le comunità, potrebbe comportare una perdita di reddito a causa della riduzione del livello di attività nelle aziende agricole interessate. Tutti questi costi dipenderanno dall'intensità e dalla durata delle misure e dalla capacità di adattamento dei diversi soggetti interessati, e varieranno a seconda dell'area geografica.

c) Ridurre la sensibilità (S)

Ridurre S migliorando le misure di biosicurezza, ad esempio sviluppando e utilizzando vaccini contro i parassiti e/o potenziatori immunitari che rendono i pesci più resistenti ai parassiti.

Questa misura sarà generalmente adottata dai singoli allevatori e le loro singole aziende agricole beneficeranno della sua efficacia nel ridurre il rischio. Allo stesso modo, i costi diretti di attuazione saranno sostenuti principalmente dagli allevatori. Tuttavia, se tutti gli allevatori di una SFA colpita adottassero queste misure, si avrebbe una riduzione del rischio in tutta la SFA, e questa è un'ipotesi che prendiamo in considerazione nella nostra analisi.

Una misura come l'uso di vaccini protegge essenzialmente i pesci vaccinati, mentre l'effetto sulla popolazione parassitaria complessiva rimane sconosciuto; tuttavia, l'uso di vaccini contro i pidocchi di mare rimane una possibilità, poiché sono in corso ricerche attive (Gallardo-Escárate *et al*., 2019; Johny *et al*., 2024).

Altre misure spesso utilizzate per controllare malattie come l'AM possono anche avere alcuni effetti indesiderati, specialmente se utilizzate in modo eccessivo, come la generazione di resistenza all'AM e l'influenza sui processi ecosistemici. Pertanto, l'uso di sostanze chimiche potenzialmente dannose per l'ecosistema è meno raccomandato per ridurre la sensibilità.

Un'altra misura di biosicurezza per ridurre l'impatto dei pidocchi di mare è la gestione dei tempi in cui i giovani pesci entrano nella fase di ingrasso negli allevamenti marini: in questo caso, il governo svolgerà un ruolo chiave coordinando le azioni congiunte dei diversi allevamenti in ciascuna SFA. Questa misura può anche comportare costi o benefici privati nella misura in cui può influire positivamente o negativamente sulla produttività del ciclo di ingrasso. Abbiamo scelto di considerare questa misura nell'ambito della capacità di adattamento (vedi sotto).

L'implementazione della policoltura è un'altra misura di adattamento che riduce la sensibilità. L'idea è quella di allevare diverse specie di salmone nella stessa area, invece di concentrare la produzione su una sola specie. Poiché specie diverse hanno livelli diversi di sensibilità ad alcuni tipi di pericoli, come gli agenti patogeni che possono svilupparsi con il cambiamento climatico, quando vengono allevate insieme l'impatto di un agente patogeno su una specie potrebbe essere modulato dalla minore sensibilità dell'altra specie. Ciò potrebbe essere particolarmente importante nell'industria salmonicola cilena, fortemente concentrata sulla produzione di salmone atlantico, una specie particolarmente sensibile ad alcuni dei più comuni agenti patogeni parassitari presenti a Los Lagos. Questa misura sarà essenzialmente coordinata dal governo e facilitata attraverso incentivi al cambiamento delle specie allevate, il che comporterà probabilmente costi di adeguamento interni per gli allevamenti, poiché la sua attuazione comporterà cambiamenti nella pianificazione della produzione e influenzerà probabilmente i costi di produzione e il reddito, dato che le diverse specie hanno cicli di vita, costi di produzione, tassi di mortalità e morbilità, dimensioni e prezzi di mercato diversi, insieme ad altri fattori che incidono sui risultati economici degli allevamenti. Non vi sono tuttavia costi rilevanti per le altre parti interessate.

d) Aumentare la capacità di adattamento (AC)

È possibile aumentare l'AC modificando i tempi di crescita e di raccolta, nonché il momento specifico di immagazzinamento nei siti marini, senza ridurre il raccolto e la produzione totali. Ciò è possibile modificando il ciclo di produzione e riducendo il tempo di ingrasso dei salmoni nelle gabbie marine, ovvero aumentando il periodo di tempo che i pesci trascorrono negli allevamenti terrestri in acqua dolce oltre la fase di smoltamento.

Ciò può essere ottenuto con due misure complementari: selezionando ceppi che crescono più rapidamente e possono trascorrere più tempo in acqua dolce e migliorando le strutture e le condizioni terrestri [8].Se questa misura viene attuata utilizzando le infrastrutture e il personale esistenti, i costi aggiuntivi saranno probabilmente bassi. Tuttavia, se è necessario investire nella ricerca di ceppi a crescita più rapida o nelle strutture terrestri, i costi iniziali potrebbero essere più elevati. In entrambi i casi, la maggior parte o la totalità dei costi di questa misura saranno a carico degli allevatori. Pertanto, distinguiamo tra due forme di attuazione: un'opzione a basso costo a breve termine, basata sulle infrastrutture e sulle conoscenze esistenti, e un'opzione ad alto costo a lungo termine, che comporta ricerca e investimenti in impianti terrestri.

Risposta al rischio delle misure di adattamento in due aree di allevamento del salmone: SFA 2 e SFA 17A

Qui descriviamo come vengono stimati i componenti di rischio per le mappe di rischio (ARClim, Soto *et al*., 2020) nelle 20 SFA situate nella regione di Los Lagos e analizziamo i cambiamenti derivanti dalle diverse misure di adattamento in una coppia di SFA che mostrano i valori più elevati

[8] Lo sviluppo dell'acquacoltura interna attraverso sistemi di ricircolo (RAS) può essere considerato una misura che riduce la durata del processo di ingrasso in acqua salata del salmone. Si tratta di un'alternativa costosa che comporta costi per diversi soggetti interessati.

rischi (Tabella 11, rischio di riferimento $\mathbf{T_0}$ rispetto al rischio a $\mathbf{T_1}$ comprese le misure di adattamento). Tutte le SFA devono affrontare u n rischio di siccità variabile, che è elevato nelle SFA di Los Lagos rispetto alle SFA più meridionali (Figura 9); su una scala da 1 (molto basso) a 5 (molto alto), l'entità del rischio (siccità in questo caso) varia tra le SFA tra 4,0 e 5,0 (Tabella 11). Sebbene non sia possibile modificare il rischio legato al cambiamento climatico, introduciamo cambiamenti che possono verificarsi a $T_{(1)}$ influenzando l'esposizione (E*)* e la vulnerabilità (*Va)* modificando le componenti di quest'ultima, ovvero la sensibilità (S*)* e la capacità di adattamento (AC), e calcolando la potenziale riduzione del rischio di queste misure. Di seguito modelliamo i cambiamenti per diversi scenari nella SFA 2 e nella SFA 17A.

SFA 2 presenta il livello di pericolo più elevato (5), il livello di esposizione più elevato (5) e il livello di sensibilità più elevato (4,4) tra le 20 SFA del nostro campione. Pertanto, nella situazione di riferimento, presenta il rischio più elevato tra tutte. Successivamente, simuliamo varie misure di adattamento. In primo luogo, ipotizziamo che la SFA 2 riduca la sua esposizione da un valore attuale ($T_{(0)}$)di 5 a un valore di 4 in $T_{(1)}$ e stimiamo l'impatto di questa misura sulla riduzione del rischio.[9] In secondo luogo, introduciamo diverse modifiche alle sottocomponenti di sensibilità (Tabella 11, colonne con intestazione arancione), ottenendo valori per T_{S0} e valori ridotti a T_{S1} . Qui ipotizziamo che per SFA 2 possiamo ridurre la monocoltura di S. *salar (*passando quindi da 4 a $T_{(0)}$ a 3 a $T_{(1)}$,Tabella 11) aumentando la produzione di trota iridea e/o di salmone Coho. L'indice di sensibilità è ridotto da 4,3 a 3.5. Riduciamo anche le condizioni igieniche precarie (da 5 a 3) introducendo la vaccinazione contro le malattie e, se possibile, contro i pidocchi di mare (Johny *et al*., 2024). Potremmo anche aumentare l'uso di stimolanti immunitari per migliorare la salute e il benessere dei pesci. In terzo luogo, introduciamo un miglioramento della capacità di adattamento, che abbiamo considerato pari a zero in $T_{(0)}$,modificando i tempi di crescita e di raccolta senza ridurre il raccolto e la produzione totali (vedi capitolo 2). La modifica del tempo che i pesci trascorrono in ambiente marino mira a ridurre le loro possibilità di essere esposti a temperature più elevate e di evitare i picchi di infestazione da pidocchi di mare. Tenere i giovani pesci oltre la fase di smoltamento in strutture interne meglio controllate o in sistemi RAS riduce il periodo durante il quale saranno esposti a pericoli e impatti in mare. Poiché alla fine vengono trasferiti nelle gabbie in mare e raggiungono la taglia prevista per la raccolta nell'«area di adattamento» senza variazioni nella produzione prevista, non consideriamo questo aspetto come una riduzione dell'esposizione, ma piuttosto come un aumento della capacità di adattamento. Come illustrato nella tabella 11, un aumento dell'AC da 0 a 0,2 genera una riduzione del rischio di 0,18 punti.

Si noti che l'impatto delle diverse misure di adattamento è stato considerato in modo tale che, in ciascun caso, il rischio sia ridotto dello stesso valore, ovvero dal valore originale di 0,88 prima dell'adozione di qualsiasi misura, esso sia ridotto in tutti i casi a 0,70. Pertanto, la riduzione del rischio totale è pari a 0,18 punti per ciascuna misura individuale (Tabella 11). Questo risultato, ovvero una riduzione uguale del rischio per tutte le diverse misure, ovviamente non deve necessariamente verificarsi. In questo caso, abbiamo proceduto in questo modo per semplificare l'analisi del rapporto costo-efficacia. Con questo approccio, ciò che fa la differenza tra le misure sono i costi di attuazione.

La tabella 11 evidenzia anche il caso dell'SFA 17A, dove a T_1 riduciamo i valori di punteggio per alcune componenti di sensibilità; in particolare, riduciamo la monocoltura *di S. salar* (da 5 a 3) e le condizioni igieniche precarie (da 5 a 3). I valori medi di S vengono quindi ridotti da 4,2 a 3,4 e il rischio passa da 0,64 a 0,52, con una riduzione di 0,12 punti. In questo caso la biomassa totale allevata viene mantenuta. La riduzione di 0,12 punti del rischio è inferiore rispetto al caso SFA 2 e la ragione principale di questa differenza sembra essere la differenza nella situazione di rischio iniziale. In questo caso specifico, il pericolo e l'esposizione sono maggiori nell'SFA 2 rispetto all'SFA 17 nella situazione di base ($T_{(0)}$), il che significa che quando vengono introdotti cambiamenti di entità simile in entrambi i casi, questi hanno un impatto maggiore.

[9] Questa variazione del punteggio implica una riduzione della produzione in questa zona SFA2 da 61 200 tonnellate (media 2017-2018) a 30 000 tonnellate o meno.

nel primo (Tabella 11). Ciò riflette la natura cumulativa (moltiplicativa) di questo modo di misurare il rischio, il che significa che tutte le componenti devono essere valutate per ottenere una valutazione generale dell'impatto delle variazioni delle diverse componenti del rischio.

Va inoltre osservato che la riduzione del rischio è stimata per ciascuna delle misure di adattamento in modo indipendente. Inoltre, se fosse possibile introdurre le tre misure insieme, il valore del rischio scenderebbe da 0,88 a T_0 a 0,45 a T_1 , con una riduzione di 0,70 punti: si tratterebbe di un notevole miglioramento (tabella 11).

vi. Fase 4b – Applicazione di un'analisi del rapporto costo-efficacia ( )

Attraverso l'applicazione di un modello concettuale di base per l'analisi del rapporto costo-efficacia, valutiamo e confrontiamo le azioni di adattamento utilizzando il costo per unità di impatto (ad esempio l'effetto causato dall'azione). Nella semplice modellizzazione qui proposta, stimiamo l'efficacia di ciascuna misura in modo indipendente, in termini di riduzione del rischio (Tabella 12). Quindi utilizziamo i punteggi delle componenti di costo per gruppo di stakeholder e in base alle categorie di adattamento e alle azioni di adattamento. Il processo può essere facilmente esteso per considerare le stime dei costi in una situazione con dati/informazioni ricchi e le potenziali sinergie che potrebbero essere ottenute dall'attuazione congiunta di alcune o tutte le azioni di adattamento descritte in precedenza.

Per implementare il nostro caso di studio, consideriamo quanto segue:

- Sia a un'attività o azione di adattamento volta a ridurre il rischio di parassiti dei pesci derivante da una riduzione delle precipitazioni che aumenta la salinità e facilita o favorisce i parassiti dei pesci. L'analisi considera l'attuazione di una determinata azione in una SFA. Poiché tutte le misure qui considerate comportano dei costi, ipotizziamo che siano solitamente attuate nelle SFA con rischi più elevati.
- Indichiamo con *e* l'effetto o la conseguenza dell'azione di adattamento, in modo che *e* sia una funzione di *a*, con la quale scriviamo *e*(*a*) (la riduzione/variazione del rischio).
- Inoltre, indichiamo il rischio di base con R_o e la riduzione del rischio dovuta a un'azione di adattamento con ($R_o - R_1$), dove R_1 è il livello di rischio dopo l'attuazione dell'azione di adattamento, con $R_o > R_1$ se l'azione di adattamento è efficace.

L'analisi viene eseguita utilizzando una valutazione del rischio semiquantitativa. Il modello combina l'esposizione della produzione biologica (*E*), ovvero la biomassa raccolta che potrebbe andare persa o essere compromessa a causa di un pericolo, con la vulnerabilità (*Va*) dell'unità di analisi al pericolo (*H*). Come descritto in precedenza nel quadro concettuale, la vulnerabilità si riferisce al grado in cui un sistema è suscettibile e/o incapace di far fronte agli effetti negativi dei cambiamenti climatici.

È stato stimato un valore di rischio di base per ciascuna delle 20 SFA di Los

Lagos. Rischio di base = $R_o = E_o \times Va_o \times H$

La vulnerabilità (*Va*) comprende la gravità dell'impatto e la capacità di recupero; presenta quindi due componenti, ovvero la sensibilità (S) e la capacità di adattamento (AC). Nello specifico, consideriamo $Va_{(o)} = S_{(o)} \times (1- AC_{(o)})$. (La nostra analisi assegna a ciascuna componente di rischio un punteggio compreso tra 1 e 5, dove 1 rappresenta il livello minimo e 5 il livello massimo; normalizziamo inoltre il rischio di base risultante in modo che rientri nell'intervallo (da 0 a 1), dove 0 e 1 rappresentano rispettivamente il rischio minimo e massimo).

In questo contesto, l'effetto di un'azione di adattamento potrebbe essere trasmesso al rischio influenzando l'esposizione (Eo), la vulnerabilità (Va_o) o entrambe. Notiamo inoltre che l'effetto dei cambiamenti nella vulnerabilità dovuti a un'azione di adattamento sarebbe trasmesso attraverso la sensibilità ($S_{(o)}$), o la capacità di adattamento ($AC_{(o)}$), o entrambi. Di conseguenza, se l'azione di adattamento influisce sull'esposizione e sulla capacità di adattamento, il rischio dopo l'attuazione è dato da:

$R_1 = E_1 \times Va_1 \times H$, e

$e = R_o - R_1 = (E_o \times Va_o - E_1 \times Va_1) \times H,$

dove *e* indica la variazione del rischio dovuta alla misura attuata. Si noti che se l'azione di adattamento influisce solo sull'esposizione, l'effetto dell'azione è dato da:

$e' = R_o - R_1 = (E_o - E_1) \times Va_o \times H$

Analogamente, se l'azione di adattamento influisce solo sulla vulnerabilità, l'effetto dell'azione è dato da:

$e'' = R_o - R_1 = (Va_o - Va_1) \times E_o \times H$

Laddove la differenza nella vulnerabilità potrebbe essere il risultato dell'impatto dell'azione di adattamento sulla sensibilità, sulla capacità di adattamento o su entrambe.

La tabella 11 descrive i punteggi per ciascuna componente di rischio (*H*, *E*, *S* e *AC*) per stimare i rischi di perdita di biomassa di salmone a causa dell'aumento del parassitismo. I valori sono stimati tenendo conto dell'attuale situazione di gestione dell'allevamento del salmone (T_0) e della situazione di rischio stimata a T_1 quando alcune delle componenti di rischio sono state modificate per ridurre il rischio totale. Descrive inoltre le modifiche apportate a *E* e *S* e ad *AC*.

L'attuazione di un'azione di adattamento è costosa in quanto richiede risorse. Come spiegato sopra, è necessario calcolare il costo associato all'attuazione di ciascuna azione di adattamento per poter calcolarne l'efficacia in termini di costi.

L'efficacia in termini di costi è calcolata come: *C-E = c(a)/e(a)*.

Sulla base di un'analisi qualitativa, identifichiamo il costo di ciascuna azione *c*(*a*) utilizzando una scala che identifica tre livelli di costo: alto (3), medio (2) e basso (1) (Tabella 12). Naturalmente, la scala potrebbe essere modificata per includere una maggiore variabilità, ma poiché i costi sociali associati alle misure di riduzione del rischio sono spesso sconosciuti o difficili da calcolare con precisione, è utile lavorare con una scala approssimativa in cui ciò che conta è l'ordine di grandezza generale dei costi piuttosto che stime specifiche dei costi.

Esistono diversi modi per stimare i costi associati alle diverse misure di adattamento. La conoscenza della struttura dei costi delle aziende agricole durante il ciclo produttivo consentirebbe di stimare le diverse voci di costo interessate dalle misure e quindi, sulla base di tali informazioni, di calcolare l'impatto che tali misure potrebbero avere sui costi totali di produzione per chilogrammo di salmone d'allevamento. Ciò consentirebbe di confrontare i costi delle diverse misure. Tali informazioni potrebbero, in linea di principio, essere raccolte attraverso interviste, sondaggi o discussioni di gruppo. Tuttavia, questa procedura richiede molto tempo e il consenso degli allevatori e/o delle aziende a condividere informazioni sensibili. Inoltre, questa procedura raccoglie solo informazioni sui costi privati relativi ai singoli allevatori e/o aziende, ma non offre accesso ad altre informazioni sui costi rilevanti per la valutazione dei costi sociali delle misure di adattamento. Si tratta dei costi per il governo, dei costi per altri soggetti privati interessati e dei costi esterni sociali. Tale omissione è piuttosto importante quando si intende calcolare i costi per la società delle diverse misure di adattamento.

Qui utilizziamo un metodo più approssimativo per valutare i costi delle diverse misure di adattamento. Abbiamo basato i nostri costi stimati su informazioni ottenute da fonti diverse e di qualità diversa: stime dei costi lordi ottenute da fonti diverse (articoli scientifici e tecnici, opinioni espresse in articoli di stampa, conversazioni con dirigenti industriali ed esperti). Abbiamo ordinato e catalogato i costi dei diversi adattamenti

TABELLA 12
Stima semiquantitativa dell'efficacia, dei costi e del rapporto costo-efficacia (C/E) di alcune delle misure di adattamento qui proposte per ridurre i rischi dell'allevamento del salmone in un contesto di cambiamenti climatici

	Azione di adattamento	Efficacia	Costi per gli allevatori (per singoli allevatori)	C/E degli allevatori*	Costi per il governo	C/E del governo	Costo per gli altri soggetti interessati nella catena del valore del salmone	Costo medio (punteggio)	C/E complessivo (costo/efficacia medio)
Ridurre l'esposizione	Ridurre la biomassa allevata nelle zone di pesca sostenibili (SFA) a rischio più elevato	2	2	1	2	1	2	2	1
Ridurre la sensibilità	Attuazione delle misure di biosicurezza	2	1	0,5	1	0,5		1	0,5
	Attuare aree di policoltura	2	2	1	1	0,5		1,5	0,75
Aumentare la capacità di adattamento	Modificare i tempi di coltivazione e raccolta (basso costo)	2	1	0,5	1	0,5		1	0,5
	Tutti i precedenti	3	3	1	1,25	0,4	1	1,8	0,6
	Trasferimento delle aziende agricole al sistema RAS a terra	3	3	1	1	0,3	2	2,0	0,7
			C/E massimo = 3		C/E minimo = 0,3				

Nota: i costi e l'efficacia sono stimati come elevati (3), medi (2) e bassi (1). L'efficacia delle misure è considerata bassa, pari a 1, quando i punti nella riduzione del rischio sono < 0,15 (vedi tabella 11); media, pari a 2, quando sono compresi tra 0,16 e 0,50; ed elevata, pari a 3, quando sono > 0,50. Non includiamo qui i costi per altri soggetti interessati al di fuori della catena del valore del salmone che potrebbero essere influenzati dalla misura di adattamento, come i pescatori artigianali, le aziende turistiche, ecc.

* Il rapporto costo-efficacia (C/E) per gli allevatori è calcolato come c(a)/e(a), dove c(a) è l'indicatore di costo ed e(a) è l'efficacia. Pertanto, il valore minimo dell'indice di efficacia dei costi è 0,33 (combinazione del costo più basso e dell'efficacia più alta, ovvero 1:3), che è relativamente l'opzione migliore (verde brillante); mentre il valore massimo dell'indice di efficacia dei costi è 3 (combinazione del costo più alto e dell'efficacia più bassa, ovvero 3:1), che è l'opzione peggiore (rosso brillante). Nel caso in esame, il valore comparativo peggiore per C/E è 1 (colore arancione chiaro).

RAS = sistemi di acquacoltura a ricircolo; SFA = aree di concessione per l'allevamento del salmone.

misure per i diversi soggetti interessati, compresi tutti i tipi di costi sociali, e li ha classificati come elevati, medi o bassi. I costi elevati corrispondono a costi che comportano investimenti molto ingenti e dispendiosi in termini di tempo, che determinerebbero un cambiamento significativo delle condizioni di produzione e implicherebbero misure di adattamento di ampia portata. I costi medi sono costi che possono incidere in modo significativo sui risultati dell'attività, ma che possono essere sostenuti nell'ambito dell'attuale organizzazione dell'azienda agricola e del settore/industria. Infine, i costi bassi sono quelli relativi a misure che comportano costi minori per alcuni soggetti interessati, ma che non alterano in modo significativo l'attuale organizzazione o i risultati ottenuti.

Nella tabella 12 descriviamo i risultati dell'analisi costo-efficacia che rappresenta tre livelli di efficacia: alta (3), media (2) e bassa (1), tenendo conto dei punti di riduzione del rischio (tabella 11) e tre livelli di costo: alto (3), medio (2) e basso (1). Ciò offre un confronto visivo tra efficacia e costi (ovviamente, come indicato in precedenza, con informazioni migliori la scala potrebbe essere modificata per includere una maggiore variabilità). I livelli di efficacia sono stati assegnati dal team di ricerca che ha preparato questo documento, sulla base dell'analisi dell'efficacia (riduzione del rischio). Allo stesso modo, i livelli di costo sono stati assegnati sulla base dell'analisi dei costi descritta sopra. I risultati sono presentati per ciascuna strategia di adattamento e azione discussa sopra. Poiché, nel nostro esercizio, tutte le misure hanno lo stesso impatto sul rischio atteso (riduzione di 0,2 nella scala di rischio), che è la misura dell'efficacia nel nostro quadro di riferimento, ciò significa che l'ordine dell'analisi costo-efficacia sarà lo stesso dell'analisi dei costi. In altre parole, l'ordine delle opzioni c(a)/e(a) è lo stesso di c(a), poiché il denominatore è lo stesso in tutti i casi nell'analisi dell'efficacia.

Come si può vedere nella tabella 12, l'impatto dei costi di ciascuna azione varia a seconda delle categorie di stakeholder. Abbiamo scelto di distinguere tra agricoltori privati, governo e altri stakeholder privati quali lavoratori, comunità e organizzazioni sociali legate alla filiera dell'allevamento del salmone. La distinzione è importante perché azioni alternative possono essere equivalenti dal punto di vista dei costi per lo stesso stakeholder, ma possono variare tra diversi gruppi di stakeholder. Ad esempio, per gli allevatori i costi della riduzione della biomassa nelle aree a più alto rischio, dell'attuazione di misure di biosicurezza e della modifica dei tempi di crescita e di raccolta sono sostanzialmente equivalenti. Tuttavia, queste misure non sono equivalenti dal punto di vista degli altri soggetti interessati. In particolare, mentre la seconda e la terza misura non sembrano comportare costi aggiuntivi significativi per il governo e altri soggetti privati, la prima sì, perché questa misura rischia di ridurre i posti di lavoro lungo l'intera catena del valore. Quindi, dal loro punto di vista, queste alternative non sono equivalenti dal punto di vista dei costi e quindi non dovrebbero essere equivalenti da un punto di vista sociale più ampio. Per avere una misura del costo sociale totale, aggiungiamo i valori di efficacia in termini di costi e li dividiamo per il numero di diversi soggetti interessati (Tabella 12).

Un altro punto degno di nota è che alcune misure interessano una serie di soggetti diversi parti interessate, mentre altre riguardano principalmente gli allevatori.[10] Nel primo caso, alcuni dei costi aggiuntivi derivano dal coordinamento delle diverse parti interessate necessario per attuare la misura, mentre nel secondo caso tale coordinamento non è necessario poiché gli allevatori possono agire in modo indipendente. Ciò semplifica chiaramente l'attuazione della misura ed è un argomento a favore, a parità di tutti gli altri aspetti, di questo tipo di misure.

Dal punto di vista dell'analisi costo-efficacia, le azioni preferibili corrispondono alle misure recentemente attuate dagli allevatori di salmone in Cile. Essi stanno cercando di controllare il parassitismo (che sia causato o meno dai cambiamenti climatici) attuando diverse misure di biosicurezza e modificando i tempi di crescita e di raccolta. Secondo la nostra analisi, si tratta di misure efficaci in termini di costi. Tuttavia, si tratta di misure a breve termine che non richiedono cambiamenti significativi al processo di produzione. La domanda è se saranno sufficienti per affrontare tutte le sfide poste dai cambiamenti climatici.

La tabella 12 indica che il miglioramento delle misure di biosicurezza e la modifica del tempo che i pesci trascorrono nell'ambiente marino sono le misure più efficaci in termini di costi nella nostra analisi. Possiamo anche confrontare l'efficacia in termini di costi di una determinata azione tra le parti interessate e, laddove il valore dell'indice è inferiore, ciò implica che l'azione è preferibile dal punto di vista dell'efficacia in termini di costi.

Un esempio interessante è rappresentato dalle tecnologie innovative implementate dagli allevatori per ridurre il rischio di perdita di biomassa a causa di HAB o eventi ipossici (Riquadro 2). In questi casi, misure relativamente poco costose potrebbero essere più efficaci nel ridurre il rischio rispetto a misure più costose come lo spostamento degli allevamenti (riduzione dell'esposizione). Tuttavia, l'efficacia di tali tecnologie deve ancora essere dimostrata.

vii. Fasi 5 e 6: Attuazione, monitoraggio e valutazione della strategia Non abbiamo attuato una strategia di implementazione perché avrebbe richiesto un processo partecipativo, una valutazione economica completa e una valutazione delle potenziali implicazioni sociali e ambientali. Attualmente una delle questioni più complesse è l'implicazione della governance nella riorganizzazione dello spazio per l'allevamento del salmone in Cile, considerando i rischi legati al cambiamento climatico per il settore e i rischi che questo settore comporta per gli ecosistemi naturali in scenari di cambiamento climatico (Soto *et al.*, 2021; Engler, 2024).

[10] In generale, tutte le misure richiedono l'intervento del governo o delle autorità di regolamentazione. Fintantoché tali misure possono essere attuate con la legislazione vigente e la gamma di strumenti esistenti, i costi aggiuntivi derivanti dalla loro attuazione sono considerati trascurabili. I costi per il governo aumentano quando l'attuazione di misure aggiuntive richiede nuovi strumenti giuridici o materiali.

RIQUADRO 2

Tecnologie innovative

Per quanto riguarda la capacità di adattamento (AC), il settore dell'allevamento del salmone ha già migliorato e rafforzato alcune misure di AC come l'implementazione Le mappe di rischio ARClim includevano le HAB come pericolo rilevante (Soto *et al.*, 2020) e sono state raccomandate alcune misure per ridurre i rischi, tra cui la riduzione dell'esposizione e il miglioramento dell'AC. Infatti, dopo che le mappe di rischio sono state rese pubbliche alla fine del 2020, nel marzo 2021 si è verificato un evento HAB in una delle SFA che era già stata identificata come ad alto rischio (Soto et *al.,* 2021), con gravi perdite per la produzione di salmone. Le mappe e le analisi dei rischi avevano raccomandato di ridurre la biomassa dell'allevamento di salmone nelle aree con rischi più elevati di HAB, ma non è stata intrapresa alcuna azione. Attualmente, anziché ridurre l'esposizione, oltre ai sistemi di allerta precoce e monitoraggio, sono in uso altre misure AC specifiche che prevedono l'innovazione tecnologica. Una di queste consiste nella produzione di microbolle (per ulteriori informazioni, consultare https://www.fishfarmingexpert.com/ aeration-discs-low-o2-microbubble-curtains/chilean-microbubble-company-on-the-rise-in-scotland/1727300) sotto le gabbie dei salmoni che potrebbero essere esposte alle HAB, creando così una sorta di cortina di bolle intorno all'allevamento e spostando l'acqua del fondo senza le alghe tossiche per diluirne l'effetto sui pesci. I sistemi non sono ancora stati completamente testati contro le HAB e possono essere costosi, ma l'investimento potrebbe essere utile dato il costo che gli allevatori devono sostenere per ridurre la produzione in alcuni dei loro siti. Tecnologie simili, ma con nanobolle (Yaparatne *et al.,* 2024), vengono adottate anche per combattere gli eventi ipossici; tuttavia, sono necessari ulteriori test sul campo in condizioni di produzione e gli allevatori devono ricevere informazioni più complete. Ciononostante, l'innovazione tecnologica e i sistemi di intelligenza artificiale offrono indubbiamente nuove opzioni per l'adattamento alla variabilità climatica e alle tendenze dei cambiamenti climatici. Il consiglio più importante per gli agricoltori è quello di assicurarsi che siano disponibili informazioni adeguate per prendere decisioni ottimali sulla base dei costi e dell'efficacia.

Nota: **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C. 2020.** *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura*. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf; **Soto, D., León-Muñoz, J., Garreaud, R., Quiñones, R.A. e Morey, F. 2021.** Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. *Marine Policy,* 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705; **Yaparatne, S., Morón-López, J., Bouchard, D., Garcia-Segura, S. e Apul, O.G.** 2024. Applicazioni delle nanobolle nell'industria dell'acquacoltura per migliorare la resa dei raccolti, il trattamento delle acque reflue e il controllo delle malattie. Science of The Total Environment, 931, 172687, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172687.

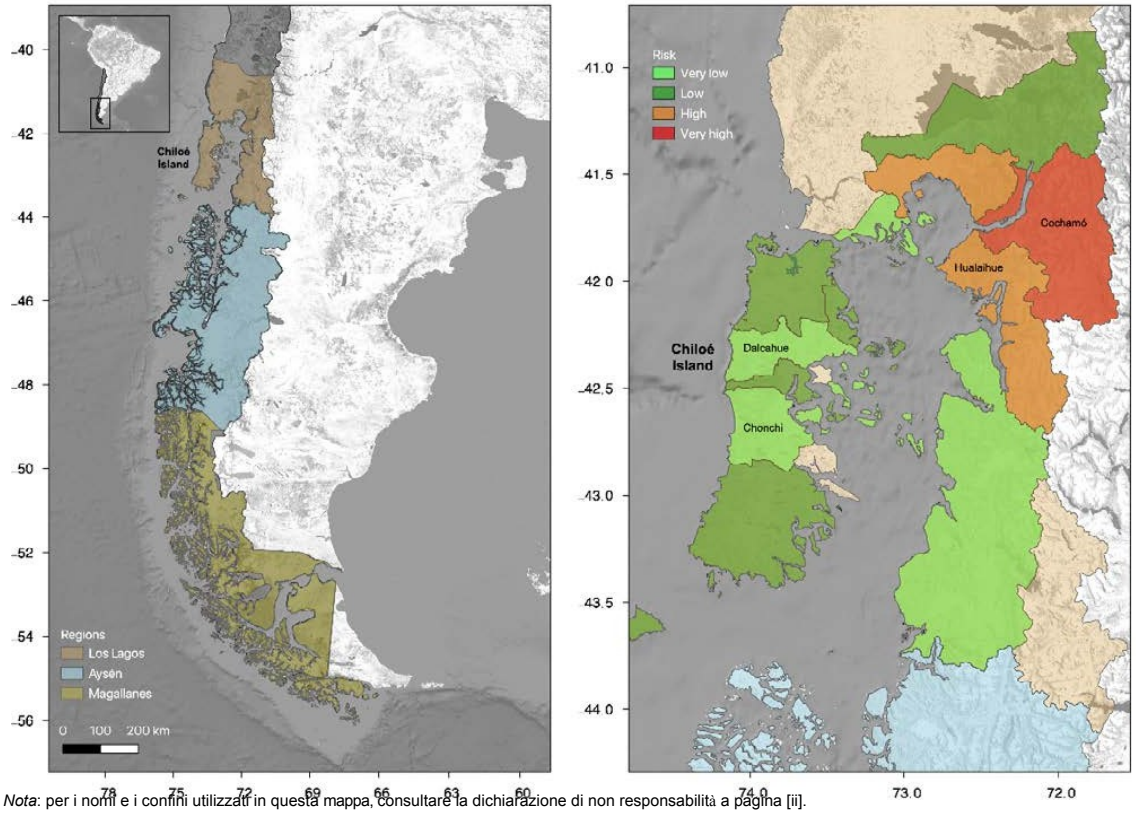
III. PROGETTAZIONE DI UNA STRATEGIA DI ADATTAMENTO PER LA PRODUZIONE DI SEME DI COZZE CILENI UTILIZZANDO AQUA-ADAPT

Come nel caso di studio sul salmone, anche in questo caso sfruttiamo l'opportunità offerta dallo sviluppo delle mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici per l'acquacoltura nell'ambito della piattaforma ARClim promossa dal Ministero dell'Ambiente cileno (MMA, 2020, https://arclim.mma.gob.cl/ atlas/view/acuicultura_mejillones_semilla/). Di seguito descriviamo il processo Aqua-Adapt, compresa la stima dei rischi per la raccolta e la produzione di seme di cozze. I valori comparativi di rischio sono riportati nella Figura 12.

La produzione di cozze d'allevamento in Cile dipende fortemente dalla raccolta di semenzali in natura e, pertanto, il ciclo di allevamento si articola in tre fasi principali: in primo luogo, la cattura dei semenzali prodotti dai banchi di cozze selvatiche, su corde di deposizione; in secondo luogo, la crescita dei semenzali sulle corde e, in terzo luogo, la fase di crescita o ingrasso per raggiungere le dimensioni commerciali, che normalmente avviene più a sud-ovest rispetto alla fase di raccolta dei semenzali (Molinet *et al.,* 2015). La disponibilità di seme è sensibile alle condizioni ambientali che possono quindi influenzare la produzione annuale di cozze d'allevamento (Soto *et al.*, 2020).

FIGURA 12

Rischi comparativi di perdita di seme di cozze selvatiche per i comuni in cui avviene la raccolta del seme di cozze nella regione di Los Lagos, in Cile. I colori sono sovrapposti alla superficie terrestre dei comuni perché la divisione marina dei comuni è più difficile da rappresentare.



Nota: per i nomi e i confini utilizzati in questa mappa, consultare la dichiarazione di non responsabilità a pagina [ii].

Fonte: Adattato da **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C.** 2020. *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura*. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf

La raccolta delle larve di cozze e la loro crescita, in Cile, avvengono quasi esclusivamente nella regione di Los Lagos (Figura 12). La raccolta e la produzione delle larve sono autorizzate legalmente attraverso tre meccanismi di utilizzo dello spazio marino: i) diritti di utilizzo territoriale per la pesca; ii) concessioni per l'acquacoltura gestite da individui che detengono tali concessioni; e iii) permessi di utilizzo a breve termine concessi a persone fisiche o giuridiche dall'Autorità Marittima.

i. Fase 1 – Definizione dell'unità di adattamento per l'allevamento di cozze ( )

La valutazione del rischio è stata effettuata sia per la raccolta delle larve di cozze (acquacoltura basata sulla cattura) che per la fase di crescita/ingrasso; tuttavia, per il presente caso di studio utilizziamo solo i rischi legati al cambiamento climatico per la raccolta delle larve selvatiche. Le unità di adattamento erano le aree marine di ciascun comune o comune della regione di Los Lagos in cui avviene la raccolta delle larve di cozze (Figura 12). Abbiamo scelto i comuni perché è a questo livello che le informazioni sulla cattura e la produzione di semenzali vengono fornite e comunicate dagli allevatori al Senarpesca.

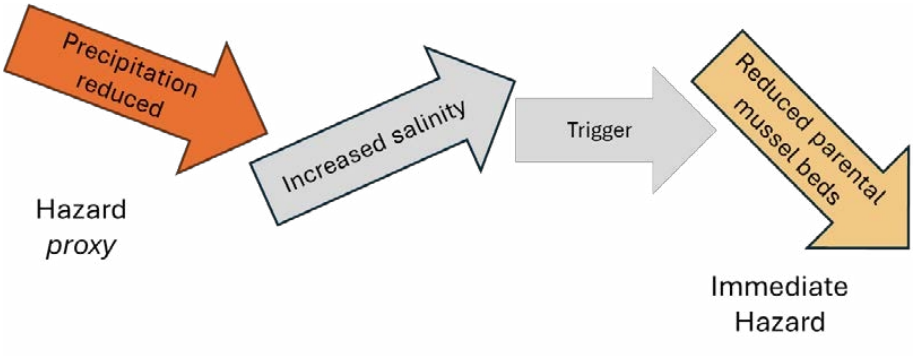
La fase 2 è simile a quella descritta sopra per l'allevamento del salmone.

ii. Fase 3 – Eseguire una valutazione del rischio e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita

Come nel caso di studio sul salmone, abbiamo stimato il rischio come: R = E*Va*H, dove Va = S*(1-AC)

Pericolo (H). Una riduzione delle precipitazioni nella Patagonia settentrionale, in particolare nei fiordi dove avviene la maggior parte della raccolta di semi di cozze (Soto *et al.*, 2020), comporterebbe

FIGURA 13
Catena di eventi che potrebbero influenzare la produzione di cozze a causa della riduzione delle precipitazioni



con conseguente diminuzione dell'apporto di acqua dolce dai fiumi che alimentano i fiordi (Aguayo *et al*., 2019). Ciò produrrebbe un ambiente con maggiore salinità che favorirebbe la presenza di specie meno tolleranti all'acqua dolce che competono per lo spazio con le cozze o ne sono predatrici (Molinet *et al*., 2015; Molinet *et al*., 2025). Una minore quantità di acqua dolce genererebbe anche una discontinuità nella densità della colonna d'acqua nota come picnoclina, che separa l'acqua dolce dall'acqua più profonda e salata (León-Muñoz *et al.*, 2024). Questa discontinuità sarebbe rilevante per la mobilizzazione e l'accumulo delle larve, diminuendo la loro cattura nelle corde di raccolta (Soto *et al.*, 2020; Molinet *et al.*, 2021). Pertanto, la riduzione dei banchi di mitili parentali (che producono le larve di mitili) in condizioni di maggiore salinità e la riduzione della picnoclina costituirebbero un **pericolo immediato (**Figura 13, Tabella 13) per la raccolta e la produzione di larve di mitili.

La riduzione delle precipitazioni è anche il principale fattore di cambiamento climatico nel caso della raccolta di semi per l'allevamento delle cozze e viene qui utilizzata come indicatore del rischio di cambiamento climatico. L'aumento della salinità dell'acqua e l'assottigliamento della picnoclina potrebbero ridurre i banchi di cozze che producono semi, il che costituisce il rischio immediato (ad esempio, la condizione che causa danni all'attività).

L'esposizione (E) rappresenta ciò che può essere perso, misurato in termini di **produzione di seme di cozze**, che comprende la cattura o la raccolta del seme e la sua crescita fino a raggiungere le dimensioni necessarie per l'ingrasso. Per questo esercizio abbiamo considerato come situazione di base la produzione media di seme del 2017-2018 riportata per 14 acque comunali costiere (Figura 12, Tabella 13).

La sensibilità (S) si riferisce a fattori non legati ai cambiamenti climatici (ma che possono essere correlati alla variabilità naturale) che aumentano la probabilità di perdita di semi. In questo caso, essi includono:
i) dipendenza dall'acqua dolce; ii) cattiva gestione dei sistemi di raccolta delle sementi; e
iii) pressione della pesca sui banchi di molluschi dovuta alla raccolta eccessiva delle loro larve (Tabella 13).

Nota: la valutazione dei rischi e delle opzioni di adattamento per la produzione di seme di cozze è molto diversa da quella relativa all'allevamento del salmone, poiché comporta la cattura di seme selvatico. Secondo la FAO (2011), si tratta di acquacoltura basata sulla cattura, definita come la pratica di raccogliere materiale vivo in natura e utilizzarlo in condizioni di acquacoltura. Questa pratica è comune in molti sistemi di acquacoltura, ad esempio nella produzione di gamberetti (*Penaeus monodon)* (Abdullah *et al*., 2017) e nell'allevamento di granchi di fango (*Scylla serrata)* in Asia (Ramhan *et al.*, 2017). In entrambi i casi, l'acquacoltura basata sulla coltura ha significativi benefici sociali per le comunità locali ed è un'attività che collega la pesca con l'acquacoltura. Adattarla ai cambiamenti climatici richiede una prospettiva integrata e un approccio ecosistemico FAO (2010).

TABELLA 13

Componenti di rischio legate al cambiamento climatico – pericolo (H), esposizione (E) e sensibilità (S) – e indicatori e punteggi utilizzati in ciascun caso per stimare i rischi per la produzione di seme di cozze in Cile

	Descrizione	Indicatori	Commenti/ipotesi
Pericolo (H)	**Riduzione delle precipitazioni con conseguente catena di eventi ed effetti**	**Il valore H è una combinazione di diversi indicatori (media semplice) descritti di seguito**	
Catena di eventi causati dai cambiamenti climatici che influiscono sulla raccolta delle larve di mitili	La minore quantità di acqua dolce che entra nei fiordi e nei mari interni provoca un aumento della salinità e una riduzione della della picnoclina, che può favorire l'espansione di specie in grado di sostituire *la M chilensis,* riducendo così i banchi di mitili parentali. Inoltre, una riduzione della picnoclina potrebbe ridurre la concentrazione di larve di mitili intorno ai raccoglitori di mitili	Numero previsto di giorni di siccità/indice di frequenza della siccità previsto con punteggio da 1 (minimo) a 5 (massimo) (Soto *et al*., 2020[1] , 2021[2])	Non esistono modelli semplici che colleghino direttamente le precipitazioni alla produzione di semi di cozze, ma informazioni che collegano una minore salinità a molluschi più sani e più estesi fondali. Il gradiente di salinità svolge un ruolo importante nella strutturazione della comunità associata alla *M. chilensis*, dove questa specie è confinata in un habitat ristretto, delimitato da restrizioni fisico-chimiche verso il limite superiore e dalla predazione (Molinet *et al*., 2015[3])
Esposizione (E)	Biomassa di semi di cozze che potrebbe andare persa nell'area marina di ciascun comune	Abbiamo utilizzato la media dei semi totali raccolti e coltivati nel periodo 2015-2018 per ciascun comune* La biomassa raccolta è stata valutata da 1 (minimo) a 5 (massimo)	La maggior parte della raccolta di semi avviene nei sistemi dei fiordi. I piccoli produttori potrebbero essere i più colpiti dalla perdita dei banchi di mitili (Molinet *et al*., 2017[4]). Come alternativa sono stati proposti i semi prodotti negli incubatoi
Sensibilità, cozze (S_M)	**Tutti i fattori (non correlati al cambiamento climatico) che potrebbero aumentare la perdita di semi di cozze**	**Il valore finale S è una combinazione di diversi indicatori (media semplice) descritti di seguito (da S_M 1 a S_M 3)**	
S1 – Dipendenza dall'apporto di acqua dolce	Influenza attuale/normale dell'acqua dolce sulla salinità e sulla picnoclina nei fiordi e nelle insenature. I fondali *di M chilensis* sono più adatti a salinità inferiori	Densità dell'acqua corrente (sebbene rappresenti l'influenza della temperatura e della salinità degli apporti di acqua dolce, la salinità era il fattore più variabile e influente) è stata valutata tra 1 (minimo) e 5 (massimo)	Esiste una relazione positiva tra una minore salinità dell'acqua e una distribuzione e condizioni ottimali dei banchi di cozze (Molinet *et al*., 2015)[3]
S2 – Raccolta e raccolta inadeguate dei semi	I sistemi di raccolta perdono una grande percentuale di semi depositati prima che questi vengano raccolti. Tali semi sono considerati persi anche per i banchi di cozze selvatiche	I valorisono stati valutati da 1 a 5, rappresentando le perdite stimate più basse e più elevate nella raccolta dei semi (Soto *et al*., 2020)[1]	Sistemi più efficienti che trattengono la maggior parte dei semi richiedono meno larve e potrebbero evitare la raccolta eccessiva
S3 – Cattive condizioni dei banchi di mitili (ad esempio a causa dello sfruttamento eccessivo)	Le aree (per comune) con banchi di molluschi in buone condizioni, che non mostrano segni di sovrasfruttamento e/o altri fattori di stress, potrebbero fornire semi di molluschi più numerosi e di migliore qualità	I banchi di mitili sono stati valutati in base a un indicatore di deterioramento. I valori sono stati assegnati su una scala da 1 a 5, dove [1] che rappresenta un benessere eccellente (ad esempio, crescita del banco di mitili) e 5 che rappresenta una condizione estremamente povera e/o sovrasfruttata (Soto *et al*., 2020)[1]	Non esiste una relazione diretta tra i semi raccolti e i banchi di mitili parentali. Molinet *et al*. (2015[3] , 2017[4]) suggeriscono che la raccolta dei semi ha un impatto negativo sui banchi di cozze a causa dei milioni di corde installate nel fiordo di Reloncaví per la raccolta delle larve

TABELLA 13 (CONTINUA)

	Descrizione	Indicatori	Commenti/ipotesi
Capacità di adattamento (AC)	Per le mappe di rischio descritte, la capacità di adattamento è stata considerata pari a 0 (Soto *et al.*, 2020), poiché non erano disponibili informazioni sufficienti sulle misure specifiche per valutare e confrontare le diverse aree. Tuttavia, per il presente esercizio proponiamo alcune misure e innovazioni tecniche che consentono di ridurre i rischi senza modificare l'esposizione o la sensibilità	Sia per l'allevamento del salmone che per quello delle cozze utilizziamo un semplice aumento dell'AC consistente nell'implementazione di sistemi di monitoraggio ambientale. Tuttavia, vengono offerti anche altri esempi di AC a complemento dei casi di studio	

Le informazioni sulla produzione sono state fornite dal servizio nazionale della pesca (Senarpesca) e abbiamo utilizzato l'area di concessione dell'allevamento per comune.

Nota: [1] **Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C.** 2020. Informe Proyecto ARClim: Acuicultura. https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf; [2] **Soto, D ., León-Muñoz, J ., Garreaud, R ., Quiñones, R .A. e Morey, F .** 2021. Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. *Marine Policy,* 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705; [3] **Molinet, C. A., Díaz, M. Arriagada, C B ., Cares, L., Marín, S., Astorga, M. e Niklitschek, E.** 2015. Modello di distribuzione spaziale dei banchi di Mytilus chilensis nel fiordo di Reloncaví: ipotesi sui processi associati. *Revista Chilena de Historia Natural,* 88, 1-12. https://dx.doi.org/10.1186/S40693-015-0041-7; [4] **Molinet, C., Díaz, M., Marín, S.L., Astorga, M.P., Ojeda, M., Cares, L. e Asencio, E.** 2017. Relazione tra la deposizione delle larve di mitili su substrati naturali e artificiali: analisi delle implicazioni ecologiche che garantiscono il successo a lungo termine e la sostenibilità dell'allevamento dei mitili. *Aquaculture,* 467: 211–218. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.019

I componenti di rischio per la produzione di semi di cozze sono descritti nella Tabella 13, mentre il punteggio e il rischio di base stimato (con T_0 che indica la situazione attuale) per ciascun comune sono descritti nella Tabella 14 e la Figura 12 mostra la distribuzione spaziale dei rischi. Sia la Figura 11 che la Tabella 14 mostrano valori di rischio più elevati per Cochamo, un comune con la maggiore produzione di seme (esposizione = 5) e molto esposto al pericolo (5), poiché è fortemente influenzato dall'apporto di acqua dolce che rischia di essere ridotto dai cambiamenti climatici. Anche la sensibilità è più elevata in questo comune (4,67).

iii. Fase 4 – Progettazione di un piano di lavoro di adattamento

Come nel caso dell'allevamento del salmone, qui cerchiamo di modificare le componenti di rischio che possono essere manipolate. Non possiamo cambiare il pericolo, ma possiamo ridurre l'esposizione, la sensibilità e aumentare la capacità di adattamento.

Ridurre l'esposizione nei comuni a più alto rischio di Cochamó (0,93), Puerto Montt e Hualaihue (entrambi 0,59) (Tabella 14) potrebbe non essere facile, poiché queste sono le aree in cui si trovano i migliori allevamenti di mitili produttori di semi. Tuttavia, nell'esercizio di modellizzazione (Tabella 14) riduciamo la produzione di seme a Cochamó da circa 17 000 tonnellate (media 2016-2017) con un punteggio di 5, a 10 000 tonnellate con un punteggio di 4. Tuttavia, per non ridurre la produzione totale di seme e garantire agli allevatori l'accesso a una quantità sufficiente di seme per sostenere l'intero settore dell'allevamento di cozze in Cile, dobbiamo aumentare la produzione di seme di 6 000 tonnellate in altri comuni a basso rischio. Pertanto, nel modello aumentiamo la produzione di seme nei comuni di Dalcahue e Chonchi di circa 3 000 tonnellate in ciascun caso (tabella 14); di conseguenza, il loro punteggio di esposizione sale a 2 con solo un leggero aumento del rischio, che rimane basso. Tuttavia, ciò presuppone che i banchi di mitili nei due comuni possano sostenere l'aumento previsto della produzione di seme. Inoltre, la riduzione del raccolto di seme a Cochamó avrà un impatto sulle attività di acquacoltura locale su piccola scala e occorre valutare l'impatto sociale di questa misura.

Altri metodi per **ridurre la sensibilità** potrebbero essere più adeguati. Ad esempio, recenti ricerche indicano che potrebbe essere possibile migliorare le condizioni dei banchi di mitili a Cochamó ripopolandoli e proteggendone alcuni. Descriviamo questa misura come un "programma di conservazione dei banchi di mitili" nella tabella 15. È anche possibile migliorare la raccolta dei semi per ridurre le perdite in loco prima della raccolta. Riducendo le perdite di semi, gli allevatori metteranno

TABELLA 14

Punteggi delle componenti di rischio (da 1 a 5) e rischio stimato di perdita di seme di cozze per l'allevamento di cozze in 14 comuni organizzati da nord a sud nella regione di Los Lagos, Cile (Figura 12)

	Pericolo (H)	Esposizione (E)		Cattive condizioni dei fondali		Dipendenza dall'acqua dolce	Cattiva gestione delle larve		Sensibilità (S)		Capacità di adattamento (AC)		Linea di base del rischio (T_0) e considerando T_{1E} o T_{1S} o T_{1AC}				Riduzione del rischio con misure individuali			Rischio e riduzione del rischio con tutti T_{1E}, T_{1S}, T_{1AC}	
Comune	T_0	T_0	T_{1E}	T_0	T_1	T_0	T_0	T_1	T_0	T_{1S}	T_0	T_{1AC}	T_0	T_{1E}	T_{1S}	T_{1AC}	Esposizione ridotta	Sensibilità ridotta	AC Aumento	Rischio	Riduzione del rischio
Puerto Varas	**5,0**	**1**		2		5	4		**3,67**		**0,0**		0,15								
Cochamo	**5,0**	**5**	**4**	5	4	5	4	2	**4,67**	**4**	**0,0**	**0,2**	0,93	0,75	0,73	0,75	0,19	0,20	0,19	0,59	0,35
Puerto Montt	**5,0**	**4**		3		4	4		**3,67**		**0,0**		0,59								
Calbuco	**5,0**	**1**		1		3	3		**2,33**		**0,0**		0,09								
Ancud	**5,0**	**1**		1		3	3		**2,33**		**0,0**		0,09								
Quemchi	**5,0**	**2**		1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,16								
Hualaihue	**5,0**	**4**		3		4	4		**3,67**		**0,0**		0,59								
Dalcahue	**4,8**	**1**	**2**	1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,08	0,15							
Castro	**4,8**	**2**		2		2	3		**2,33**		**0,0**		0,18								
Chonchi	**4,8**	**1**	**2**	1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,08	0,15							
Puqueldón	**4,8**	**1**		1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,08								
Quinchao	**4,8**	**1**		1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,08								
Chaitén	**4,8**	**1**		1		2	3		**2,00**		**0,0**		0,08								
Quellón	**4,3**	**2**		2		2	3		**2,33**		**0,0**		0,16								

Nota: il rischio è R = E*Va*H, dove Va = S*(1-AC). Nelle attuali condizioni agricole, il tempo è considerato pari a 0 ed è rappresentato da "T_0 ", mentre una condizione successiva in cui abbiamo modificato i componenti per ridurre i rischi è rappresentata da "T_1 "; la riduzione del rischio è stimata come differenza tra il rischio in T_0 e T_1 . Il simbolo T1E corrisponde a una riduzione dell'esposizione a $T_{(1)}$; $T_{(1S)}$ corrisponde a una riduzione della sensibilità a $T_{(1)}$; mentre $T_{(1AC)}$ corrisponde a un aumento della capacità di adattamento a $T_{(1)}$ I punteggi relativi al pericolo (H), all'esposizione (E), alla sensibilità (S) (da 1 a 5) e alla capacità di adattamento (AC) (da 0 a 1) sono indicati per ciascun comune. I valori sono descritti tenendo conto delle condizioni attuali ($T_{(0)}$) per tutti i comuni e a $T_{(1)}$ solo per Cochamo, Dalcahue e Chonchi, dove abbiamo modificato alcuni elementi per ridurre i rischi. Una scala di colori rossi fornisce una valutazione visiva comparativa dei rischi stimati dal più alto (rosso più scuro) al più basso (rosso chiaro e bianco).

TABELLA 15
Stima semiquantitativa dell'efficacia, dei costi e del rapporto costo-efficacia (C/E) delle misure di adattamento proposte per ridurre la produzione di semi di cozze in seguito ai cambiamenti climatici. I punteggi di efficacia derivano dai punti di riduzione del rischio stimati (Tabella 14) quando la misura viene adottata.

	Azione di adattamento	Efficacia	Costi per gli agricoltori (per i singoli agricoltori)	C/E degli agricoltori	Costi per il governo	Costi per il governo	Costo per altri soggetti interessati nella catena del valore delle cozze	Costo medio (punteggio)	C/E complessivo (costo/efficacia medio)
Ridurre l'esposizione	Ridurre la produzione di sementi nei comuni a rischio più elevato	2	3	1,5	2	1	2	2,3	1,2
Ridurre la sensibilità	Istituire un programma di conservazione dei banchi di mitili	2	1	0,5	1	0,5		1,0	0,5
	Miglioramento dei sistemi di raccolta dei semi per ridurre la mortalità dei semi dovuta a una manipolazione inadeguata	3	1	0,3	1,0	0,3		1,0	0,3
Aumentare la capacità di adattamento	Miglioramento del monitoraggio delle larve e dei semi di cozze	1	1	1	1	1		1,0	1,0
	Trasferimento della produzione di semi agli incubatoi terrestri	2	3	1,5	3	1,5	2	2,7	1,3
			C/E massimo = 3		C/E minimo = 0,3				

Nota: i costi e l'efficacia sono stimati come elevati (3), medi (2) e bassi (1). L'efficacia delle misure è considerata bassa (equivalente a 1) quando i punti di riduzione del rischio sono <0,15 (vedi Tabella 4); media (2) = 0,16-0,50; ed elevata (3) = >0,50. Il rapporto costo-efficacia (C/E) è calcolato come c(a)/e(a), dove c(a) è l'indicatore di costo ed e(a) è l'efficacia. Pertanto, il valore minimo dell'indice di costo-efficacia è 0,33 (una combinazione del costo più basso e dell'efficacia più alta, ovvero 1:3). Pertanto, questa è l'opzione relativamente migliore (colore più verde), mentre il valore massimo dell'indice di costo-efficacia è 3 (combinazione del costo più alto e dell'efficacia più bassa, colore rosso). Nel caso in esame, l'opzione peggiore è 1,5 (colore arancione chiaro).

minore pressione sul pool di semi, il che significa che saranno disponibili più semi per tornare sul fondo e sostenere e rafforzare le popolazioni di mitili.

È possibile **aumentare la capacità di adattamento** implementando sistemi di monitoraggio ambientale più efficaci per le larve di molluschi e i vivai.

Come mostrato nella tabella 14, **implementando tre azioni di adattamento insieme**, ovvero riducendo l'esposizione e la sensibilità e aumentando la capacità di adattamento, il rischio a Cochamó potrebbe essere ridotto da 0,93 a 0,59: una riduzione significativa.

a) Stima del rapporto costo-efficacia delle misure di adattamento per la produzione di semenzale di cozze Nel caso della **riduzione dell'esposizione** attraverso la diminuzione della produzione di semenzale di cozze nel comune di Cochamó, parzialmente compensata dall'aumento della produzione di semenzale in altri comuni (ad esempio Dalcahue e Chonchi, tabella 14), l'impatto principale in termini di costi riguarda il reddito delle famiglie che dipendono dalla coltivazione di semenzale di cozze a Cochamó. Ciò potrebbe avere un impatto notevole poiché, nell'esercizio, la riduzione stimata è pari a quasi il 42% della produzione annuale. Tuttavia, non è chiaro quanto possa essere importante tale impatto, poiché queste famiglie hanno altre fonti di reddito oltre alla vendita di semenzale di cozze. Ciononostante, la perdita di reddito derivante dalla produzione di semenzale di cozze in questo comune potrebbe rappresentare il limite massimo del costo sociale accettabile di questa misura di adattamento. Inoltre, la misura comporta un aumento della raccolta di semenzai di cozze in altri comuni, il che potrebbe portare alcuni benefici sociali in quelle località. Ciò ridurrebbe il costo sociale totale della misura, anche se andrebbe a vantaggio di alcuni gruppi/comuni e imporrebbe costi ad altri. Infine, nella misura in cui l'offerta totale di semenzali diminuisce (poiché la misura di adattamento non è in grado di stabilizzare la produzione totale), questa situazione potrebbe anche indurre un aumento del costo medio dei semenzali di cozze, il che potrebbe anche avere alcune ripercussioni economiche aggiuntive.

effetti lungo la filiera produttiva delle cozze in termini di aumento del prezzo delle larve di cozze, a causa della maggiore scarsità di larve provocata dalla misura di adattamento.

Le misure di adattamento che **riducono la sensibilità,** come il programma di conservazione dei banchi di mitili a Cochamó o il miglioramento della raccolta delle larve per ridurre le perdite in loco prima della raccolta, sono relativamente poco costose. Queste misure richiedono l'intervento dello Stato per organizzare i raccoglitori di larve e finanziare i programmi, nonché la partecipazione degli stessi raccoglitori, ma le risorse necessarie sono probabilmente limitate. Il numero di raccoglitori impegnati in territori specifici è gestibile e non sembrano esserci altre attività che potrebbero essere influenzate da questi programmi. Quindi, dal punto di vista dei costi, queste misure meritano di essere valutate.

Un'opzione spesso citata è quella di sostituire la raccolta delle larve con la produzione a terra in incubatoi controllati. Questa misura è considerata qui come un'opzione **di capacità di adattamento** (è simile all'uso del RAS nell'allevamento del salmone) (Tabella 14). Ciò è effettivamente possibile perché le larve di cozze cilene possono essere prodotte in incubatoi, poiché la tecnologia è nota e collaudata (Molinet *et al.,* 2015). Tuttavia, l'investimento iniziale e i costi delle larve potrebbero essere molto più elevati e si registrerebbe anche una perdita significativa dei mezzi di sussistenza che attualmente dipendono dalla raccolta delle larve. Inoltre, non è chiaro se le larve prodotte in un vivaio avranno una resistenza sufficiente alla variabilità delle condizioni ambientali (Molinet *et al.*, 2021). Pertanto, questa misura sembra essere complessivamente meno conveniente dal punto di vista economico, ma con il tempo, grazie al progresso scientifico e tecnologico, potrebbe migliorare, compensando i costi di investimento iniziali. Tuttavia, non è chiaro come affrontare i costi sociali.

Nella tabella 15 presentiamo le stime di efficacia in termini di costi per gli agricoltori di Cochamó, nonché per il governo e per gli altri soggetti coinvolti nella catena del valore delle larve di cozze. Mostriamo anche l'efficacia in termini di costi (C-E) stimata come descritto sopra per il salmone. Anche se si tratta di un esercizio di stima, esso può comunque evidenziare i vantaggi di alcune misure. È il caso dei "sistemi migliorati di raccolta delle larve" (Tabella 15), che riducendo le perdite e quindi la pressione sui banchi di mitili potrebbero essere efficaci senza costare più di migliori misure di gestione (ad esempio con un'adeguata estensione) e alcuni miglioramenti ai sistemi di palangari (Tabella 15). Anche l'istituzione di un "programma di conservazione dei banchi di mitili" può essere una misura economicamente vantaggiosa.

iv. Fasi 5 e 6 – Attuazione della strategia, monitoraggio e valutazione

L'attuazione delle misure descritte per questo caso di studio, che coinvolge principalmente piccoli agricoltori che sono in realtà piccoli pescatori che si sono dedicati all'acquacoltura su piccola scala, richiede un intervento governativo molto più forte e completo (rispetto all'allevamento intensivo di salmone su larga scala). L'attuazione delle misure richiede un ruolo di coordinamento più forte da parte delle istituzioni locali, al fine di promuovere azioni congiunte degli agricoltori, e richiede anche un programma di divulgazione e sviluppo delle capacità ben progettato. Una migliore gestione della raccolta delle uova richiede u n a migliore comprensione dell'efficienza dei raccoglitori e del vantaggio di ridurre le perdite di larve nei raccoglitori. Il monitoraggio ambientale e la valutazione della disponibilità di larve di mitili devono tenere conto non solo della variabilità e delle tendenze climatiche, ma anche della pressione di pesca esercitata dai raccoglitori di seme, che può ridurre la resilienza dei banchi di mitili parentali. Sebbene alcune di queste attività siano già in corso grazie alla promozione da parte delle istituzioni della pesca e dell'acquacoltura, è necessario un miglior coordinamento e sostegno. Inoltre, dovrebbe essere attuato un monitoraggio a lungo termine dell'effetto di alcune misure.

IV. PRINCIPALI MESSAGGI DA RICORDARE DA ENTRAMBI GLI STUDI DI CASE

- Aqua-Adapt, presentato nei due casi di studio qui riportati, può aiutare a valutare azioni di adattamento alternative e supportare la selezione di interventi nell'ambito di un processo politico informato.

- Aqua-Adapt offre flessibilità in termini di tipo, quantità e qualità dei dati richiesti. Può funzionare sia in contesti con scarsa disponibilità di dati che in contesti con ricca disponibilità di dati. Può anche aiutare a identificare il tipo di dati e informazioni necessari, che potrebbero essere sviluppati nel tempo.

Questo quadro può essere utile anche per valutare l'effetto di tali misure in termini di riduzione del rischio, riduzione dell'esposizione e della sensibilità, aumento della capacità di adattamento e aumento della resilienza nel tempo.

- Questo quadro richiede che i responsabili politici promuovano la raccolta di informazioni sui costi e sull'efficacia delle misure proposte da una serie di parti interessate, in modo da poter prendere decisioni più informate.
- Come illustrano i casi di studio qui presentati, diverse azioni di adattamento possono avere livelli di efficacia diversi a seconda delle circostanze specifiche. Queste azioni possono anche comportare costi diversi e i costi per una determinata azione possono variare a seconda dei diversi soggetti interessati. L'analisi può contribuire a fare luce su tutti questi aspetti e sostenere decisioni politiche informate.
- L'analisi qui presentata può essere ampliata in diversi modi. Ad esempio, dati più ricchi possono consentire una stima più accurata dei costi delle diverse azioni. L'analisi può anche essere implementata su scale spaziali diverse.
- Infine, Aqua-Adapt richiede il monitoraggio delle azioni e delle misure e una valutazione/stima periodica dei rischi. È inoltre necessario prestare attenzione alle valutazioni sul campo quando le unità di adattamento hanno subito un pericolo ma hanno messo in atto misure di adattamento migliori e le perdite sono state ridotte (e quindi anche il rischio di eventi futuri è stato ridotto).
- Una migliore governance per la progettazione e l'attuazione delle misure è essenziale per: informare le parti interessate, coordinare le loro azioni, facilitare alcune azioni e misure (ad esempio politiche e norme più flessibili ai cambiamenti nella localizzazione spaziale delle aziende agricole).

RIFERIMENTI

Abdullah, A.N., Myers, B., Stacey, N., Zander, KK. e Garnett, S.T. 2017. L'impatto dell'espansione dell'acquacoltura dei gamberetti sui mezzi di sussistenza nelle zone costiere del Bangladesh. *Ambiente, sviluppo e sostenibilità,* 19: 2093-2114. https://doi.org/10.1007/s10668-016-9824-5

Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baecheler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M., Soto, D. e Iriarte, J.L. 2019. Il bicchiere mezzo vuoto: i cambiamenti climatici determinano una minore immissione di acqua dolce nel sistema costiero della Patagonia settentrionale cilena. *Climate Change,* 155: 417–435. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02495-6

Engler, C. 2024. *Adatto allo scopo? Valutazione delle leggi e delle politiche di adattamento ai cambiamenti climatici per l'acquacoltura marina in Cile.* Frontiers in Marine Science 11:1386545. https://doi. org/10.3389/fmars.2024.1386545

FAO. 2010. *Sviluppo dell'acquacoltura. 4. Approccio ecosistemico all'acquacoltura.* FAO Linee guida tecniche per Pesca responsabile . N. 5, Suppl. 4. Roma, FAO. 2010. 53p. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i1750e

FAO. 2011. *Sviluppo dell'acquacoltura. 6. Utilizzo delle risorse ittiche selvatiche per l'acquacoltura basata sulla cattura* **.** Linee guida tecniche della FAO per una pesca responsabile. N. 5, Suppl. 6. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ba0059e

FAO. 2024. *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nel mondo 2024 – La trasformazione blu in azione*. Roma, FAO. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683en

Figueroa, J., Cárcamo, J., Yañez, A., Olavarria, V., Ruiz, P., Manríquez, R., Muñoz, C., Romero, A. e Avendaño-Herrera, R. 2019. Affrontare le minacce virali e batteriche all'allevamento del salmone in Cile: contesti storici e prospettive per la gestione e il controllo. *Reviews in Aquaculture,* 11: 299–324. https://doi.org/10.1111/raq.12333

Gallardo-Escárate, C., Arriagada, C., Carrera, C., Gonçalves, A.T., Nuñez-Acuña, G., Valenzuela-Miranda, D. e Valenzuela-Muñoz, V. 2019. La corsa tra ospite e pidocchi di mare nell'allevamento del salmone cileno: un approccio genomico. *Reviews in Aquaculture,* 11(2): 325–229. https://doi.org/10.1111/raq.12334

Garreaud, R., Lopez, P., Minvielle, M. e Rojas, M. 2012. Controllo su larga scala sul clima della Patagonia. *Journal of Climate*, 26: 215–230. https://doi.org/10.1175/ JCLI-D-12-00001.1 https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4477580/v1

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2022. *Cambiamenti climatici 2022: impatti, adattamento e vulnerabilità.* Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, Stati Uniti, 3056 pagine. https://doi.org/10.1017/9781009325844.

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2023. *Sintesi per i responsabili politici*. In: Cambiamenti climatici 2023: Relazione di sintesi. Contributo dei gruppi di lavoro I, II e III alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (a cura di)]. IPCC, Ginevra, Svizzera, pp. 1-34, https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici). 2014**:** *Cambiamenti climatici 2014: Relazione di sintesi*. Contributo dei gruppi di lavoro I, II e III alla quinta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici [Core Writing Team, R.K. Pachauri e L.A. Meyer (a cura di)]. IPCC, Ginevra, Svizzera, 151 pp.

Johny, A., Ilardi, P., Olsen, R.E., Egelandsdal, B. e Slinde, E. 2024. Studio di validazione concettuale per lo sviluppo di un vaccino a base di peptidi contro l'infestazione da pidocchi del salmone nell'Atlantico (*Salmo salar L.*). *Vaccini,* 12: 456. https://doi.org/10.3390/vaccines12050456

León-Muñoz, J., Aguayo, R., Corredor-Acosta, A. Tapia, F., Iriarte, J.L., Reid, B. e Soto, D. 2024. I cambiamenti idrografici nelle acque costiere riflettono i cambiamenti climatici nei regimi idrologici della Patagonia nord-occidentale. *Scientific Reports,* 14, 20632. https://doi.org/10.1038/s41598-024-71008-y

León-Muñoz, J., Urbina, M.A. e Garreaud, R. 2018. Le condizioni idroclimatiche provocano una fioritura algale nociva record nella Patagonia occidentale (estate 2016). *Scientific Reports,* 8: 1330. https://doi.org/10.1038/s41598-018-19461-4

Lepe-López M., Escobar-Dodero, J., Rubio, D., Alvarez, J., Zimin-Veselkoff, N. e Mardones, F.O. 2021. Fattori epidemiologici associati all'infezione, all'abbondanza e alla distribuzione spaziale di Caligus rogercresseyi nel Cile meridionale. *Frontiers in Veterinary Science,* 8:595024. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.595024

MMA (Ministerio de Medio Ambiente). 2020. Ministerio de Medio Ambiente, Cile. Mappe dei rischi legati ai cambiamenti climatici nell'acquacoltura. https://arclim.mma.gob.cl/atlas/sector_index/ acuicultura/

Molinet, C., Astorga, M., Cares, L., Diaz, M., Hueicha, K., Marín, S., Matamala, T. e Soto, D. 2021. Modelli di distribuzione verticale dell'approvvigionamento larvale e della deposizione delle uova di tre specie di Mytilidae in un fiordo cileno utilizzato per l'allevamento di cozze: approfondimenti sull'efficienza della deposizione delle uova delle cozze. *Aquaculture,* 535: 736341. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736341. **Molinet, C., Díaz, M., Marín, S.L., Astorga, M.P., Ojeda, M., Cares, L. e Asencio, E.** 2017. Relazione tra la deposizione delle larve di mitili su substrati naturali e artificiali: analisi delle implicazioni ecologiche che garantiscono il successo e la sostenibilità a lungo termine dell'allevamento dei mitili. *Acquacoltura*, 467: 211-218. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.019

Molinet, C., Soto, D., León-Muñoz, J., Díaz, M., Espinoza, K., Henríquez, J., Matamala, T. 2025. I cambiamenti climatici nell'apporto di acqua dolce a un fiordo della Patagonia settentrionale e la pesca eccessiva di semi di cozze selvatiche potrebbero minacciare l'allevamento di cozze cilene. *Cambiamenti climatici*, 178, 119. https://doi.org/10.1007/s10584-025-03956-x

Molinet, C.A., Díaz, M. Arriagada, CB., Cares, L., Marín, S., Astorga, M. e Niklitschek, E. 2015. Modello di distribuzione spaziale dei banchi *di Mytilus chilensis* nel fiordo di Reloncaví: ipotesi sui processi associati. *Revista Chilena de Historia Natural*, *88*, 1-12. https://dx.doi.org/10.1186/S40693-015-0041-7

Padrós, F. e Constenla, M. 2021. Malattie causate dalle amebe nei pesci: una panoramica. *Animals*, 11: 991. https://doi.org/10.3390/ani11040991

Rahman, M.D., Mojibar, M., Islam, A., Haque, S.M. e Wahab, A. 2017. Allevamento e pesca del granchio di fango nella zona costiera del Bangladesh. *World Aquaculture,* 48(2): 47–52. https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01931.x

Soto, D., León-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F.J. e Garreaud, R. 2019. Vulnerabilità dell'allevamento del salmone ai cambiamenti climatici nel Cile meridionale: comprensione dei legami biofisici, socioeconomici e di governance. *Reviews in Aquaculture*, 11, 354–374. https://doi.org/10.1111/raq.12336

Soto, D., León-Muñoz, J., Garreaud, R., Quiñones, R.A. e Morey, F. 2021. Gli avvertimenti scientifici potrebbero contribuire a ridurre la mortalità dei salmoni d'allevamento dovuta alle fioriture algali nocive. *Marine Policy*, 132: 104705. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104705

Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F. e Segura, C. 2020. *Informe Proyecto ARClim: Acuicultura.* https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/01_ACUICULTURA.pdf

Yaparatne, S., Morón-López, J., Bouchard, D., Garcia-Segura, S. e Apul, O.G. 2024. Applicazioni delle nanobolle nell'industria dell'acquacoltura per migliorare la resa dei raccolti, il trattamento delle acque reflue e il controllo delle malattie. *Science of the Total Environment,* 931,2024, 172687, ISSN 0048-9697. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172687

Zalcman, E., Burroughs, A., Meyer, A., Hillman, A., Sadler, R., Madin, B., Mackenzie, C., Ward, M.P., Stevenson, M., Happold, J., Hutchison, J., Gallardo, A.L., Cameron, A. e Cowled, B. 2021. Infestazione da pidocchi di mare dei salmonidi in Cile tra il 2011 e il 2017: utilizzo di dati normativi per descrivere le caratteristiche e identificare i fattori di rischio, *Aquaculture*, 530, 735752. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735752

Allegato 1

Fasi sintetiche per l'applicazione di Aqua-Adapt. (Versione stampabile)

IL PROCESSO GRADUALE PER L'APPLICAZIONE DI AQUA-ADAPT È IL SEGUENTE

	Cosa fare	Come	Da parte di
	**Fase 1: Definire l'unità di adattamento dell'acquacoltura** Il primo passo del quadro è stabilire l'unità di adattamento. Ciò riguarda le specie allevate e i sistemi socio-ecologici associati a scale spaziali appropriate. L'unità può essere definita da: • Area geografica dell'acquacoltura (nazionale, comunità o zona di acquacoltura, quartiere, ecc.) • Settore dell'acquacoltura (ad esempio allevamento di pesci gatto, allevamento di tilapia, allevamento di cozze, ecc.) • Specie specifiche dell'acquacoltura (ad esempio salmone atlantico) • Altre unità spaziali, produttive o geopolitiche • Sistema di produzione (stagni, gabbie, vasche)		
	**Fase 2: Valutare e considerare le proiezioni climatiche e i percorsi** Selezionare e definire gli scenari di cambiamento climatico, le proiezioni climatiche e le minacce considerate per l'unità di adattamento. Secondo l'IPCC (2021[1] , 2022[2]), questi scenari, noti come percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) o percorsi socioeconomici condivisi (SSP) nei modelli più recenti, prendono in considerazione vari fattori quali la crescita economica, i cambiamenti demografici, la produzione energetica e i cambiamenti nell'uso del suolo. Essi forniscono un quadro di riferimento per comprendere come le diverse politiche e di stile di vita possono influire sul clima. Gli scenari generali, i percorsi climatici e i loro impatti sono disponibili per grandi regioni ed ecosistemi a livello globale ed è possibile identificare i pericoli generali da inserire nelle valutazioni dei rischi (Fase 3). Se disponibili, utilizzare modelli climatici regionali appropriati. Ciò potrebbe aiutare a selezionare la scala temporale - 10 anni, 50 anni, 100 anni, ecc. - che verrà utilizzata nella fase successiva (valutazione dei rischi). • Selezionare un modello climatico regionale appropriato • Selezionare la scala temporale: 10 anni, 50 anni, 100 anni, ecc. • Selezionare lo scenario (RCP o SSP).		

IL PROCESSO GRADUALE PER L'APPLICAZIONE DI AQUA-ADAPT È IL SEGUENTE (CONTINUA)

	Cosa fare	Come	Da chi
	**Fase 3: Eseguire o valutare una valutazione dei rischi e/o della vulnerabilità sull'unità di adattamento dell'acquacoltura definita**, stabilendo percorsi di proiezione climatica. Ciò richiede l'uso delle migliori conoscenze disponibili e di modelli di proiezione climatica appropriati. **È necessario identificare e prevedere** i pericoli più importanti per guidare l'adattamento e la tempistica delle azioni. Valutare le previsioni: • Selezionare un modello climatico appropriato • Definire la scala temporale (10, 20, 50 anni) • Selezionare il modello di scenario (RCP e SSP) Comprendere le tendenze attuali e le previsioni per i prossimi anni, decenni e persino fino alla fine del secolo è di fondamentale importanza per la risposta del settore dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici. Tuttavia, è molto difficile per gli stessi allevatori (soprattutto quelli su piccola scala) prevedere le tendenze e i cambiamenti a lungo termine, pertanto i governi dovrebbero garantire loro una visione chiara e a lungo termine dei rischi che il settore deve affrontare. Eseguire una valutazione dei rischi per identificare: • **I principali pericoli** e stabilire una catena di eventi/impatti su una scala temporale definita per stabilire le priorità con cui affrontarli. • **L'esposizione** e valutare la produzione, i beni e i mezzi di sussistenza che potrebbero andare persi. • **La sensibilità** e valutare i fattori che rendono il sistema più suscettibile agli impatti dei cambiamenti climatici (questi potrebbero essere interni o esterni al sistema di acquacoltura) • **La capacità di adattamento,** identificando o sviluppando tecnologie e migliorando la gestione per rendere il sistema più resiliente. Una valutazione dei rischi per un'unità specifica potrebbe prendere in considerazione i rischi individuali per ciascun pericolo identificato o un rischio combinato che comprende diversi pericoli (spesso correlati). Durante questo processo, è essenziale che i ricercatori, le istituzioni di monitoraggio, i governi e le altre parti interessate collaborino con gli agricoltori.		
	**Fase 4: Progettare un piano di lavoro per l'adattamento** Elaborare un piano di lavoro valutando le opzioni per ridurre l'esposizione e la vulnerabilità individuate e aumentare la capacità di adattamento dell'unità di adattamento. Individuare le migliori opzioni di adattamento (tenendo conto della loro efficacia in termini di costi) e definire le azioni per le parti interessate e gli attori rilevanti. È necessario concordare un calendario di attuazione che includa azioni a breve, medio e lungo termine. È necessario predisporre le risorse umane e finanziarie necessarie per attuare la strategia. Il piano di lavoro di adattamento dovrebbe prendere in considerazione: • un calendario di attuazione; • come selezionare le azioni di adattamento più appropriate e come attuarle al meglio; • se le misure di adattamento debbano essere attuate dal governo, dagli agricoltori, dalla comunità scientifica o attraverso la cooperazione pubblico-privata; e • il costo e la probabile efficacia di ciascuna azione nella riduzione del rischio. La tabella A e la tabella B presentano alcuni esempi di azioni che possono essere intraprese per ridurre l'esposizione al rischio: possono essere utilizzate come modello per l'applicazione di Aqua-adapt.		

IL PROCESSO GRADUALE PER L'APPLICAZIONE DI AQUA-ADAPT È IL SEGUENTE (CONTINUA)

	Cosa fare	Come	Da chi
	**Fase 5: Attuare la strategia seguendo il piano di lavoro** Le azioni proposte dalla strategia di adattamento devono essere attuate. È necessario che i diversi soggetti coinvolti assumano i ruoli corrispondenti e che vengano assegnate risorse umane ed economiche sufficienti. L'attuazione della strategia deve essere un processo trasparente e partecipativo, con scadenze chiare e realistiche e stime delle risorse umane e dei budget necessari per le diverse attività. Potrebbe essere necessario un supporto tecnico e una formazione che tenga conto degli aspetti economici, tecnici, sociali e ambientali.		
	**Fase 6: Valutare l'attuazione della strategia monitorando l'attuazione del piano di lavoro** Le azioni e le misure previste dalla strategia dovrebbero essere monitorate e valutate per migliorarne l'attuazione, utilizzando tempistiche e indicatori concordati dalle parti interessate coinvolte nello sviluppo della strategia. È necessario definire indicatori di monitoraggio, ad esempio la riduzione delle perdite, ed eseguire un'analisi costi-benefici. Il successo teorico della strategia può essere valutato in termini di riduzione del rischio. Tuttavia, la sua reale efficacia può essere valutata solo in base alla misura in cui riduce le perdite quando si trova ad affrontare un pericolo reale. Le valutazioni del rischio possono essere ripetute quando la strategia è stata attuata in parte o completamente.		

[1] **IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici).** 2021. Sintesi per i responsabili politici. In: V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu e B. Zhou (a cura di). *Cambiamenti climatici 2021: le basi scientifiche fisiche. Contributo del Gruppo di lavoro I alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici*. Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA; [2] **IPCC (Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici)**. 2022. Sintesi per i responsabili politici [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (a cura di)]. In: *Cambiamenti climatici 2022: impatti, adattamento e vulnerabilità. Contributo del Gruppo di lavoro II alla sesta relazione di valutazione del Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (a cura di)]. Cambridge University Press.

FOGLIO DI CALCOLO PER VALUTARE LE AZIONI DI ATTUAZIONE A BREVE, MEDIO E LUNGO TERMINE

Le tabelle A1 e A2 riportate di seguito fungono da modello per l'applicazione della fase 4 di Aqua-Adapt, guidando lo sviluppo del piano di lavoro. Le tabelle prendono in considerazione l'attuazione di diverse misure e azioni di adattamento a breve, medio e lungo termine (per breve termine si intendono le azioni che vengono intraprese immediatamente o in tempi molto brevi). Esempi di come compilare il foglio di calcolo sono riportati nella tabella 5A e nella tabella 5B del capitolo 2.

Le azioni a breve termine sono normalmente azioni senza rimpianti o con pochi rimpianti che migliorerebbero le prestazioni e la resilienza anche in assenza di cambiamenti climatici; tali azioni potrebbero essere attuate in un arco di tempo compreso tra uno e cinque anni, anche se questo può variare. Le azioni a lungo termine richiedono più tempo per essere attuate e normalmente comportano costi più elevati e un maggiore contributo da parte dei governi.

TABELLA A

Foglio di calcolo del piano di lavoro per valutare le azioni e le misure di adattamento a breve e medio termine (da 1 a 5 anni) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) in risposta ai pericoli identificati (valutati nella Fase 3)

Opzioni di adattamento	**Azioni a breve e medio termine**					
	Azioni	**Da parte del governo**	**Da parte degli agricoltori**	**Cooperazione pubblico-privato (P-P)**	**Implicazioni in termini di costi**	**Efficacia nella riduzione dei rischi**
Ridurre l'esposizione						
Ridurre la sensibilità						
Aumentare la capacità di adattamento						

TABELLA B

Foglio di calcolo del piano di lavoro per valutare le azioni e le misure di adattamento a lungo termine (6-10 anni o più) volte a ridurre i rischi (ridurre l'esposizione, ridurre la sensibilità, aumentare la capacità di adattamento) in risposta ai pericoli identificati (valutati nella Fase 3)

Opzioni di adattamento	**Azioni a lungo termine**					
	Azioni	**Da parte del governo**	**Da parte degli agricoltori**	**Cooperazione pubblico-privato (P-P)**	**Implicazioni in termini di costi**	**Efficacia nella riduzione dei rischi**
Ridurre l'esposizione						
Ridurre la sensibilità						
Aumentare la capacità di adattamento						

Questa pubblicazione esplora uno strumento a supporto dello sviluppo di strategie per l'adattamento dell'acquacoltura ai cambiamenti climatici. Le sei fasi di Aqua-Adapt offrono una guida per la creazione dell'unità di adattamento, la valutazione dei principali rischi che essa deve affrontare, la selezione delle migliori opzioni di adattamento, la pianificazione dell'attuazione della strategia e il monitoraggio dei suoi risultati. Aqua-adapt guida e consente alle parti interessate di comprendere i diversi scenari e le azioni necessarie per adattare l'acquacoltura ai cambiamenti climatici utilizzando la letteratura globale e anche un paio di casi di studio.

ISBN 978-92-5-140015-9 ISSN 2070-7010

9 789251 400159

CD6476EN/1/08.25