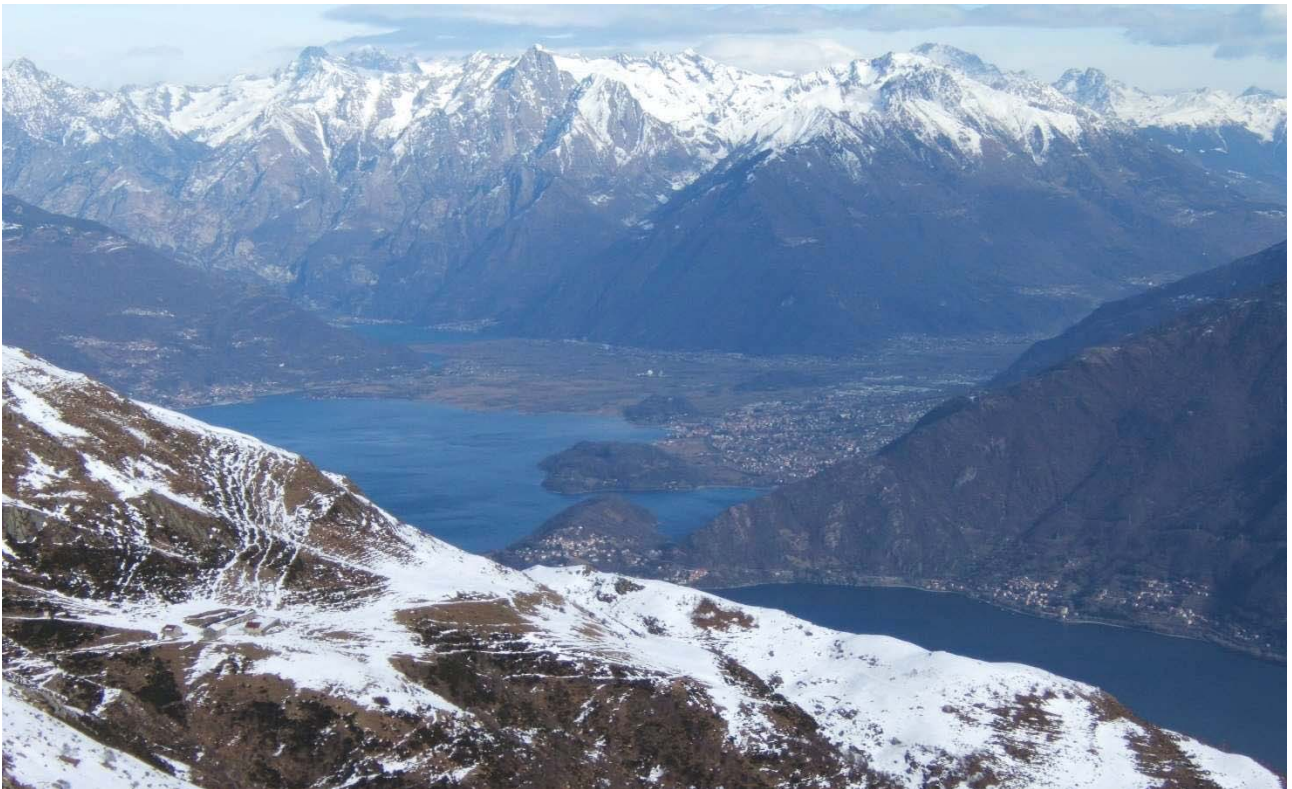




MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DELLA STRUTTURA E
DINAMICA DELLE POPOLAZIONI DEL COREGONE LAVARELLO
(*Coregonus morpha hybrida*) E DEL COREGONE BONDELLA
(*Coregonus macrophthalmus*) IN TERMINI DI DENSITÀ E DI
COMPOSIZIONE IN CLASSI DI ETÀ NEL LAGO DI COMO IN
RELAZIONE A FATTORI AMBIENTALI LOCALI



Relazione tecnica conclusiva

Settembre 2022

GRAIA srl – Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque

Via Repubblica, 1 – 21020 Varano Borghi (VA)

Tel 0332 – 961097

www.graia.eu

info@graia.eu

Autori:

Cesare M. Puzzi

Alessandra Ippoliti

Daniele Tamborini

Mauro A. Bardazzi

Tommaso Costantini

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	LAGO DI COMO	4
3	I COREGONI	6
3.1	Descrizione bibliografica.....	6
3.1.1	Tassonomia	6
3.1.2	Morfologia	7
3.1.3	Accrescimento	9
3.1.4	Biologia riproduttiva	10
3.1.5	Alimentazione	14
3.1.6	Mortalità	14
3.2	Quadro normativo e stato attuale dello sforzo di pesca	15
3.3	Pescatori professionisti in esercizio.....	16
3.4	Analisi dell'andamento del pescato	16
4	PIANO DELLE ATTIVITÀ	23
5	MATERIALI E METODI	24
5.1	Attività di campionamento e raccolta dati	24
5.1.1	Stazioni di indagine.....	24
5.1.2	Parametri chimico-fisici e chimici.....	24
5.1.3	Zooplankton	25
5.1.4	Fauna ittica	27
5.2	Attribuzione della specie.....	33
5.3	Studio di popolazione	33
5.3.1	Accrescimento ponderale e fattore di condizione.....	33
5.3.2	Attribuzione dell'età	34
5.3.3	Accrescimento lineare	34
5.3.4	Età di prima riproduzione.....	34
5.3.5	Mortalità	35
5.3.6	Curve di selezione delle reti.....	36
5.3.7	Calibrazione della pressione di pesca ottimale	37
6	RISULTATI.....	40
6.1	Parametri chimico-fisici e chimici.....	40
6.2	Zooplankton	44
6.3	Fauna ittica	52
6.3.1	Distribuzione e presenza percentuale dei due coregoni	53
6.3.2	Composizione in specie del campione	55
6.3.3	Accrescimento ponderale e fattore di condizione.....	56
6.3.4	Età e accrescimento lineare	61
6.3.5	Biologia riproduttiva	66
6.3.6	Mortalità	74

6.3.7	Curve di selezione delle reti.....	78
6.3.8	Calibrazione della pressione di pesca ottimale	100
7	DISCUSSIONE	104
8	CONCLUSIONI	111
9	PROPOSTE GESTIONALI	112
9.1	Proposte gestionali dirette	113
9.2	Proposte gestionali indirette	114
10	ProPOSTe di monitoraggio.....	115
11	BIBLIOGRAFIA	116

1 PREMESSA

La scrivente Società è stata incaricata dalla Regione Lombardia - DG Agricoltura - (UO Sviluppo di industrie e filiere agroalimentari, zootecnia e politiche ittiche - Struttura Tutela della fauna ittica, OCM vegetali, politiche di filiera e innovazione) del servizio di assistenza scientifica per il *“Monitoraggio e valutazione della struttura e dinamica delle popolazioni del Coregone Lavarello (*Coregonus morpha hybrida*) e del Coregone Bondella (*Coregonus macrophthalmus*) in termini di densità e di composizione in classi di età nel lago di Como in relazione a fattori ambientali locali”* (Cod. CIG ZAC2D8F7D6).

L'incarico, con decorrenza dalla data di sottoscrizione del Foglio Patti e condizioni del 18/09/2020, ha durata di 24 mesi, con scadenza dunque il 17/09/2022.

Il servizio è finalizzato ad attività di ricerca sul popolamento delle due specie di Coregoni presenti nel lago di Como (*Coregonus morpha hybrida* e *Coregonus macrophthalmus*) tramite il monitoraggio dei principali parametri biologici al fine di valutare lo *status* delle popolazioni, identificare i fattori ambientali negativi alla base del progressivo declino delle consistenze verificatesi negli ultimi anni e proporre strategie gestionali finalizzate al recupero del popolamento di queste specie.

Il presente documento illustra in maniera particolareggiata i risultati del lavoro svolto.

Il progetto prevede anche la realizzazione di un opuscolo divulgativo che sintetizza le attività svolte, i risultati raggiunti e le strategie gestionali proposte in un linguaggio semplice e diretto, corredato da foto e con una grafica efficace.

2 LAGO DI COMO

Il lago di Como, o Lario, è il lago più profondo d'Italia e il terzo per superficie e volume. Esso è suddivisibile in 3 sottobacini con differenti caratteristiche morfologiche e idrodinamiche:

- bacino Nord: profondità massima 270 m (Dervio), tempo di ricambio 8,4 anni;
- bacino Est: profondità massima 135 m (Abbadia Lariana), tempo di ricambio 5,1 anni;
- bacino Ovest: profondità massima 425 m (Argegno), tempo di ricambio 12,7 anni;

L'assenza di un emissario, la profondità elevata (425 m) e la presenza di una soglia, determinano un ricambio idrico più lento per il bacino occidentale, rendendo lo stesso molto più vulnerabile all'immissione di carichi di nutrienti.

Il lago può essere classificato olo-oligomittico, poiché il rimescolamento completo delle acque avviene solo in corrispondenza di inverni freddi e ventosi. Il corpo idrico occidentale, essendo il più profondo, è quello dove gli eventi di piena circolazione si verificano più raramente.

Per la classificazione ecologica e chimica (monitoraggio ARPA), il lago è suddiviso in 2 corpi idrici:

- bacino di Como (occidentale): stazioni di monitoraggio Como e Argegno;
- bacino di Lecco (settentrionale e orientale): stazioni di monitoraggio Dervio e Abbadia Lariana.

Dal punto di vista termico, i monitoraggi hanno evidenziato nel corso degli anni un leggero incremento delle temperature medie sia dell'epilimnio che dell'ipolimnio, in conseguenza del riscaldamento globale, con un trend di incremento stimato per il periodo estivo risultato significativo e pari a 0,032 °C/anno ($p < 0,05$). Anche la stratificazione termica si è rafforzata nel corso di questi decenni (ARPA Lombardia, 2020).

Relativamente al livello di ossigenazione durante l'ultimo decennio, il bacino occidentale ha mostrato una diminuzione della saturazione dell'ossigeno al di sotto dei 200 metri come conseguenza dell'aumento delle temperature esterne; esso ha portato a una diminuzione progressiva dell'altezza dello strato rimescolato, ostacolando il trasferimento dell'ossigeno per moti turbolenti. Questa diminuzione di ossigeno è preoccupante perché potrebbe portare all'instaurarsi di una condizione di meromissi. Fino ad ora l'ossigenazione degli strati profondi del bacino orientale non ha presentato problemi (ARPA Lombardia, 2020).

Durante i mesi estivi, gli strati più superficiali sono interessati da una sovrassaturazione dell'Ossigeno disciolto dovuta all'intensa attività fotosintetica del fitoplancton, osservabile in particolar modo nel bacino di Lecco.

Nel periodo di circolazione primaverile per il dodicennio 2004-2016, il confronto tra i profili di ossigeno e temperatura evidenzia una diminuzione della profondità di mescolamento a partire dal 2006, un aumento della temperatura negli strati profondi (0,5 °C di differenza tra il 2006 ed il 2016) e una forte diminuzione dell'ossigeno disciolto. La piena circolazione, evidenziata dal profilo dell'ossigeno, è stata osservata nel 2005 e 2006, mentre nel biennio 2012-2013 si è verificata omeotermia senza piena circolazione. Anche alla fine della stratificazione è stato osservato un forte calo della concentrazione di ossigeno disciolto e un frequente minimo metalimnico. Risulta, inoltre, evidente una forte stratificazione con gradienti di temperatura e di densità molto elevati (ARPA Lombardia, 2018).

Il parametro chiave per valutare lo stato trofico del lago è quello relativo al fosforo totale alla circolazione primaverile, elemento limitante la produzione algale nel Lario (rapporto tra le concentrazioni di N_{tot} e $P_{tot} > 15$). L'andamento del valore medio (media ponderata sulla colonna) di P_{tot} alla circolazione primaverile, che consente di valutare l'evoluzione trofica a lungo termine del lago, mostra che dalla condizione naturale di oligotrofia, stimata con il metodo proposto da Cardoso *et al.* (2007) nell'ambito del Progetto di ricerca europeo REBECCA (*Relationship Between Ecological and Chemical Status of Surface Waters*) pari a 4 µg/L (ARPA Lombardia, 2020), si è raggiunta la condizione peggiore di eutrofizzazione negli anni '80. A seguito della rimozione del fosforo dai detersivi e degli interventi di risanamento si è assistito a una diminuzione della concentrazione di questo nutriente fino al 1999/2000, dopodiché la situazione non ha subito sostanziali variazioni, assestandosi attorno a valori compresi tra 30 e 40 µg/L P (ARPA Lombardia, 2020). La stazione di Argegno presenta i valori più elevati (oscillando tra i 28 e i 52 µg/L P nell'ultimo decennio) in quanto il fosforo tende ad accumularsi negli strati profondi della colonna d'acqua. Con l'aumento delle temperature medie e la riduzione dello strato rimescolato, l'accumulo è incrementato nel corso degli anni. La stazione di Como invece, anche se caratterizzata da una profondità di soli 100 m, risente dei carichi apportati dai torrenti Cosia e Breggia, che determinano un livello di fosforo totale prossimo ai 30 µg/L. La concentrazione media del lago di

Como in entrambi i bacini è pertanto distante dal limite per il raggiungimento dello stato buono, pari a 15 µg/L P. Le concentrazioni di fosforo misurate alla circolazione primaverile indicano uno stato di piena **mesotrofia, tendente all'eutrofia nella stazione di Argegno**.

I parametri che contribuiscono al calcolo dell'LTL_{eco} sono la trasparenza (media dei valori riscontrati nel corso dell'anno di monitoraggio), l'ossigeno disciolto ipolimnico (media ponderata rispetto ai volumi o all'altezza degli strati, alla fine del periodo di stratificazione) e il fosforo totale (media ponderata rispetto ai volumi o all'altezza degli strati, nel periodo di piena circolazione alla fine della stagione invernale). Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri considerati per il calcolo di LTL_{eco} nei quattro trienni di monitoraggio per ciascuna stazione. Come già accennato, i valori di Fosforo Totale medi annui sono più elevati ad Argegno per l'accumulo negli strati profondi mentre i valori di trasparenza sono inferiori a Como a causa della produzione algale più elevata. In tutte le stazioni e in tutti i trienni di valutazione, il punteggio dell'LTL_{eco} (variabile tra 10 e 11) cade in uno stato SUFFICIENTE. In linea generale, il parametro che determina la classe sufficiente è la concentrazione di Fosforo Totale alla circolazione primaverile.

Tabella 2-1. Valori dei parametri utilizzati per il calcolo dell'LTL_{eco} dal 2009 al 2019 nelle stazioni di Como (COM), Argegno (ARG), Dervio (DER), Abbadia L. (ABB); in rosso i valori al di fuori del valore limite del livello corrispondente allo stato buono: 25 µg/L P, 5,5 m di trasparenza, 40% saturazione (ARPA Lombardia, 2020)

	Ptot µg/L P				Trasparenza (m)				Ossigeno ipolimnico % sat			
	COM	ARG	DER	ABB	COM	ARG	DER	ABB	COM	ARG	DER	ABB
'09	29	39	27	21	5,8	6,0	6,3	7,0	83	61	70	75
'10	24	40	29	26	7,4	6,5	7,6	7,5	77	75	85	82
'11	32	44	26	27	5,6	6,0	7,7	7,3	75	56	61	58
'12	29	41	26	27	5,3	4,2	5,9	6,1	68	85	73	69
'13	33	35	24	25	6,0	5,5	6,8	7,0	70	71	77	79
'14	29	36	17	9	5,6	6,3	5,8	6,2	77	67	78	82
'15	26	40	29	46	5,4	6,5	5,7	5,8	77	62	65	66
'16	8	28	25	28	4,7	6,8	6,3	6,4	77	61	63	70
'17	22	40	25	21	4,5	5,8	4,7	7,5	74	58	77	72
'18	28	36	18	32	4,3	5,7	7,0	6,3	70	53	84	70
'19	29	52	29	28	3,9	5,0	5,7	6,6	66	57	66	62

Nella tabella seguente si riporta la definizione dello STATO ECOLOGICO operata da ARPA sulla base dell'LTL_{eco}, dello stato degli EQB (Elementi di Qualità Biologica Fitoplancton, Macrofite e Fitobenthos, Macroinvertebrati e Pesci) e degli elementi chimici a sostegno per i due bacini. Relativamente allo stato degli EQB, l'elemento che determina la classificazione sufficiente è rappresentato dal Fitoplancton, i cui valori dell'indice IPAM (Metodo italiano di valutazione del fitoplancton) evidenziano un leggero miglioramento nel bacino di Lecco. Occorrerà tuttavia che il livello di Fosforo Totale scenda al di sotto dei 20 µg/L per potere apprezzare qualche cambiamento e raggiungere lo stato buono. Lo stato ecologico del sessennio 2014-2019 si conferma SUFFICIENTE per entrambi i bacini. Lo STATO CHIMICO è sempre stato classificato NON BUONO per il superamento dei limiti di mercurio, cadmio, fluorantene, nichel e benzo(a)pirene. Per quanto riguarda il cadmio le concentrazioni potrebbero essere determinate dalla natura geologica del bacino, mentre per fluorantene e benzo(a)pirene vi sono numerose sorgenti potenziali. Il PTUA 2016 stabilisce il 2027 come termine entro cui raggiungere l'obiettivo di BUONO STATO ECOLOGICO e BUONO STATO CHIMICO.

Tabella 2-2. Stato degli elementi di qualità e stato ecologico per i quattro trienni di monitoraggio.

Corpo idrico	Triennio	Stato LTL _{eco}	Stato EQB	Stato elem. chimici a sost.	STATO ECOLOGICO	Elementi per la classificazione	STATO CHIMICO
Bacino di Como	2009-2011	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2012-2014	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2014-2016	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2017-2019	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
Bacino di Lecco	2009-2011	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2012-2014	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2014-2016	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO
	2017-2019	Suff.	Suff.	Buono	SUFFICIENTE	Fitoplancton, LTL _{eco}	NON BUONO

3 I COREGONI

3.1 Descrizione bibliografica

Si riporta di seguito una descrizione bibliografica delle specie e delle attività di ricerca pregresse.

3.1.1 TASSONOMIA

I Coregoni appartengono alla famiglia dei *Salmonidae*, sottofamiglia *Coregoninae*. Il genere *Coregonus* (Lacépède, 1804) presenta distribuzione oloartica: dalla Siberia, presumibile area d'origine, esso ha colonizzato nuovi ambienti nei periodi interglaciali (Gandolfi *et al.*, 1991) spingendosi fino al limite del versante alpino settentrionale. Attualmente l'areale del genere si estende nella fascia temperata della regione oloartica, compresa tra il 73°N e il 40°N. In Italia, grazie a pratiche di introduzione effettuate alla fine del secolo scorso, il coregone occupa i laghi dell'Italia Settentrionale e i laghi appenninici dell'Italia Centrale, dove lo sviluppo del pelago ne permette l'esistenza.

La definizione della sistematica dei coregoni è complessa, a causa della loro eccezionale plasticità e della grande variabilità riscontrabile nei caratteri fisiologici e morfologici, giustificati sia da differenze genetiche sia dall'ampia gamma di situazioni ambientali in cui questi pesci si sono coevoluti (Himberg, 1970). Una tale capacità d'adattamento ha comportato l'evoluzione di un gran numero di "sibling species" (ovvero specie "sorelle" in quanto morfologicamente simili, ma riproduttivamente isolate).

Sebbene si concordi sulla non autoctonia del Coregone in Italia, non sussiste parere unanime sul suo anno di introduzione nel territorio nazionale: un documento storico del '500 (Hochleithner, 1504; confermato anche da Heller, 1871) testimonierebbe come la specie fosse già presente in quell'epoca nei laghi dell'Alta Val Venosta. Sulla base di queste testimonianze il coregone risulterebbe parautoctono in maniera strettamente limitata ai corpi idrici menzionati.

Grimaldi (1986) sosteneva che le prime immissioni documentate ebbero luogo nel Lago Maggiore, ove furono rilasciate 600.000 e 100.000 uova di Coregone azzurro ("Blaufelchen"; *Coregonus wartmanni coeruleus*) nel 1859 e nel 1861 rispettivamente. Secondo il medesimo autore, questi episodi proseguirono anche nell'ultimo ventennio del secolo, a partire da materiale ittico proveniente in prevalenza dal Lago di Costanza.

Dal 1885 immissioni del medesimo materiale ittico e di medesima provenienza ebbero luogo anche nel Lario.

In precedenza (Berg e Grimaldi, 1965) l'autore fece anche riferimento a immissioni dall'esito ignoto e relative alle specie *C. maraena* (proveniente dal Lago di Madui), *C. schinzii helveticus* (dal Lago di Zug in Svizzera) e addirittura di *C. albus* e *C. clupeaformis* (dal Nord America).

Pochi anni dopo le prime immissioni (1859-1861), Pavese (1871) e Vinciguerra (1895) riferirono come lo scarso controllo esercitato sulle stesse avesse probabilmente comportato l'introduzione involontaria di uova di un altro coregone del Lago di Costanza: il Coregone bianco ("Weissfelchen"; *Coregonus schinzii helveticus*).

Berg e Grimaldi (1965) hanno ipotizzato che le due specie si fossero rapidamente ibridate, originando quello che sarebbe poi stato chiamato *C. lavaretus*, per poi estinguersi altrettanto rapidamente in seguito alla sua diffusione; secondo gli autori ciò sarebbe comprovato dal numero di branchiospine dello stesso, intermedio tra le due specie genitrici.

Per quanto tale conteggio sia stato ritenuto un valido metodo per identificare i *pattern* di ibridazione per i coregonidi (Svardson, 1957), pare che il trend di diminuzione delle branchiospine in *C. lavaretus* osservato nel Lago di Garda da Raunich e Malesani (1982) e nel Lago Maggiore dagli stessi Berg e Grimaldi (1965) suggerisca che il carattere possa essere indipendente dall'ibridazione, ma piuttosto correlato alla disponibilità trofica.

Berg e Grimaldi (1965) si erano avvalsi dell'appellativo "*Coregonus morpha hybrida*", sostenuto poi anche da Negri (1993). Lo stesso Tortonese (1970) concordava sulle origini ibride del Lavarello.

Secondo Kottelat e Freyhof (2007) *C. lavaretus* avrebbe areale esclusivamente svizzero e particolarmente limitato, non essendo correlato alle immissioni avvenute in Italia.

Il Lavarello fu introdotto anche in Italia centrale e meridionale dalla fine del 1800 (Vinciguerra, 1985) e fino al 1940 (de Bonifils, 1980) a partire dalle popolazioni originatesi nei laghi subalpini del Nord Italia.

A prescindere dalla sua origine, AllAD (2021) riconosce formalmente *C. lavaretus* come specie alloctona in Italia, fatta eccezione per i laghi dell'Alta Val Venosta ove risulterebbe potenzialmente parautoctona.

Il Lavarello si è perfettamente acclimatato negli ambienti lacustri italiani: considerato il suo elevato pregio aleutico e gastronomico esso è divenuto anche una delle specie più importanti dal punto di vista dell'economia lacustre.

In seguito a un forte calo del pescato dovuto al peggioramento delle condizioni ambientali e al processo di eutrofizzazione, nel 1950 fu introdotta nel Lago Maggiore un'altra specie di coregone (Tortonese, 1970), nota come Bondella (*Coregonus macrophthalmus*) e proveniente dal Lago svizzero di Neuchâtel (Berg e Grimaldi 1965). L'immissione interessò in seguito anche il Lario (1970-1971-1973; Grimaldi, 1986).

La specie è presente nella Check List 2000 (Carapezza e Faraci, 2007) e nella Check List AllAD (Lorenzoni *et al.*, 2019) come *C. oxyrinchus* (Linnaeus, 1758), in quanto i due appellativi sono stati considerati erroneamente sinonimi in passato (Gandolfi *et al.*, 1991). De Jong *et al.* (2014) riporta tuttavia ancora oggi *C. oxyrinchus* come la specie presente in Italia.

Nel lago di Como e nel Lago Maggiore sono presenti entrambe le "forme" Lavarello e Bondella, che risultano potenzialmente interfeconde (in caso di riproduzione artificiale); per quanto è noto non si ibridino in natura, essendo specie simpatriche, ovvero isolate riproduttivamente da differenze etologiche quali luogo e *timing* di deposizione. Hartmann e Quoss (1982) e Ruhle (1986) hanno suggerito tuttavia che variazioni ambientali potrebbero contribuire all'interfecondità e quindi all'ibridazione delle specie, con conseguente introgressione genetica.

In seguito all'immissione della Bondella nel lago di Como, si è osservato lo stesso fenomeno già avvenuto sul Lago Maggiore: la progressiva affermazione di questa forma rispetto al pre-esistente Coregone Lavarello, sul quale essa ha preso il sopravvento. La sovrapposizione dei relativi spettri alimentari ha condotto primariamente a un'intensa competizione e una conseguente riduzione della popolazione di Lavarello.

Gli aspetti che concorrono al maggior successo riproduttivo della Bondella (rispetto a quello del Lavarello) dipendono:

- dalla deposizione ritardata delle uova, che favorisce l'accrescimento dal punto di vista trofico;
- dalla deposizione in acque profonde anziché litorali (come per il Lavarello), con minore suscettibilità alle marcate oscillazioni invernali di livello del lago, e al bracconaggio durante la deposizione.

Il fattore che ha particolarmente favorito l'espansione della Bondella nel Lario è paradossalmente il suo minore accrescimento rispetto al Lavarello: da uno studio sulla biologia delle due forme nel lago di Como (Negri, 1993) risulta infatti che al secondo anno di età, la lunghezza media del Lavarello è pari a 28,8 cm, mentre la Bondella mostra una lunghezza media di 24,3 cm.

Questo implica una diversa selezione esercitata dalla rete legale (35 mm) sulle classi di età: per il Lavarello la selezione ha inizio nell'autunno del secondo anno di vita (età 1+), mentre per la Bondella ha inizio nell'estate del terzo anno di vita (età 2+). Considerando che per entrambe le specie la prima riproduzione avviene all'età di 2 anni, ne deriva che la classe pre-riproduttiva di Lavarello è almeno parzialmente sottoposta a prelievo, mentre la prima riproduzione della Bondella è totalmente garantita.

Secondo il medesimo studio, le catture di esemplari di Lavarello risultavano pari al 25% del totale dei coregoni pescati nel Ramo orientale, al 3,5% nel Ramo occidentale e al 54% nell'Alto lago. Esso mostrava quindi una maggiore presenza nell'Alto lago, mentre nel Ramo occidentale era presente quasi esclusivamente la Bondella. Ciò è stato posto in correlazione alle peggiori condizioni ambientali del Ramo di Como, che favoriscono la più resistente Bondella, confermando dunque una maggiore sensibilità ambientale del Lavarello. In termini totali, rapportando le suddette percentuali alle superfici dei singoli sottobacini (rispettivamente Ramo orientale 34 Km², Ramo occidentale 47 Km² e Alto lago 64 Km² per una superficie totale di 145 Km²), si ottiene la percentuale di Lavarello per l'intero lago, pari al 30% dei Coregoni totali (Negri, 1993). Un'indagine più recente effettuata nel biennio 2009-2010 (Negri) indica una percentuale di Lavarello inferiore al 25%, confermando che la popolazione di Coregoni del Lario è costituita in prevalenza da Bondella.

3.1.2 MORFOLOGIA

Il coregone possiede un corpo fusiforme e allungato; sezione trasversale ovale e lateralmente compressa; un capo piccolo e appuntito. La bocca, piccola, in posizione infero-mediana, è priva di denti e raggiunge a malapena il bordo anteriore dell'occhio. L'occhio dotato di una pupilla con un margine anteriore molto

pronunciato (dal greco “core” pupilla e “gonia” angolo) è peculiare dei coregoni. La linea laterale è in posizione mediana lungo ai fianchi. Le pinne pettorali e ventrali sono poste leggermente arretrate rispetto alla pinna dorsale e risultano notevolmente appuntite; al pari dei lobi della pinna caudale, nettamente biforcata. Le scaglie sono cicloidi di media grandezza argentate; la livrea varia da blu a olivastro scuro sul dorso e schiarisce progressivamente lungo i fianchi (tipicamente argentei) fino alla regione ventrale (bianca). Le pinne dorsali e la caudale sono ialine con estremi più scuri; le pettorali e ventrali sono giallastre con le estremità nerastre.

Il dimorfismo sessuale si manifesta durante il periodo riproduttivo quando i maschi, più delle femmine, si ricoprono di tubercoli nuziali disposti in file cefalo-caudali.

La differenza morfologica principale tra Lavarello e Bondella è rappresentata dal numero di branchiospine, ovvero delle appendici corneificate che formano un fitto pettine sulla parte interna degli archi branchiali: uno studio comparativo sui coregoni del Lago Maggiore (Berg e Grimaldi 1965) evidenziava un valore medio di 38 unità nella Bondella e di 31 unità nel Lavarello, con una limitata sovrapposizione dei due rispettivi *range* di variabilità. Lo studio di Negri (1993) sui coregoni del Lario mostrava invece una sovrapposizione più ampia di tali valori, rendendo tale conta un metodo piuttosto inaffidabile ai fini dell'attribuzione alle due specie.

Le popolazioni di *Coregonus lavaretus* hanno subito un'evoluzione divergente in molti laghi scandinavi negli ultimi 10.000 anni. Alcune di esse mostrano anche divergenze morfologiche e genetiche che comportano adattamenti a diverse nicchie durante i primi 100-200 anni dopo l'introduzione.

Questa rapida diversificazione osservata in diverse nicchie ecologiche rende il coregone una specie modello utile allo studio della speciazione ecologica e la divergenza precoce della popolazione.

Valutando la divergenza per tre tratti nelle popolazioni di coregoni introdotte di recente, sono stati chiariti i processi che portano alla divergenza fenotipica adattativa e all'isolamento riproduttivo (Johansson, 2017).

Le popolazioni di coregoni di età nota (71-170 anni) sono state campionate sui loro terreni di deposizione delle uova e caratterizzate rispetto a, 1) durata della stagione riproduttiva, 2) segregazione temporale basata sulle dimensioni corporee e 3) segregazione temporale basata sul numero di branchiospine.

La separazione temporale tra le popolazioni può essere importante per lo sviluppo dell'isolamento riproduttivo in popolazioni divergenti (Schluter, 2001). I risultati supportano questa affermazione mostrando che la durata del periodo di deposizione delle uova aumenta con l'età della popolazione, riducendo così la possibilità di accoppiamento tra individui che depongono le uova precocemente e tardivamente.

Se la divergenza continua a svilupparsi in questi sistemi, i periodi di deposizione delle uova di diverse forme saranno separati da periodi di tempo più lunghi e quel flusso genico tra di loro sarà meno pronunciato (Ostbye *et al.* 2005b).

Un possibile meccanismo che potrebbe causare diversi tassi di maturità all'interno di una popolazione, portando così a diverse tempistiche nella deposizione delle uova, è l'esposizione a diverse condizioni ambientali all'interno di un lago (Saksgård *et al.* 2002).

Olhberger *et al.* (2013) hanno modellato gli effetti della variazione di temperatura tra diversi habitat sui tassi di crescita e maturità e hanno mostrato come questa variazione potrebbe produrre segregazione temporale tra individui che utilizzano habitat diversi.

È possibile ipotizzare che i coregoni di taglia inferiore (siano essi esemplari o *morpha*) che di solito sono specialisti pelagici, trascorrono più tempo nelle parti più fredde del pelago rispetto alle forme di taglia maggiore, che trascorrono la maggior parte del tempo in zone litoranee meno profonde e più temperate. Questa differenza nella temperatura dell'habitat dovrebbe portare a uno sviluppo più lento delle gonadi nella forma di taglia inferiore e condurre ad un accesso ritardato ai letti di frega rispetto a quello della forma più grande. Pertanto, la crescente durata della stagione riproduttiva potrebbe essere spiegata da una varia esposizione a zone di temperatura separate all'interno di un lago a causa della maggiore specializzazione per questi habitat (in questo caso le zone pelagiche e litoranee).

Le osservazioni relative alle popolazioni più vecchie di coregone supportano questa ipotesi in quanto gli esemplari di taglia minore spesso maturano più tardi nella stagione rispetto a quelli di taglia maggiore (Saksgård *et al.* 2002).

Un'altra evidenza a supporto di questa ipotesi è la diminuzione della lunghezza degli individui durante il periodo di deposizione delle uova nelle popolazioni più vecchie, poiché la lunghezza è altamente correlata all'uso dell'habitat.

Questa correlazione tra dimensioni corporee e uso dell'habitat è stata mostrata da Kahilainen *et al.* 2007 secondo cui gli esemplari di taglia inferiore trascorrono più tempo nel pelago e gli individui più grandi preferiscono le zone litoranee, nelle popolazioni simpatriche di coregone.

Nei laghi che ospitano popolazioni più giovani, dove la divergenza adattativa ha avuto meno tempo per svilupparsi, non si osserva questa tendenza.

In altri Salmonidi il periodo di deposizione delle uova è risultato ereditabile geneticamente (Sakamoto *et al.* 1999), cosa che se si rivelasse vera per il coregone, potrebbe rafforzare ulteriormente i processi che guidano la separazione temporale durante la deposizione delle uova.

Questo studio mostra che le popolazioni (e presumibilmente anche *morpha*) simpatriche possono divergere morfologicamente in maniera abbastanza rapida.

3.1.3 ACCRESCIMENTO

L'unico carattere diagnostico che distingue le due specie è la taglia, che nel Lavarello raggiunge anche i 55 cm di lunghezza mentre nella Bondella al massimo i 40 cm. Nel Lario il Lavarello mostra un accrescimento nettamente superiore rispetto alla Bondella, con una lunghezza media di 28,8 cm al secondo anno di vita contro i 24,3 cm della Bondella. La distribuzione delle lunghezze medie per classi di età è riportata nella tabella seguente (Negri, 1993).

Tabella 3-1. Distribuzione delle lunghezze medie per classi di età per Lavarello e Bondella (Negri, 1993)

Età	LAVARELLO		BONDELLA	
	Lunghezza (cm)	Deviazione standard	Lunghezza (cm)	Deviazione standard
1	19,3	1,6	11,9	1,6
2	28,8	1,2	24,3	1,8
3	34,4	1,4	29,4	1,8
4	36,6	1,7	32,3	1,7
5	40,5	1,6	35,5	1,6
6	43,2	0,9	38,0	

Sulla base di tali valori Negri (1993) ha calcolato le curve di accrescimento lineare annuale delle due specie che risultano, secondo Von Bertalanffy (Figura 3-1):

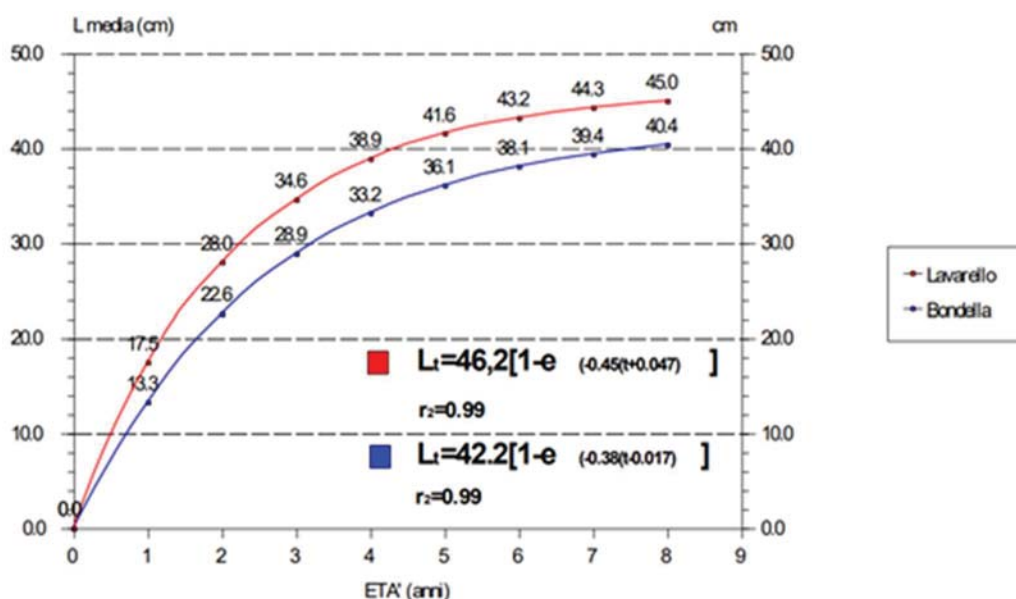
$L_t = 46,2 [1 - e^{(-0,45 (t+0,047)}]$ per il Lavarello,

$L_t = 42,4 [1 - e^{(-0,38 (t+0,017)}]$ per la Bondella.

L'accrescimento diviso per sessi segnala un incremento maggiore per le femmine a partire dal terzo anno di vita. Il periodo di accrescimento inizia ad aprile e termina a settembre per il Lavarello e a ottobre per la Bondella. In relazione alla più precoce riproduzione (dicembre anziché gennaio), il Lavarello mostra un accrescimento più elevato da aprile a luglio, mentre la Bondella da agosto a ottobre (Negri, 1993).

Poiché Lavarello e Bondella risultano difficilmente distinguibili sulla base delle caratteristiche morfologiche esterne, sono stati individuati dei metodi che permettessero una rapida e attendibile separazione dei due coregoni. In passato per altri laghi è stato utilizzato il metodo delle branchiospine poiché il loro numero è mediamente superiore nella Bondella rispetto al Lavarello, e questa caratteristica sembrava rappresentare un valido carattere tassonomico per la distinzione dei due coregoni. Il metodo si è però dimostrato scarsamente predittivo per i coregoni lariani, che presentano un'ampia sovrapposizione nei valori conteggiati, oltre ad essere particolarmente impegnativo in termini di tempo. La sostanziale differenza di accrescimento tra Lavarello e Bondella può essere utilizzata per la separazione dei due coregoni, analizzando la distribuzione delle lunghezze a parità di età che porta all'individuazione di due curve di frequenza separate: la prima appartiene alla Bondella (minore accrescimento) e la seconda al Lavarello (maggiore accrescimento) (Negri, 1993).

Figura 3-1. Confronto dell'accrescimento lineare teorico annuale di Lavarello e Bondella nel lago di Como (Negri, 1993)



Oltre a queste considerazioni specifiche per le popolazioni di coregoni del Lario, è possibile effettuare alcune osservazioni a carattere generale relativamente al rapporto tra accrescimento e trofia delle acque.

L'eutrofizzazione antropogenica dei laghi temperati è stato uno dei fenomeni dominanti durante la seconda metà del 20° secolo (Smith *et al.*, 1999; van Raaphorst e de Jonge, 2004). I cambiamenti nelle condizioni trofiche possono influenzare le popolazioni ittiche in vari modi (Colby *et al.*, 1972; Numann, 1972; Downing *et al.*, 1990); è dunque imperativo che qualsiasi studio delle potenziali risposte evolutive indotte dalla pesca negli stock lacustri d'acqua dolce tenga conto anche delle tendenze trofiche (Wright, 2007).

Il Lago di Costanza ha offerto l'opportunità di studiare gli effetti combinati dei cambiamenti nello stato trofico del lago e di una pesca intensiva sui tratti della storia della vita di *Coregonus lavaretus*. Esso è stato oggetto di eutrofizzazione antropogenica seguita da re-oligotrofizzazione durante la seconda metà del secolo scorso, e lo stock di coregone è stato intensamente pescato in modo strettamente selettivo negli ultimi decenni.

Uno studio pubblicato di recente ha dimostrato l'effetto combinato degli interventi umani sugli stock di coregone in questo corpo idrico, documentando la crescita in un periodo di 43 anni (Thomas e Eckmann, 2007) e mostrando come la stessa sia significativamente correlata alla trofia del lago, soprattutto durante il secondo anno di vita.

La crescita e l'investimento energetico sulla riproduzione dipendono entrambi dall'approvvigionamento alimentare *pro capite*, un parametro che è a sua volta influenzato dalla trofia lacustre e dalla biomassa degli stock permanenti (quest'ultimo rappresenta una misura della competizione intraspecifica per il cibo).

Si conclude pertanto che tali elementi possono concorrere alla riduzione dell'accrescimento realizzato dai coregoni.

3.1.4 BIOLOGIA RIPRODUTTIVA

Lavarello e Bondella appartengono alla categoria dei Coregoni pelagici. Da giugno a settembre si posizionano nel pelago a profondità crescente in modo da evitare le temperature troppo elevate delle acque epilimniche e posizionarsi a livello del termoclino o poco sotto. In autunno, con il progressivo attenuarsi della stratificazione termica, i Coregoni dilatano la loro distribuzione verticale giungendo sino a oltre 30 metri di profondità.

Nella fase antecedente al periodo riproduttivo, il Lavarello si porta in superficie per prepararsi alla riproduzione, che avviene a dicembre di notte in acque basse, con predilezione per substrato da ghiaioso a sabbioso. La Bondella, si riproduce invece in gennaio, nella zona sublitorale e a una profondità tra i 35 e i 100 m (FLA – Regione Lombardia, 2020). Ne deriva che nelle due forme la capacità riproduttiva è inficiata da fattori differenti:

- bracconaggio e abbassamento di livello del lago per il Lavarello;
- eventuale carenza di ossigeno disciolto negli strati profondi per la Bondella.

Le uova del Lavarello sono giallastre e hanno un diametro di circa 2,5 mm; dopo la fecondazione le uova affondano e giacciono tra gli interstizi del substrato fino alla schiusa. L'incubazione è molto lunga, circa 50-60

giorni, alla fine dei quali si schiudono delle piccole larve (10-12 mm) che non sono in grado di compiere spostamenti, e restano nascoste per circa 10-20 giorni (fino al riassorbimento del sacco vitellino).

Le uova della Bondella sono di colore giallastro e hanno un diametro variabile da 1,9 a 2,4 mm; vengono deposte in depressioni scavate dai riproduttori. Dopo la fecondazione penetrano tra gli interstizi del substrato dove restano fino alla schiusa. Lo sviluppo embrionale richiede da 35 a 60 giorni a seconda della temperatura dell'acqua. Alla nascita le larve misurano 9-11 mm, restano tra la ghiaia fino al riassorbimento del sacco vitellino, per poi acquistare mobilità e iniziare a svolgere vita pelagica.

La prima riproduzione avviene per entrambe le specie al secondo anno di vita, anche se per la Bondella la percentuale di maturazione della prima classe riproduttiva è del 75-80% (Negri, 1993). Per il Lavarello e la Bondella, sempre secondo Negri (1993), il numero medio di uova per femmina (fecondità assoluta) è pari rispettivamente a:

- 8.400 e 5.600 a 2 anni,
- 19.700 e 10.100 a 3 anni,
- 26.800 e 19.800 a 4 anni.

Considerando invece la fecondità relativa, il potenziale riproduttivo generale medio riferito alla Bondella è pari a 48.500 uova/kg di pesce, mentre per il Lavarello è pari a 47.700 uova/kg di pesce.

Nella bibliografia di settore è possibile individuare esempi di studio (Thomas *et al.*, 2008) che correlassero i tratti riproduttivi dei coregoni, come la fecondità o il peso delle uova, allo sforzo di pesca e alle variazioni di trofia.

I cambiamenti nei tratti riproduttivi del coregone pelagico femmina che depone le uova nell'Alto Lago di Costanza negli ultimi decenni sono correlati in modo significativo all'età degli esemplari, alle loro dimensioni e alla concentrazione di Fosforo del lago, variata negli ultimi decenni a causa dell'azione umana.

Anche la composizione per età e dimensioni dello *stock* femminile è stata influenzata dalle pressioni di una pesca intensiva e altamente selettiva.

Il peso delle uova è risultato fortemente correlato all'età delle femmine e molto meno alla concentrazione di Fosforo. La forte influenza dell'età delle femmine sul peso delle uova è spiegabile a partire dalla necessità degli esemplari giovani di investire primariamente l'energia disponibile nella crescita somatica per aumentare la propria taglia e sfuggire ai predatori (Pedersen, 1997). Non appena il rischio di predazione diminuisce con l'aumentare delle dimensioni corporee, una frazione crescente dell'energia disponibile può quindi essere investita nella riproduzione, attraverso una maggiore fecondità e/o un aumento del peso dell'uovo.

I pesci giovani generalmente producono uova più piccole rispetto agli individui più anziani (Hislop, 1988).

I coregoni alla prima deposizione producono solitamente uova di qualità inferiore rispetto a quelli che si riproducono da almeno una stagione (Kamler *et al.*, 1982).

Un altro aspetto meritevole di approfondimento è quello per il quale i cambiamenti quantitativi nell'alimentazione del coregone influenzano il peso delle uova in misura secondaria. Il tasso di crescita del coregone che depone le uova pelagiche negli ultimi decenni ha risposto marcatamente ai cambiamenti nella concentrazione di Fosforo e ancora più fortemente ai cambiamenti nella biomassa degli *stock* (Thomas e Eckmann, 2007).

Si era quindi tentati di supporre che il peso delle uova potesse rispondere in modo simile ai cambiamenti nell'alimentazione del coregone, basandosi su evidenze ampiamente accettate per le quali:

- da grandi uova schiudano larve più grandi di quelle provenienti da piccole uova (Springate e Bromage, 1985; Elpers, 1988);
- le grandi dimensioni delle larve conferiscano una varietà di vantaggi che aumentano la probabilità di sopravvivenza (Hare e Cowen, 1997) quali precocità del nutrimento autonomo (Gisbert *et al.*, 2000), un maggiore volume di acqua esplorata in predazione (Webb e Weihs, 1986), ingestione di prede più grandi e quindi spettro di prede più ampio (Hunter, 1981), rischio di predazione ridotto (Fuiman *et al.*, 2006).

Nel caso del coregone pelagico oggetto di studio, la qualità delle uova (cioè il loro peso) è risultata correlata all'età materna, ma non alle variabili utilizzate per rappresentare l'approvvigionamento alimentare *pro capite*. Questo risultato concorda con le osservazioni di Zijlstra (1973), che ha confrontato le uova di aringa prodotte in anni con una diversa disponibilità di cibo e non ha trovato alcuna influenza dell'approvvigionamento alimentare sul peso delle uova.

Le larve di coregone si schiudono durante la seconda metà di febbraio dopo un tempo di incubazione di circa 70 giorni, che è tra i periodi di embriogenesi più brevi del genere (Eckmann, 1987). Quando le larve arrivano

in superficie dopo la loro risalita dal fondo del lago, la temperatura è generalmente bassa e il cibo è scarso poiché il *turnover* primaverile di solito non avviene fino alla fine di febbraio. La capacità delle larve di resistere alla mancanza di cibo, è tuttavia tra le più alte mai segnalate per i Coregonidi (Eckmann e Pusch, 1991), consentendo loro di colmare il divario tra la schiusa e il miglioramento delle condizioni trofiche in aprile o all'inizio di maggio.

Queste peculiari condizioni limnologiche hanno probabilmente prevalso dalla colonizzazione dei laghi subalpini da parte del coregone dopo l'ultima glaciazione, e senza dubbio impongono una forte pressione selettiva.

È ragionevole supporre che queste condizioni favoriscano l'investimento nel peso delle uova rispetto al numero di uova, al fine di aumentare la resistenza alla fame e quindi le possibilità di sopravvivenza delle larve appena nate. Un ridotto apporto di cibo per il coregone femmina adulto si traduce quindi in una ridotta fecondità piuttosto che in un minore peso delle uova, mentre un migliore approvvigionamento alimentare si traduce in una maggiore fecondità con il peso delle uova che rimane in gran parte invariato per le femmine di età simile. Quando la maggior parte dei pesci in una popolazione deriva da uova incubate, la forza evolutiva verso una maggiore resistenza alla fame e quindi il mantenimento di uova di grandi dimensioni potrebbe essere indebolita. Heath *et al.* (2003) hanno riscontrato una diminuzione delle dimensioni delle uova nelle popolazioni di salmoni che affrontano un alto grado di allevamento con larve provenienti da incubatoi. La stima recentemente ottenuta per il Lago di Costanza, secondo cui negli ultimi anni circa il 60% del coregone adulto proverrebbe da incubatoi, non esimerebbe la popolazione da pressioni selettive naturali che favoriscono un elevato peso delle uova in quanto il restante 40% dei pesci sarebbe comunque di origine selvatica.

Un inizio ritardato della primavera selezionerebbe ancora per le larve con maggiore resistenza alla fame.

È lecito attendersi dunque una diminuzione della selezione del peso delle uova qualora il *global warming* comporterà l'anticipo del periodo primaverile e se i programmi di *restocking* intensivi permarranno.

Questo aspetto meriterebbe un'analisi più approfondita per quanto concerne sia lo stock di Lavarello del lago di Como, sia le attività ittogeniche che lo interessano.

L'altro tratto riproduttivo d'interesse correlato alle variazioni della trofia e agli effetti del prelievo da parte della pesca professionale è la fecondità.

Il risultato dell'analisi della fecondità del coregone del Lago di Costanza (Thomas *et al.*, 2008), supporta le precedenti conclusioni di Hartmann e Quöß (1993), secondo i quali la fecondità relativa è fortemente legata al contenuto di Fosforo del lago.

L'eutrofizzazione antropogenica negli anni 1960 e 1970 ha portato ad un aumento controllato della biomassa dal basso verso l'alto a tutti i livelli trofici, incluso lo zooplancton pelagico. L'aumento dell'offerta di cibo per il coregone (zooplanctivoro) ha portato ad una crescita somatica accelerata. L'effetto è stato potenziato dalla biomassa dei livelli trofici inferiori (Thomas e Eckmann, 2007). Oltre alla crescita somatica, il coregone è stato anche in grado di investire più energia nella riproduzione, in termini d'incremento della fecondità.

Il motivo per cui la biomassa degli stock, che influenza l'approvvigionamento alimentare *pro capite* a mezzo della concorrenza intraspecifica, risulta correlata alla crescita somatica (Thomas e Eckmann, 2007) ma non alla fecondità, rimane poco chiaro.

Uno studio su *Coregonus albula* (Sarvala *et al.*, 1992) ha dimostrato al contrario come la biomassa abbia avuto effetto sulla fecondità.

Nello studio già presentato e relativo al Lago di Costanza (Thomas *et al.*, 2008), l'aumento complessivo della fecondità nel tempo è maggiore di quanto possa essere spiegato dal solo aumento della trofia del lago. Questo risultato suggerisce una risposta evolutiva in termini di dimensioni dello stock in oggetto a decenni di pesca selettiva.

Sebbene lo sforzo di pesca sia chiaramente diminuito durante il periodo di studio e la dimensione della maglia legale non sia variata, la selezione della taglia è verosimilmente pari agli anni precedenti.

Questa nozione è supportata da verifiche mensili della pesca, che evidenziano una quasi assenza di catture con maglie superiori a quelle legali.

Il fatto che la selezione della taglia sia ancora elevata malgrado il minore sforzo di pesca dipende probabilmente dalla riduzione del tasso di crescita del coregone, che rende gli esemplari catturabili per un tempo più lungo, annullando la maggiore probabilità di sopravvivenza dovuta alla riduzione dello sforzo di pesca.

È ipotizzabile che la pesca selettiva catturi preferenzialmente le femmine dall'accrescimento più rapido, destinando energia alla riproduzione solo in seguito a tale accrescimento: ciò favorirebbe l'espressione del *pool* genico delle femmine che maturano a taglia inferiore.

Il secondo possibile effetto della pesca selettiva è un aumento della fecondità (Rijnsdorp *et al.*, 2005), effetto che dovrebbe essere più pronunciato negli *stock* relativamente maturi (Thomas e Eckmann, 2007).

In queste condizioni, le femmine che assegnano precocemente una frazione maggiore di energia alla riproduzione, producono più uova migliorando il proprio successo riproduttivo: il vantaggio della tattica alternativa (ovvero quella che destina tutta l'energia disponibile alla crescita somatica e investe nella riproduzione solo quando è stata raggiunta una certa dimensione corporea), viene effettivamente annullato dalla pesca selettiva delle dimensioni.

La selezione per una maggiore fecondità avviene a livello fenotipico, ma si può presumere che la fecondità abbia una base genetica. Diversi decenni di prelievo selettivo delle dimensioni potrebbero comportare la selezione per un'elevata fecondità.

Oltre allo sfruttamento intensivo della pesca, nel Lago di Costanza esiste probabilmente un secondo meccanismo che guida la selezione all'aumento della fecondità, ovvero il progressivo aumento del *restocking*, iniziato più di un secolo fa nel lago (Rosch, 1993); il numero di larve allevate annualmente è altresì aumentato costantemente fino al livello attuale (circa 400 mln di esemplari all'anno secondo Straile *et al.*, 2007).

Le uova sono ottenute da riproduttori catturati con reti da posta di dimensioni di maglia legali, per le quali le femmine con una circonferenza corporea maggiore hanno anche maggiore probabilità di immagliamento. Una maggiore fecondità si traduce in una circonferenza corporea più grande, che contribuisce ad aumentare la catturabilità delle femmine con maggiore fecondità: esse contribuiscono così maggiormente alla coorte di allevamento per la primavera successiva.

Questo concetto è supportato da uno studio di Hay *et al.* (1986), che ha riferito che le aringhe mature con GSI più alto hanno maggiori probabilità di essere catturate nelle reti da posta rispetto ai pesci con GSI inferiore.

Le uova ottenute vengono incubate in condizioni ottimali, pertanto la mortalità prima della schiusa è tipicamente intorno al 30% e significativamente inferiore a quella delle uova deposte naturalmente sul fondo del lago (Numann e Quoß 1972; Straile *et al.*, 2007). Un recente studio che utilizza la marcatura dell'alizarina delle larve dell'incubatoio ha suggerito che oltre il 60% della coorte di coregone del 2003 nel Lago di Costanza provenisse da incubatoi (Eckmann *et al.*, 2006). Il rapporto tra il numero di riproduttori selvatici e il numero di riproduttori catturati nella pesca riproduttiva variava da 1:0,85 (1996) a 1:23,5 (1967) durante il periodo dell'indagine.

L'analisi ha mostrato che negli ultimi anni solo circa il 6% dello stock di riproduttori viene catturato nella pesca finalizzata alla riproduzione artificiale, ma la loro prole probabilmente contribuisce per almeno il 60% al reclutamento complessivo (Eckmann *et al.*, 2006). Tenendo conto che tale 6% di riproduttori non è assortito casualmente per fenotipi (e genotipo), ma selezionato in base alle dimensioni/circonferenza corporea dalla pesca con reti, un effetto sulla composizione del *pool* genico è certamente probabile.

Le azioni di ripopolamento potrebbero costituire un potente meccanismo per una selezione genetica a favore dell'elevata fecondità, ottenuta a scapito della crescita somatica. In un precedente studio sulla crescita del coregone negli ultimi cinquant'anni (Thomas e Eckmann, 2007), sono state fornite prove di una risposta evolutiva del coregone del Lago di Costanza rispetto alla pesca selettiva delle reti da imbrocco.

Risposte simili sono già state dimostrate per diverse specie di pesci marini fortemente sfruttate, ad esempio il merluzzo (Hanson e Chouinard, 1992; Swain *et al.*, 2007).

In conclusione, i risultati ottenuti in passato e riguardanti l'accrescimento della specie sul lago sono stati integrati con quelli del presente studio per verificare la sussistenza di risposte evolutive messe in atto dallo stock di coregone rispetto alla pesca selettiva.

La pesca selettiva (per taglia) conduce al rallentamento della crescita, a una maturazione più precoce (finora non verificata in maniera sito specifica) e a un aumento della fecondità. Poiché una maggiore fecondità può essere ottenuta solo al costo di una ridotta crescita somatica (con il peso delle uova che rimane invariato), c'è una duplice pressione selettiva verso il rallentamento della crescita.

Inoltre la pesca selettiva dei riproduttori da destinare alla riproduzione artificiale seleziona le femmine con la circonferenza corporea maggiore, cioè quelle con maggiore fecondità, la cui cattura è massimizzata: in questa maniera il programma di ripopolamento intensivo tende a guidare l'evoluzione verso una maggiore fecondità e una crescita più lenta.

Per le ragioni presentate in precedenza e quanto verrà esposto in seguito in relazione all'accrescimento dei coregoni del lago di Como, è opportuno che aspetti quali il peso delle uova e la fecondità delle due specie vengano ulteriormente approfonditi.

3.1.5 ALIMENTAZIONE

Entrambe le forme di coregone mostrano un regime alimentare prevalentemente zooplanctofago. Sono stati osservati 4 periodi stagionali con fasi alimentari distinte (Negri, 1993):

- FINE INVERNO: prevalenza di copepodi con *Eudiaptomus padanus* e *Cyclops abyssorum*; comparsa di *Daphnia hyalina*.
- PRIMAVERA: netta prevalenza dei cladoceri con la specie *D. hyalina*; presenti ancora i copepodi.
- ESTATE: durante il periodo estivo nel popolamento zooplanctonico compaiono i predatori invertebrati (*Leptodora kindti* e *Bythotrephes longimanus*) e la predazione dei Coregoni si rivolge quasi esclusivamente a queste due specie di Cladoceri di grandi dimensioni, con prevalenza su *Leptodora*.
- AUTUNNO: circa il 50% dei contenuti gastrici è rappresentato ancora dai predatori invertebrati. Ricomparsa dei Cladoceri *D. hyalina* e, in misura minore, *Eubosmina Coregoni* nonché una percentuale minima di copepodi (*E. padanus* e *C. abyssorum*).

La concentrazione di zooplancton, correlata alla produttività primaria del sistema, rappresenta un fattore chiave per la sopravvivenza delle larve (Hoagman 1973 in Rellstab *et al.*, 2004). Secondo Rellstab *et al.* (2004), la contrazione della popolazione di coregonidi e la conseguente diminuzione della resa di pesca nel Lago di Lucerna potrebbero essere correlate alla re-oligotrofizzazione delle acque lacustri. È stato di fatto ipotizzato che la mortalità larvale del Lavarello sia inversamente correlata alla disponibilità di zooplancton durante le prime fasi dello stadio larvale. Evidenze sperimentali mostrano una mortalità superiore al 40% con concentrazioni di zooplancton inferiori a 20 ind/l. Evidente risulta la correlazione tra la diminuzione della concentrazione di Fosforo totale (alla circolazione primaverile) verificatasi a partire dalla fine degli anni '80 nel Lago di Lucerna (oggi stabile a circa 5 µg/l dal 1995) e la diminuzione della prima classe di età di Lavarello (Rellstab *et al.*, 2004).

La schiusa delle uova avviene in febbraio-marzo, quando la concentrazione di zooplancton è molto bassa. Le larve rimangono presso la superficie e dopo 2-3 settimane, durante le quali hanno già cominciato ad alimentarsi con zooplancton, il sacco vitellino si è completamente riassorbito (Rellstab *et al.*, 2004).

Il Lavarello è altamente selettivo, preferendo nauplii (primo stadio larvale dei crostacei) e Copepodi (Einsele 1941, 1965, Hoagman 1973, Hartmann e Klein 1993, Ponto e Müller 1988 in Rellstab *et al.*, 2004). Le sue larve tendono ad alimentarsi vicino alla superficie (Ponton e Muller 1989), dove la densità di zooplancton nello strato 0-20 m rappresenta il 35%-70% di quella nello strato 0-100 m (Rellstab *et al.*, 2004).

Comparando crescita e mortalità in esperimenti di alimentazione con *Artemia*, Rellstab *et al.* (2004) concludono che le larve originate da un'incubazione più lunga (per le temperature inferiori) mostrano migliori tassi di sopravvivenza e accrescimento. È noto che la produttività dei laghi profondi è direttamente collegata alla circolazione termica invernale, che riporta nello strato fotico i nutrienti confinati nell'ipolimnio in seguito ai processi di sedimentazione. Il riscaldamento globale potrebbe quindi influire negativamente sulla produttività dei laghi prealpini, in particolare sulla componente planctonica (Negri, 1993).

3.1.6 MORTALITÀ

La Mortalità totale è la sommatoria della mortalità da pesca e della mortalità naturale (predazione, malattie, ecc.). Il tasso di mortalità totale annuale per il Lavarello è compreso tra il 93% e il 95% dal 2° al 3° anno, mentre scende al 46% dopo il 4° anno. Il tasso di mortalità totale annuale per la Bondella è compreso tra l'83% e il 91% dal 2° al 4° anno (Negri, 1993).

Tale diversità è facilmente spiegabile se si considera la selezione operata dalla rete legale 35 mm sul lago di Como. A causa, infatti, del più rapido accrescimento del Lavarello, già al 4° anno di età la percentuale di esemplari selezionabile dalla rete di 35 mm (perimetro della maglia 140 mm) è solamente il 38%. Ciò è determinato dalla circonferenza opercolare che, superando i 140 mm, ne impedisce l'immagliamenti. A causa del più lento accrescimento, la Bondella entra nella selezione della rete legale solo a partire dal 3° anno di vita (giugno 2+) e permane nella selezione della rete legale per diversi anni. Per tale motivo, negli anni successivi al 3° il tasso di mortalità annuale si mantiene relativamente costante (84%) (Negri, 1993).

Lo stesso Negri ha stimato il valore medio della Mortalità naturale in 0,61 per entrambe le specie, secondo il modello di Richter, che corrisponde a una sopravvivenza annuale pari al 55% delle classi non soggette a pesca (Negri, 1993).

3.2 Quadro normativo e stato attuale dello sforzo di pesca

In Regione Lombardia l'esercizio della pesca dilettantistica e professionale è normato dalla **Legge Regionale 5 dicembre 2008, n. 31** "Testo unico delle leggi regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale (TITOLO IX Disposizioni sull'incremento e la tutela del patrimonio ittico e sull'esercizio della pesca nelle acque della Regione)" e dal **Regolamento regionale 15 gennaio 2018, n. 2**, regolamento di attuazione del suddetto titolo IX.

Con **Decreto n° 6105 del 3 maggio 2018**, come previsto all'art. 12 e all'art.13 del RR 2/2018, la Regione ha approvato per ciascun **bacino di pesca** le specifiche tecniche di dettaglio sulle modalità di pesca in base alle peculiarità degli habitat e individuato i corpi idrici in cui è consentita la pesca professionale, stabilito gli attrezzi per la pesca professionale consentiti e le modalità di utilizzo dei medesimi. Successive modifiche sono state apportate con D.d.s. n. 7257 del 21 maggio 2018 e D.d.s. 12 dicembre 2018 - n. 18604, abrogato poi dal **D.d.s. 14 dicembre 2020 - n. 15698** "Approvazione delle specifiche tecniche di dettaglio sulle modalità di pesca e di esercizio della pesca professionale nel bacino n. 5 Verbano Ceresio e Lario. R.r. n.2 del 15 gennaio 2018; entrato in vigore il 1° gennaio 2021" e dal **D.d.s. 21 dicembre 2021 - n° 17860** "Approvazione delle specifiche tecniche di dettaglio sulle modalità di pesca e di esercizio della pesca professionale nel bacino n. 5 Verbano Ceresio e Lario. rr n.2 del 15 gennaio 2018".

Il lago di Como, classificato come acque di tipo A, rientra nel "**Bacino n° 5 - Verbano Lario Ceresio**". Il bacino comprende la porzione lombarda dei Laghi Verbano, Ceresio, Lario e i laghi Mezzola, Garlate e Olginate, Varese, Comabbio, Monate, Montorfano, Alserio, Segrino, Piano, Pusiano, Annone, con i loro tributari, il Fiume Adda immissario nel tratto compreso fra il Lario e il confine con la provincia di Sondrio, il Fiume Adda emissario fino al nuovo Ponte ferroviario del Lavello, il Fiume Ticino fino al ponte di Sesto Calende, il Fiume Olona fino al ponte di Vedano e il fiume Lambro fino al ponte di Nibionno sulla Sp 342.

Relativamente alla pesca sportiva, per i coregoni valgono le seguenti limitazioni:

- **Periodo di divieto:** dal 1° novembre al 31 gennaio
- **Misura minima:** 30 cm
- **Numero massimo capi giornalieri:** 10

La pesca professionale sul lago di Como è vietata dalle ore 8.00 della domenica alle ore 8.00 del lunedì: gli attrezzi specifici o potenzialmente impiegabili anche per la cattura dei coregoni e le norme per il loro impiego sono riportati nella tabella seguente (D.d.s. 14 dicembre 2020 - n. 15698).

Tabella 3-2. Elenco e norme d'uso degli attrezzi di pesca professionale consentiti sul lago di Como, previsti dal D.d.s. 14 dicembre 2020 - n. 15698 specifici o potenzialmente impiegabili anche per la cattura dei coregoni

Rete	Lunghezza max	Altezza max	Lato maglia	Periodo di divieto
A) Reti del tipo "a circuizione"				
Acquedo mm. 30	m. 220	maglie 800	≥ mm. 30	dal 15 MAG al 31 AGO dal 1 NOV al 31 GEN
Acquedo mm. 40	m. 200	maglie 900	≥ mm. 40	dal 15 NOV al 31 GEN
B) Reti "volanti"				
Oltana per pesce Siluro e Lucioperca	m. 700	m. 10	≥ mm. 80	L'uso di questa rete è consentito dalle ore 16.30 alle ore 8.00 e vietato durante il periodo di protezione della trota e del Lucioperca.
Oltana per coregoni	21.000 maglie* La lungh. max delle reti in cubia a disposizione per ciascun pescatore deve essere posata in un'unica tesa	m. 9	= mm. 35	dal 1 NOV al 31 GEN Tra 15 MAG e 15 GIU deve essere posata, o trovarsi in azione di pesca, a una distanza di almeno 100 m da riva. Tra 1 OTT e 1 NOV uso vietato dalle ore 12.00 del martedì alle ore 12.00 del mercoledì.
C) Reti "da posta"				
Oltana	21.000 maglie*	m. 9	≥ mm. 35	dal 1 NOV al 31 GEN dal 1 MAG al 30 GIU Tra 1° LUG e 30 SET uso consentito dalle ore 17.30 alle ore 8.00.

Rete	Lunghezza max	Altezza max	Lato maglia	Periodo di divieto
				Tra 1 OTT e NOV uso vietato dalle ore 12.00 del martedì alle ore 12.00 del mercoledì.
D) Reti “da fondo”				
Oltana	21.000 maglie*	m. 9	= mm. 35	dal 1 NOV al 31 GEN
E) Reti del tipo “tremaglio”				
Tremaglio per tutti i pesci	m. 300	m. 1,50	lato maglia rete interna ≥ mm. 30	dal 1 MAG al 30 GIU e da 1 NOV al 31 GEN Tra 30 GIU e 30 SET uso consentito dalle ore 17.30 alle ore 8.00

* tale limite va inteso come limite cumulativo per le reti oltane usate in cubia, da posta e a fondo

Tenendo conto della rappresentatività assolutamente preponderante delle reti “volanti” per la pesca dei coregoni nel lago di Como, la trattazione farà in seguito riferimento generico alla maglia da 35 mm come principale strumento di selezione della taglia del pescato.

3.3 Pescatori professionisti in esercizio

Il Regolamento n. 86 per la limitazione del numero di pescatori di professione operanti nelle acque del Lario, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 28 del 16-04-2012 fissa a 80 unità il numero massimo di pescatori di professione che possono operare sul Lario, dove sono ammessi ad esercitare l'attività di pesca professionale esclusivamente i soggetti in possesso della licenza prevista dalle norme vigenti e iscritti nell'apposito elenco dei pescatori di professione del Lario, istituito congiuntamente dalle Province di Como e Lecco.

Nella tabella seguente si riporta il numero di pescatori professionisti che esercitano sul Lario dal 2008 ad oggi. Dai dati risulta un'attuale diminuzione sforzo di pesca negli ultimi 5 anni, dopo una leggera tendenza all'aumento nel decennio scorso. La quantificazione dello sforzo di pesca effettivo risulta estremamente complessa, in quanto non tutti i professionisti praticano a tempo pieno, calando inoltre metrature di reti differenti tra loro.

Tabella 3-3. Numero di pescatori professionisti che esercitano sul lago di Como

2008-09	2011	2012	2014	2016	2020
69	72	73	77	74	61

3.4 Analisi dell'andamento del pescato

Nella tabella seguente si riportano i valori annui del pescato totale e di quello relativo ai soli coregoni nel sistema lago di Como e Lago di Mezzola. La serie storica evidenzia i valori maggiori di pescato (sia totale che relativo ai coregoni) nel periodo 2006-2014 e **una netta diminuzione dei quantitativi a partire dal 2015**, anche in termini pro-capite. Rispetto alla media del pescato nel periodo 1996-2014 (112.909 kg/anno), nell'ultimo periodo (2015-2019) la media annua del pescato di coregoni si è pressoché dimezzata (54.199 kg/anno), con un calo pari a circa il 52%.

Parallelamente si è registrato anche un calo del pescato totale pari al 23%.

La percentuale riferibile ai coregoni nel pescato totale è passata da una media di 59% nel periodo 1996-2014, con punte del 72% (anno 2002), al 37% nel quinquennio 2015-2019.

Tabella 3-4. Andamento del pescato relativo al sistema lago di Como e Mezzola dal 1996 al 2019

Anno	Pescato totale (kg)	Pescato Coregoni (kg)	% Coregoni
1996	145.774	59.770	41,0
1997	168.866	115.411	68,3
1998	185.528	116.268	62,7
1999	178.814	107.600	60,2
2000	180.783	99.991	55,3

Anno	Pescato totale (kg)	Pescato Coregoni (kg)	% Coregoni
2001	167.087	100.160	59,9
2002	173.667	124.351	71,6
2003	196.885	122.073	62,0
2004	197.358	113.785	57,7
2005	190.436	111.602	58,6
2006	211.268	124.795	59,1
2007	209.749	125.116	59,7
2008	167.851	87.924	52,4
2009	201.674	112.161	55,6
2010	206.716	120.888	58,5
2011	213.107	138.644	65,1
2012	195.185	127.548	65,3
2013	209.177	131.587	62,9
2014	194.265	105.604	54,4
2015	159.178	58.460	36,7
2016	162.806	62.253	38,2
2017	151.417	65.847	43,5
2018	132.899	47.410	35,7
2019	117.943	37.025	31,4

Figura 3-2. Andamento del pescato relativo al sistema lago di Como e Mezzola dal 1996 al 2019

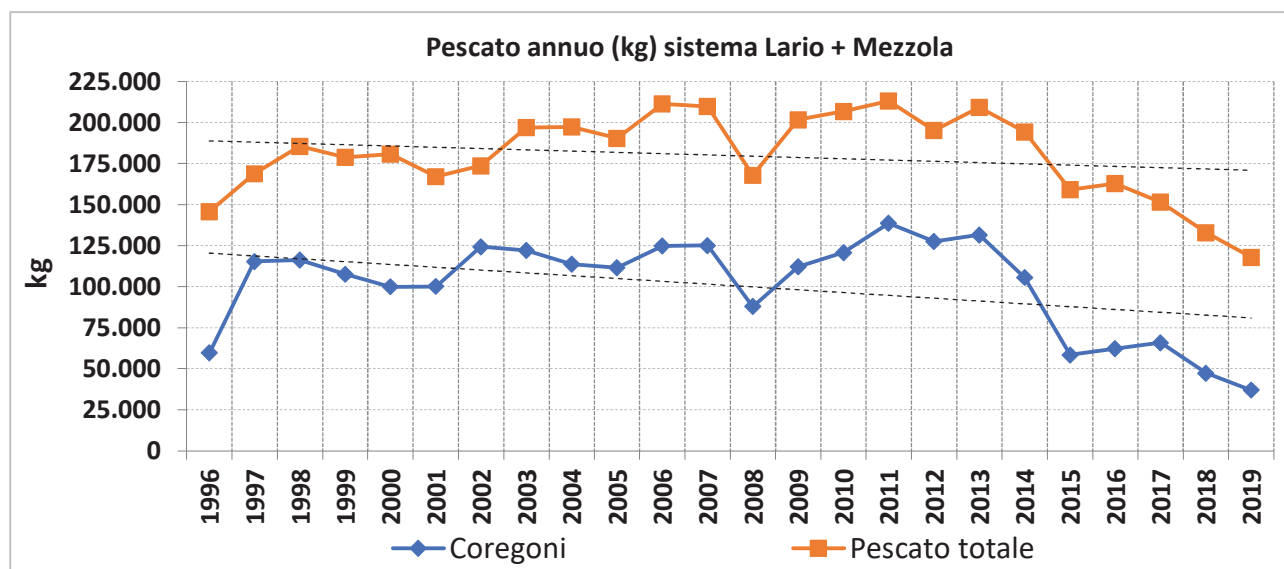
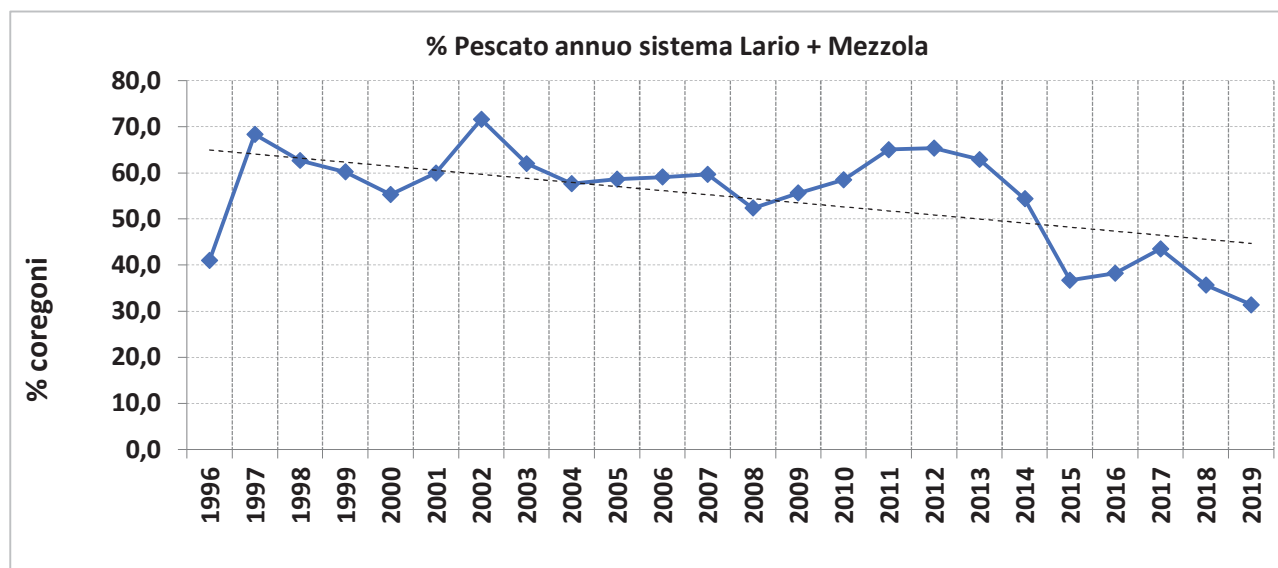


Figura 3-3. Andamento della % di pescato relativo al coregone nel sistema lago di Como e Mezzola dal 1996 al 2019

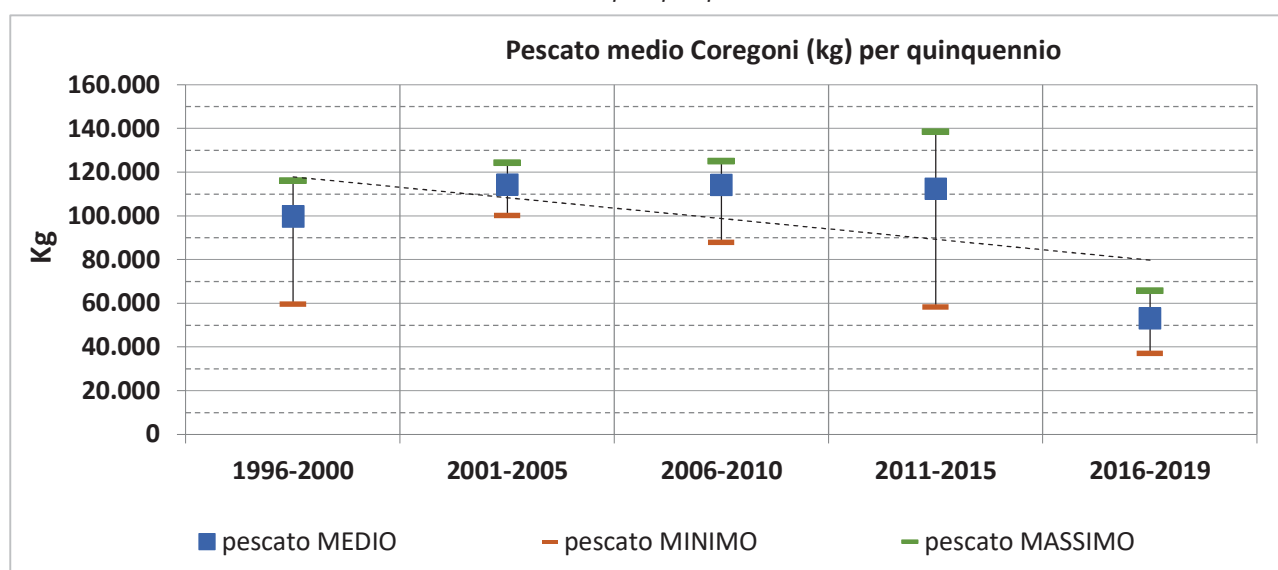


Di seguito si riporta l'andamento dei valori medi, minimi e massimi del pescato di Coregoni relativo al sistema lago di Como e Mezzola per quinquennio (l'ultimo periodo è riferito a 4 anni per mancanza del dato 2020 del pescato del Mezzola). Anche per quinquenni si nota un netto calo del pescato relativo ai coregoni nell'ultimo periodo.

Tabella 3-5. Andamento dei valori medi, minimi e massimi del pescato di Coregoni relativo al sistema lago di Como e Mezzola per quinquennio

Quinquennio	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2019
Pescato coregoni medio	99.808	114.394	114.177	112.369	53.134
Pescato coregoni min	59.770	100.160	87.924	58.460	37.025
Pescato coregoni max	116.268	124.351	125.116	138.644	65.847
Pescato totale medio	171.953	185.087	199.452	194.182	141.266
% media coregoni	57,5	62,0	57,0	56,9	37,2

Figura 3-4. Andamento valori medi, minimi e massimi del pescato di Coregone relativo al sistema lago di Como e Mezzola per quinquennio



Di seguito si riporta l'andamento del pescato di coregoni e delle relative percentuali sul totale nel solo lago di Como dal 2011 al 2020. I valori mostrano non solo una diminuzione dei quantitativi di pescato totale e per specie, ma anche una diminuzione delle percentuali di coregone sul pescato totale. Rispetto al quinquennio

precedente (2011-2015), negli ultimi 5 anni il pescato totale nel Lario è diminuito del 32% (passando da 184.654 kg a 125.406 kg), mentre quello medio di coregoni è diminuito del 56%, passando da 106.186 kg a 47.082 kg.

Considerando esclusivamente l'ultimo quinquennio (2016-2020), si nota un tasso di decremento maggiore nel pescato totale che non nel pescato relativo al solo coregone, che anzi nel 2020 ha evidenziato un leggero incremento, determinando un netto aumento della sua percentuale sul pescato totale.

Tabella 3-6. Andamento del pescato relativo al solo lago di Como negli ultimi 10 anni, annuale e quinquennale

Anno	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Coregoni (kg)	130744	119018	124909	100517	55742	58677	62240	45013	32898	36581
Variazione % rispetto all'anno precedente		-9%	+5%	-20%	-45%	+5%	+6%	-28%	-27%	+11%
Totale (kg)	202675	183060	199042	185625	152869	156119	145914	128187	111482	85328
Variazione % rispetto all'anno precedente		-10%	+9%	-7%	-18%	+2%	-7%	-12%	-13%	-23%
% Coregone	64,5	65,0	62,8	54,2	36,5	37,6	42,7	35,1	29,5	42,9
Pescato per unità di sup. (kg coregoni/ha)	8,96	8,15	8,56	6,88	3,82	4,02	4,26	3,08	2,25	2,51
Pescato pro-capite (kg)	1815,9	1630,4		1305,4		792,9				599,7
	2011-2015					2016-2020				
Pescato coregoni min	106.186 kg					47.082 kg				
Pescato coregoni medio	152.869 kg					85.328 kg				
Pescato coregoni max	202.675 kg					156.119 kg				
Pescato totale medio	184.654 kg					125.406 kg				

Figura 3-5. Andamento del pescato relativo al solo lago di Como negli ultimi 10 anni

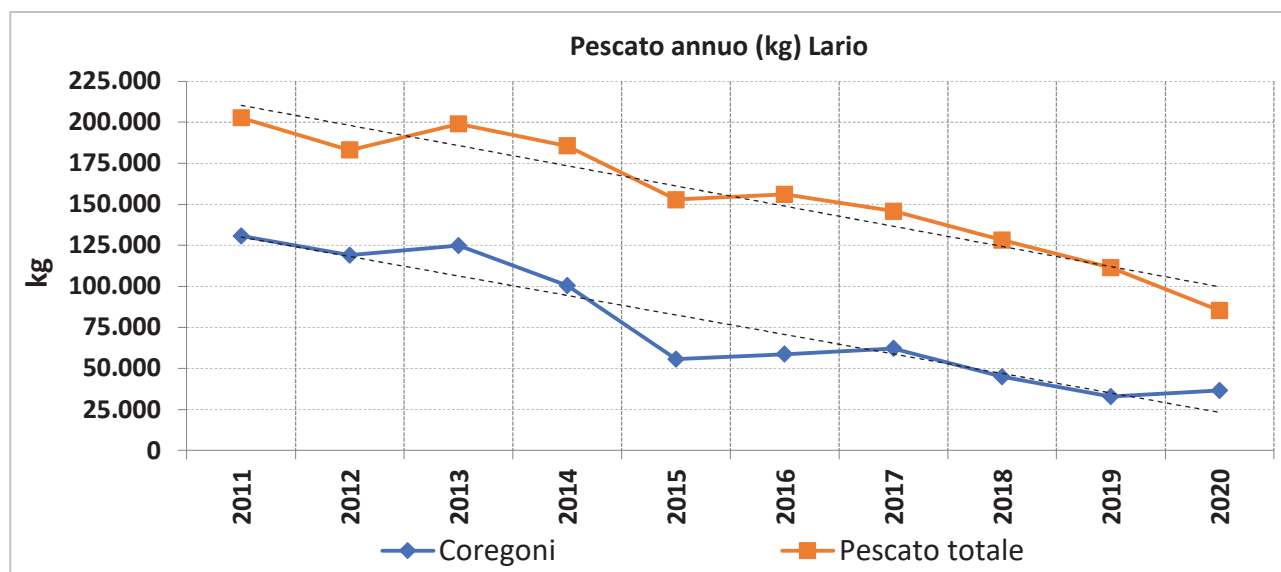
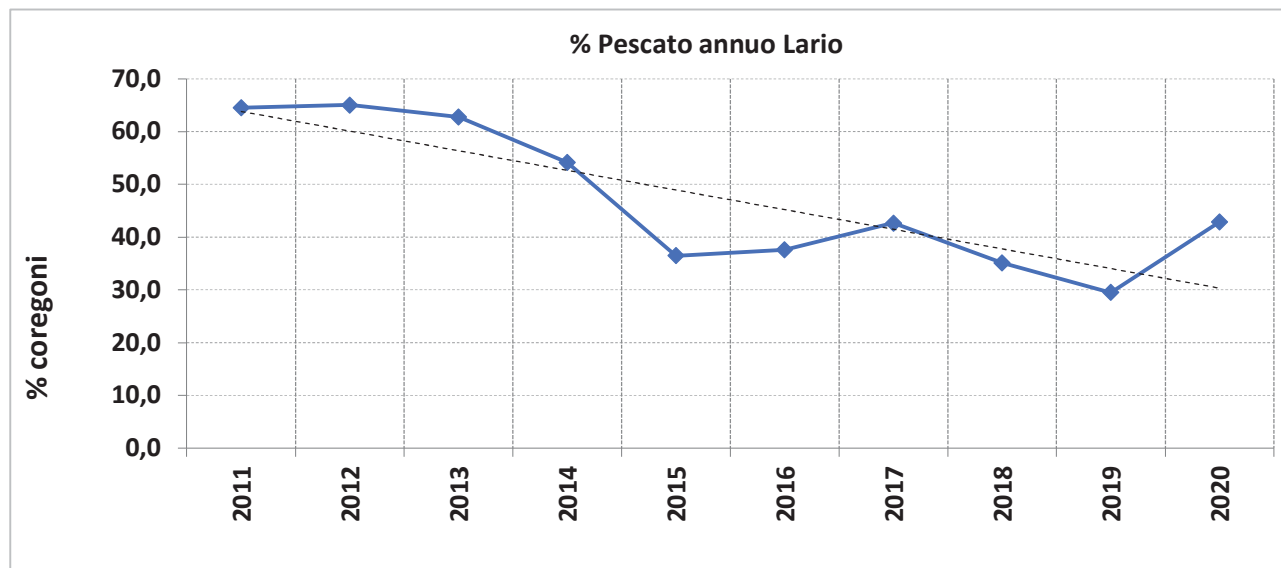


Figura 3-6. Andamento della percentuale di pescato relativo al coregone nel solo lago di Como negli ultimi 10 anni



Per offrire una visione più completa dell'andamento del pescato nel Lario, si riportano di seguito i quantitativi di pescato distinti per specie, analizzati per anno e per quinquennio.

Da sottolineare il netto incremento del quantitativo di Siluro pescato, comparso nelle reti la prima volta nel 2014 con 6 kg, fino a sfiorare le 2 tonnellate nel 2020. Questo testimonia la grande diffusione che la specie sta avendo anche nelle acque del Lario.

Dai dati emerge anche una tendenza all'aumento del pescato di Agone, una diminuzione nell'ultimo quinquennio del pescato sia di Persico reale (che comunque rappresenta la porzione maggiore delle specie litorali), sia di Salmerino. Rispetto all'anno precedente il 2020 ha fatto registrare una riduzione dei quantitativi pescati di tutte le specie, ad eccezione dei coregoni e del Siluro. A tal proposito, si ricorda che a causa della situazione pandemica anche le attività di pesca hanno subito un fermo in coincidenza con il primo lockdown.

Tabella 3-7. Andamento del pescato relativo al solo lago di Como negli ultimi 10 anni distinto per specie

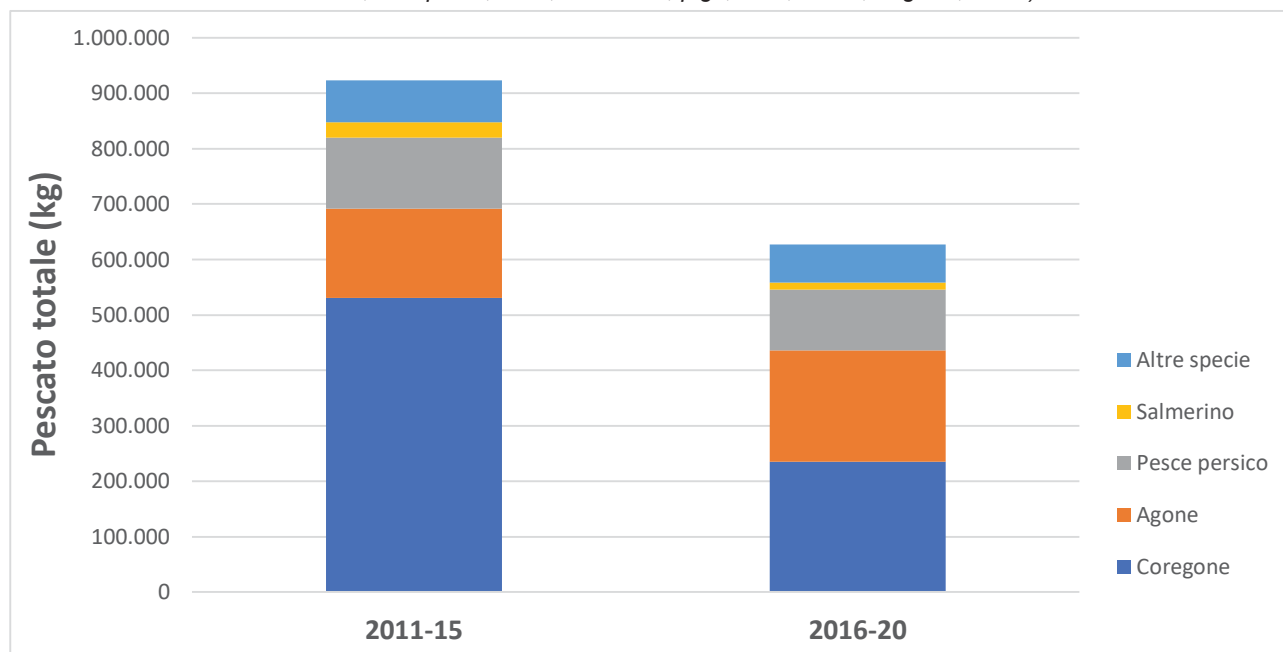
Specie	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Coregone	130.744	119.018	124.909	100.517	55.742	58.677	62.240	45.013	32.898	36.581
Agone	25.697	23.072	30.117	38.766	43.212	50.935	41.488	43.940	41.397	22.518
Persico reale	23.329	22.462	25.236	24.570	32.583	27.607	25.063	21.585	20.667	15.059
Salmerino	2.239	4.657	6.125	7.979	6.498	4.075	4.107	3.145	874	456
Bottatrice	7.131	4.763	5.130	6.152	5.680	5.348	4.226	5.007	3.634	1.846
Lucioperca	1.057	1.012	957	1.231	3.459	3.454	3.045	2.524	2.341	1.659
Tinca	2.409	1.316	1.296	1.197	1.630	1.588	1.642	2.045	2.232	1.377
Cavedano	6.433	4.333	2.388	1.893	1.576	1.496	1.428	1.638	2.429	990
Pigo	2.105	1.385	1.316	1.814	1.166	1.366	818	1.346	2.632	2.121
Trota	1.127	914	1.098	1.155	1.056	793	909	925	979	684
Luccio	377	116	466	319	255	468	660	516	618	72
Anguilla	27	12	4	26	8	86	2	27	23	8
Siluro	0	0	0	6	4	226	286	476	758	1.957
TOTALE	202.675	183.060	199.042	185.625	152.869	156.119	145.914	128.187	111.482	85.328

Tabella 3-8. Andamento del pescato relativo al solo lago di Como distinto per specie per quinquennio

Specie	Pescato totale (kg)		Pescato medio annuo (kg)		% media annua		tendenza
	2011-15	2016-20	2011-15	2016-20	2011-15	2016-20	2011-2020
Coregone	530.930	235.409	106.186	47.082	56,6	37,5	- -
Agone	160.864	200.278	32.173	40.056	17,9	31,8	+
Persico reale	128.180	109.981	25.636	21.996	14,2	17,6	-
Salmerino	27.498	12.657	5.500	2.531	3,1	1,8	- -
Bottatrice	28.856	20.061	5.771	4.012	3,1	3,1	-
Lucioperca	7.716	13.023	1.543	2.605	0,9	2,1	++
Tinca	7.848	8.884	1.570	1.777	0,9	1,5	+

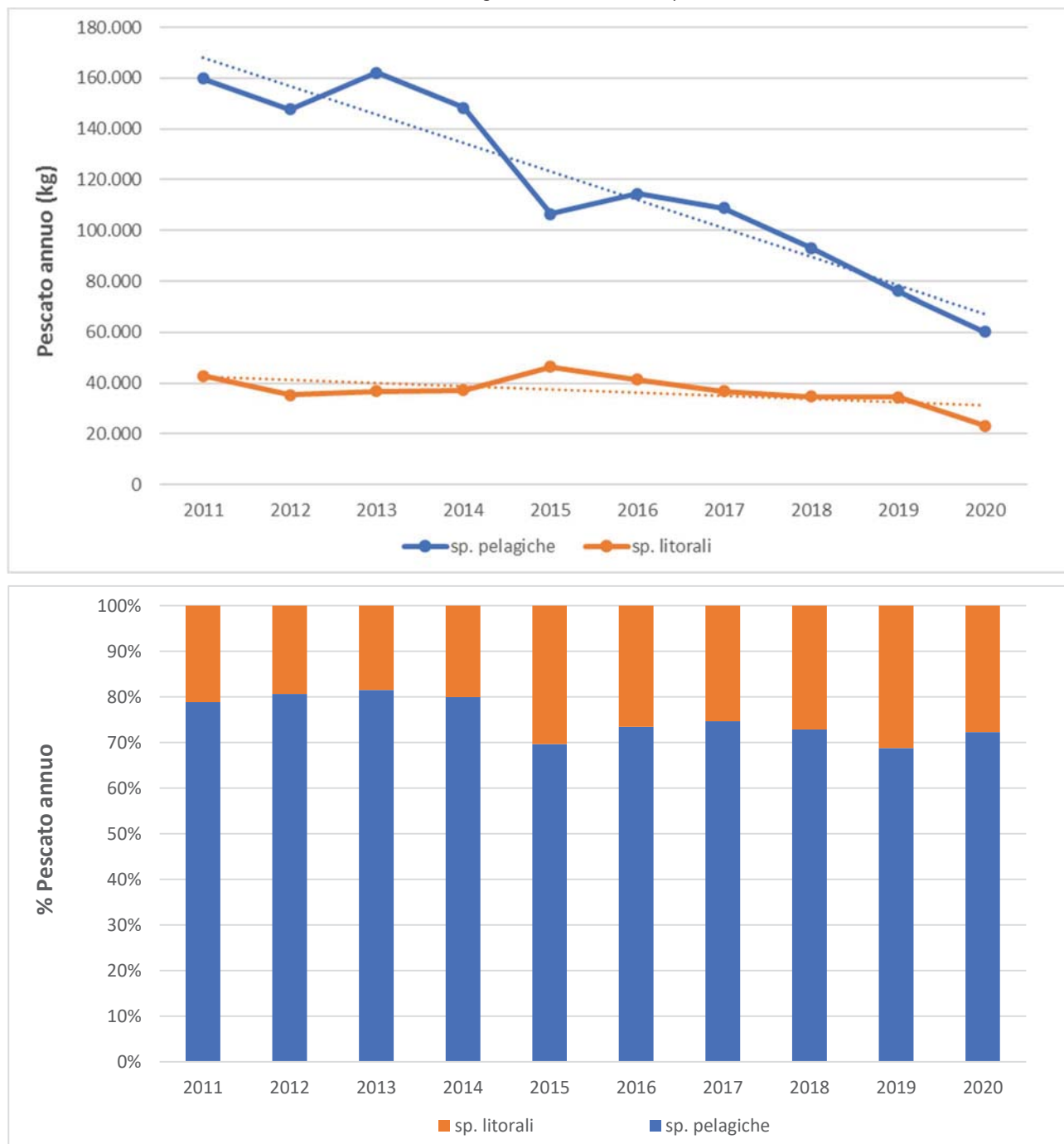
Cavedano	16.623	7.981	3.325	1.596	1,8	1,3	- -
Pigo	7.786	8.283	1.557	1.657	0,8	1,5	=
Trota	5.350	4.290	1.070	858	0,6	0,7	-
Luccio	1.533	2.334	307	467	0,2	0,4	++
Anguilla	77	146	15	29	0,0	0,0	++
Siluro	10	3.703	2	741	0,0	0,7	++++
	923.271	627.030	184.654	125.406	100	100	

Figura 3-7. Andamento del pescato totale nei quinquenni 2011-15 e 2016-20 (la categoria "altre specie" comprende: bottatrice, lucioperca, tinca, cavedano, pigo, trota, luccio, anguilla, siluro)



I grafici seguenti riportano l'andamento in termini assoluti e percentuali del pescato totale dal 2011 al 2020 distinto per specie pelagiche (coregone, agone, salmerino e trota) e specie litorali (persico reale, bottatrice, lucioperca, tinca, cavedano, pigo, trota, luccio, anguilla, escluso il siluro). Dai dati emerge una netta diminuzione dei pescati annui di specie pelagiche, pressoché dimezzati nell'arco di 10 anni; anche le specie litorali subiscono una forte contrazione, anche se concentrata sostanzialmente nel 2020.

Figura 3-8. Andamento in termini assoluti e percentuali del pescato totale dal 2011 al 2020 distinto per specie pelagiche (coregone, Agone, salmerino e trota) e specie litorali (persico reale, bottatrice, lucioperca, tinca, cavedano, pigo, trota, luccio, anguilla, escluso il siluro)



4 PIANO DELLE ATTIVITÀ

Il Piano delle attività si è articolato in 3 principali Work Package (WP):

- **WP-1. Studio delle popolazioni di Lavarello e Bondella:** l'attività ha previsto l'esecuzione di 10 campionamenti ittici tra giugno e novembre 2021 attraverso la posa di reti (multimaglia e 35 mm) al fine di studiare lo *status* delle due popolazioni di coregoni attraverso i seguenti parametri:
 - accrescimento annuo, lineare e ponderale;
 - fattore di condizione;
 - età di prima riproduzione;
 - tasso di mortalità annuale sulle coorti;
 - selezione operata dalla rete attualmente in uso (35 mm);
 - calibrazione della pressione di pesca ottimale attraverso l'applicazione del modello di Beverton-Holt.
- **WP-2. Indagine nelle zone di riproduzione della Bondella:** l'attività ha previsto la misurazione dei principali parametri chimici e chimico-fisici in prossimità del fondale in 3 aree note di riproduzione della Bondella, al fine di evidenziare la presenza di eventuali fattori negativi locali. I campionamenti sono stati svolti durante la fase iniziale di deposizione (fine dicembre-inizio gennaio) e in prossimità della schiusa (seconda metà di febbraio).
- **WP-3. Indagine sulle disponibilità alimentari:** l'attività ha incluso l'analisi del popolamento zooplanctonico, al fine di verificare le disponibilità alimentari nella prima fase di accrescimento e anche di individuare il periodo ottimale per le immissioni di larve a sacco vitellino o avannotti pre-alimentati ottenuti da riproduzione artificiale; i campionamenti sono stati effettuati in periodo tardo invernale-inizio primavera (febbraio-aprile).

Come da cronoprogramma, complessivamente sono state effettuate:

- 2 rilievi dei principali parametri chimico-fisici dell'acqua a diverse profondità in 3 punti del lago (aree di frega note), per un totale di 6 rilievi;
- 2 analisi dei principali parametri chimici dell'acqua in 3 punti del lago (aree di frega note), mediante prelievo di un campione d'acqua in prossimità del fondo, per un totale di 6 campioni;
- 3 prelievi di zooplancton in 3 punti del lago, per un totale di 9 campioni;
- 11 pescate con reti, per un totale di 10 campagne, così distribuite:
 - 4 campagne nell'Alto lago (le due pescate di novembre sono da considerarsi un unico campione);
 - 3 campagne sul Ramo di Como.
 - 3 campagne sul Ramo di Lecco;
- 6 pescate aggiuntive, così distribuite:
 - 2 campagne nell'Alto lago;
 - 2 campagne sul Ramo di Como
 - 2 campagne sul Ramo di Lecco (di cui 1 a Garlate);

La cronologia di suddette attività è di seguito esplicitata.

Tabella 4-1. Cronoprogramma delle attività eseguite

Attività	N° campionamenti												
	dic-20	gen-21	feb-21	mar-21	apr-21	giu-21	lug-21	ago-21	set-21	ott-21	nov-21	gen-22	feb-22
Rilevamento dei parametri chimico-fisici		3	3										
Rilevamento dei parametri chimici		3	3										
Campionamento zooplancton			3	3	3								
Campionamenti ittici						2	1	1	2	2	3		
Campionamenti ittici aggiuntivi												3	3

5 MATERIALI E METODI

5.1 Attività di campionamento e raccolta dati

5.1.1 STAZIONI DI INDAGINE

Le indagini sono state condotte in tre zone del lago di Como:

- ALTO LAGO: Bellano, Menaggio;
- RAMO DI COMO: Ossuccio (frazione di Tremezzina);
- RAMO DI LECCO: Onno (frazione di Oliveto Lario), Garlate.

5.1.2 PARAMETRI CHIMICO-FISICI E CHIMICI

Nell'ambito del **WP2 - Indagine nelle zone di riproduzione del Coregone Bondella**, al fine di evidenziare la presenza di eventuali fattori ambientali negativi nelle aree di frega della Bondella, è stato condotto il monitoraggio delle condizioni chimico-fisiche (lungo il profilo verticale) e chimiche (in prossimità del fondale, da -50 a -100 metri) dell'acqua in corrispondenza di 3 punti, in 2 momenti distinti, per un totale di 6 campionamenti.

Le stazioni di monitoraggio coincidono con 3 zone note per la riproduzione della Bondella, distribuite sui tre principali sottobacini del Lario (Alto lago, Ramo di Como e Ramo di Lecco).

Le verifiche sono state effettuate nella fase iniziale di deposizione (inizio gennaio 2021) e in prossimità della schiusa (seconda metà di febbraio 2021).

La misura dei parametri chimico-fisici è stata effettuata tramite Sonda multiparametrica modello HYDROLAB MINI DS5 con *Datalogger* HYDROLAB SURVEYOR lungo la colonna verticale; i parametri rilevati sono i seguenti:

- Temperatura (T °C)
- pH
- Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Ossigeno disciolto (O_2 mg/l)

In corrispondenza dei medesimi punti di campionamento, in prossimità del fondo sono stati raccolti dei campioni di acqua con bottiglia di profondità a strappo tipo "Ruttner" modello "Hydrobios"; i campioni sono stati analizzati in laboratorio per la quantificazione dei seguenti parametri chimici:

- Azoto ammoniacale (N-NH_4 mg/l)
- Azoto nitrico (N-NO_3 mg/l)
- Azoto nitroso (N-NO_2 mg/l)
- Solfuri (S^- mg/l)

Per il campionamento, il trasporto e la conservazione dei campioni di acqua, sono state osservate le indicazioni metodologiche descritte nel documento APAT/IRSA-CNR, 2003 e APAT, 2007. I campioni di acqua sono stati raccolti in bottiglie di polietilene, trattati con acido cloridrico, conservati in frigorifero e sottoposti ad analisi con Spettrofotometro HACH LANGE modello "DR 3900" entro 24h dal campionamento. Le metodiche corrispondono a quelle previste da APAT-IRSA/CNR, 2003.

Le date nelle quali sono stati eseguiti i campionamenti per le analisi chimico-fisiche e chimiche sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 5-1. Stazioni di monitoraggio chimico-fisico e chimico

Data	Stazione di monitoraggio	Località	Zona
09-01-21	ALT_01	Bellano	Alto lago
09-01-21	COM_01	Ossuccio di Tremezzina	Ramo di Como
09-01-21	LEC_01	Onno di Oliveto Lario	Ramo di Lecco
22-02-21	ALT_01	Bellano	Alto lago
22-02-21	COM_01	Ossuccio di Tremezzina	Ramo di Como
22-02-21	LEC_01	Onno di Oliveto Lario	Ramo di Lecco

Figura 5-1. Campionamento dell'acqua con bottiglia di profondità



5.1.3 ZOOPLANKTON

L'attività **WP3 – “Indagine sulle disponibilità alimentari”** ha lo scopo di verificare le disponibilità alimentari in termini di popolamento zooplanctonico per la prima fase di accrescimento delle specie *target* nonché di individuare il periodo ottimale per le immissioni di larve a sacco vitellino o avannotti prealimentati ottenuti da riproduzione artificiale.

A tale scopo è stato effettuato il monitoraggio della componente zooplanctonica effettuando 3 campionamenti nelle 3 stazioni (Ramo di Lecco, Ramo di Como, Alto lago) per un totale di 9 campionamenti, eseguiti tra febbraio 2021 e aprile 2021.

Come richiesto dal contratto, lo zooplankton è stato raccolto con un retino conico da plancton, con maglia di 70 µm, filtrando una colonna d'acqua di 40 m. La rete, zavorrata, è stata recuperata ad una velocità di 0,7-1,0 m/s; il volume di acqua filtrata dalla rete ($V = A \cdot L$, m³) viene calcolato tenendo conto dell'area della bocca A (diametro 40 cm) e della lunghezza del cavo rilasciato L (m), ovvero:

$$V = 0,126 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ m} = 5 \text{ m}^3$$

Figura 5-2. Campionamento dello zooplancton



Per rispettare la profondità dello strato campionato (40 m), l'attenzione è stata rivolta a mantenere l'angolo fra il cavo e la superficie del lago inferiore a 10° e questo è stato ottenuto con piccole manovre dell'imbarcazione. Al termine della pescata, la rete è stata risciacquata accuratamente per recuperare il materiale rimasto adeso alle sue pareti, con ripetuti getti d'acqua dall'esterno della rete, facendo scivolare l'acqua dalla bocca verso il contenitore di raccolta. Il campione è stato concentrato nel collettore posto al termine della rete, costituito da un bicchiere di 1 L, dal quale è stato travasato in un barattolo di polietilene e al quale è stato subito aggiunto il fissativo.

I campioni prelevati sono stati analizzati in laboratorio tramite osservazione con Microscopio ottico in campo chiaro e a contrasto di fase modello "Nikon Alphapot2 YS2", al fine di individuare i taxa zooplanctonici presenti e calcolare la densità (n° ind/m³) di ciascun *taxon*.

Tabella 5-2. Stazioni di campionamento dello zooplancton

Data	Stazione di monitoraggio	Località	Zona
22-02-21	ALT_01	Bellano	Alto lago
22-02-21	COM_01	Ossuccio di Tremezzina	Ramo di Como
22-02-21	LEC_01	Onno di Oliveto Lario	Ramo di Lecco
24-03-21	ALT_01	Bellano	Alto lago
24-03-21	COM_01	Ossuccio di Tremezzina	Ramo di Como
24-03-21	LEC_01	Onno di Oliveto Lario	Ramo di Lecco
21-04-21	ALT_01	Bellano	Alto lago
21-04-21	COM_01	Ossuccio di Tremezzina	Ramo di Como
21-04-21	LEC_01	Onno di Oliveto Lario	Ramo di Lecco

5.1.4 FAUNA ITTICA

Per il prelievo di congrui campioni degli esemplari appartenenti alle due specie target (almeno 80 esemplari per pescata) nell'ambito del **WP1 - Studio delle popolazioni di Coregone Lavarello e Coregone Bondella**, sono state posizionate le seguenti reti:

- N° 43 Reti volanti da **26 mm**, di lunghezza 50 m e altezza 7,85 m (392,5 mq);
- N° 53 Reti volanti **32 mm**, di lunghezza 60 m e altezza 9,6 m (576 mq) oppure di lunghezza 64 m e altezza 6,4 m (409,6 mq);
- N° 53 Reti volanti da **35 mm**, che corrisponde alla rete attualmente in uso per la pesca professionale, di lunghezza 105 m e altezza 8 m (840 mq);
- N° 23 Reti volanti **40 mm**, di lunghezza 120 m e altezza 8 m (960 mq).

Le coordinate geografiche di ogni singola rete sono state rilevate tramite GPS Garmin Foretrex 401 - S/N 1LR042792.

Sono stati effettuati 11 campionamenti, distribuiti nei 3 principali sottobacini del Lario (5 nell'Alto lago, 3 nel Ramo di Como e 3 nel Ramo di Lecco), al fine di coprire la superficie lacustre in modo omogeneo, alternandole per ottenere campioni mensili, distribuiti tra giugno e novembre 2021, come da capitolato. Il campionamento aggiuntivo nell'Alto lago è stato condotto per integrare una pescata che non aveva portato al raggiungimento del numero minimo degli esemplari richiesto, posizionando delle reti da fondo di maglia 35 mm in una località indicata dal pescatore di professione. In questo caso il pescato delle giornate ha valore di una singola pescata. Le pesche sono state realizzate con la collaborazione dei seguenti pescatori di professione:

- Fabio Valentini nell'Alto lago;
- Simone Fraquelli nel Ramo di Como;
- Marco Spreafico nel Ramo di Lecco.

Figura 5-3. Campionamento con reti



Di seguito si riportano i dettagli dei campionamenti effettuati (data, stazione, numero e tipologia di reti posizionate).

Tabella 5-3. Date e stazioni di campionamento della fauna ittica

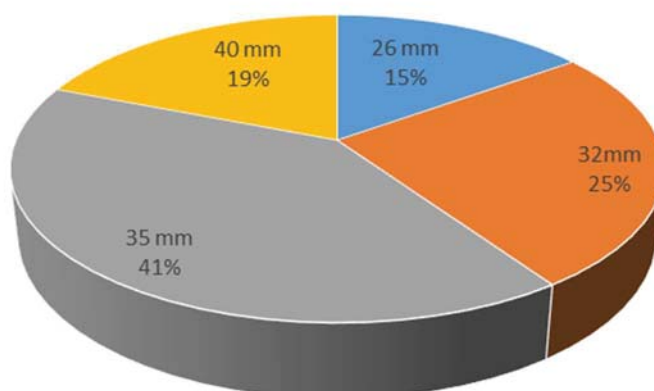
ID pescata	Data	Stazione	Comune	Zona	ID campione	Note
1	22-06-21	ALT_01	Bellano	Alto lago	1	
2	24-06-21	COM_01	Tremezzina	Ramo di Como	2	
3	22-07-21	ALT_01	Bellano	Alto lago	3	
4	24-08-21	COM_01	Tremezzina	Ramo di Como	4	
5	03-09-21	LEC_01	Onno	Ramo di Lecco	5	
6	23-09-21	ALT_01	Bellano	Alto lago	6	
7	12-10-21	LEC_01	Onno	Ramo di Lecco	7	
8	27-10-21	COM_01	Tremezzina	Ramo di Como	8	
9	12-11-21	ALT_01	Bellano	Alto lago	9	
10	23-11-21	LEC_01	Onno	Ramo di Lecco	10	Usate sia reti volanti che da fondo
11	26-11-21	ALT_01bis	Menaggio	Alto lago	9	A integrazione della pescata id_10, usate reti da fondo

Tabella 5-4. Numero di reti posizionate in ogni pescata

ID pescata	Maglia reti				Totale reti	Totale mq	Tipologia rete
	26 mm	32 mm	35 mm	40 mm			
1	4	4	7	2	17	11.674	volanti
2	4	7	7	2	20	12.903	volanti
3	4	7	7	2	20	12.903	volanti
4	4	7	7	2	20	12.903	volanti
5	4	4	3	2	13	8.314	volanti
6	4	4	7	2	17	11.674	volanti
7	4	4	4	2	14	9.154	volanti
8	4	4	2	2	12	7.474	volanti
9	4	4	3	2	13	8.314	volanti
10	4	4	4	2	14	9.154	volanti
10	1	2	1	1	5	1.575	da fondo
11	2	2	1	2	7	2.265	da fondo
Totale reti	43	53	53	23	172	108.306	

Figura 5-4. Rapporto % tra le metrature impiegate per maglia

Metrature impiegate per maglia (%)



Come evidente dal grafico precedente, circa il 41% della metratura di reti impiegata per il campionamento è stata di maglia 35 mm; il 25% di maglia 32 mm, il 19% di maglia 40 mm e il restante 15% di maglia 26 mm.

Tale computo non include le reti impiegate per le pescate aggiuntive e descritte in seguito.

Come proposto in sede di gara, sono state realizzate delle pescate aggiuntive, durante il periodo riproduttivo e a riproduzione conclusa (tra gennaio e febbraio), in coincidenza con la riapertura del periodo di pesca

(febbraio), allo scopo di osservare la frequentazione delle aree di frega della Bondella, individuare con esattezza il periodo riproduttivo e analizzare lo stato di maturazione delle gonadi. A tal scopo sono state effettuate 6 pescate a partire da metà gennaio sulle zone di frega con reti da fondo di maglia 35 mm. Come ulteriore attività aggiuntiva, durante le suddette pescate sono state utilizzate anche reti di maglia 24/26/32/40 mm al fine di aumentare la possibilità di cattura degli esemplari di Salmerino alpino, specie che condivide le aree di frega con la Bondella. Nello specifico, sono state posizionate le seguenti reti:

- N° 5 Reti da fondo da **24 mm**, di lunghezza 65 m e altezza 1 m (65 mq);
- N° 6 Reti da fondo da **26 mm**, di lunghezza 70 m e altezza 3 m (210 mq);
- N° 6 Reti da fondo **32 mm**, di lunghezza 60 m e altezza 5 m (330 mq);
- N° 6 Reti da fondo da **35 mm**, di lunghezza 105 m e altezza 5 m (525 mq);
- N° 1 Rete da fondo **40 mm**, di lunghezza 120 m e altezza 4 m (480 mq).

Di seguito si riportano i dettagli dei campionamenti aggiuntivi effettuati (data, stazione, numero e tipologia di reti posizionate).

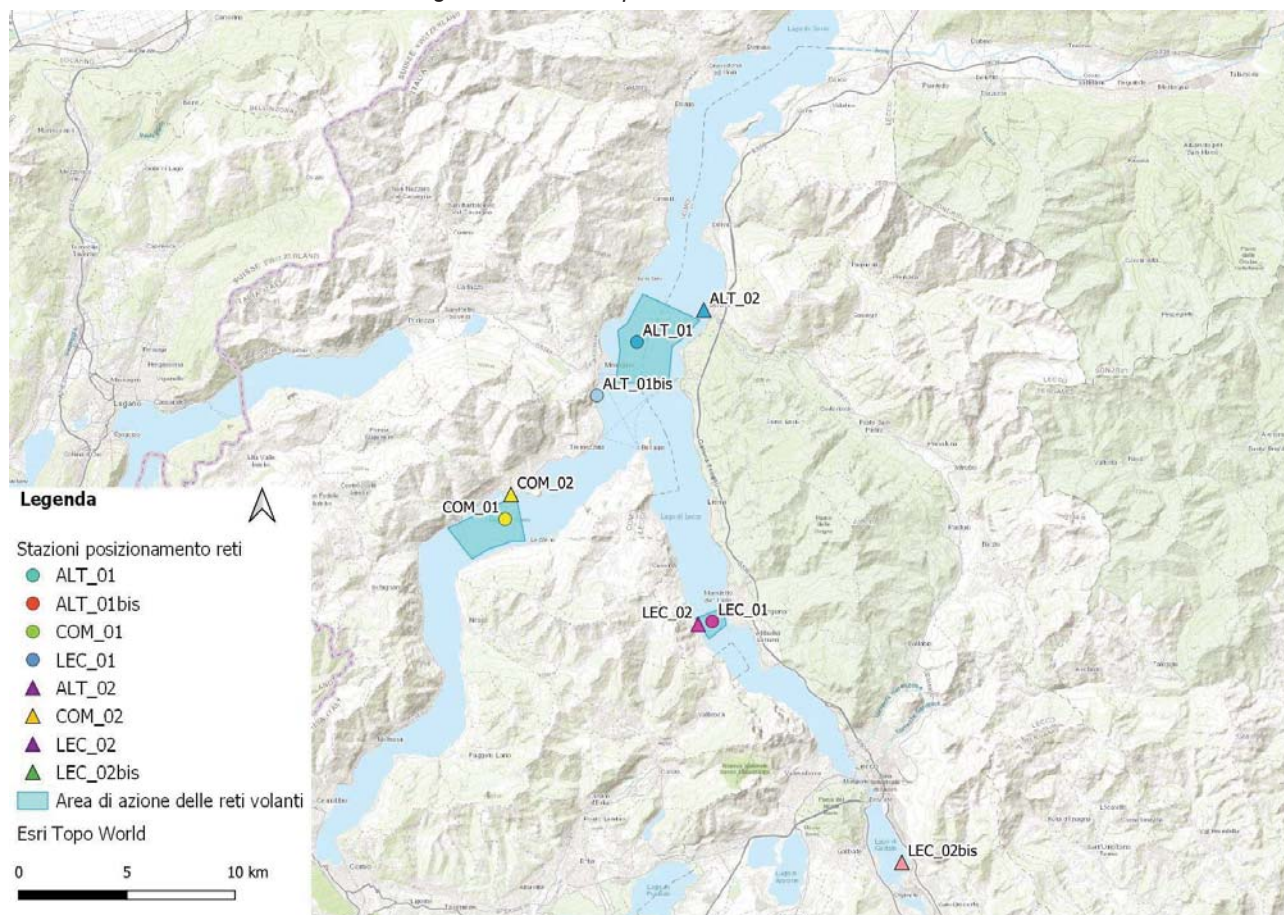
Tabella 5-5. Date e stazioni delle pescate aggiuntive

ID pescata	Data	Stazione	Comune	Zona	ID campione
12	13-01-22	ALT_02	Bellano	Alto Lago	11
13	19-01-22	LEC_02	Onno	Ramo di Lecco	12
14	21-01-22	COM_02	Tremezzina	Ramo di Como	13
15	04-02-22	ALT_02	Bellano	Alto Lago	14
16	11-02-22	COM_02	Tremezzina	Ramo di Como	15
17	24-02-22	LEC_02bis	Garlate	Ramo di Lecco	16

Tabella 5-6. Numero di reti posizionate in ogni pescata aggiuntiva

ID pescata agg	24 mm	26 mm	32 mm	35 mm	40 mm	Totale reti	Totale mq	Tipologia rete
12	1	1	1	1		4	1100	da fondo
13	1	1	1	1		4	1100	da fondo
14	1	1	1	1		4	1100	da fondo
15	1	1	1	1		4	1100	da fondo
16	1	1	1	1		4	1100	da fondo
17		1	1	1	1	4	1515	da fondo
Totale reti	5	6	6	6	1	24	7015	

Figura 5-5. Punti di posizionamento delle reti



Su congrui subcampioni sono state eseguite le seguenti operazioni:

- **Osservazione** di tutti gli esemplari per rilevare eventuali anomalie macroscopiche esterne evidenti.
- **Misura della lunghezza totale** (mm), cioè dall'apice del muso all'estremità della pinna caudale in posizione naturale, e della **lunghezza standard** (mm), ovvero dall'apice del muso fino all'estensione delle scaglie sul peduncolo caudale (coda esclusa), mediante ittiometro, con approssimazione di ± 1 mm.
- **Misura del peso** (g), mediante bilancia elettronica 0.5 kg Kern EMB 500-I - S/N WCO731848 con approssimazione di ± 0.1 g e bilancia elettronica 1.2 kg Kern EMB 1200IN - S/N WD120006700 con approssimazione di ± 1 g.
- **Prelievo di scaglie** di un adeguato subcampione di esemplari ai fine del rilevamento dell'**età**; le scaglie prelevate sono state ripulite dai residui di epidermide, asciugate e montate tra due vetrini porta-oggetto per la lettura in laboratorio.
- **Rilevamento del sesso e dello stadio di maturazione delle gonadi**. La determinazione del sesso viene effettuata per semplice esame macroscopico diretto delle gonadi, attraverso una piccola incisione a livello dell'addome. Per la valutazione del grado di maturazione delle gonadi è stata utilizzata la classificazione riportata in Gandolfi *et al.* (1991):
 - **stadio I - gonadi immature**, di esemplari che non hanno ancora raggiunto la maturità sessuale (sono di dimensioni molto ridotte e filiformi);
 - **stadio II - gonadi quiescenti**, di adulti che si sono riprodotti da poco tempo (sono completamente svuotate e possiedono forma e volume simili allo stadio precedente);
 - **stadio III - gonadi in maturazione**, di esemplari che si preparano a riprodursi;
 - **stadio IV - gonadi mature**, di esemplari sessualmente maturi;
 - **stadio V - gonadi in riproduzione**, di esemplari sessualmente maturi che si stanno riproducendo;
 - **stadio VI - gonadi svuotate**, di esemplari che hanno appena terminato di riprodursi.

- **Misurazione dei dati di circonferenza massima e circonferenza opercolare** su subcampioni congrui degli esemplari catturati. La circonferenza massima (mm) è stata misurata anteriormente alla pinna dorsale mentre la circonferenza opercolare (mm) anteriormente al margine posteriore del pre-opercolo, entrambe rilevate con un apposito strumento, costituito da un cappio di nylon collegato a un cursore scorrevole su banda millimetrata.

Sugli esemplari di Salmerino alpino catturati (n. 6) sono state effettuate le misurazioni biometriche di lunghezza e peso nonché rilevato il grado di maturazione delle gonadi.

Tutti i dati raccolti sono stati riportati su un apposito **registro di cattura** in formato Excel. Di seguito si quantificano i dati raccolti.

Sono stati catturati complessivamente 1325 esemplari; ciascuno di essi è stato pesato e misurato; la lettura delle scaglie è stata condotta su 584 esemplari (44% del campione); la determinazione del sesso è stata possibile per 1220 esemplari (92% del campione), mentre la misurazione della circonferenza opercolare e della circonferenza massima è stata effettuata rispettivamente per 875 e 868 esemplari, costituenti il 66% del campione.

Tabella 5-7. Numero dei rilievi effettuati sugli esemplari di coregoni catturati

Stazione	N° esemplari	N° MISURAZIONI/RILIEVI							
		Lungh. Tot	Lungh. Std	Peso	Età	Circ. operc.	Circ. max	Sesso	Maturazione
ALT_01	294	294	177	294	146	273	273	277	277
ALT_01bis	37	37	37	37	33	35	35	37	37
ALT_02	56	56		56	28			56	56
COM_01	50	50	50	50	44	50	50	50	50
COM_01	134	134	27	134		79	79	52	52
COM_01	118	118	50	118	110	113	113	112	112
COM_02	182	182		182	30			181	181
LEC_01	330	330	305	330	159	321	321	330	330
LEC_02	116	116		116	26			116	112
LEC_02bis	8	8		8	8			8	3
Totale	1325	1325	646	1325	584	871	871	1219	1210
<i>Percentuale sul totale</i>		<i>100%</i>	<i>49%</i>	<i>100%</i>	<i>44%</i>	<i>66%</i>	<i>66%</i>	<i>92%</i>	<i>91%</i>

Figura 5-6. Misurazioni e rilievi effettuati sugli esemplari catturati



Esemplari catturati



Postazione di lavoro



Misurazione della lunghezza



Misurazione del peso



Misurazione della circonferenza opercolare



Laparotomia



Analisi delle gonadi



Analisi delle gonadi

5.2 Attribuzione della specie

Anche se le due forme di coregone hanno tassi di accrescimento corporeo differenti e a parità di età raggiungono lunghezze diverse, esiste una sovrapposizione notevole tra le due forme. Essendo difficile la separazione delle due forme su base morfologica, l'identificazione delle specie è stata condotta con la metodologia utilizzata da Müller (2008) e Volta e Muller (2011): il metodo si basa sulla possibilità di separare le due forme all'interno di un campione indistinto in relazione alla **lunghezza totale retrocalcolata** raggiunta alla fine della stagione di accrescimento.

Il retrocalcolo permette di risalire alle lunghezze raggiunte da ogni esemplare alle età precedenti alla cattura; si basa sul presupposto che fra accrescimento del pesce e quello della scaglia esista una proporzionalità diretta. La relazione LINEARE lunghezza corpo-scaglia è descritta dall'equazione:

$$l_n - c = \frac{S_n}{S} (l - c)$$

dove:

l_n = lunghezza del pesce all'età n

l = lunghezza del pesce al momento attuale

S_n = distanza focus-*annulus* all'età n

S = distanza focus-margine della scaglia

c = lunghezza del pesce alla nascita (assunta 15 mm)

Per il retrocalcolo sono state utilizzate le lunghezze standard, poi convertite in lunghezze totali sulla base della funzione di correlazione ricavata dai dati raccolti.

Misurando quindi la lunghezza degli annuli presenti sulle scaglie di ciascun soggetto è stata retrocalcolata la lunghezza del pesce alla fine di ogni stagione di accrescimento, permettendo la costruzione di curve sovrapposte e la definizione quindi delle suddette soglie. Calcolata la lunghezza all'età X e sulla base delle soglie discriminanti è stato possibile identificare se l'individuo è una Bondella o un Lavarello: tutti gli esemplari con lunghezza retrocalcolata inferiore o uguale alle soglie individuate per ciascuna classe di età sono stati attribuiti alla specie Bondella, mentre esemplari con lunghezze superiori alla specie Lavarello.

La metodologia utilizzata da Negri (1993), che applicava un'analisi delle singole gaussiane alle distribuzioni di frequenza delle lunghezze a parità di età, al fine di suddividere la stessa in singole distribuzioni normali, attraverso l'algoritmo di Levenberg-Marquardt, non è stata applicata per la scarsità di dati a disposizione attribuibili alla curva del Lavarello.

5.3 Studio di popolazione

Il rilevamento dei precedenti parametri ha consentito di studiare i seguenti aspetti di struttura e dinamica di popolazione.

5.3.1 ACCRESCIMENTO PONDERALE E FATTORE DI CONDIZIONE

Il rilevamento dei caratteri biometrici di lunghezza e peso consente di costruire la relazione tra le due grandezze per ogni popolazione ittica, rappresentata dall'equazione in Baker *et al.*, 1993 e Klemm *et al.*, 1993:

$$P = a L^b$$

dove: P = peso del pesce in grammi; L = la lunghezza del pesce in millimetri; b = esponente generalmente compreso tra 2 e 4.

Considerando che la crescita delle specie *target* può essere considerata isometrica (il peso risulta approssimativamente proporzionale al cubo della sua lunghezza e quindi $b=3$), la costante " a ", moltiplicata per 100, è detta "coefficiente di condizione K di Fulton", espresso dall'equazione

$K = P \cdot 100 / L^3$ (Fulton 1911, in Ricker, 1975), dove il peso espresso in grammi ed L è la lunghezza in cm.

Il limite dell'indice di condizione di Fulton è che presupponendo una crescita di tipo isometrico non permette di confrontare esemplari di taglie diverse (e quindi di età diverse) (Carlander, 1950). Inoltre, confrontare valori di K fra esemplari appartenenti a specie diverse è praticamente impossibile, poiché ogni specie presenta un modello di accrescimento diverso a seconda dell'età (Anderson & Neumann, 1996). Il fattore di condizione di Fulton permette, dunque, di confrontare soltanto esemplari di taglia simile e appartenenti alla stessa specie.

Per sopperire ai limiti di applicazione di tale fattore, Le Cren (1951) propose un nuovo indice chiamato fattore di condizione relativo (Kn), calcolato per mezzo dell'equazione:

$Kn = W/W'$, dove W è il peso dell'individuo in grammi e W' è il peso ad una determinata lunghezza calcolato sulla base della regressione lunghezza-peso specifica per la popolazione oggetto di studio. A differenza del fattore di condizione di Fulton, Kn ha il vantaggio di presupporre una crescita di tipo allometrico permettendo quindi, di confrontare esemplari di taglie diverse e quindi delle singole classi di età.

5.3.2 ATTRIBUZIONE DELL'ETÀ

L'età degli esemplari catturati verrà determinata grazie all'analisi scalimetrica, ovvero basata sulla lettura delle scaglie. Per gli esemplari catturati in periodi differenti dell'anno è stato applicato il *metodo del retrocalcolo delle lunghezze*, secondo la procedura dettagliata in Müller (2008), che permette di definire per ciascun pesce la lunghezza raggiunta alla fine di ogni stagione di accrescimento e (cioè alla fine dell'autunno, momento in cui i coregoni smettono di accrescersi in lunghezza fino alla primavera successiva). Il retrocalcolo della lunghezza si basa sul principio secondo cui lo sviluppo delle scaglie è proporzionale allo sviluppo in lunghezza del pesce e, pertanto, analizzando le bande di accrescimento (annuli) presenti sulla scaglia, misurandone la larghezza degli stessi, la larghezza della scaglia (dal centro al bordo esterno) nonché la lunghezza del pesce sarà possibile risalire alla lunghezza del pesce alla fine di ogni stagione di accrescimento precedente. L'equazione da applicare per il retrocalcolo è di tipo polinomiale ed è la seguente:

$$TL = A + B \cdot S - C \cdot S^2$$

Dove:

A, B e C = fattori standard di correzione;

S = misura della larghezza dell'annulo in mm.

5.3.3 ACCRESCIMENTO LINEARE

In considerazione dei cambiamenti stagionali del coefficiente di condizione, la crescita di un pesce può essere studiata più appropriatamente in termini di accrescimento lineare piuttosto che ponderale (Baghenal e Tesch, 1978), dove lo studio dell'accrescimento lineare equivale alla determinazione delle dimensioni corporee in funzione dell'età (Sparre e Venema, 1992).

Per modellizzare la relazione lunghezza-età è stata utilizzata l'equazione di Von Bertalanffy, secondo la quale:

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

dove:

L_t = lunghezza del pesce al tempo "t"; L_{∞} = la lunghezza di un pesce ad un'età teoricamente infinita (ovvero l'asintoto della curva); k = un parametro di curvatura che misura in pratica la velocità con cui la curva tende all'asintoto (così un basso valore di "k" indica una curva "piatta", tipica di una specie ad accrescimento lento); t_0 = un parametro di significato puramente matematico che definisce in teoria l'età alla quale il pesce ha una lunghezza pari a zero e che può essere concepito come un fattore di correzione che muove lungo l'asse delle ascisse la curva di von Bertalanffy (Pitcher e Hart 1982).

Per eseguire tale modellizzazione è stato utilizzato il software "*Growth II (Simply Growth)*" - Latest version 2.3.6.71 – Pisces Conservation Ltd.

5.3.4 ETÀ DI PRIMA RIPRODUZIONE

Sulla base dei dati di lunghezza, età e stadio di maturazione delle gonadi è stata individuata l'età di prima maturazione, calcolando anche le percentuali di maturazione nella prima e nella seconda classe riproduttiva.

5.3.5 MORTALITÀ

TASSO DI MORTALITÀ TOTALE ANNUALE PER COORTE

La mortalità rappresenta la progressiva diminuzione del numero di esemplari di una stessa classe di nascita nel corso degli anni, ed è evidenziabile come numero di esemplari sopravvissuti per età successive. Come richiesto da capitolato il tasso di mortalità annuale relativo al periodo di indagine, è stato rilevato attraverso un'analisi diretta sulla coorte, dove per coorte si **intende un gruppo di esemplari della stessa età appartenenti allo stesso stock, quindi prelevati in un singolo campionamento**.

Il metodo di valutazione del tasso di mortalità annuale condotto sulle coorti si basa sui dati di cattura delle singole classi di età a parità di sforzo (metratura reti per tempo di posa e catturabilità delle singole classi di lunghezza costanti). Ovviamente l'analisi della dinamica delle singole coorti richiede più campionamenti stagionali e un periodo di campionamento sufficientemente esteso. Il disciplinare prevede l'esecuzione di 10 campionamenti ittici da effettuare tra giugno e novembre mentre con il presente Piano di lavoro la scrivente propone la realizzazione di 6 pesche aggiuntive (descritte in precedenza), estendendo in tal modo il periodo di campionamento fino a febbraio 2022 per seguire l'evoluzione delle singole coorti in base allo schema di seguito illustrato.

Figura 5-7. Schema di evoluzione delle singole coorti

anno 1		
Classe 1+	Classe 2+	Classe 3+
anno 2		
Classe 1+	Classe 2+	Classe 3+

Il coefficiente di mortalità totale Z viene valutato tramite il metodo della **curva di cattura linearizzata** (*linearized catch curve*), che è una rappresentazione grafica del numero di esemplari sopravvissuti contro le rispettive età.

L'equazione di base è la curva classica di accrescimento esponenziale di una popolazione:

$$N_t = N_0 \cdot e^{Zt}$$

Dove:

N_0 = numero di esemplari al tempo 0

$t = 0$;

N_t = numero di esemplari al tempo t ;

Z = tasso istantaneo di mortalità totale o coefficiente di mortalità totale, che, trattandosi di un decremento, ha segno negativo.

Per la stima di Z è necessario conoscere l'abbondanza di ogni gruppo di età N_0, N_1, N_2, N_3 , etc., della popolazione in due o più periodi successivi. Pertanto, attraverso la frazione dei sopravvissuti (S) $N_1/N_0, N_2/N_1, N_3/N_2$, etc., si ottiene il tasso di mortalità totale tra i vari gruppi di età e quindi un valore di Z medio per l'intero stock. In altre parole, la curva esponenziale viene linearizzata applicando una trasformazione logaritmica del numero di esemplari. Il coefficiente angolare della retta rappresenta il **coefficiente di mortalità totale Z** .

Il corrispondente **tasso di sopravvivenza annuale S** è ricavabile come $S = e^{-Z}$.

TASSO DI MORTALITÀ NATURALE

La mortalità naturale M è la mortalità collegata a tutte le cause ad esclusione della pesca, come ad esempio la predazione, varie patologie, stress post-riproduttivo, carenze alimentari e invecchiamento.

Una misura diretta di M è spesso impossibile da ottenere o richiede metodiche lunghe e complesse per la contemporanea presenza della mortalità da pesca. In questa sede, la stima di tale parametro verrà pertanto effettuata tramite il confronto di collaudati modelli di letteratura.

Il coefficiente di mortalità naturale è stato calcolato come valore medio dei seguenti sei modelli teorici utilizzati.

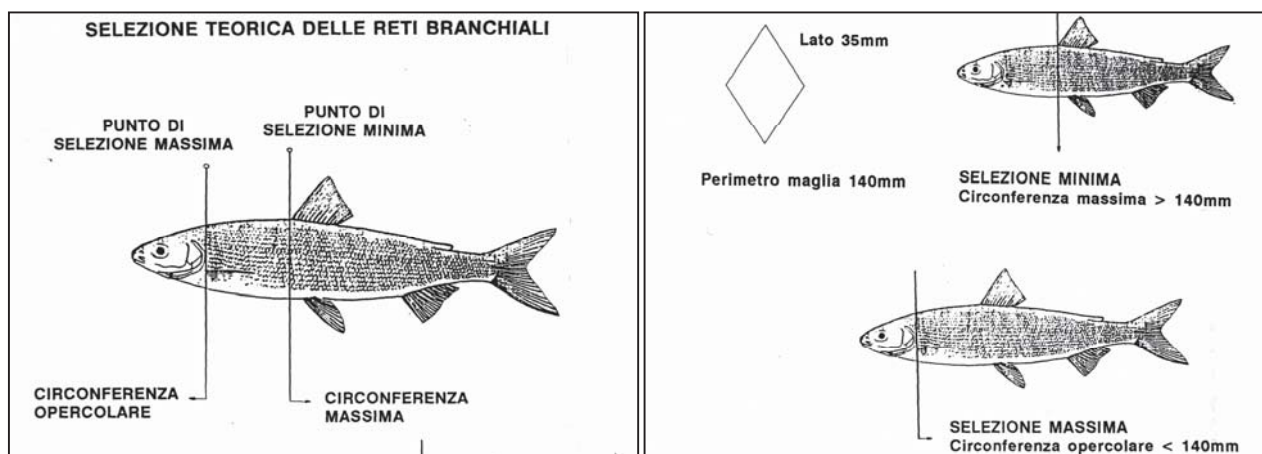
- **Modello di Chen e Watanabe (1989)**, che hanno realizzato il primo modello età-dipendente per la stima della mortalità naturale, dove:
 M = mortalità naturale
 t_M = età alla fine del periodo riproduttivo
 t_0 = età teorica a lunghezza zero
 K = coefficiente di crescita di Von Bertalanffy
 secondo le equazioni:
 $M(t) = k / (1 - e^{-k(t_M - t_0)})$ per $t \leq t_M$
 $M(t) = k / (1 - e^{-k(t_M - t_0)}) + ke^{-k(t_M - t_0)} * (t - t_M) - 0.5k^2e^{-k(t_M - t_0)} * (t - t_M)^2$ per $t > t_M$
 dove $k = -1/LN(1 - e^{(k*t_0)}) + t_0$
- **Modello di Hewitt e Hoenig (2005)**: basato esclusivamente sulla longevità della popolazione, secondo l'equazione $M = 4,22 / t_{max}$ dove t_{max} rappresenta l'età maggiore osservata nello stock o riportata in letteratura
- **Modelli di Jensen**: altri due modelli basati sui parametri dell'equazione di Von Bertalanffy
 $M/k = 1,5$ dove k rappresenta il fattore di accrescimento dell'equazione di Von Bertalanffy
 $M = 1,65 / t_m$ dove t_m rappresenta l'età di prima maturazione
- **Modello di Richter e Efanov (1977)**: basato sull'equazione $M = (1,52 / t_{mass}^{0.72}) - 0.16$
 dove t_{mass} rappresenta l'età alla quale il 50% dello stock raggiunge la maturità.
- **Modello di Pauly (1980)**: che ha riscontrato una correlazione tra M e alcuni parametri fisici (temperatura media annuale alla superficie) e biologici (K ed L_∞ in cm), secondo la formula:
 $\ln M = -0.0152 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln K + 0.463 \ln T$
 Tale formula indica che:
 1. Le specie di minori dimensioni sono soggette a una maggiore mortalità naturale.
 2. Le specie ad accrescimento rapido hanno mortalità naturali più elevate.
 3. Più caldo è l'ambiente acquatico maggiore è la mortalità naturale.

5.3.6 CURVE DI SELEZIONE DELLE RETI

Per costruire le curve di selezione della rete attualmente in uso (35 mm) dovrà essere in primo luogo calcolata la relazione lunghezza-circonferenza, sulla base dei dati di circonferenza massima e circonferenza opercolare rilevati su subcampioni degli esemplari. Il rilevamento delle circonferenze consente di ricavare una valutazione molto più precisa circa la selettività operata dalle reti branchiali in funzione del lato della maglia rispetto all'utilizzo dei soli dati di lunghezza totale, per questo motivo su un subcampione degli esemplari sono state misurate le circonferenze. Le reti branchiali presentano due limiti di selezione, catturando in genere gli esemplari che presentano contemporaneamente una circonferenza massima superiore al perimetro della maglia (punto di selezione minima) e una circonferenza opercolare inferiore al perimetro della maglia (punto di selezione massima).

Nella figura seguente è visualizzata la selezione relativa alla maglia da 35 mm utilizzata per i coregoni, a cui corrisponde una circonferenza di selezione di 140 mm. Per quanto riguarda il coregone, le reti branchiali presentano un intervallo di cattura (in termini di differenza in lunghezza dei pesci catturati) piuttosto ampio, grazie alla morfologia di questa specie che determina una notevole differenza delle due circonferenze a parità di lunghezza.

Figura 5-8. Selezione teorica operata dalla rete branchiale per un pesce come il coregone



Tramite l'analisi di regressione lineare sono state calcolate le relazioni tra lunghezza-circonferenza massima e lunghezza-circonferenza opercolare. Sulla base delle due relazioni risultanti, per ogni campionamento sono state ricavate le curve di selezione teorica delle singole reti, assumendo che: a) sono selezionati dalle reti branchiali tutti i pesci che presentano contemporaneamente una circonferenza massima superiore e una circonferenza opercolare inferiore al perimetro della maglia; b) le circonferenze relative ad ogni classe di lunghezza sono distribuite secondo una curva gaussiana (detta anche normale), con una varianza comune per tutte le classi di lunghezza.

Per ogni classe di lunghezza dei pesci, la selettività sarà stimata dalla percentuale di pesci che presentano contemporaneamente una circonferenza opercolare inferiore al perimetro della maglia e una circonferenza massima superiore. Risulta evidente che la parte sinistra della curva è determinata dalla circonferenza massima (punto di selezione minima), mentre la parte destra dalla circonferenza opercolare (punto di selezione massima). La parte centrale è relativa alle classi di lunghezza con le percentuali più elevate per entrambe le circonferenze.

Attraverso l'analisi della distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza e l'elaborazione delle curve di selezione è possibile capire quale è l'**attuale età di prima cattura (T_c)**, ovvero a che età inizia la selezione sulla specie in studio della maglia attualmente in uso, al fine di verificare se la classe pre-riproduttiva viene sufficientemente tutelata. Al fine di valutare l'idoneità della maglia attualmente utilizzata sarà necessario individuare con esattezza l'età di prima riproduzione con la relativa percentuale degli esemplari maturi all'interno delle singole classi di età, distinta per sesso. In primo luogo, verranno quindi considerati i requisiti di tutela della prima classe riproduttiva, analizzando se tale classe rientra nella selezione della maglia legale. L'intervallo di selezione della maglia verrà poi sovrapposto alle curve di distribuzione delle lunghezze delle varie classi di età in corrispondenza dei campionamenti mensili effettuati, ottenendo grafici dai quali risulteranno evidenti le classi di età sulle quali si esercita maggiormente l'azione della maglia legale.

È necessario sottolineare però che questa modellazione fa riferimento alla selettività potenziale delle relative maglie, la quale coinciderebbe con la selezione reale solamente nel caso in cui la catturabilità di ogni classe di lunghezza fosse costante, ovvero se ognuna di esse fosse rappresentata da un numero uguale di individui.

Evidentemente questa ipotesi si discosta dalla condizione reale, in quanto l'effettiva distribuzione delle lunghezze dipende fortemente dalla rappresentatività delle differenti classi d'età nella popolazione. Questo comporta il fatto che la selezione reale di una data maglia dipenda sia dalla selezione teorica della stessa sia dall'abbondanza di ciascuna classe di lunghezza (e quindi d'età).

Si precisa anche che i dati ottenuti in tal senso fanno riferimento principalmente alla profondità d'esercizio delle reti impiegate, e alla fascia pelagica; pertanto si sottostimano le classi d'età (e lunghezza) inferiori, che sono invece le più abbondanti.

5.3.7 CALIBRAZIONE DELLA PRESSIONE DI PESCA OTTIMALE

L'obiettivo della gestione di una popolazione ittica non è solamente la tutela della popolazione ma anche l'impostazione di una metodica di sfruttamento ottimale. Uno dei modelli classici utilizzati a tale scopo per le

popolazioni ittiche è il modello “*yield per recruit*” (ovvero “rendimento per recluta”) di Beverton e Holt (di seguito modello B-H). Questo modello si basa sulla singola coorte, considerando la popolazione come una semplice sequenza temporale di classi di nascita che si evolvono in modo costante. Impostando quindi la gestione ottimale sulla singola classe si ottiene automaticamente la gestione ottimale della popolazione.

L'applicazione di questo modello consente di ricavare la massima produzione ottenibile intervenendo su due variabili principali: l'**età di prima cattura (o inizio pesca) Tc** e la **mortalità da pesca F**. Quest'ultima deriva dal rapporto:

$$F = q \cdot f$$

Dove:

f = pressione di pesca, intesa come Km totali di rete posti giornalmente nel lago (N. pescatori x m. rete ciascuno);

q = coefficiente di catturabilità, che può variare durante l'anno in funzione della selettività delle reti, della motilità, del posizionamento e della dimensione dei pesci, ecc.

I parametri mortalità da pesca (F) ed età di inizio pesca (Tc) sono, infatti, i **parametri su cui si agisce per la gestione delle risorse**: F è proporzionale allo sforzo di pesca e Tc dipende dalla dimensione della maglia della rete.

Un gruppo di pesci nati nello stesso tempo e appartenenti al medesimo stock costituisce una coorte. Il numero di sopravvissuti di una coorte decresce nel tempo mentre lunghezza e peso degli esemplari aumentano. Il modello descrive lo stato dello stock e il rendimento che si può ricavare dall'attività di pesca in una situazione in cui la mortalità, sia naturale sia da pesca, viene assunta costante per tutto il tempo di vita di una coorte dal momento in cui questa entra nella fase di sfruttamento.

Il modello B-H descrive lo stato dello stock e il rendimento che si può ricavare dall'attività di pesca in una situazione in cui la mortalità, sia naturale sia da pesca, viene assunta costante per tutto il tempo di vita di una coorte dal momento in cui questa entra nella fase di sfruttamento.

L'accrescimento rappresenta l'incremento dello stock, mentre la mortalità, sia naturale sia da pesca, costituisce una perdita di biomassa.

Per ottenere i dati necessari per calibrare la pressione di pesca ottimale è stato utilizzato il programma **FISAT II - FAO-ICLARM Stock Assessment Tool** (version 1.2.2) che utilizza il concetto di **relative yield-per-recruit** di Beverton and Holt (1964) definito dalla seguente equazione:

$$Y/R = E(1-c)^{M/K} \cdot \left\{ 1 - \frac{3(1-c)}{1 + \frac{(1-E)}{(M/K)}} + \frac{3(1-c)^2}{1 + \frac{2(1-E)}{(M/K)}} - \frac{(1-c)^3}{1 + \frac{3(1-E)}{(M/K)}} \right\}$$

Dove:

$$c = L_c/L_\infty$$

$$\text{Exploitation rate } E = F/Z = F/(M+F)$$

$$\text{Per cui } F = M \cdot E / (1-E)$$

La relazione tra Y/R e Y'/R è data, a parità di altre condizioni, da:

$$\left(Y / R \right) = Y' / R \cdot \left(W_\infty \cdot e^{-\left(M(t - t_0) \right)} \right)$$

Per applicare il modello sono stati pertanto inseriti i seguenti valori:

- L_c lunghezza all'età di prima cattura, che varia in funzione dell'età di prima cattura t_c ;
- L_∞ lunghezza infinita, ricavata dall'equazione di Von Bertalanffy calcolata nel paragrafo dedicato;
- K coefficiente di Brody, ricavato dall'equazione di Von Bertalanffy calcolata nel paragrafo dedicato;
- M mortalità naturale, come calcolata nel paragrafo dedicato;
- E , adimensionato, che varia da 0 a 1.

La produzione viene espressa come valore relativo, il classico *yield x recruit*, indicando con il termine "recluta" gli esemplari di 1 anno di età, che rappresentano la prima classe di età potenzialmente pescabile. Nello specifico, l'età di reclutamento rappresenta l'età minima alla quale la coorte può entrare nella selezione della pesca (considerato che nella prima fase del ciclo vitale le larve sono fortemente influenzate dai fattori

ambientali ma scarsamente influenzate dall'attività di pesca), mentre l'età di prima cattura è l'età effettiva di inizio pesca.

La *Relative biomass-per-recruit* (B'/R) rappresenta, invece, la biomassa residua a seguito dell'attività di pesca ed è stimata dalla relazione:

$$B'/R = (Y'/R)/F$$

Il valore relativo, espresso in grammi x recluta, è quindi indicativo della produzione totale poiché, se Y/R è pari a 100 grammi, si ricaveranno 100 Kg di pescato per ogni 1.000 reclute iniziali.

Riportando in grafico i valori di ***relative yield-per-recruit*** al variare della mortalità da pesca F e in funzione dell'età di prima cattura T_c si otterrà un fascio di curve che permetterà di individuare i valori massimi di Y/R che rappresentano il massimo rendimento sostenibile (MSY).

Il software restituisce grafici di Y'/R vs E ($=F/Z$) e di B'/R vs E , da cui vengono stimati:

- **E_{max}** = tasso di sfruttamento che produce il massimo rendimento,
- **E₁₀** = tasso di sfruttamento al quale l'aumento marginale del rendimento relativo- per reclutamento è 1/10 del suo valore a $E=0$
- **E₅₀** = valore di E sotto il quale lo stock è stato ridotto al 50% della sua biomassa non sfruttata.

Su tale base verranno quindi individuate le migliori strategie gestionali stabilendo l'età di inizio cattura (T_c) attraverso la calibrazione della maglia delle reti, mentre la pressione di pesca verrà aumentata o diminuita in base al tasso di mortalità totale preesistente.

6 RISULTATI

6.1 Parametri chimico-fisici e chimici

Le tabelle seguenti mostrano i valori dei principali parametri chimico-fisici registrati lungo la colonna verticale nei mesi di gennaio e febbraio 2021 in corrispondenza delle 3 stazioni di indagine (ALT_01 Alto lago, COM_01 Ramo di Como e LEC_01 Ramo di Lecco). A seguire, si riportano i grafici di raffronto elaborati per parametro.

I valori osservati nelle tre stazioni non evidenziano alcuna criticità per il benessere del popolamento ittico, in entrambe le date di monitoraggio. In particolare, si registrano buoni livelli di ossigeno e saturazione (variabili tra 8,2 e 10,5 mg/l e tra 71% e 91%), anche in prossimità del fondo. In maniera anomala, le temperature registrate hanno mostrato un abbassamento a febbraio rispetto al mese precedente di quasi 1 °C. I valori di pH variano in un *range* prossimo alla neutralità e leggermente basico, compreso tra 7,3 e 7,9. La conducibilità mostra valori bassi, variabili tra 174 e 185 µS/cm, indice di un basso contenuto di soluti.

Tabella 6-1. Valori dei parametri chimico-fisici misurati nelle due date di monitoraggio a Bellano (Alto lago)

ALT_01	ALT_01	ALT_01	ALT_01	ALT_01	ALT_01	ALT_01
PROFONDITÀ	TEMPERATURA	OSSIGENO	SATURAZIONE	PH	SALINITÀ	CONDUCIBILITÀ SPC
m	°C	mg/l	%		ppm	µS/cm
9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21
0	8,5	10,34	90,8	7,73	0,08	174,7
10	8,54	10,27	90,4	7,69	0,08	174,7
20	8,55	10,16	89,3	7,69	0,08	174
30	8,53	9,92	87	7,62	0,08	175
40	8,39	9,38	82,1	7,5	0,09	177,8
45	8,33	9,11	79,6	7,46	0,09	179,4
50	8,09	8,57	74,5	7,37	0,09	182,6
55	7,97	8,48	73,5	7,35	0,09	182
60	7,8	8,35	71,9	7,32	0,09	183
65	7,75	8,26	71,2	7,3	0,09	182,6
67	7,74	8,23	70,9	7,29	0,09	182,7
68	7,73	8,23	70,8	7,3	0,09	182
68,6	7,71	8,2	70,9	7,31	0,09	183,5
22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21
0	8	10,14	86,9	7,73	0,09	182,0
5	7,81	10,21	86,9	7,83	0,09	183,1
10	7,71	10	84,9	7,72	0,09	182,7
15	7,68	9,93	84,3	7,68	0,09	182,3
20	7,61	9,62	81,4	7,62	0,09	183,0
25	7,6	9,55	80,8	7,6	0,09	186,6
30	7,59	9,52	80,6	7,57	0,09	186,6
35	7,54	9,42	79,8	7,52	0,09	185,7
40	7,47	9,21	77,7	7,4	0,09	181,3
45	7,43	9,31	78,1	7,48	0,09	181,1
50	7,42	9,3	78,5	7,47	0,09	180,0
55	7,43	9,33	78,7	7,47	0,09	181,7
60	7,43	9,46	79,7	7,46	0,09	181,2
64	7,43	9,47	79,9	7,45	0,09	180,9

Tabella 6-2. Valori dei parametri chimico-fisici misurati nelle due date di monitoraggio a Ossuccio (Ramo di Como)

COM_01	COM_01	COM_01	COM_01	COM_01	COM_01	COM_01
PROFONDITÀ	TEMPERATURA	OSSIGENO	SATURAZIONE	PH	SALINITÀ	CONDUCIBILITÀ SPC
m	°C	mg/l	%		ppm	µS/cm
09/01/21	09/01/21	09/01/21	09/01/21	09/01/21	09/01/21	09/01/21
0	8,76	9,5	84,2	7,88	0,08	176,5
10	8,73	9,55	83,9	7,65	0,08	176
20	8,71	9,5	83,6	7,83	0,08	177,6
30	8,69	9,46	83,2	7,84	0,09	178
40	8,48	9,15	80,2	7,74	0,09	176,3
45	8,33	8,84	77,2	7,67	0,09	177,9
50	8,14	8,54	74,1	7,63	0,09	179
52	8,11	8,51	73,8	7,62	0,09	180
55	8,03	8,27	71,7	7,59	0,09	181,3
58	7,97	8,23	71,2	7,6	0,09	181,1
60	7,96	8,27	71,7	7,61	0,09	181,8
62	7,96	8,3	71,8	7,62	0,09	181,9
63	7,96	8,2	70,9	7,65	0,09	182
22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21
0	7,94	10,52	89,7	7,63	0,09	183,3
5	7,84	10	85,4	7,55	0,09	182,6
10	7,77	9,84	83,6	7,54	0,09	183,2
20	7,56	9,36	79,2	7,46	0,09	182,3
30	7,52	9,16	77,4	7,42	0,09	182,7
40	7,51	9,01	76,1	7,4	0,09	182,1
45	7,52	9,1	76,7	7,4	0,09	184,1
50	7,52	9,07	76,7	7,4	0,09	183,9
55	7,52	9,08	76,7	7,4	0,09	184,1
60	7,51	9,04	76,4	7,39	0,09	184,1
61	7,51	9	76,7	7,39	0,09	184,8
62	7,51	9,02	76,2	7,38	0,09	184,8
63	7,51	9,02	76,2	7,38	0,09	184,2
64	7,51	8,93	75,4	7,36	0,09	184,9
65	7,51	8,77	74,1	7,33	0,09	184,9
66,6	7,51	8,61	73,6	7,33	0,09	183

Tabella 6-3. Valori dei parametri chimico-fisici misurati nelle due date di monitoraggio a Onno (Ramo di Lecco)

LEC_01	LEC_01	LEC_01	LEC_01	LEC_01	LEC_01	LEC_01
9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21	9/01/21
PROFONDITÀ	TEMPERATURA	OSSIGENO	SATURAZIONE	PH	SALINITÀ	CONDUCIBILITÀ SPC
m	°C	mg/l	%		ppm	µS/cm
0	8,66	10,12	89	7,95	0,08	174,5
10	8,69	10,07	88,6	7,79	0,08	174,4
20	8,69	10,06	88,7	7,78	0,08	174,4
30	8,69	10,04	88,5	7,77	0,08	174,7
40	8,69	10,07	88,7	7,77	0,08	174,7
45	8,67	9,96	87,6	7,74	0,08	175,1
50	8,63	9,78	86,1	7,69	0,08	176,2
53	8,37	9,05	79,2	7,56	0,09	178,1
55	8,31	8,84	77,3	7,54	0,09	180
58	8,19	8,41	73,2	7,49	0,09	182,9
59	8,17	8,45	73,4	7,49	0,09	183
60	8,08	8,42	73,1	7,48	0,09	182,9
62	7,98	8,28	71,7	7,47	0,09	183,6
22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21	22/02/21
0	8,07	10,3	88,4	7,76	0,09	182,1
5	7,69	10,07	85,4	7,65	0,09	182,3

10	7,62	9,97	84,5	7,65	0,09	182,1
15	7,54	9,65	81,8	7,59	0,09	181,7
20	7,51	9,48	80,2	7,58	0,09	182,3
25	7,5	9,47	79,8	7,55	0,09	181,5
30	7,5	9,48	79,9	7,55	0,09	181,4
35	7,49	9,41	79,5	7,54	0,09	181
40	7,48	9,36	79	7,54	0,09	181,7
45	7,48	9,4	79,4	7,48	0,09	181,3
50	7,47	9,39	79,1	7,54	0,09	181,4
55	7,46	9,25	78	7,51	0,09	180,6
60	7,45	9,12	76,9	7,49	0,09	180,6
63	7,45	9,16	77,4	7,5	0,09	181,1
65	7,44	9,15	77,3	7,5	0,09	180,5
66	7,45	9,21	77,7	7,51	0,09	180,6
67	7,45	9,27	78	7,51	0,09	181,3
68,4	7,45	9,33	78,7	7,52	0,09	181,2

Figura 6-1. Profilo verticale della temperatura nelle 3 stazioni nelle 2 date di campionamento

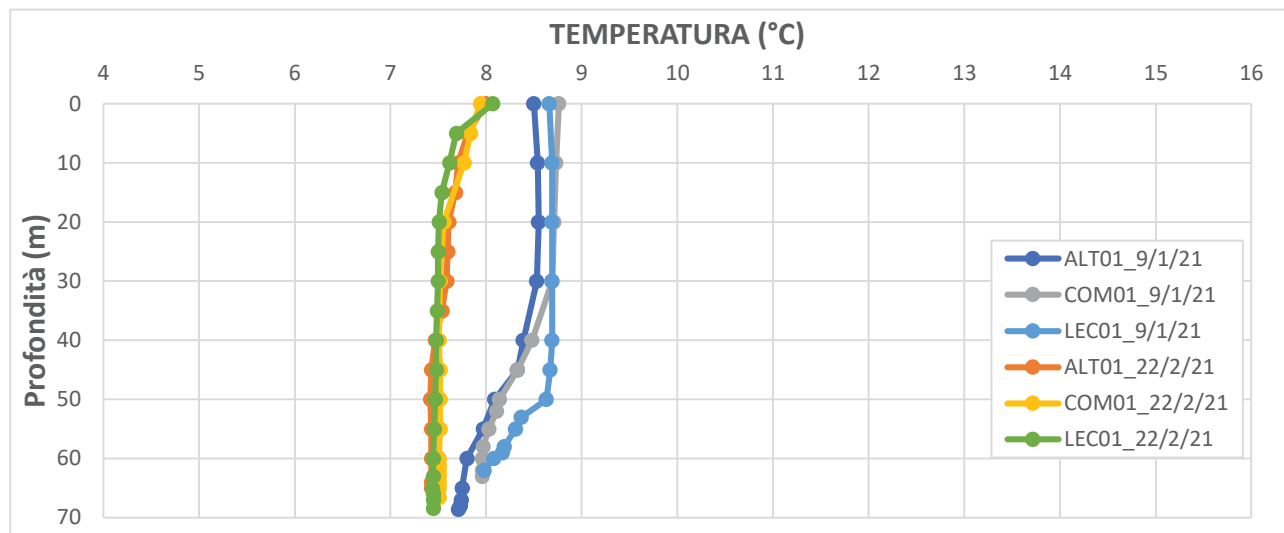


Figura 6-2. Profilo verticale della concentrazione di ossigeno nelle 3 stazioni nelle 2 date di campionamento

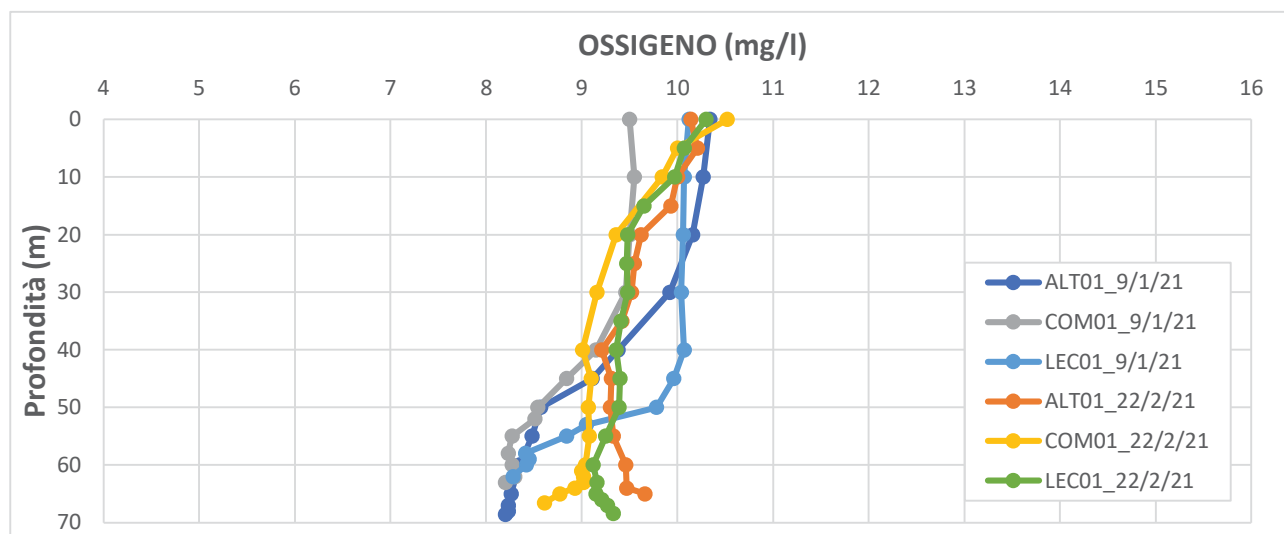


Figura 6-3. Profilo verticale della percentuale di saturazione di ossigeno nelle 3 stazioni nelle 2 date di campionamento

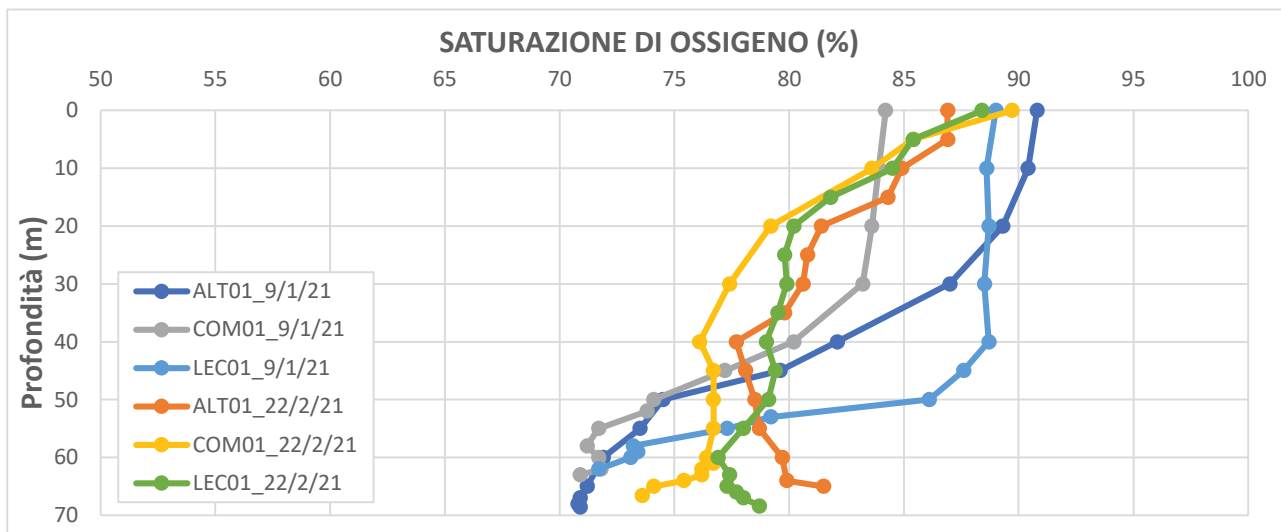


Figura 6-4. Profilo verticale del pH nelle 3 stazioni nelle 2 date di campionamento

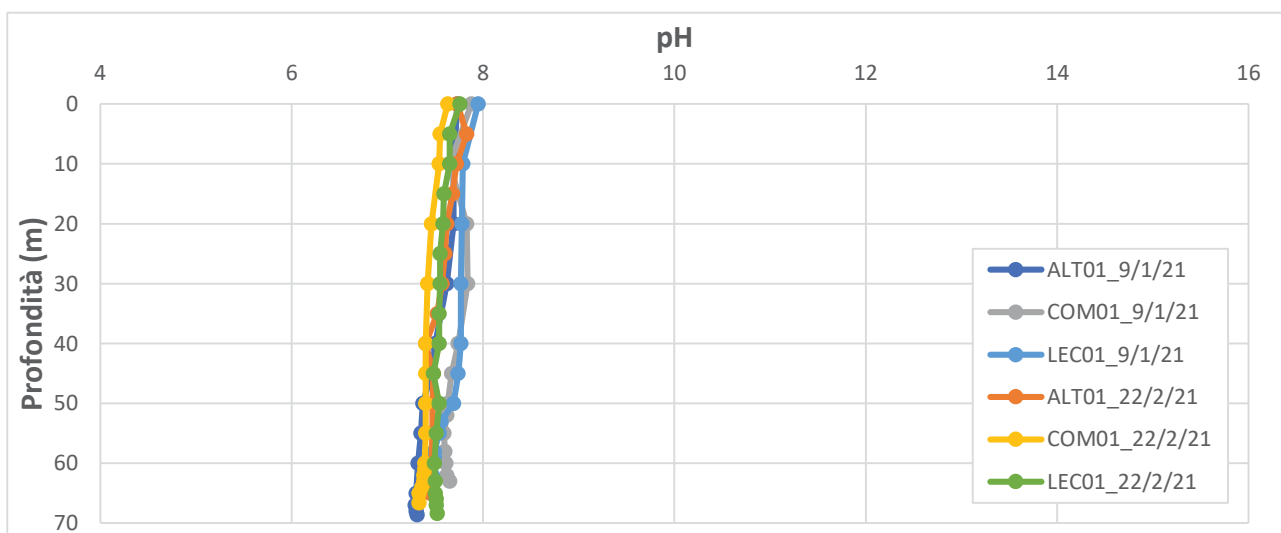
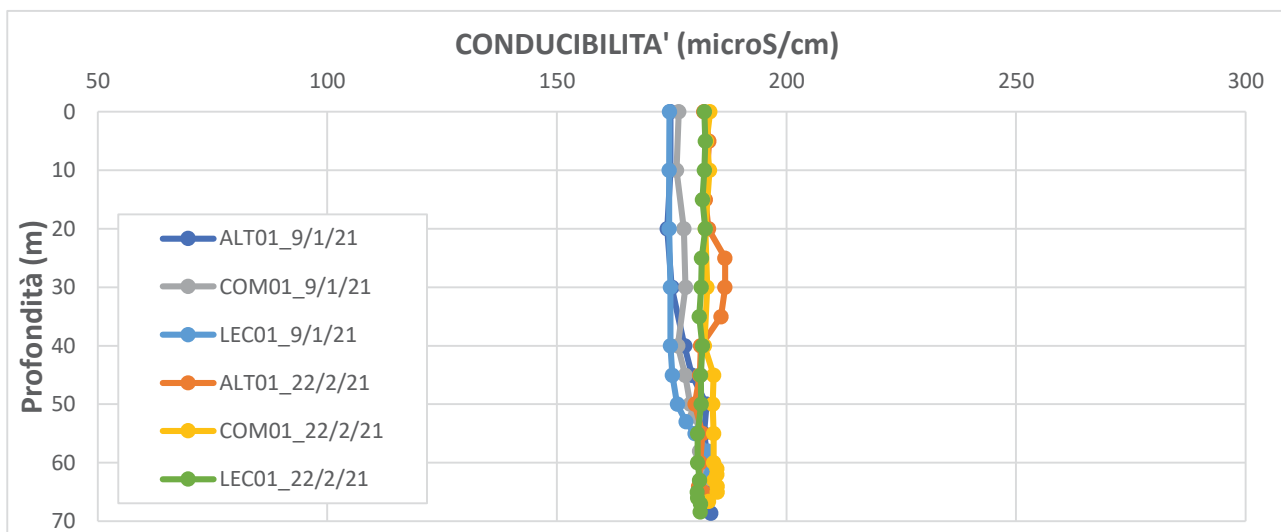


Figura 6-5. Profilo verticale della conducibilità elettrica specifica nelle 3 stazioni nelle 2 date di campionamento



Relativamente alla qualità chimica, sono stati monitorati i seguenti parametri:

- Azoto ammoniacale (limite inferiore di rilevabilità dello strumento 0,015 mg/l), convertito in Ammoniaca Totale;
- Azoto nitrico (limite inferiore di rilevabilità dello strumento 0,015 mg/l), convertito in Nitrati;
- Azoto nitroso (limite inferiore di rilevabilità dello strumento 0,023 mg/l), convertito in Nitriti;
- Solfuri (limite inferiore di rilevabilità dello strumento 0,1 mg/l).

Di seguito i valori misurati nelle 3 stazioni di indagine nelle due date di campionamento. Le indagini effettuate rilevano delle concentrazioni dei nutrienti ridotte, senza evidenziare particolari criticità per il benessere della fauna ittica.

Tabella 6-4. Valori dei parametri chimici

Stazione	Comune	Data	Azoto ammoniacale	Ammoniaca totale	Azoto nitrico	Nitrati	Azoto nitroso	Nitriti	Solfuri
			mg/l $\text{NH}_4^+ - \text{N}$	mg/l NH_4^+	mg/l $\text{NO}_3^- - \text{N}$	mg/l NO_3^-	mg/l $\text{NO}_2^- - \text{N}$	mg/l NO_2^-	mg/l S_2^-
ALT_01	Bellano	08/01/21	<0,015	-	0,692	3,065	0,002	0,007	<0,1
ALT_01	Bellano	22/02/21	<0,015	-	0,702	4,220	0,002	0,007	<0,1
COM_01	Osuccio	08/01/21	<0,015	-	0,953	3,499	<0,0015	-	<0,1
COM_01	Osuccio	22/02/21	<0,015	-	0,812	3,109	0,002	0,007	<0,1
LEC_01	Onno	08/01/21	0,016	0,021	0,790	3,596	<0,0015	-	<0,1
LEC_01	Onno	22/02/21	<0,015	-	0,638	2,825	0,002	0,007	<0,1

6.2 Zooplancton

Nell'ecosistema lago, i più importanti consumatori primari sono rappresentati dagli organismi zooplanctonici, distinguibili in tre gruppi zoologici: Protozoi, Rotiferi e Crostacei.

I **Protozoi**, sottoregno dei Protisti, costituiscono un gruppo parafiletico di organismi unicellulari con dimensioni dell'ordine di poche decine o centinaia di millesimi di millimetro. I **Rotiferi** costituiscono un *phylum* di animali pluricellulari, con dimensioni che raramente raggiungono il mezzo millimetro; il loro nome è dovuto al fatto che attorno alla bocca presentano una corona di "cilia" che, muovendosi vorticosamente convoglia il cibo nella bocca, consente la locomozione e infine rinnova l'acqua attorno al corpo dell'animale (Giussani e De Bernardi, 1984). La categoria più importante di zooplancton è tuttavia rappresentata dai **Crostacei**, un *subphylum* nel quale hanno particolare rilevanza gli ordini dei Cladoceri e dei Copepodi.

I **Cladoceri** si nutrono filtrando l'acqua su una serie di sete, poste a spazzola, capaci di trattenere le alghe. Essi sono, infatti, generalmente fitofagi filtratori e raggiungono dimensioni dell'ordine di pochi millimetri; tuttavia, alcuni di essi, come *Leptodora*, sono predatori e possono raggiungere anche dimensioni di 7-9 millimetri. La riproduzione è di regola partenogenetica, cioè avviene senza l'intervento della fecondazione da parte dei maschi, che compaiono soltanto in determinate circostanze. Il fatto che ogni femmina adulta possa produrre fino a 30-40 uova per volta e che l'età di riproduzione venga raggiunta in tempi brevi (7-8 giorni), fa sì che i Cladoceri possano aumentare in densità molto rapidamente durante la stagione calda. Alle nostre latitudini, le loro popolazioni aumentano in densità durante la primavera e perdurano fino verso la fine dell'autunno. Lo sviluppo primaverile viene favorito sia dall'aumento della temperatura delle acque lacustri, sia dall'abbondanza, in questo periodo, delle Cloroficee che costituiscono il loro alimento preferito.

I **Copepodi** sono rappresentati comunemente dagli ordini dei Calanoidi e dei Ciclopoidi, i primi fitofagi durante l'intera loro vita, i secondi fitofagi negli stadi giovanili e predatori da adulti. Le loro popolazioni, a differenza di quelle dei Cladoceri, sono composte da maschi e femmine e la riproduzione avviene attraverso la fecondazione delle uova da parte del maschio. Il loro corpo, generalmente a forma di pera negli adulti, appare suddiviso in segmenti sui quali si inseriscono arti e antenne, ed è proprio il movimento di queste ultime che permette loro la locomozione, producendo un tipico movimento a scatti. I Copepodi sono ugualmente rappresentati da specie che preferiscono basse temperature (*Cyclops abyssorum*, un Ciclopoide abitatore comune delle acque dei nostri laghi durante l'inverno che in estate occupa gli strati più profondi) e altre che prediligono temperature più elevate (come *Mesocyclops leuckarti*). Pertanto, a differenza dei cladoceri popolano le acque lacustri durante tutto l'arco dell'anno. I Ciclopoidi (il cui nome discende dal fatto che sono

dotati di un solo occhio) hanno le antenne più corte (circa metà del corpo) e le loro femmine sono provviste di due sacchi di uova, mentre i Calanoidi hanno le antenne molto lunghe (quanto il corpo) e la presenza di un solo sacco di uova nelle femmine.

Tra i Copepodi, la specie più tipica dello zooplancton lariano è il Calanoide *Eudiaptomus padanus*; come tutti i Calanoidi si nutre cioè di alghe planctoniche ed è sensibile all'inquinamento delle acque. I Ciclopoidi sono in genere più resistenti all'inquinamento e alla carenza di ossigeno disciolto. Per quanto riguarda l'alimentazione, tra i Ciclopoidi esistono anche specie predatrici, che si nutrono cioè di altre specie zooplanctoniche di minori dimensioni, come ad esempio *M. leuckarti* e *C. abyssorum*, specie tipiche del lago di Como.

Nel 2011, la scrivente ha realizzato dei campionamenti di zooplancton nel lago di Como nell'ambito del Progetto INTERREG Italia – Svizzera 2007-2013 “Valorizzazione sostenibile dei prodotti ittici tradizionali ed innovativi dei laghi insubrici” - Azione 6 “Valutazione della produttività ittica dei laghi e quantificazione dello sforzo di pesca sostenibile”, nelle stazioni di Como, Gera Lario, Abbadia Lariana e centro lago.

Il campionamento è stato condotto filtrando una colonna d'acqua di 50 m; nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle stazioni di Abbadia L. e centro lago, le più prossime alle stazioni indagate con il presente studio.

Tabella 6-5. Densità in ind/m³ di zooplancton nelle stazioni di Abbadia Lariana e centro lago (dati GRAIA, 2011)

Data	Stazione	Cladoceri					Copepodi			
		<i>Daphnia</i>	<i>Eubosmina</i>	<i>Diaphanosoma</i>	<i>Bythotrephes</i>	<i>Leptodora</i>	<i>Ciclopoidi</i>	<i>Calanoidi</i>	<i>Nauplii indistinti</i>	totale
gen-11	Abbadia L.	16	8	5	0	0	638	415	316	1398
feb-11	Abbadia L.	9	0	0	0	0	213	477	674	1373
mar-11	Abbadia L.	18	7	2	62	0	147	225	1277	1738
apr-11	Abbadia L.	25	7	0	0	0	505	438	746	1721
mag-11	Abbadia L.	1814	633	11	59	48	548	3622	1112	7847
giu-11	Abbadia L.	241	316	50	14	0	1039	262	454	2376
lug-11	Abbadia L.	112	48	85	48	16	665	415	1213	2602
ago-11	Abbadia L.	11	53	1037	27	5	580	484	0	2197
set-11	Abbadia L.	14	209	50	11	12	534	1452	1658	3940
ott-11	Abbadia L.	11	64	213	5	0	580	1809	723	3405
nov-11	Abbadia L.	64	32	229	32	0	1223	2766	1436	5782
dic-11	Abbadia L.	11	5	5	11	0	479	702	878	2091
gen-11	Centro lago	43	0	8	0	0	787	1564	931	3333
feb-11	Centro lago	6	0	0	0	0	131	280	260	677
mar-11	Centro lago	24	0	0	0	0	670	2801	3122	6617
apr-11	Centro lago	263	19	0	0	0	574	763	2154	3773
mag-11	Centro lago	1061	676	0	13	0	537	691	237	3215
giu-11	Centro lago	241	32	0	7	4	227	376	78	965
lug-11	Centro lago	234	138	383	39	92	617	1770	4128	7401
ago-11	Centro lago	43	96	665	16	16	660	697	3404	5597
set-11	Centro lago	5	181	27	0	11	479	1154	1266	3123
ott-11	Centro lago	27	32	207	21	0	941	1489	1957	4674
nov-11	Centro lago	27	5	69	5	0	1957	2622	1138	5823
dic-11	Centro lago	16	0	27	0	5	436	745	441	1670

Le densità riscontrate variano nella stazione di Abbadia L. da un minimo di 1373 ind/m³ a febbraio a un massimo di 5782 ind/m³ a novembre e in centro lago da un minimo di 677 ind/m³ a febbraio a un massimo di 7401 ind/m³ a luglio. Dal punto di vista della composizione percentuale, dominano nettamente i Copepodi, con un aumento della popolazione di Cladoceri nel periodo tardo primaverile-estivo. Tra i Copepodi, considerando l'intero arco annuale i Calanoidi sono presenti con percentuali mediamente superiori, anche se buona parte dei Copepodi è rappresentata da nauplii indistinti. Tra i Cladoceri, risultano più abbondanti *Daphnia* ed

Eubosmina nel periodo tardo-primaverile e *Diaphanosoma* nel periodo estivo-autunnale. *Leptodora*, il più grande Cladocero esistente.

Figura 6-6. Densità in ind/m³ di zooplancton nella stazione di Abbadia Lariana (dati GRAIA, 2011)

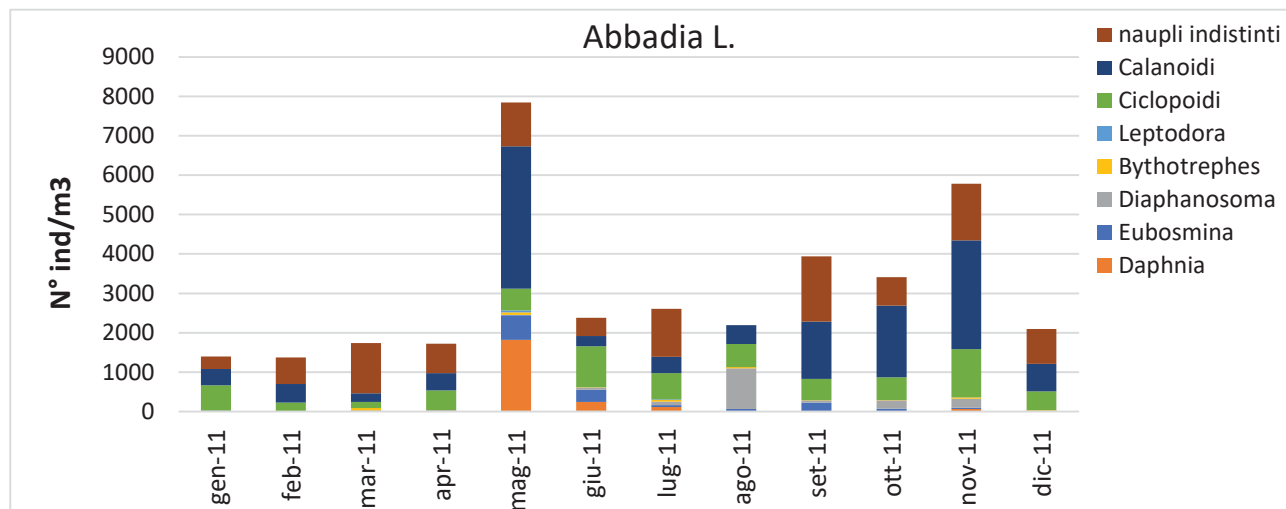


Figura 6-7. Composizione % del popolamento a Cladoceri e Copepodi nella stazione di Abbadia L. (dati GRAIA, 2011)

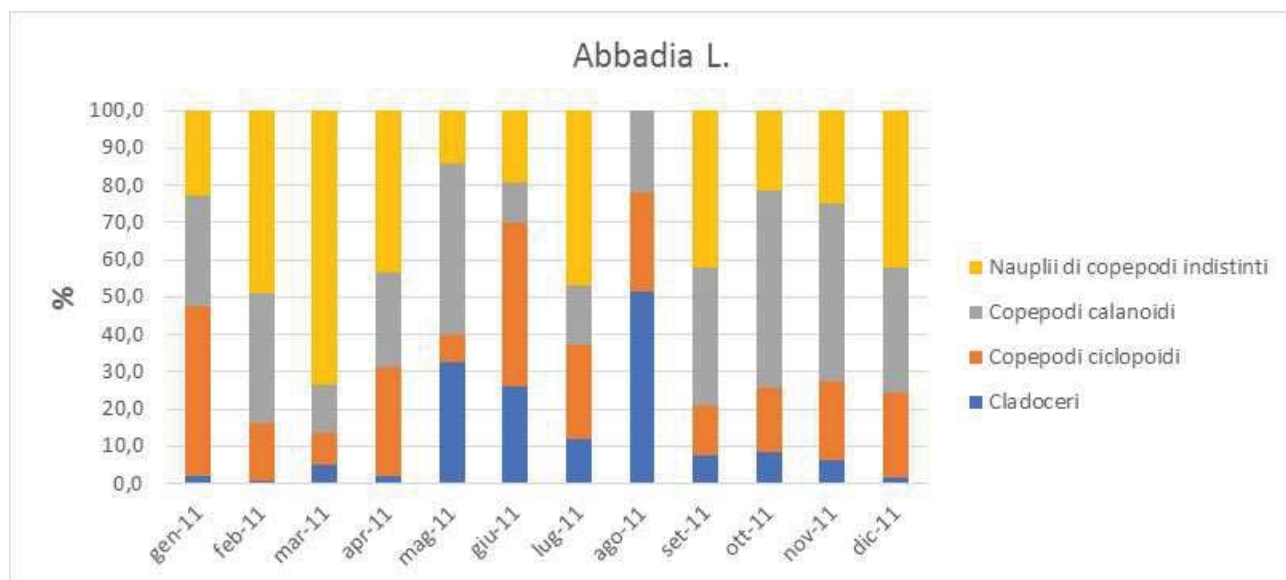


Figura 6-8. Densità in ind/m³ di zooplancton nella stazione in centro lago (dati GRAIA, 2011)

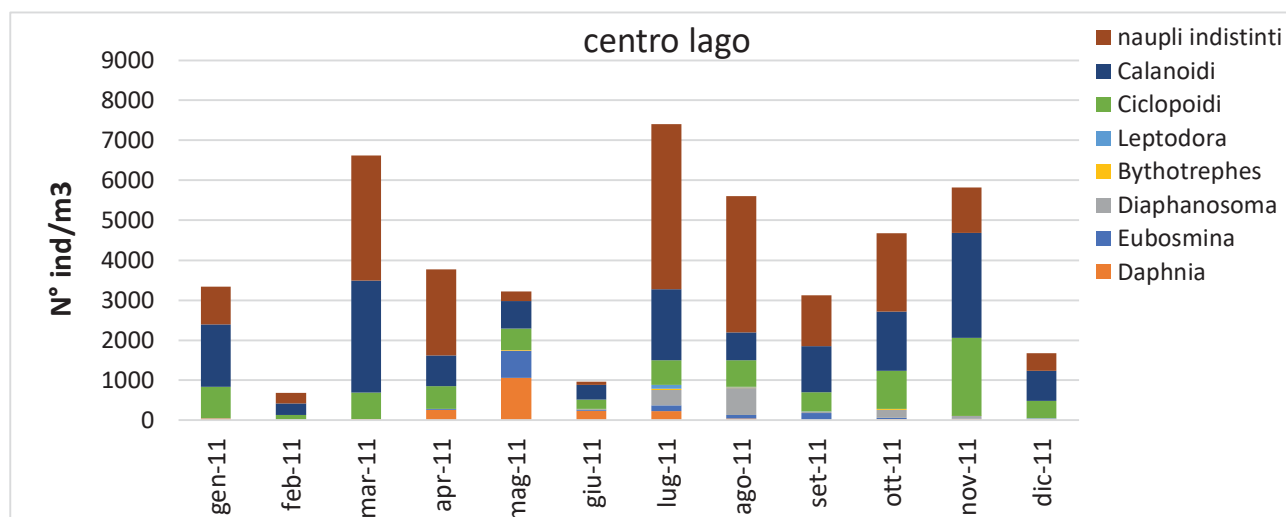
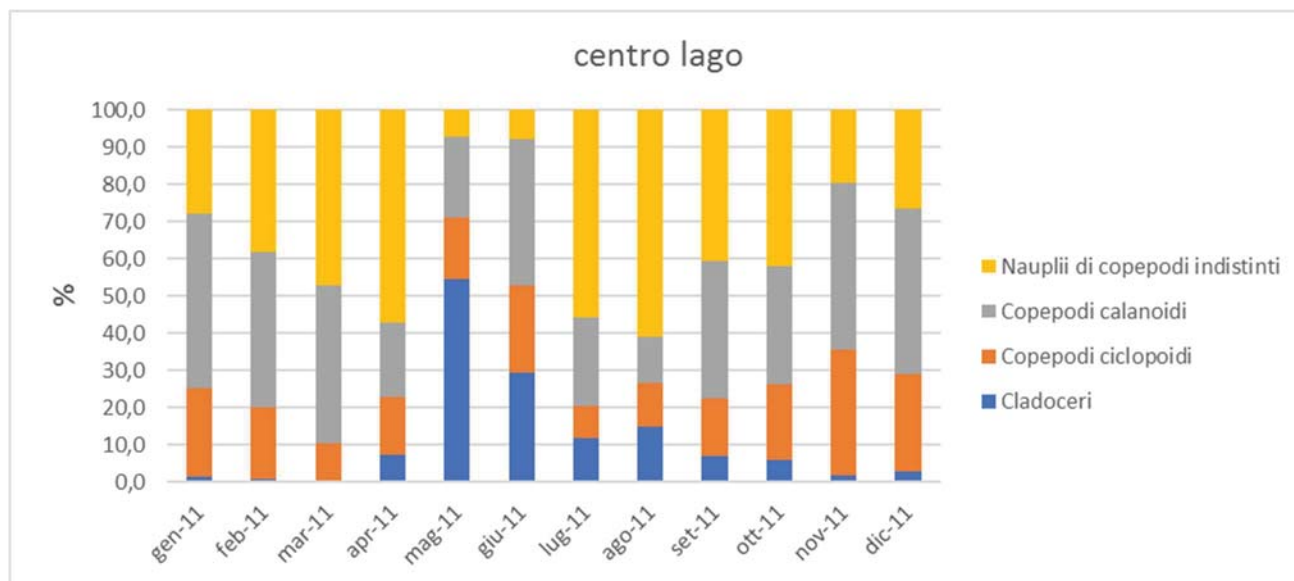


Figura 6-9. Composizione % del popolamento a Cladoceri e Copepodi nella stazione di Abbadia L. (dati GRAIA, 2011)



Per il presente studio sono stati eseguiti complessivamente 3 campionamenti di zooplankton in corrispondenza delle 3 stazioni in 3 date di monitoraggio. Di seguito le tabelle riportanti le comunità zooplanctoniche osservate. I Copepodi vengono distinti in base allo stadio vitale, in Nauplii (primo stadio larvale) e Adulti + Copepoditi (stadio larvale avanzato caratterizzato da una forma già simile all'animale adulto).

Quello che emerge dalle tabelle è la scarsità del popolamento zooplanctonico rinvenuto, che mostra valori di densità totale (crostacei + rotiferi) variabili da un minimo di 102 ind/m³ a un massimo di 697 ind/m³, valori inferiori di ben 1 ordine rispetto a quelli misurati nel 2011 (GRAIA, 2011).

Come osservabile dai dati riportati nel seguito, la presenza di crostacei rispetto ai Rotiferi risulta sempre prevalente, nella maggior parte dei casi anche dominante. Questi ultimi sono rappresentati principalmente dai generi *Asplanchna* e *Keratella*, in misura minore da *Kellicottia*, *Syncheta* e *Polyarthra*.

Considerando i soli Crostacei, mediamente un terzo della densità è rappresentato dal primo stadio larvale, detto nauplio, di dimensioni minori, con una presenza maggiore a gennaio-febbraio e decrescente ad aprile.

I Copepodi, rappresentati da Ciclopoidi e Calanoidi, dominano sui Cladoceri. In particolare, si rileva un aumento dell'abbondanza dei Cladoceri nel mese di aprile, soprattutto in corrispondenza della stazione di Onno (Ramo di Lecco) e principalmente con *Bosmina* e *Daphnia*, più raramente con *Diaphanosoma*. Ad aprile compare un soggetto del predatore *Leptodora*, sempre nella stazione di Onno.

Tabella 6-6. Composizione della comunità zooplanctonica rilevata nella stazione di Bellano (Alto Lago)

ALT_01					N° ind/m³		
Gruppo	Sottoclasse	Ordine	Genere	Stadio vitale	22/02/21	24/03/21	21/04/21
CRUSTACEA (Subphylum)	Copepoda	Calanoidi	-	Adulti e copepoditi	180,8	94,2	174,0
			-	Naupli	44,4	38,0	19,4
		Ciclopoidi	-	Adulti e copepoditi	43,4	19,4	62,4
			-	Naupli	40,6	24,0	13,4
	Phyllopoda	Cladoceri	<i>Bosmina</i>	-	1,0	3,0	42,4
			<i>Daphnia</i>	-	0,6	2,0	45,6
ROTIFERA (Phylum)		Ploima	<i>Asplanchna</i>	-	3,0	3,4	9,6
			<i>Kellicottia</i>	-	0,0	2,4	0,0
			<i>Keratella</i>	-	3,8	0,2	9,4
			<i>Polyarthra</i>	-	0,0	2,4	0,0
			-	-	19,2	3,8	13,6
Totale					336,8	192,8	389,8

Tabella 6-7. Composizione della comunità zooplanctonica rilevata nella stazione di Tremezzina (Ramo di Como)

COM_01					N° ind/m³		
Gruppo	Sottoclasse	Ordine	Genere	Stadio vitale	22/02/21	24/03/21	21/04/21
CRUSTACEA (Subphylum)	Copepoda	Calanoidi	-	Adulti e copepoditi	25,0	87,2	45,0
			-	Naupli	18,8	44,8	21,4
		Ciclopoidi	-	Adulti e copepoditi	5,0	13,8	17,2
			-	Naupli	14,0	27,2	7,8
	Phyllopoda	Cladoceri	<i>Bosmina</i>	-	0,0	6,4	29,6
			<i>Daphnia</i>	-	1,0	4,6	7,2
			<i>Diaphamosoma</i>	-	0,0	0,4	0,0
			ROTIFERA (Phylum)				
	Ploima	<i>Asplanchna</i>	-	2,6	38,4	4,2	
		<i>Keratella</i>	-	15,4	0,0	2,4	
		<i>Syncheta</i>	-	0,0	4,4	0,0	
		-	-	20,4	60,6	15,4	
Totale					102,2	287,8	150,2

Tabella 6-8. Composizione della comunità zooplanctonica rilevata nella stazione di Onno (Ramo di Lecco)

LEC_01					N° ind/m³		
Gruppo	Sottoclasse	Ordine	Genere	Stadio vitale	22/02/21	24/03/21	21/04/21
CRUSTACEA (Subphylum)	Copepoda	Calanoidi	-	Adulti e copepoditi	40,4	171,4	249,2
			-	Naupli	31,8	64,6	48,8
		Ciclopoidi	-	Adulti e copepoditi	11,2	36,4	46,4
			-	Naupli	14,2	36,4	28,4
	Phyllopoda	Cladoceri	<i>Bosmina</i>	-	0,6	7,4	140,2
			<i>Daphnia</i>	-	0,6	9,0	109,8
			<i>Diaphamosoma</i>	-	2,2	0,8	0,0
			<i>Leptodora</i>	-	0,0	0,0	0,2
ROTIFERA (Phylum)		Ploima	<i>Asplanchna</i>	-	4,6	57,6	31,6
			<i>Kellicottia</i>	-	0,0	2,2	0,4
			<i>Keratella</i>	-	2,2	12,8	15,2
			<i>Syncheta</i>	-	0,0	9,6	0,0
			-	-	8,4	78,0	27,2
Totale					116,2	486,2	697,4

Tabella 6-9. Composizione dei campioni raccolti per gruppo sistematico e per ordine di crostacei

Data	22/02/21	24/03/21	21/04/21
Stazione	ALT_01 N° ind/m³	ALT_01 N° ind/m³	ALT_01 N° ind/m³
CROSTACEI	310,2	187,0	306,0
Copepodi - Adulti e Copepoditi	224,2	113,6	236,4
Copepodi - Nauplii	85,0	62,0	32,8
Cladoceri	1,0	11,4	36,8
ROTIFERI	26	12,2	32,6
Stazione	COM_01 N° ind/m³	COM_01 N° ind/m³	COM_01 N° ind/m³
CROSTACEI	63,8	184,4	128,2
Copepodi - Adulti e Copepoditi	30,0	101,0	62,2
Copepodi - Nauplii	32,8	72,0	29,2
Cladoceri	1,0	11,4	36,8
ROTIFERI	38,4	103,4	22,0
Stazione	LEC_01 N° ind/m³	LEC_01 N° ind/m³	LEC_01 N° ind/m³
CROSTACEI	101,0	326,0	623,0
Copepodi - Adulti e Copepoditi	51,6	207,8	295,6
Copepodi - Nauplii	46,0	101,0	77,2
Cladoceri	3,4	17,2	250,2
ROTIFERI	15,2	160,2	74,4

Tabella 6-10. Composizione percentuale dei campioni raccolti per gruppo sistematico e per ordine di crostacei

Data	22/02/21	24/03/21	21/04/21
Stazione	ALT_01 %	ALT_01 %	ALT_01 %
CROSTACEI	92,3%	93,7%	91,6%
Copepodi - Adulti e Copepoditi	72,3%	60,7%	77,3%
Copepodi - Nauplii	27,4%	33,2%	10,7%
Cladoceri	0,3%	6,1%	12,0%
ROTIFERI	7,7%	6,3%	8,4%
Stazione	COM_01 %	COM_01 %	COM_01 %
CROSTACEI	62,4%	64,1%	85,4%
Copepodi - Adulti e Copepoditi	47,0%	54,8%	48,5%
Copepodi - Nauplii	51,4%	39,0%	22,8%
Cladoceri	1,6%	6,2%	28,7%
ROTIFERI	37,6%	35,9%	14,6%
Stazione	LEC_01 %	LEC_01 %	LEC_01 %
CROSTACEI	86,9%	67,1%	89,3%
Copepodi - Adulti e Copepoditi	51,1%	63,7%	47,4%
Copepodi - Nauplii	45,5%	31,0%	12,4%
Cladoceri	3,4%	5,3%	40,2%
ROTIFERI	13,1%	32,9%	10,7%

Figura 6-10. Composizione in rotiferi e crostacei dei campioni raccolti

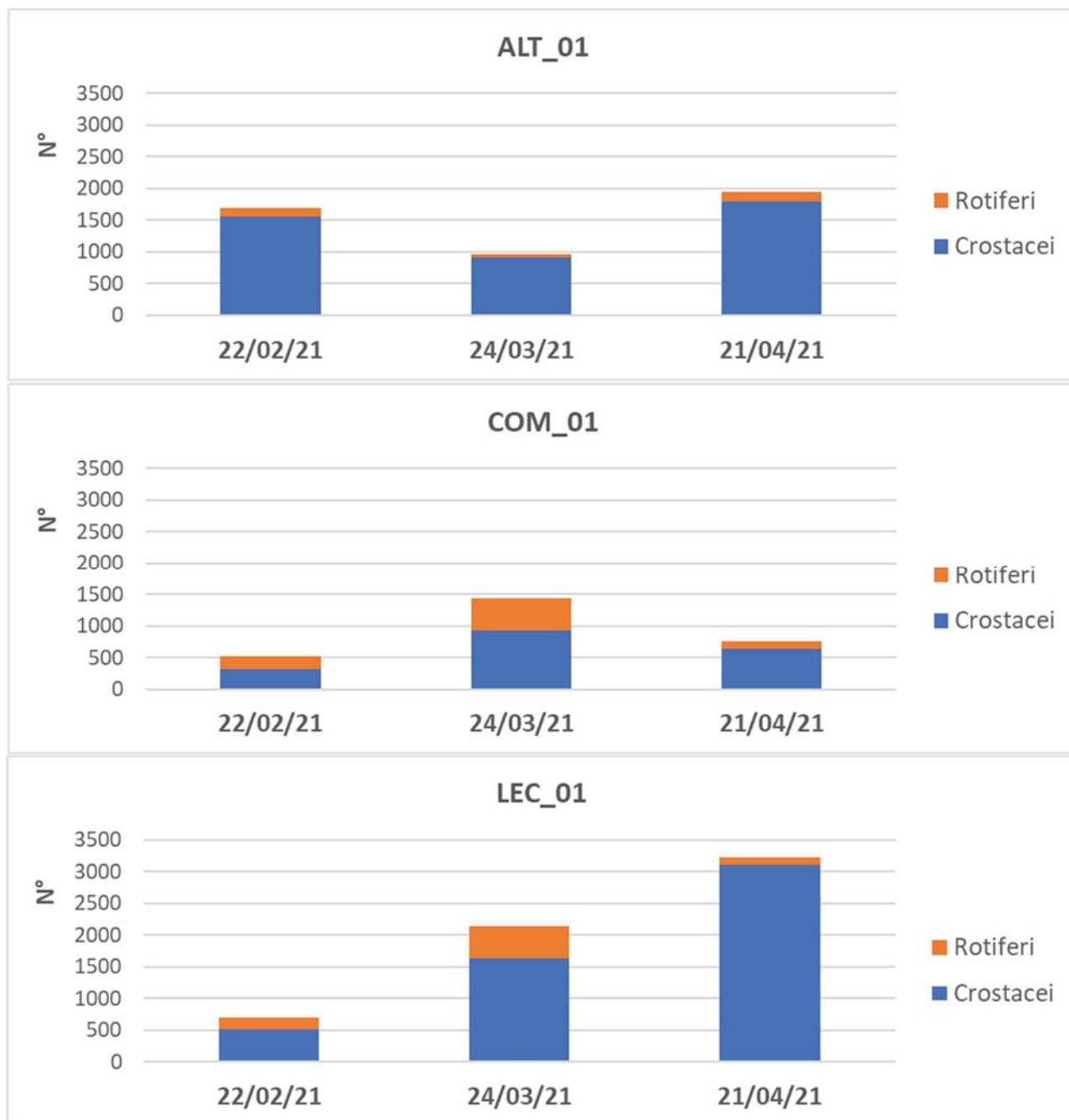
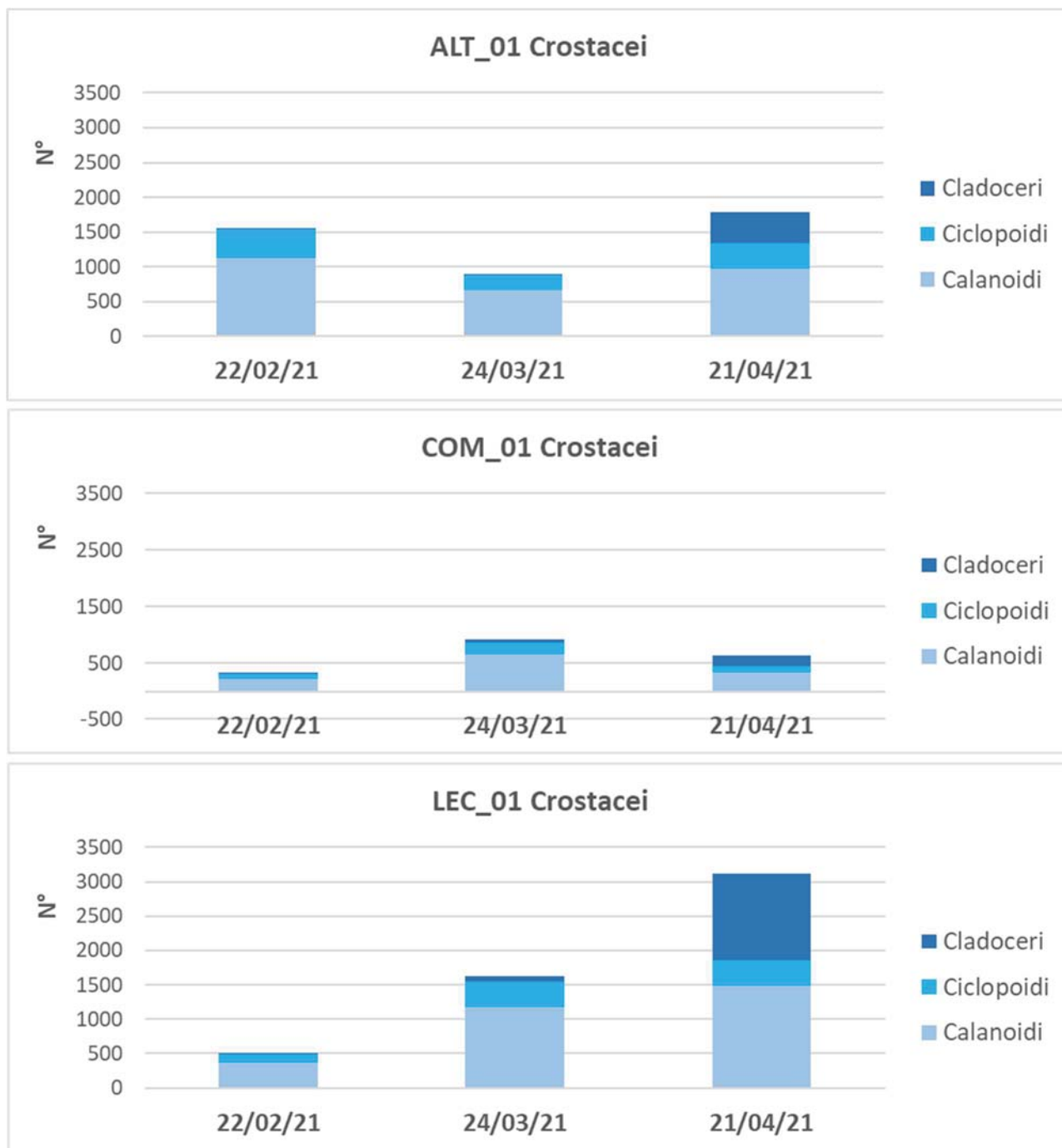


Figura 6-11. Composizione in ordini di crostacei dei campioni raccolti

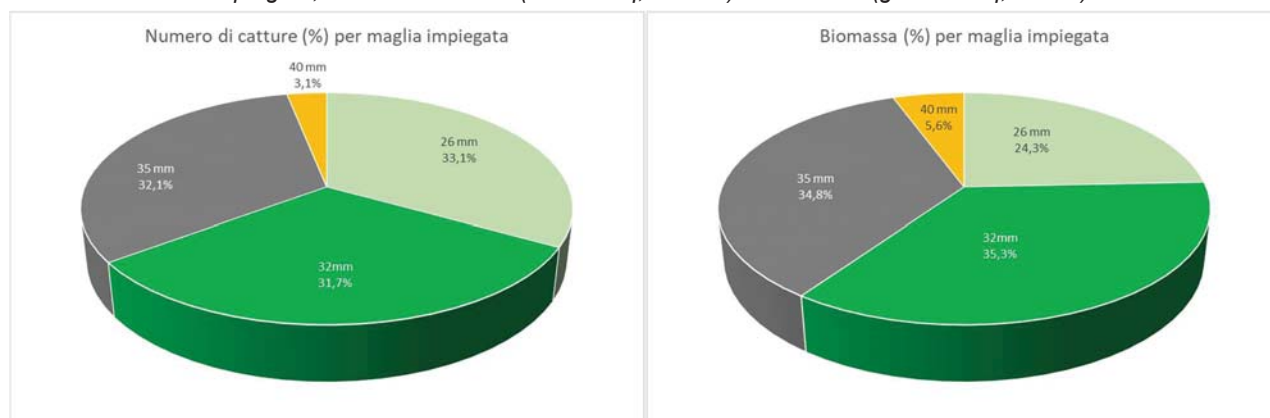


6.3 Fauna ittica

Per quanto riguarda l'attività di campionamento principale (giugno-novembre 2021) il campione di fauna ittica pescato è risultato composto da 963 coregoni complessivamente; per quanto concerne invece le pescate aggiuntive (gennaio-febbraio 2022) sono stati pescati 360 coregoni, per un totale complessivo di 1323 esemplari.

In riferimento specifico all'attività intrapresa tra giugno e novembre si presentano i risultati in funzione delle differenti maglie impiegate.

Figura 6-12. il pescato relativo all'attività intrapresa nel periodo giugno-novembre 2021 e in funzione delle maglie impiegate; numero di catture (N/1000mq; sinistra) e biomassa (gr./1000mq; destra).



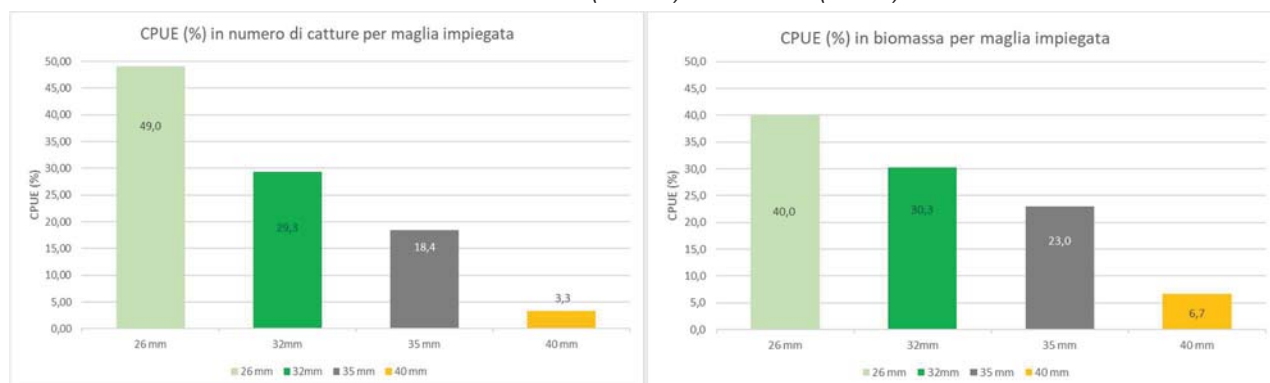
Il campione numerico complessivo è stato pescato quindi in proporzioni piuttosto simili per mezzo delle maglie del 26, 32, 35 mm; in termini ponderali la rappresentatività del pescato per mezzo della maglia del 26 si riduce. I dati presentati in precedenza non consentono ulteriori osservazioni, in quanto non normalizzati rapportando il numero di catture allo sforzo di pesca (*Catch Per Unit Effort*; in seguito CPUE), ovvero alla metratura di reti di data maglia impiegata in un dato tempo.

Il calcolo del CPUE permette di normalizzare i risultati uniformandoli per sforzo di pesca, rendendoli quindi confrontabili, come in seguito.

Il 32,1% del campione numerico è stato catturato con maglia del 35; il 31,7% con maglia del 32, il 33,1% con maglia del 26, mentre solo il 3,1% con maglia del 40. In termini di biomassa le percentuali fanno osservare una riduzione del 9% della rappresentatività del pescato con maglia del 26, a favore delle altre tre restanti maglie; ciò è intuitivo se si considera la differente selezione di taglia operata dalle maglie più ampie.

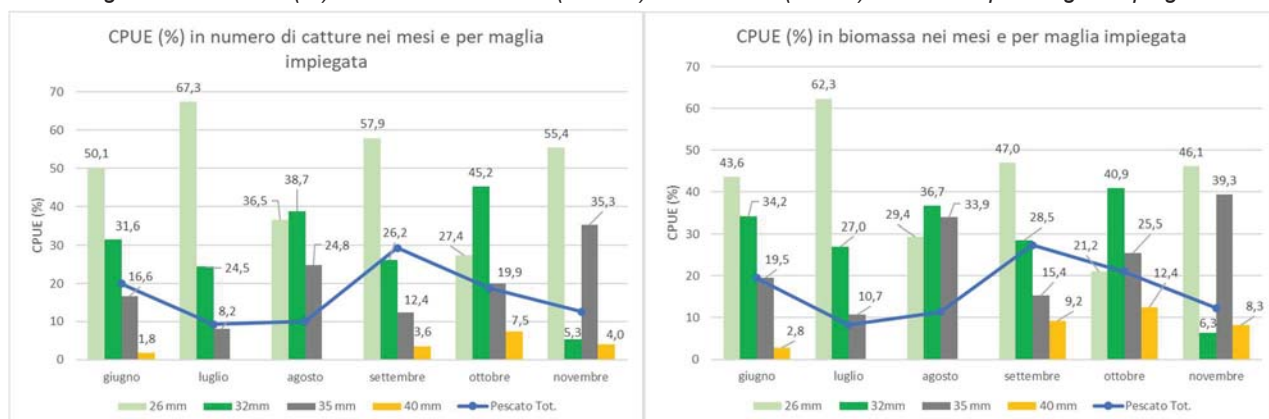
L'andamento del pescato nei mesi indagati è stato analizzato in termini di CPUE in termini del numero di catture e biomassa, come osservabile sotto. Nella fattispecie ciascuna colonna rappresenta la percentuale di catture effettuate per maglia impiegata. La normalizzazione dei dati in CPUE ha evidenziato come previsto un'evidente correlazione inversa tra l'ampiezza delle maglie impiegate e le catture effettuate (sia in termini numerici sia di biomassa).

Figura 6-13. CPUE relativi all'attività intrapresa nel periodo giugno-novembre 2021 e in funzione delle maglie impiegate; numero di catture (sinistra) e biomassa (destra).



Il grafico a seguire presenta i medesimi risultati discriminati per mese: la linea spezzata azzurra indica invece l'andamento del CPUE complessivo, espresso come la percentuale di pescato catturato ogni mese rispetto al totale.

Figura 6-14. CPUE (%) in numero di catture (sinistra) e biomassa (destra) nei mesi e per maglia impiegata.



L'andamento del CPUE risulta altalenante nel semestre considerato, con un picco di massima nel mese di settembre, che risulterà maggiormente contestualizzato una volta analizzato il trend d'evoluzione del fattore K di composità e delle circonferenze opercolare e massima.

Anche nei singoli mesi si mantiene grossomodo la proporzionalità osservata in termini di CPUE tra le differenti maglie: fanno eccezione i dati relativi alla maglia 26 per i mesi di agosto e ottobre, mediamente più bassi di quanto atteso osservando i restanti mesi.

6.3.1 DISTRIBUZIONE E PRESENZA PERCENTUALE DEI DUE COREGONI

Poiché esiste una sostanziale differenza di accrescimento tra Lavarello e Bondella, questa basilare prerogativa può essere utilizzata per la separazione dei due coregoni. Analizzando la distribuzione delle lunghezze dell'intero campione a parità di età si osserva l'esistenza di due curve di frequenza separate: la prima appartiene alla Bondella (minore accrescimento) e la seconda al Lavarello (maggiore accrescimento).

Nelle figure seguenti si riporta la distribuzione delle lunghezze (classi di 10 mm) retrocalcolate alla fine della stagione di accrescimento, distinte per coorti. Per eseguire tale analisi sono stati usati, come da capitolato, i dati raccolti durante le campagne 2021 (giugno-novembre). Purtroppo, vista la scarsità degli esemplari di 1 anno catturati, è stato necessario integrare il campione della coorte 2020 con i dati relativi ai lavarelli catturati nella campagna del 24 febbraio 2022 a Garlate e con i valori retrocalcolati al 1° inverno della coorte 2019. Visto altresì la scarsità di lavarelli, il campione della coorte 2019, è stato integrato con 3 esemplari di 2 anni pescati sempre a febbraio 2022 a Garlate.

La linea rossa indica la soglia di separazione relativa alla lunghezza entro la quale gli esemplari sono stati attribuiti a Bondella, e oltre la quale sono stati attribuiti a Lavarello.

Figura 6-15. Distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza (retrocalcolata) – 1° anno coorti 2019-20-21

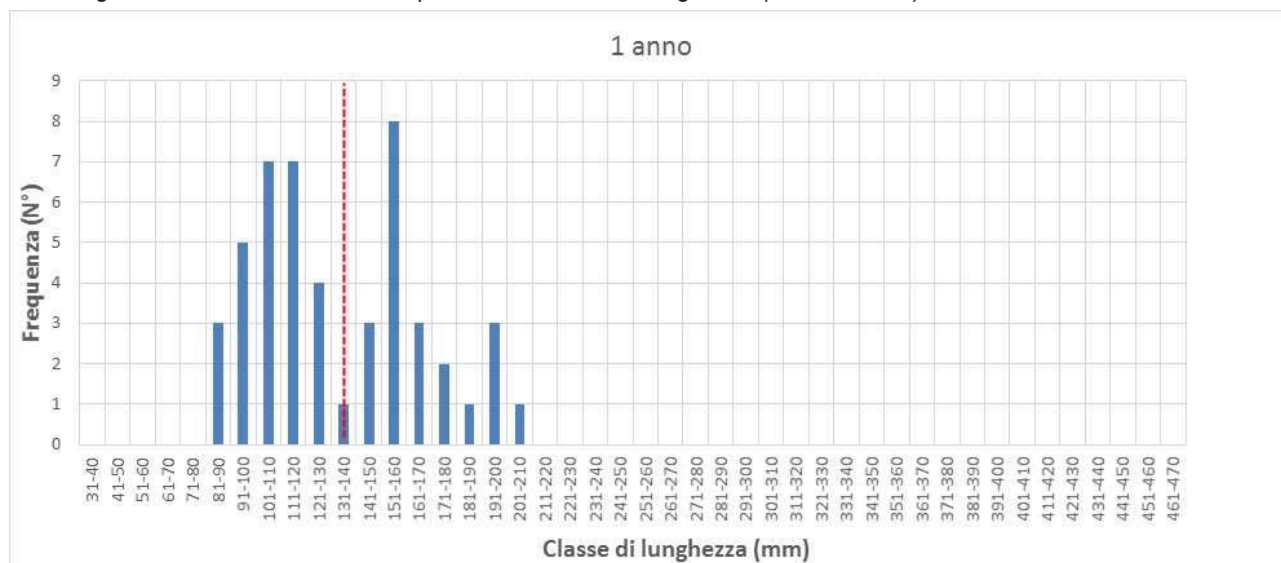


Figura 6-16. Distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza (retrocalcolata) – 2° anno coorte 2019

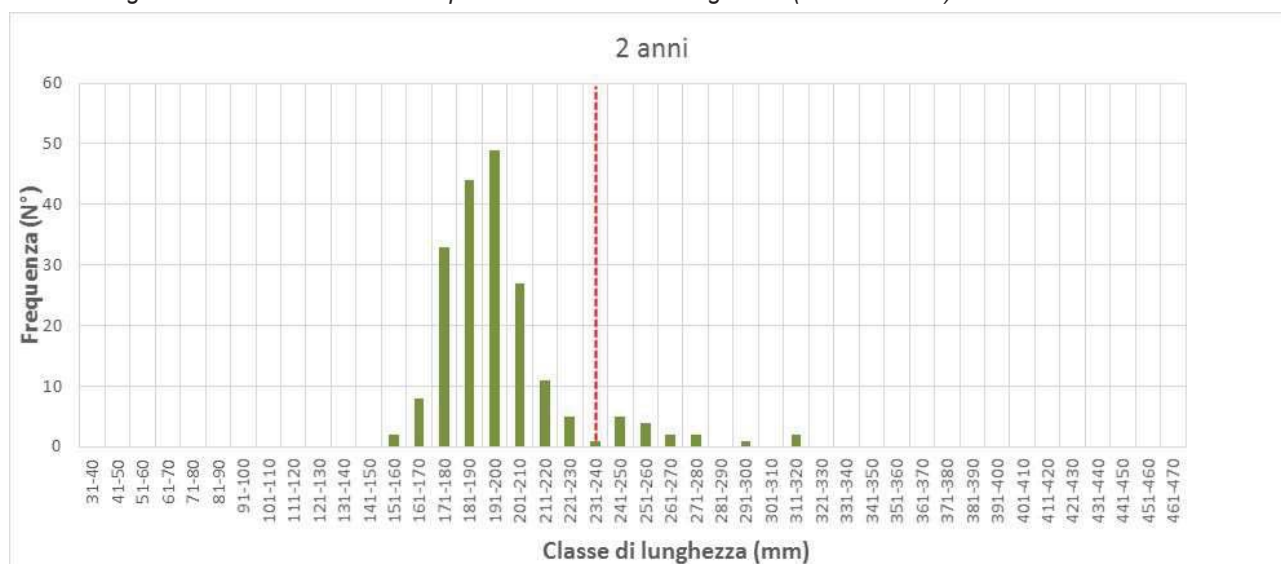
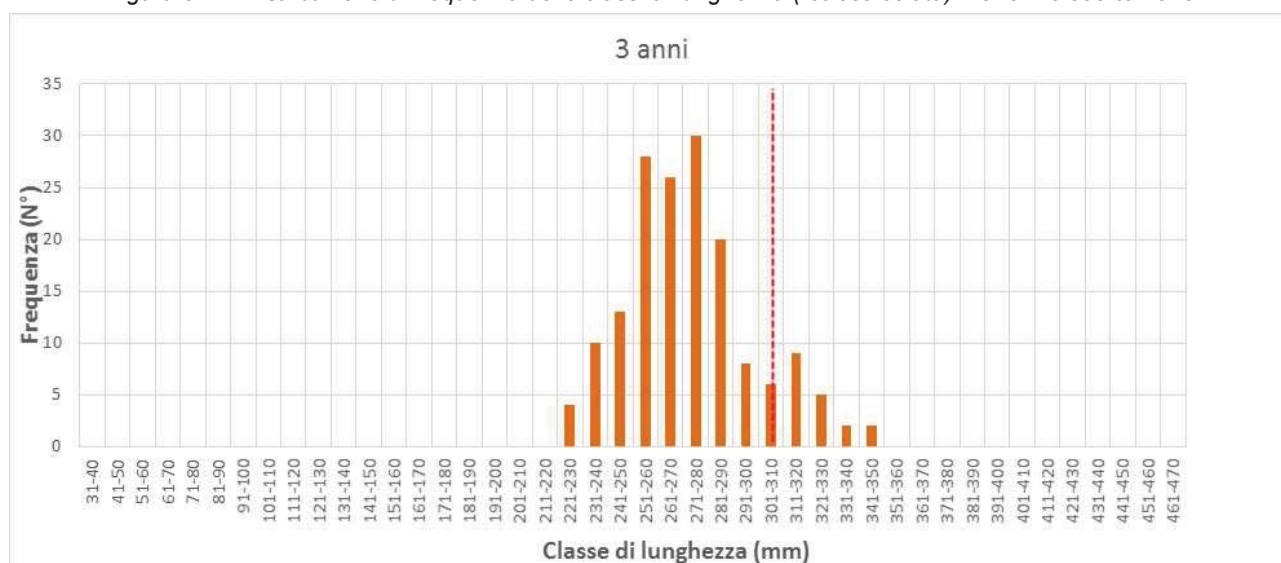


Figura 6-17. Distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza (retrocalcolata) – 3° anno coorte 2018



Sulla base delle evidenze raccolte è possibile osservare nella tabella seguente le soglie di separazione per ciascuna classe di età.

Tabella 6-11. Soglie di separazione

Età	Soglia di separazione
1 anno	135 mm
2 anno	235 mm
3 anno	305 mm
4 anno	335 mm

Per esemplari con età uguale o superiore a 4 anni, è stata sufficiente l'analisi delle lunghezze e della età anche senza retrocalcolo per determinare l'appartenenza a una delle due forme, in quanto la differenza di accrescimento è talmente importante da non permettere errori.

6.3.2 COMPOSIZIONE IN SPECIE DEL CAMPIONE

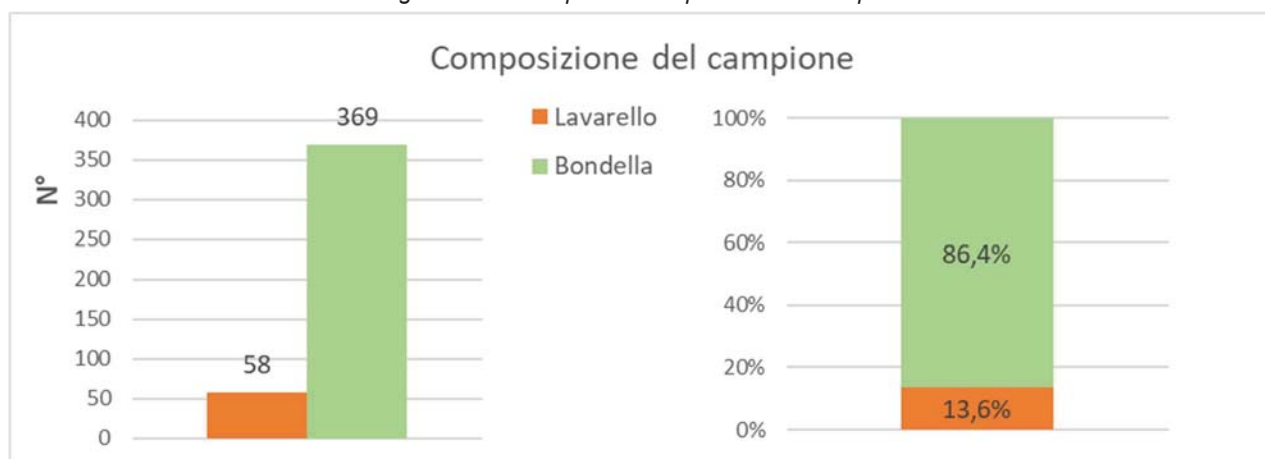
Dei 427 esemplari catturati nelle campagne di giugno-novembre 2021 di cui è stata determinata l'età e sui quali si è potuta operare l'attribuzione della specie (44% del campione complessivo), oltre l'**86% appartiene alla specie Bondella e meno del 14% alla specie Lavarello**.

Tali percentuali fanno riferimento essenzialmente al campione indagato e dipendono quindi sia dalla scelta della maglia sia da quella della profondità di esercizio; per questa ragione esse possono essere considerate solo con cautela come rappresentative della popolazione di coregoni del Lario.

Tabella 6-12. Composizione in specie del campione

Specie	N° esemplari	%
Bondella	369	86,4
Lavarello	58	13,6

Figura 6-18. Composizione specifica del campione.



Tale composizione è soggetta ad un margine d'errore di attribuzione che verrà discusso in seguito.

6.3.3 ACCRESCIMENTO PONDERALE E FATTORE DI CONDIZIONE

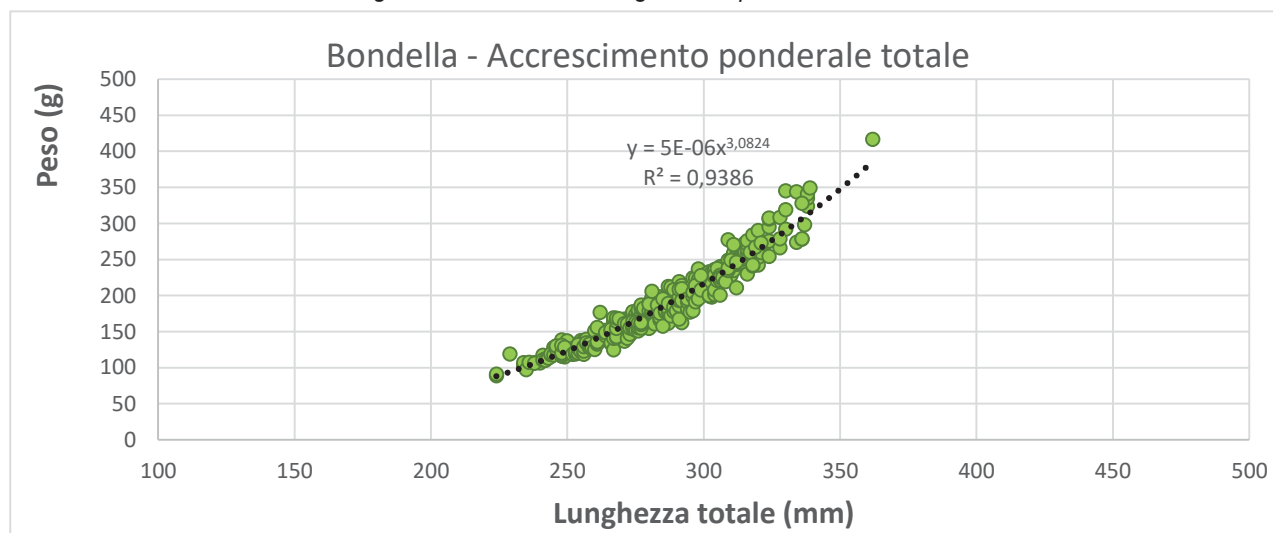
6.3.3.1 Bondella

Il rilevamento dei caratteri biometrici di peso e lunghezza ha permesso di costruire la seguente relazione lunghezza - peso della popolazione di Bondella, rappresentata dall'equazione:

$$P = 5 \cdot 10^{-6} L^{3,08}$$

dove P è il peso del pesce in grammi e L è la lunghezza del pesce in millimetri.

Figura 6-19. Relazione lunghezza – peso della Bondella



Il grafico seguente mostra la relazione lunghezza-peso distinta per sesso, mostrando un accrescimento ponderale leggermente maggiore per le femmine. La Figura 6-21 riporta l'accrescimento ponderale delle femmine distinto per stagione, dove si nota un minor rapporto lunghezza-peso nel campione invernale, indice del fatto che già a fine gennaio la riproduzione era conclusa.

Figura 6-20. Relazione lunghezza – peso della Bondella distinta per sesso

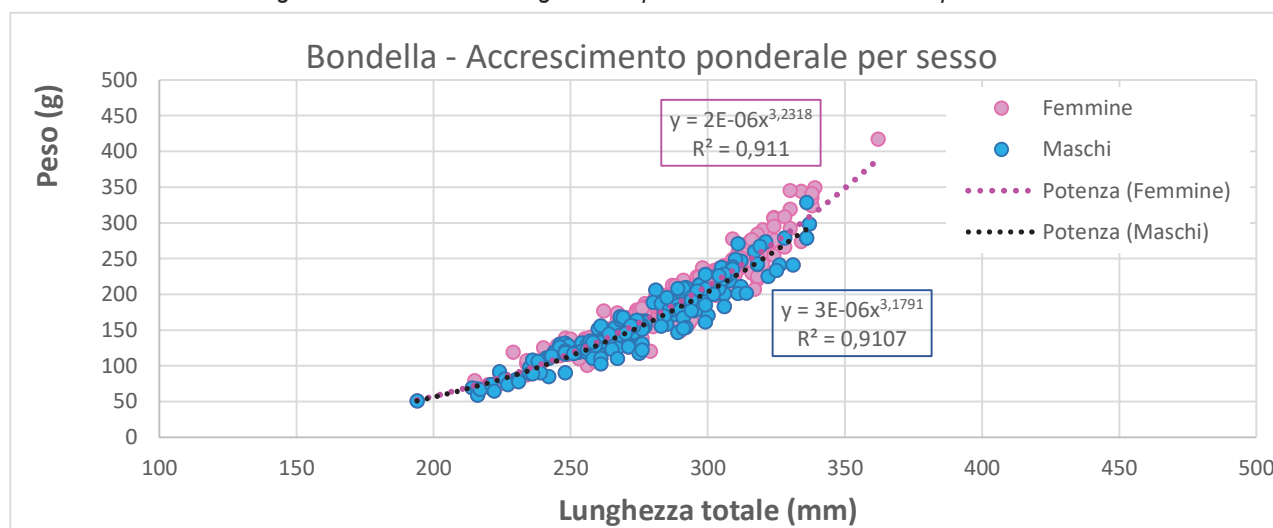
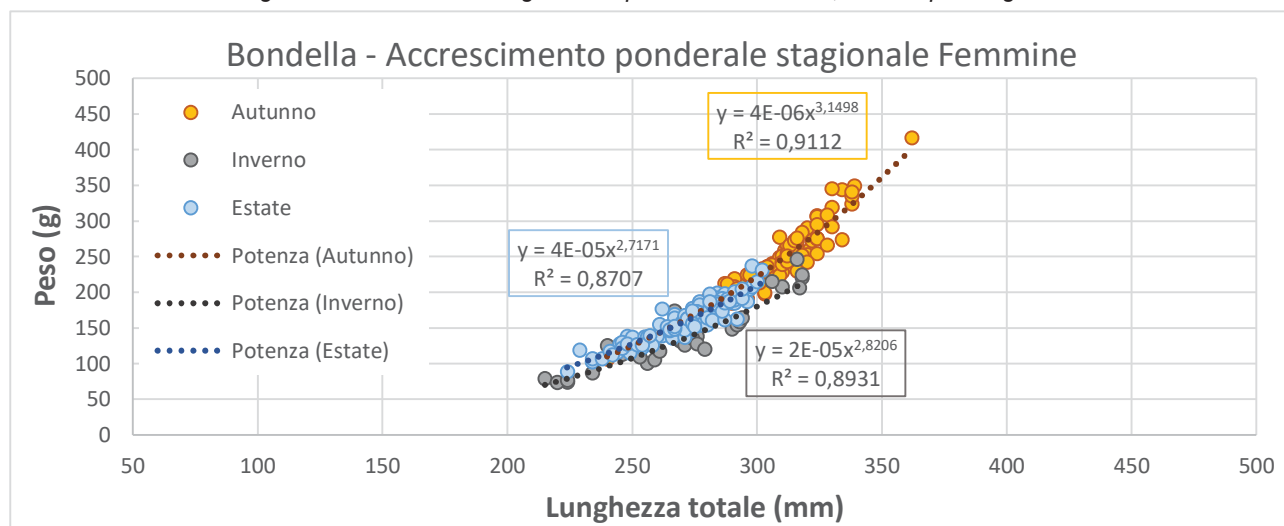


Figura 6-21. Relazione lunghezza – peso delle femmine, distinta per stagione

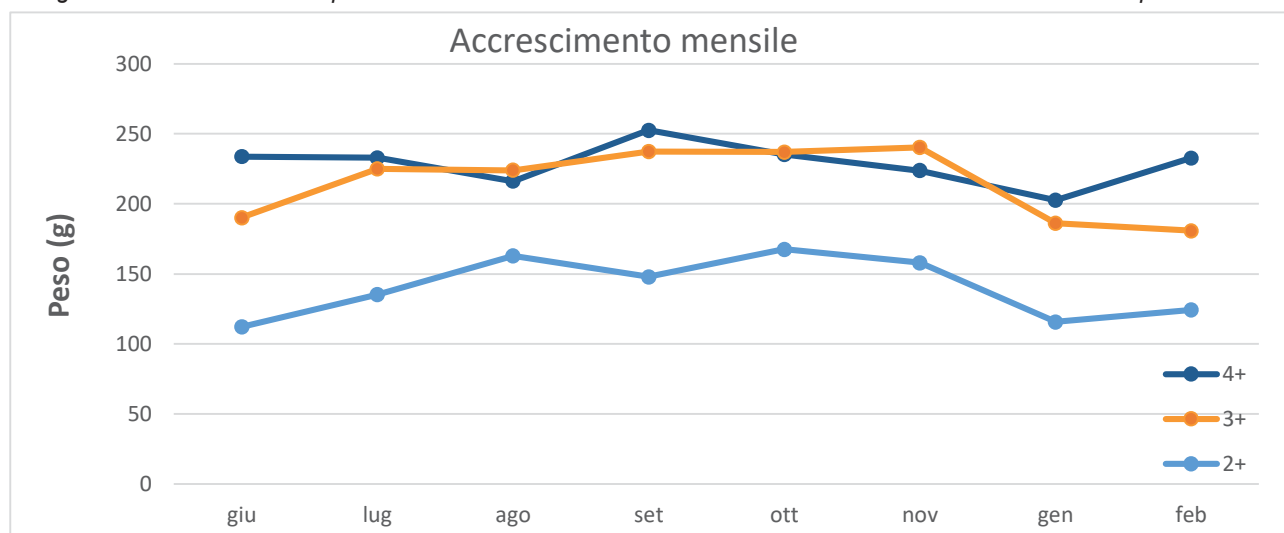


Di seguito si riportano i pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento. Il picco massimo ponderale si osserva tra settembre e novembre, dopo di che la maturazione delle gonadi e le minori disponibilità alimentari determinano una perdita di peso, con i minimi ponderali a termine della stagione riproduttiva.

Tabella 6-13. Variazione dei pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento

PESO	2+		3+		4+	
mese	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
Giugno	112,2	15,2	190,1	33,4	233,8	37,5
Luglio	135,3	18,3	225,0	38,2	233,0	39,0
Agosto	162,9	19,8	224,0	29,1	216,3	44,2
Settembre	147,9	27,2	237,4	55,9	252,6	59,2
Ottobre	167,6	21,6	237,1	49,4	235,3	34,3
Novembre	157,9	29,0	240,4	48,1	223,8	36,7
Gennaio	115,7	24,7	186,1	36,9	202,6	21,1
Febbraio	124,4	32,5	180,8	48,6	232,8	8,1

Figura 6-22. Variazione dei pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento



Nelle tabelle seguenti si riportano i valori dell'indice di condizione di Fulton (K) e dell'indice di condizione relativo di Le Cren (Kn). Come detto nei Materiali e Metodi, Kn ha il vantaggio di presupporre una crescita di tipo allometrico permettendo, quindi, di confrontare esemplari di taglie diverse e quindi di differenti classi di età. Come si può osservare in Figura 6-23, il fattore di condizione relativo mostra una tendenza al decremento nell'arco dei vari mesi di campionamento, raggiungendo i valori più bassi a gennaio-febbraio, a riproduzione

terminata. Osservando i valori di Kn ottenuti per le diverse classi d'età, i più anziani (4+) mostrano mediamente condizioni leggermente inferiori rispetto alle classi centrali (2+/3+).

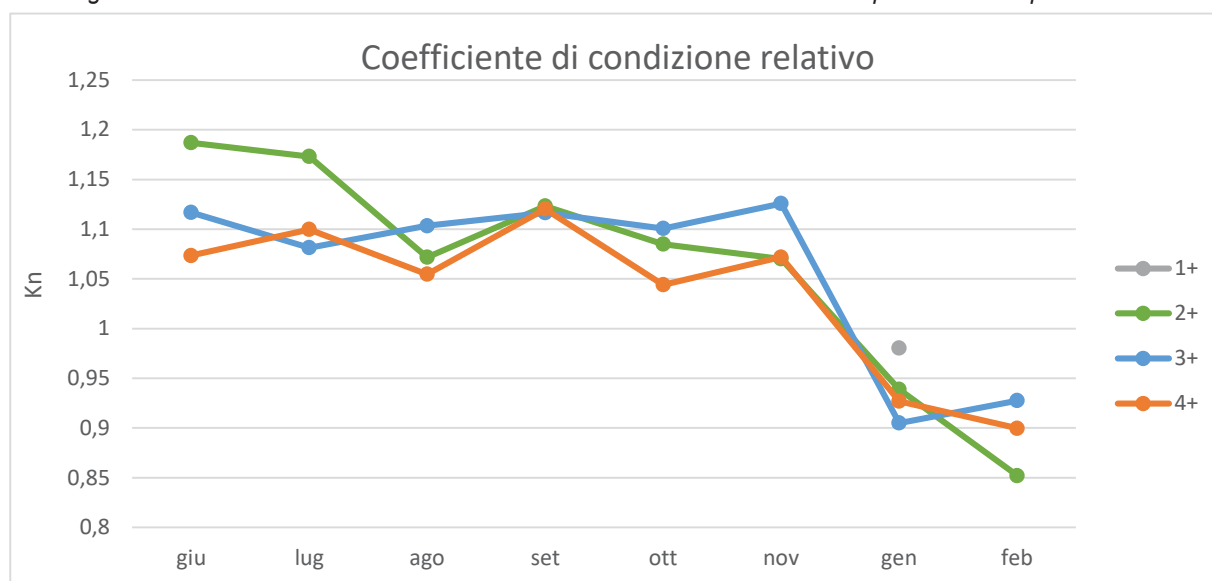
Tabella 6-14. Fattore di condizione K (sinistra) e Fattore di condizione relativo Kn (destra)

Età	Fattore di condizione K		Fattore di condizione relativo Kn	
	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
2+	0,79	0,05	1,10	0,08
3+	0,81	0,05	1,11	0,07
4+	0,79	0,06	1,08	0,08

Tabella 6-15. Variazione del Fattore di condizione relativo Kn in funzione del periodo di campionamento e d'età

Kn	1+		2+		3+		4+	
	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
Giugno	-	-	1,19	0,09	1,12	0,07	1,07	0,07
Luglio	-	-	1,17	0,06	1,08	0,07	1,10	0,08
Agosto	-	-	1,07	0,04	1,10	0,07	1,05	0,10
Settembre	-	-	1,12	0,06	1,12	0,06	1,12	0,05
Ottobre	-	-	1,08	0,08	1,10	0,08	1,04	0,03
Novembre	-	-	1,07	0,10	1,13	0,05	1,07	0,10
Gennaio	0,98	0,08	0,94	0,12	0,90	0,06	0,93	0,03
Febbraio	-	-	0,85	0,07	0,93	0,13	0,90	0,01

Figura 6-23. Variazione del Fattore di condizione relativo Kn in funzione del periodo di campionamento e d'età



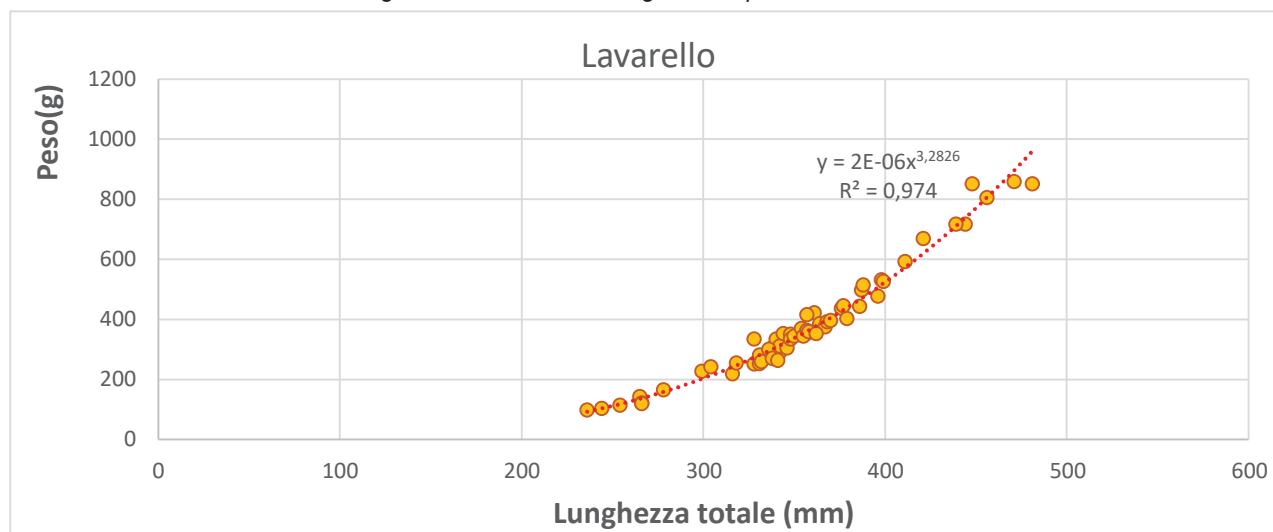
6.3.3.2 Lavarello

Il rilevamento dei caratteri biometrici di peso e lunghezza ha permesso di costruire la seguente relazione lunghezza - peso della popolazione di Lavarello, rappresentata dall'equazione:

$$P = 2 \cdot 10^{-6} L^{3.2826}$$

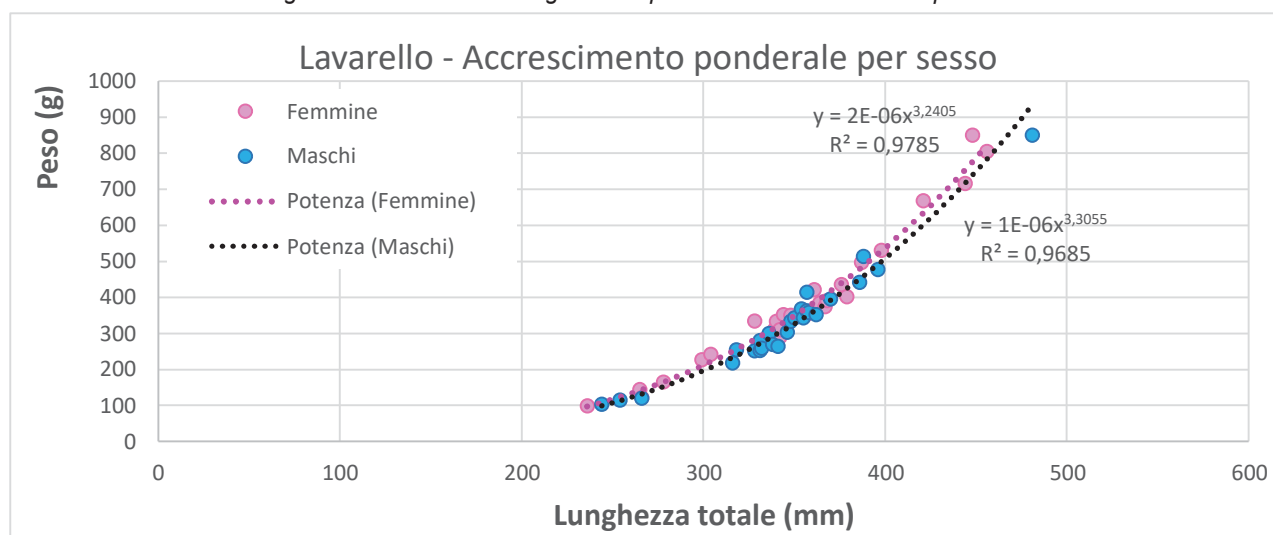
dove P è il peso del pesce in grammi e L è la lunghezza del pesce in millimetri.

Figura 6-24. Relazione lunghezza – peso del Lavarello



Il grafico seguente mostra la relazione lunghezza-peso distinta per sesso, mostrando un accrescimento ponderale leggermente maggiore per le femmine.

Figura 6-25. Relazione lunghezza – peso del Lavarello distinta per sesso

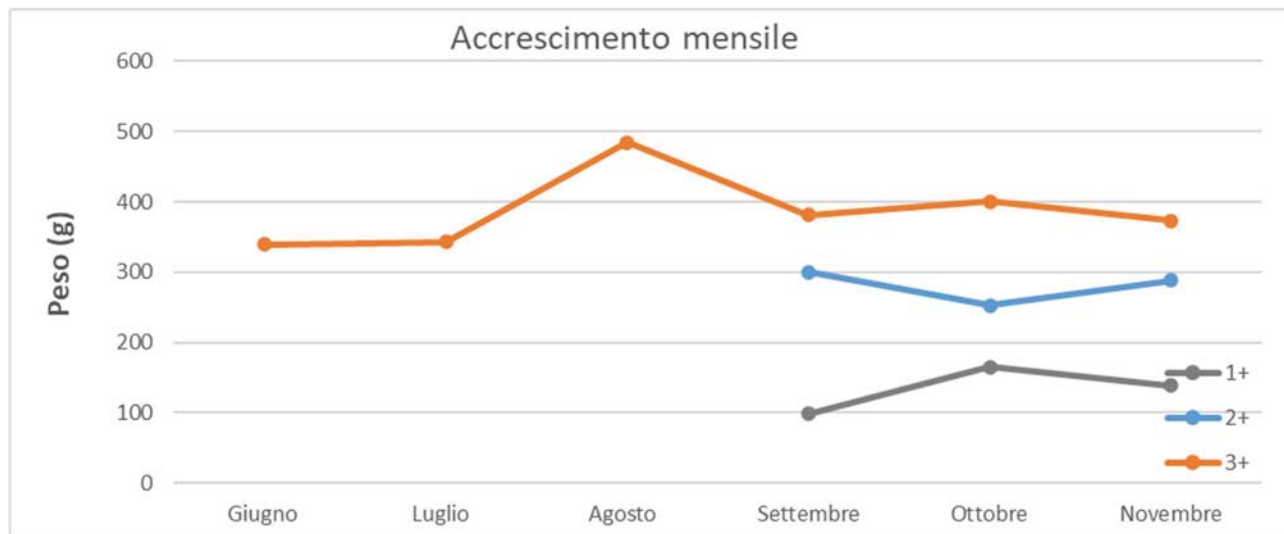


Di seguito si riportano i pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento.

Tabella 6-16. Variazione dei pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento

PESO	1+		2+		3+	
mese	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
Giugno	-	-	-	-	339,5	25,6
Luglio	-	-	-	-	343,5	13,4
Agosto	-	-	-	-	484,5	57,3
Settembre	98,5	0,0	300,5	56,3	381,8	51,0
Ottobre	165,2	0,0	252,6	0,9	400,8	49,7
Novembre	138,4	45,5	288,1	52,7	373,4	77,3

Figura 6-26. Variazione dei pesi medi e le relative deviazioni standard delle classi di età nei mesi di campionamento



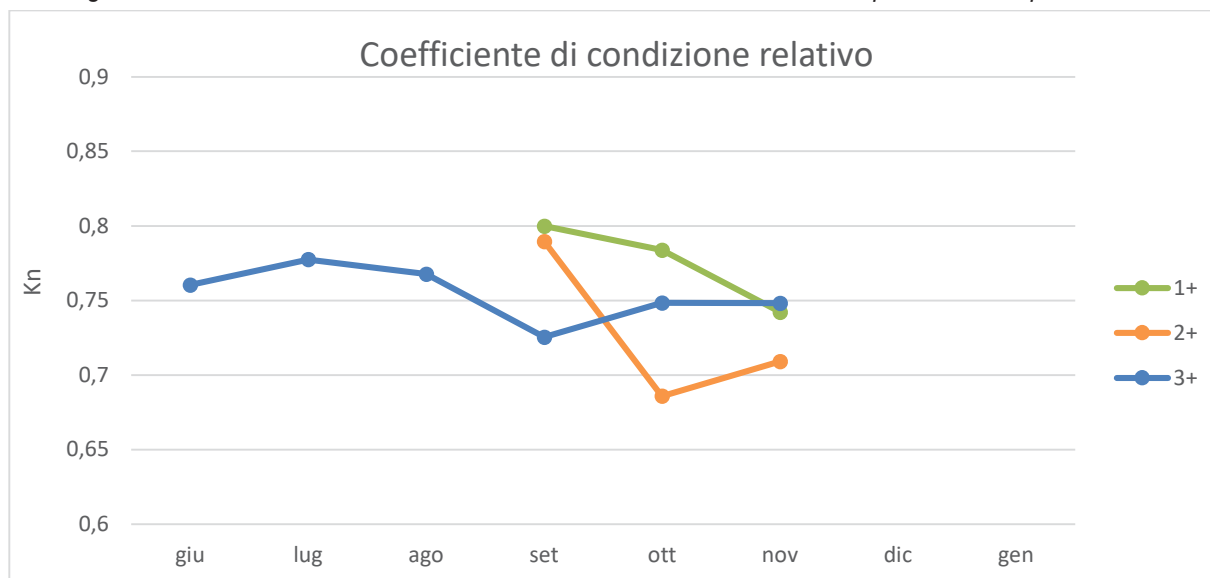
Nelle tabelle seguenti si riportano i valori dell'indice di condizione di Fulton (K) e dell'indice di condizione relativo di Le Cren (Kn). Come detto nei Materiali e Metodi, Kn ha il vantaggio di presupporre una crescita di tipo allometrico permettendo, quindi, di confrontare esemplari di taglie diverse e quindi di differenti classi di età.

Tabella 6-17. Fattore di condizione K (sinistra) e Fattore di condizione relativo Kn (destra)

Età	Fattore di condizione K		Fattore di condizione relativo Kn	
	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
1+	0,73	0,07	0,75	0,07
2+	0,76	0,07	0,74	0,07
3+	0,80	0,06	0,76	0,05

Tabella 6-18. Variazione del Fattore di condizione relativo Kn in funzione del periodo di campionamento e d'età

Kn	1+		2+		3+	
	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard	Media	Dev. standard
Giugno	-	-	-	-	0,76	0,03
Luglio	-	-	-	-	0,78	0,06
Agosto	-	-	-	-	0,77	0,01
Settembre	0,80	0,00	0,79	0,09	0,73	0,00
Ottobre	0,78	0,00	0,69	0,01	0,75	0,05
Novembre	0,74	0,07	0,71	0,03	0,75	0,07

Figura 6-27. Variazione del Fattore di condizione relativo K_n in funzione del periodo di campionamento e d'età

6.3.4 ETÀ E ACCRESCIMENTO LINEARE

6.3.4.1 Bondella

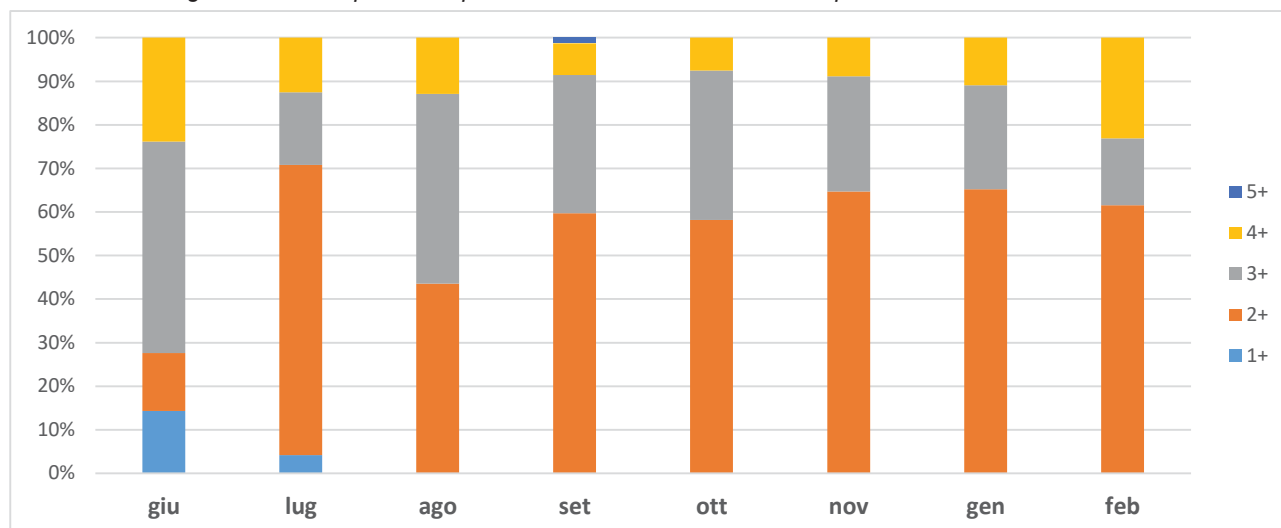
Attraverso il metodo scalimetrico è stata attribuita l'età a 444 esemplari di Bondella, distribuiti come descritto nella tabella.

Tabella 6-19. Composizione in classi di età del campione di Bondella analizzato

Coorte	Anno	giu	lug	ago	set	ott	nov	gen	feb	tot	%
2020	1+							15	1	16	3,6
2019	2+	14	16	17	49	39	44	30	8	217	48,9
2018	3+	51	4	17	26	23	18	11	2	152	34,2
2017	4+	25	3	5	6	5	6	5	3	58	13,1
2016	5+				1					1	0,2
		90	23	39	82	67	68	61	14	444	

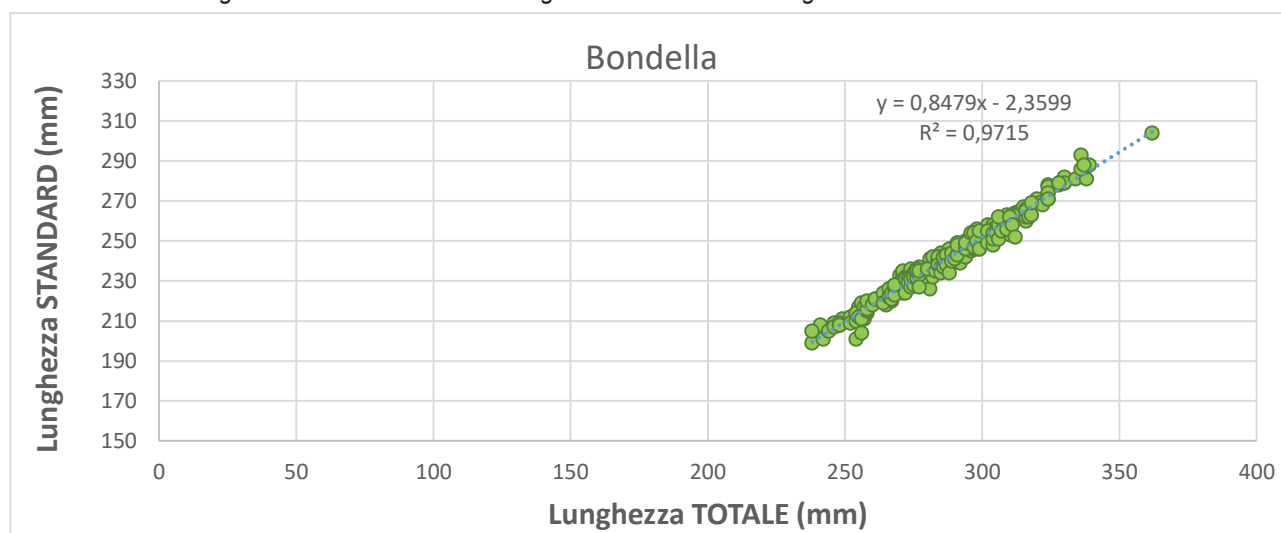
Dai dati raccolti risulta che **l'83% degli esemplari appartiene alle classi di età 2+ e 3+** e il 13% circa alla classe 4+; nessun soggetto al di sotto della classe 2+ è stato catturato tra giugno e novembre poiché gli unici 1+ sono stati catturati durante le pesche invernali. L'unico esemplare 5+ è stato catturato a settembre.

Figura 6-28. Composizione percentuale in classi di età del campione di Bondella analizzato



Su di un subcampione di 245 esemplari è stata misurata anche la lunghezza standard oltre alla lunghezza totale. La relazione lineare esistente tra le due misure è esplicitata nel grafico seguente.

Figura 6-29. Relazione tra la lunghezza standard e la lunghezza totale della Bondella

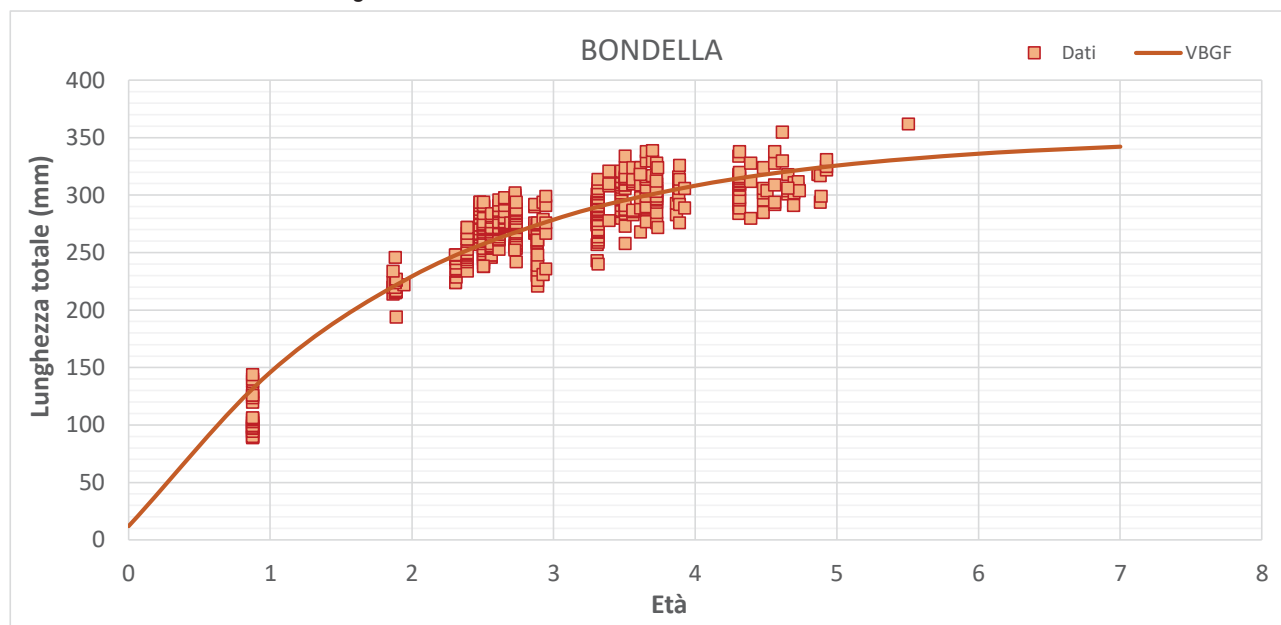


Data la mancanza degli esemplari della prima classe di età, per il calcolo della curva di accrescimento lineare è stato necessario retrocalcolare delle lunghezze al primo inverno e inserirle nel software calcolatore GROWTH.

Di seguito si riporta il grafico di accrescimento lineare secondo l'equazione di Von Bertalanffy, risultata essere la seguente:

$$L_t = 351 * (1 - e^{-0,52(t+0,03)})$$

Figura 6-30. Grafico di accrescimento lineare della Bondella



Secondo tale equazione, la Bondella raggiunge i 146 mm a 1 anno, 229 mm a 2 anni, 279 mm a 3 anni, 308 mm a 4.

6.3.4.2 Lavarello

Di seguito si riporta la composizione in classi di età e sesso del campione di Lavarello analizzato.

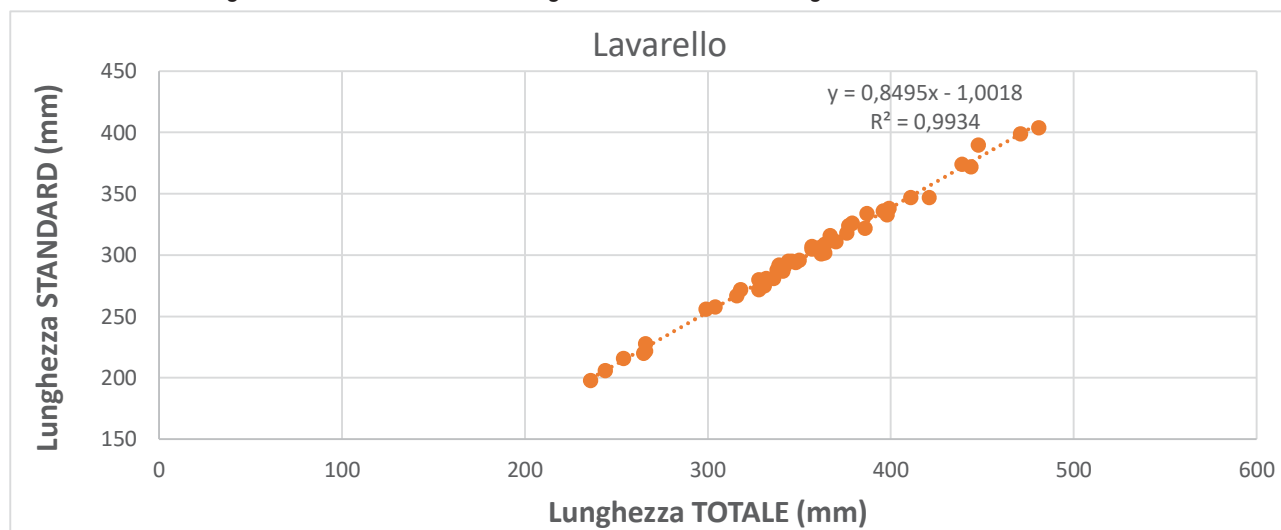
Dai dati raccolti risulta che il **79% degli esemplari appartiene alle classi di età 1+, 2+ e 3+**, che rappresentano rispettivamente il 14%, 24% e 41% del campione.

La selezione delle reti impiegate, quindi, opera soprattutto sulla classe 3+ (41%), a differenza della Bondella, per la quale il 48% del campione è costituito dalla classe 2+. Tutti gli esemplari 1+ e maggiori di 6+ catturati nei campionamenti di giugno-novembre appartengono alla specie Lavarello.

Tabella 6-20. Composizione in classi di età e sesso del campione di Lavarello

Lavarello	Coorte Anni	2020 1+	2019 2+	2018 3+	2017 4+	2016 5+	2015 6+	2014 7+	2013 8+
totale	58	8	14	24	3	5	2	1	1
%		13,8	24,1	41,4	5,2	8,6	3,4	1,7	1,7
F	27	5	6	10	2	2	-	1	1
M	26	3	8	12	1	1	1	-	-
nd	5	-	-	2	-	2	1	-	-
%F	46,6	8,6	10,3	17,2	3,4	3,4	0,0	1,7	1,7
%M	44,8	5,2	13,8	20,7	1,7	1,7	1,7	-	-
% nd	8,6	-	-	3,4	-	3,4	1,7	-	-

Figura 6-31. Relazione tra la lunghezza standard e la lunghezza totale del Lavarello

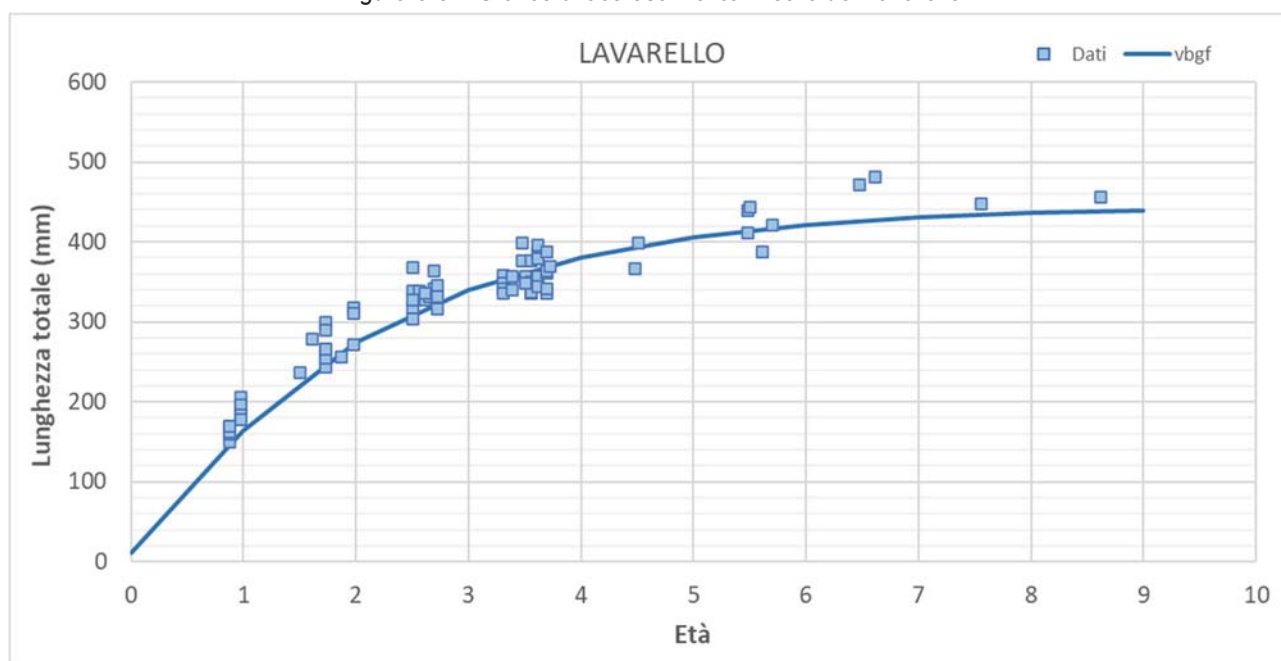


Data la mancanza degli esemplari della prima classe di età, per il calcolo della curva di accrescimento lineare è stato necessario retrocalcolare delle lunghezze al primo inverno e inserirle nel software calcolatore GROWTH.

Di seguito si riporta il grafico di accrescimento lineare secondo l'equazione di Von Bertalanffy, risultata essere la seguente:

$$L_t = 444,69 * (1 - e^{-0,49(t+0,06)})$$

Figura 6-32. Grafico di accrescimento lineare del Lavarello



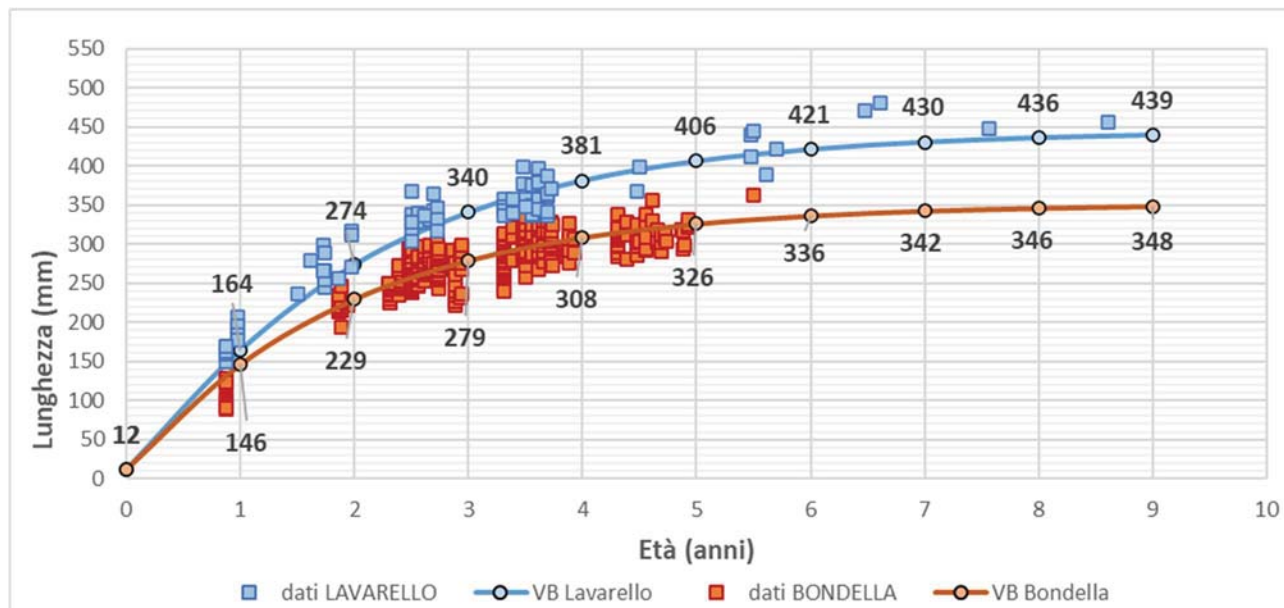
Secondo tale equazione, il coregone raggiunge i 164 mm a 1 anno, 274 mm a 2 anni, 340 mm a 3 anni, 381 mm a 4.

6.3.4.3 Confronto dell'accrescimento tra specie

Per contestualizzare maggiormente i risultati ottenuti in quest'ambito dallo studio si procede al confronto tra l'accrescimento delle due specie in riferimento anche a dati reperiti nella bibliografia di settore per il medesimo corpo idrico (Negri, 1993).

Innanzitutto si presentano contestualmente le due curve di accrescimento relative alla Bondella e al Lavarello.

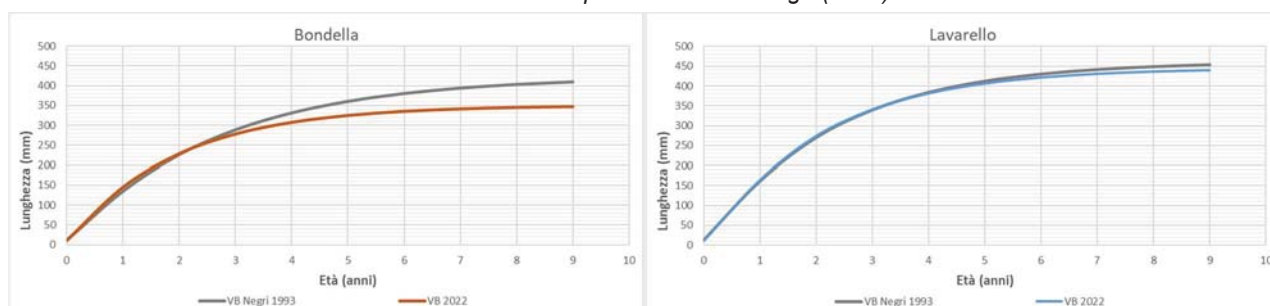
Figura 6-33. Grafico di accrescimento lineare della Bondella e del Lavarello secondo i dati ottenuti nel presente studio.



Come già descritto nella sezione inerente all'attribuzione specifica degli esemplari del campione sulla base delle lunghezze raggiunte, già al compimento del primo anno d'età il Lavarello evidenzia una performance d'accrescimento maggiore alla Bondella; che si traduce in una lunghezza superiore di 70-90 mm alla stessa nelle classi d'età più avanzate, ovvero dal quarto anno in poi.

In seguito si presenta un confronto negli accrescimenti delle due specie rispetto a quanto osservato da Negri (1993) sul medesimo corpo idrico.

Figura 6-34. Accrescimenti lineari di Bondella (sinistra) e Lavarello (destra) ottenuti nell'ambito del presente studio e confrontati con quelli ottenuti da Negri (1993)



Gli accrescimenti ottenuti dal presente studio risultano inferiori a quelli riscontrati per le stagioni '91 e '92 da Negri; nella fattispecie l'accrescimento della Bondella risulta marcatamente inferiore di quello da bibliografia a partire dal quarto anno (esemplari 3+). L'osservazione può essere spiegabile a partire dal limitato numero di Bondelle campionate e di età superiore a 4+: il riferimento bibliografico presentato spiega tale assenza a partire dal fatto che, a causa del suo accrescimento modesto, la Bondella rimanga catturabile dalla rete legale (35 mm) per tutto il suo ciclo vitale e questo comporterebbe una rarefazione effettiva delle classi d'età maggiore.

La riduzione d'accrescimento osservata ha indubbiamente ripercussioni negative sulla resa della pesca professionale, impostata attualmente sull'impiego della maglia da 35 mm.

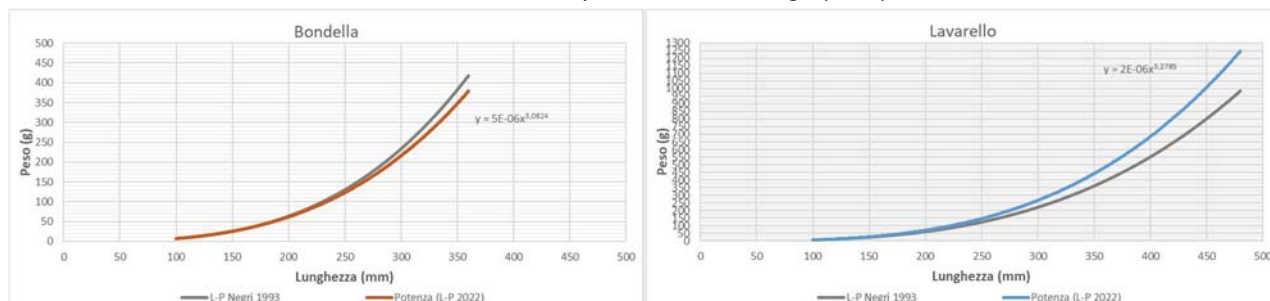
Per quanto concerne il Lavarello, l'accrescimento evidenziato risulta solo lievemente inferiore al riferimento bibliografico.

Il potenziale che può esercitare la pesca nell'indurre cambiamenti fenotipici negli stock ittici ha ricevuto attenzione crescente negli ultimi anni. Di particolare preoccupazione è la possibilità che una rapida selezione genetica per alcuni tratti potrebbe risultare difficile o impossibile da invertire (Jørgensen et al., 2007; Kuparinen e Merila, 2007). Si stanno accumulando prove di come il prelievo di taglia selettiva possa portare a cambiamenti adattivi nel tasso di crescita: una tendenza verso la riduzione della crescita è già stata segnalata

per diversi stock ittici marini in risposta allo sfruttamento pesante (Hanson e Chouinard, 1992; Conover e Munch, 2002; Swain et al., 2007).

Si presentano in seguito i grafici relativi all'accrescimento ponderale relativi alle due specie, e confrontati con le curve di accrescimento ponderale elaborate da Negri (1993); data la differente taglia massima della specie i due assi delle ascisse di riferimento presentano scale diverse.

Figura 6-35. Accrescimenti ponderali di *Bondella* (sinistra) e *Lavarello* (destra) ottenuti nell'ambito del presente studio e confrontati con quelli ottenuti da Negri (1993)



Per la *Bondella* l'accrescimento ponderale analizzato nel presente studio è leggermente inferiore rispetto a quello elaborato da Negri (1993); per il coregone risulta invece superiore (si tenga conto però della limitata consistenza numerica del campione).

6.3.5 BIOLOGIA RIPRODUTTIVA

Per lo studio della biologia riproduttiva sono stati determinati età, sesso e stadio di maturazione delle gonadi; i risultati ottenuti sono esposti a seguire per entrambe le specie.

Oltre all'accrescimento, la pesca intensiva può influenzare anche tratti riproduttivi quali la fecondità (Law, 2000; Heino et al., 2002; Walsh et al., 2006); Jørgensen et al. (2007), come evidenziato da tre studi che documentano l'aumento della stessa in risposta alla pressione di pesca (Yoneda e Wright, 2004; Rijnsdorp et al., 2005; Wright, 2005).

La struttura per età e la fecondità femminile sono fattori importanti che determinano il potenziale riproduttivo degli stock ittici (Scott et al., 2006); quindi, ci si potrebbe aspettare che i cambiamenti evolutivi in tali tratti riproduttivi comportino conseguenze potenzialmente gravi per le future dinamiche e rendimenti economici.

Per queste ragioni sarebbe opportuno approfondire gli aspetti relativi alla fecondità delle due forme di coregone, oltre a quelli relativi alla maturazione sessuale, che verranno caratterizzati a seguire.

6.3.5.1 *Bondella*

Per analizzare la biologia riproduttiva della *Bondella* vengono considerati i dati derivanti dalla determinazione del sesso e del grado di maturazione delle gonadi degli esemplari pescati tra giugno e novembre (368 esemplari, pari al 38% del campione complessivo, di cui 61% femmine e 39% maschi) ai quali si aggiungono quelli catturati con le pesche aggiuntive presso le aree di frega a gennaio-febbraio 2022 (351 in totale, di cui 30% femmine e 70% maschi), per un totale di 719 campioni, di cui 330 femmine e 389 maschi. Come si può notare dalla tabella seguente, se la *sex ratio* totale è prossima alla parità (F 0,8:M 1), nei campioni di giugno-novembre questa è sbilanciata in favore delle femmine (F 1:M 0,6) mentre sui letti di frega a gennaio/febbraio prevalgono nettamente i maschi (F 0,4:M 1).

Tabella 6-21. Composizione totale del campione analizzato

	Femmine	Maschi	Totale	% Femmine	% Maschi
Giugno - novembre	226	142	368	61,4	38,6
Gennaio - febbraio	104	247	351	29,6	70,4
Totale	330	389	719	45,9	54,1

Le tabelle seguenti riportano l'evoluzione del grado di maturazione per i due sessi in tutte le date di campionamento, come visualizzato nei grafici a seguire.

Si sottolinea come i dati relativi a gennaio e febbraio non siano necessariamente estensibili all'intera popolazione, in quanto ottenuti:

1. con tipo di rete e maglia di diametro differente dal restante campione;
2. presso i letti di frega (a differenza del restante campione, catturato in fascia pelagica).

Tali dati sono comunque indicativi limitatamente alla condizione delle gonadi presso i letti di frega.

Ad eccezione di 3 femmine catturate a gennaio (età 1+), risultate ancora immature (stadio di maturazione 1), tutti gli esemplari catturati sono risultati adulti maturi o in maturazione.

Tra giugno e settembre la quasi totalità degli esemplari presenta uno stadio di maturazione 3, ovvero *gonadi in maturazione* di esemplari che si preparano a riprodursi; a ottobre cominciano a maturare e a novembre la quasi totalità degli esemplari si presenta sessualmente matura, raggiungendo lo stadio 4 di *gonadi mature*. Dai dati emerge che le femmine maturano leggermente in anticipo rispetto ai maschi.

Già a gennaio la maggioranza delle femmine (97%) si presenta con *gonadi svuotate*, di esemplari che hanno appena terminato di riprodursi (stadio 6); 3 femmine presentavano un ovario in riassorbimento, tipico degli esemplari che hanno avuto problemi nella fase di maturazione o deposizione delle uova.

I dati ottenuti relativamente al periodo riproduttivo indagato per la Bondella suggeriscono come esso abbia inizio dopo la metà di novembre, protrahendosi almeno fino a gennaio: le femmine presentano una significativa percentuale di gonadi svuotate dalla metà di gennaio in poi, mentre fino alla fine del mese le percentuali di maschi maturi e di quelli in riassorbimento è simile.

Tabella 6-22. Evoluzione del grado di maturazione delle femmine in tutte le date di campionamento

stadio	Femmine						totale
	1	2	3	4	5	6	
22-6-21			20				20
24-6-21			34				34
22-7-21			14				14
24-8-21			24				24
03-9-21			26				26
23-9-21			21				21
12-10-21			13	8			21
27-10-21			3	19			22
12-11-21				3			3
23-11-21				26			26
26-11-21				15			15
13-01-22	1			1		13	15
19-01-22	2				1	69	72
21-01-22					2	4	6
04-02-22						10	10
11-02-22						1	1

Tabella 6-23. Evoluzione del grado di maturazione dei maschi in tutte le date di campionamento

stadio	Maschi						totale
	1	2	3	4	5	6	
22-6-21			14				14
24-6-21			21				21
22-7-21			9				9
24-8-21			15				15
03-9-21			19				19
23-9-21			16				16
12-10-21			10				10
27-10-21			4	10			14
12-11-21				4			4
23-11-21			1	9			10
26-11-21				10			10
13-01-22					3	2	5
19-01-22					17	25	42
21-01-22					60	61	121
04-02-22					11	15	26

	Maschi						
stadio	1	2	3	4	5	6	totale
11-02-22					25	28	53

Figura 6-36. Evoluzione mensile del grado di maturazione nei due sessi in termini assoluti

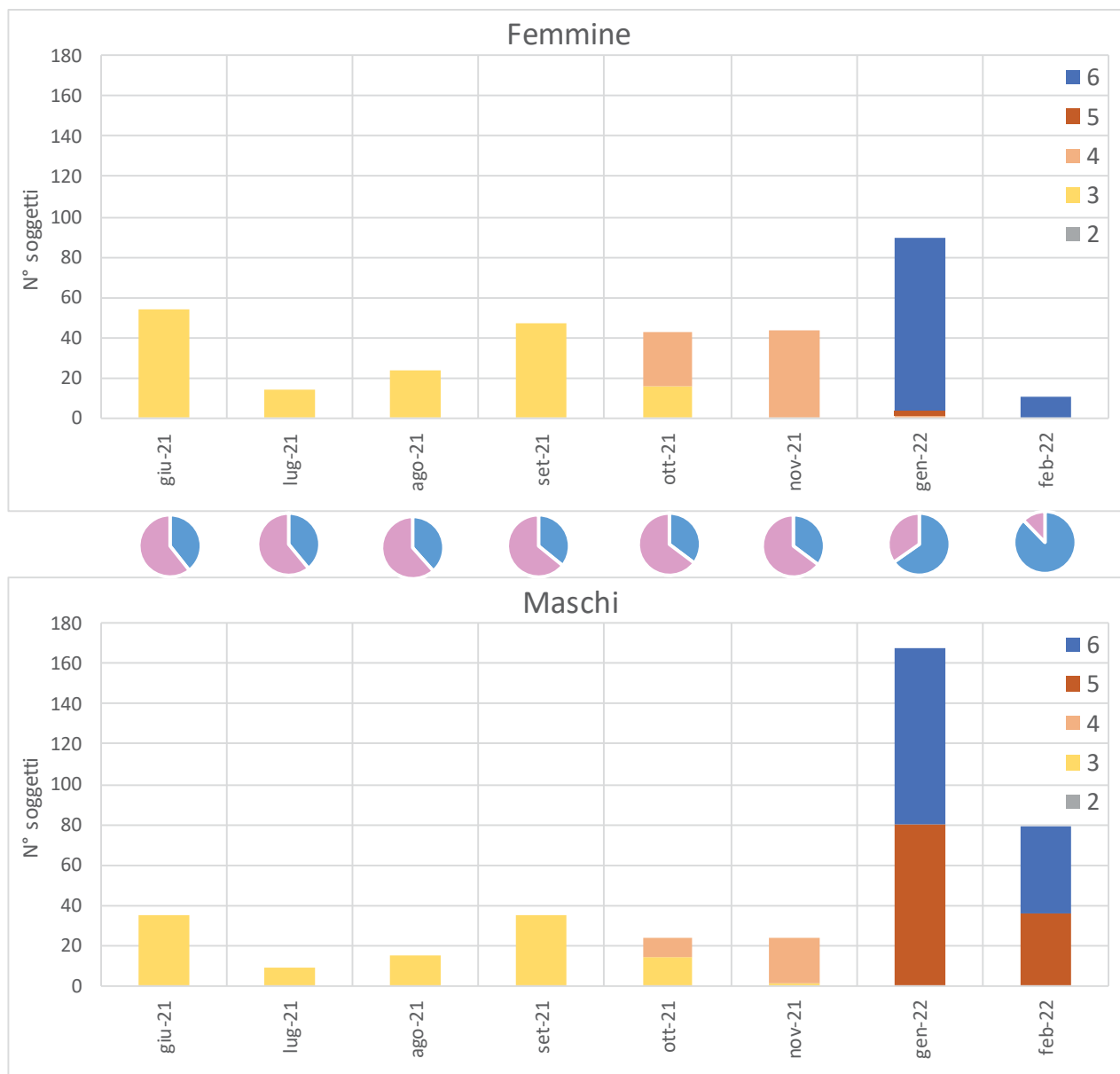
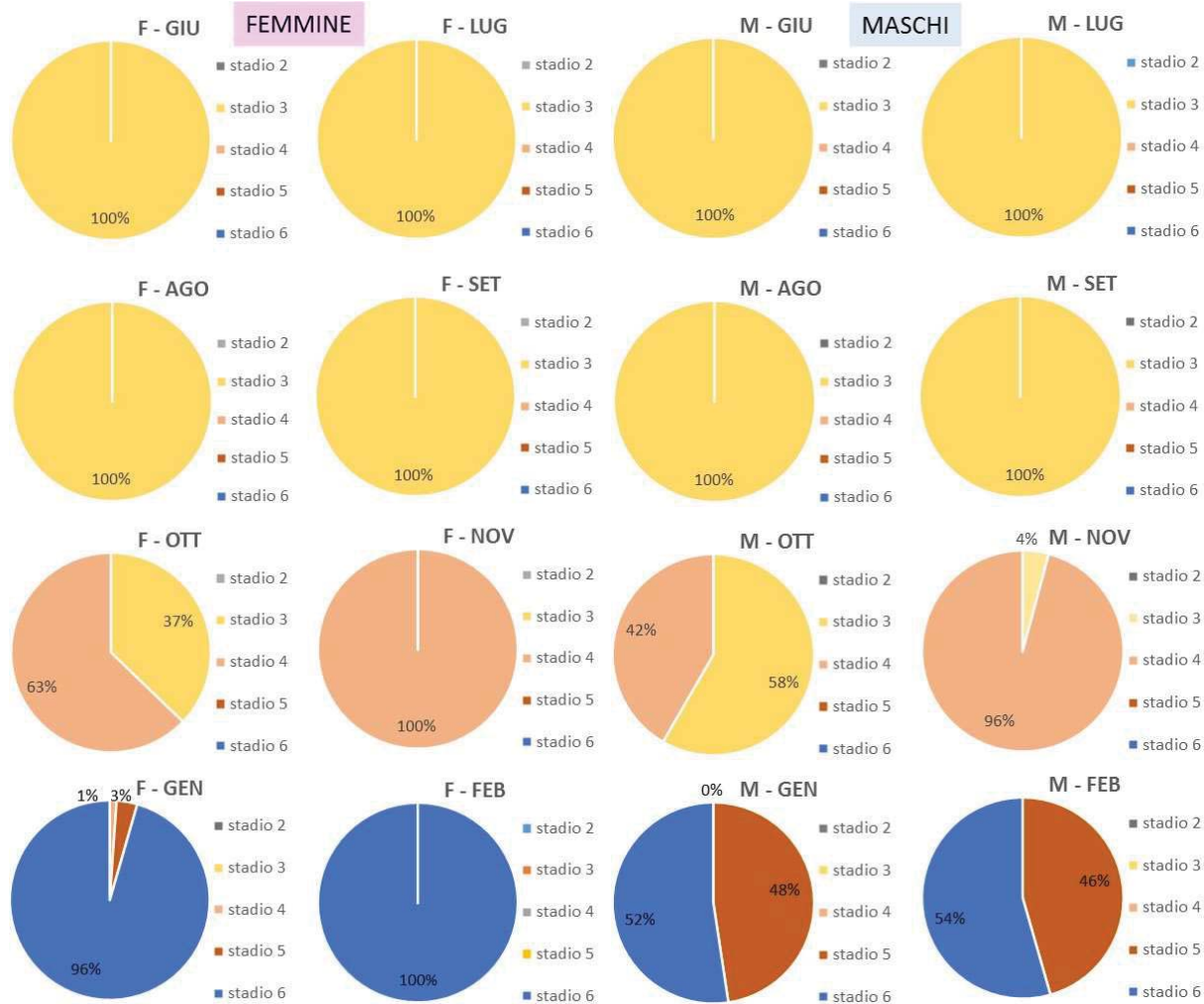


Figura 6-37. Evoluzione mensile del grado di maturazione nei due sessi in termini percentuali



Nella tabella seguente è riportato lo stato di maturazione degli esemplari catturati in funzione dell'età e del sesso. Purtroppo la classe 1+ è scarsamente rappresentativa e quella 0+ assente nel campione. Gli esemplari 1+ sono stati tutti catturati nelle pescate di gennaio, quindi nel loro secondo inverno.

La totalità dei maschi presenti presso i letti di frega è risultato maturo, mentre nelle femmine il 57% ha raggiunto la maturità. Per almeno una porzione degli esemplari di Bondella la prima riproduzione avviene quindi al secondo anno di vita.

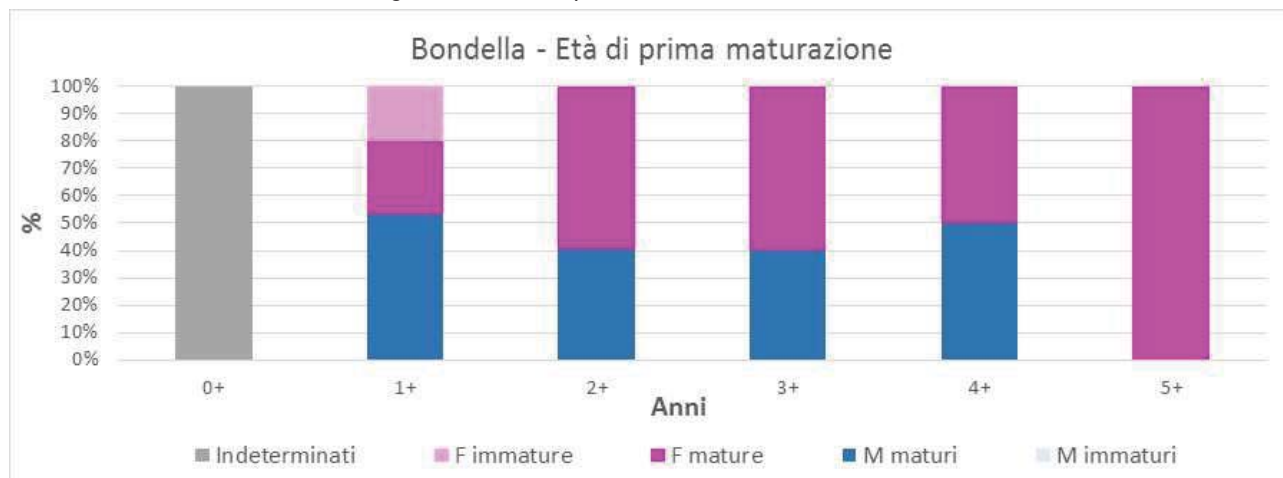
Tabella 6-24. Età di prima maturazione della Bondella

Età	Indeterminati	Femmine		Maschi	
		immaturi	maturi	immaturi	maturi
0+	1	0	0	0	0
1+	0	3	4	0	8
2+	0	0	128	0	88
3+	0	0	91	0	61
4+	0	0	29	0	29
5+	0	0	1	0	0

Considerando la sex ratio per classi di età, le femmine costituiscono la maggioranza nelle classi 2+ e 3+, mentre nelle classi 1+ e 4+ il rapporto si avvicina a 1:1; il campione 5+ è rappresentato da 1 solo soggetto femmina.

L'età di prima maturazione della Bondella è stata definita limitatamente agli esemplari presenti presso i letti di frega nel periodo riproduttivo.

Figura 6-38. Età di prima maturazione della Bondella



6.3.5.2 Lavarello

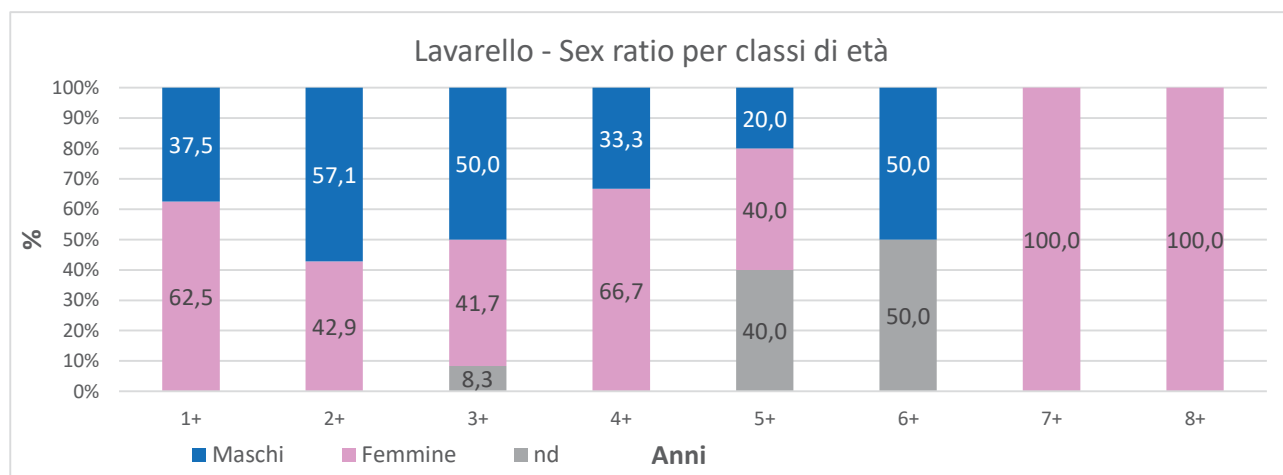
Dei 58 esemplari che compongono il campione di Lavarello, il **46,6%** è composto da esemplari femminili e il **44,8%** da esemplari maschili (di 5 esemplari non è stato possibile identificare il sesso). Anche per il campione di Lavarello la sex ratio è equiparabile.

Tabella 6-25. Sex ratio del campione di Lavarello analizzato

Specie	N° esemplari	%	F (n°)	F (%)	M (n°)	M (%)	nd (n°)	nd (%)
Lavarello	58	13,6	27	46,6	26	44,8	5	8,6

Considerando la sex ratio per classi di età, le femmine costituiscono la maggioranza per le classi 1+, 4+; mentre il rapporto è favorevole agli esemplari maschili (per quanto si avvicini a 1:1) per le classi 2+, 3+. L'esigua dimensione del campione relativo alle classi da 5+ a 8+ non permette di condurre ulteriori osservazioni.

Figura 6-39. Sex ratio per classi d'età del campione di Lavarello analizzato



Le tabelle seguenti riportano l'evoluzione del grado di maturazione per i due sessi in tutte le date di campionamento, come visualizzato nei grafici a seguire.

Tra giugno e ottobre la quasi totalità degli esemplari presenta uno stadio di maturazione 3, ovvero *gonadi in maturazione* di esemplari che si preparano a riprodursi; a novembre la quasi totalità degli esemplari si presenta sessualmente matura, raggiungendo lo stadio 4 di *gonadi mature*.

Tabella 6-26. Evoluzione del grado di maturazione delle femmine in tutte le date di campionamento

Femmine							
stadio	1	2	3	4	5	6	totale
24-6-21			2				2
22-7-21			2				2
24-8-21			1				1
03-9-21			6				6
23-9-21			3				3
12-10-21			4				4
27-10-21							
12-11-21				6			6
23-11-21	1			1			2
26-11-21				1			1

Tabella 6-27. Evoluzione del grado di maturazione dei maschi in tutte le date di campionamento

Maschi							
stadio	1	2	3	4	5	6	totale
24-6-21			1				1
22-7-21							
24-8-21							
03-9-21			4				4
23-9-21			1				1
12-10-21			6	2			8
27-10-21			1				1
12-11-21				3			3
23-11-21				5	1		6
26-11-21				2			2

Figura 6-40. Evoluzione mensile del grado di maturazione nei due sessi in termini assoluti

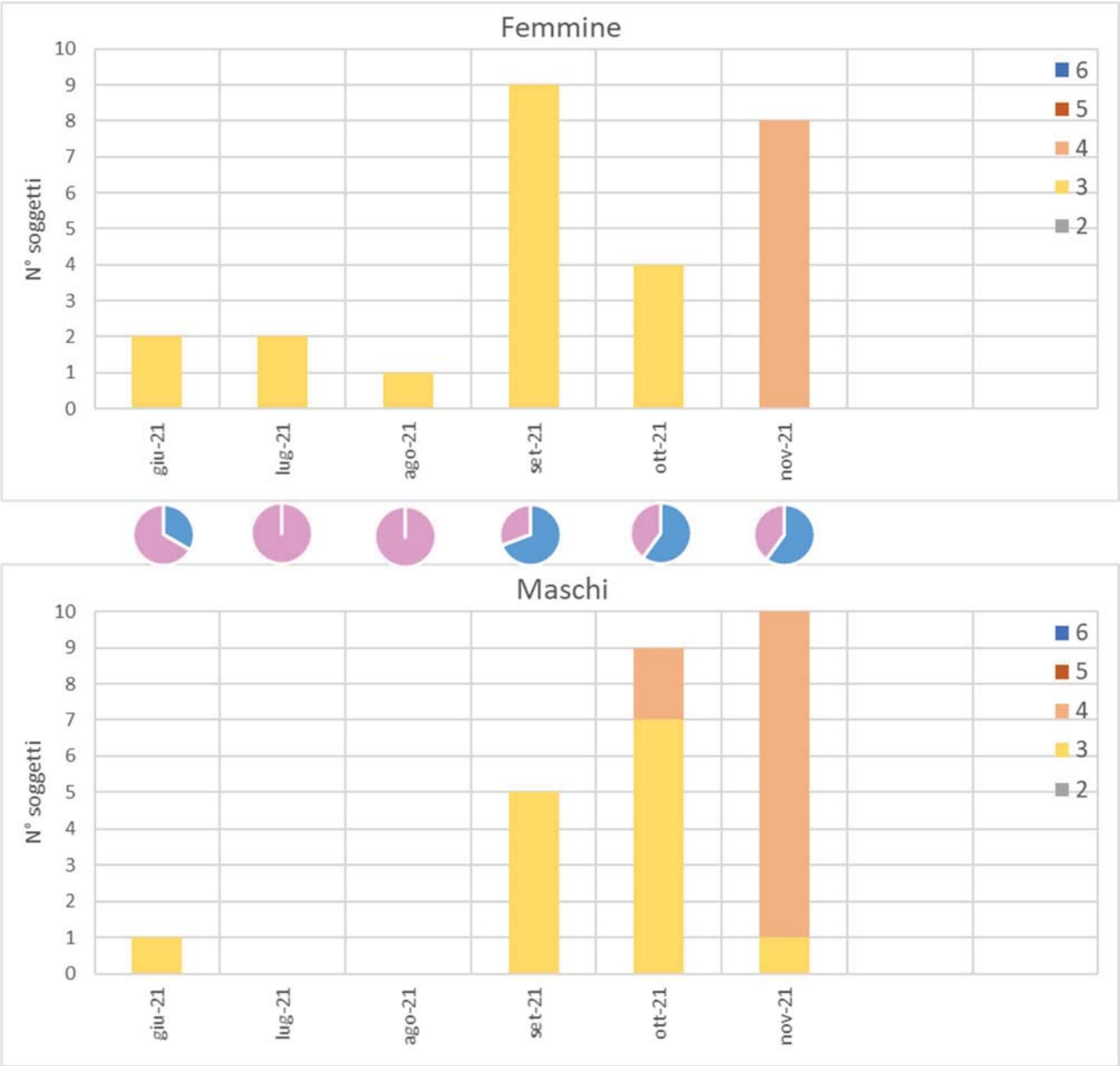
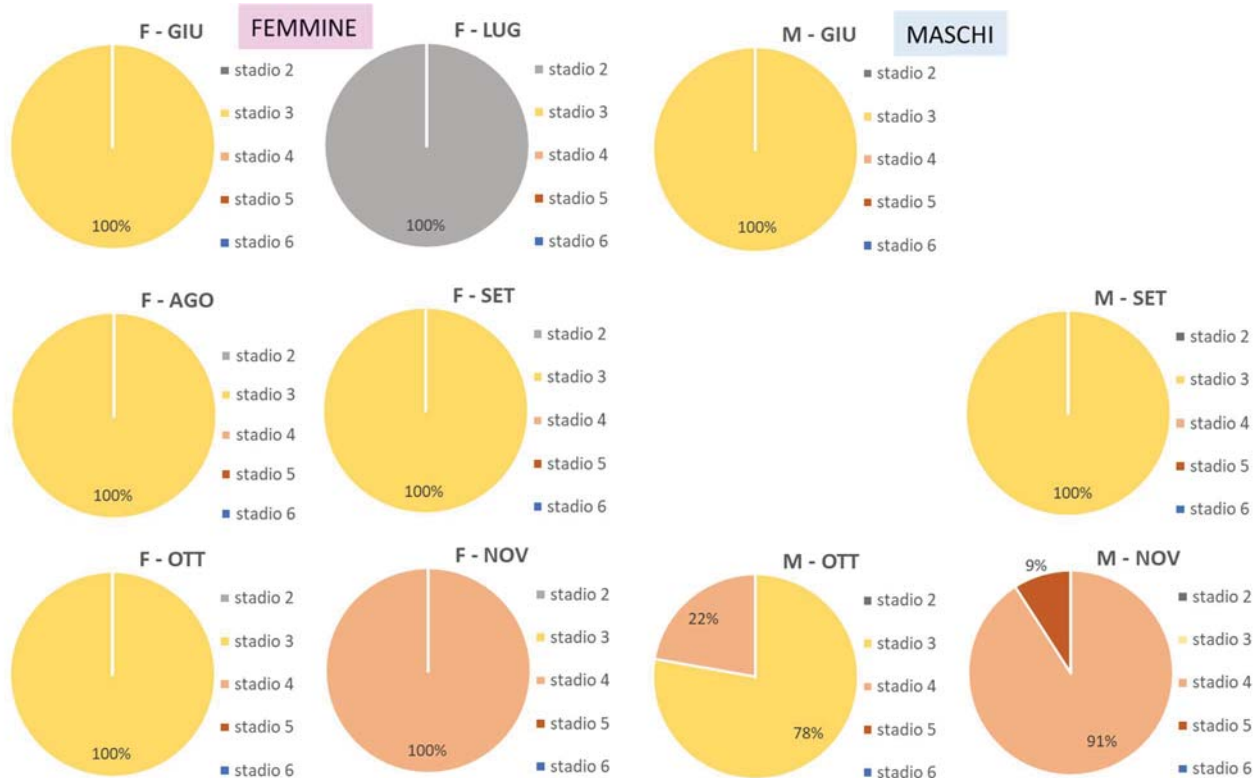


Figura 6-41. Evoluzione mensile del grado di maturazione nei due sessi in termini percentuali



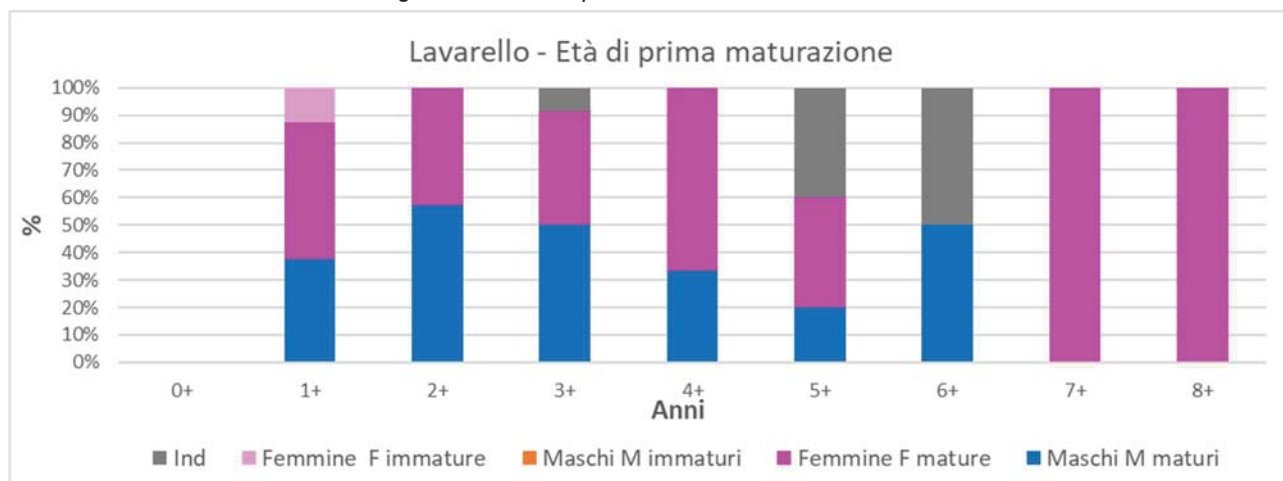
Nella tabella seguente è riportato lo stato di maturazione degli esemplari catturati in funzione dell'età e del sesso. Purtroppo la classe 0+ non è rappresentata e la 1+ risulta scarsamente rappresentativa.

Gli 8 esemplari 1+ facenti parte del campione sono stati catturati nei mesi di sett-ott-nov, ovvero nel periodo pre-riproduttivo del loro secondo anno di vita; di questi, **l'87,5% delle femmine sono risultate mature e il 100% dei maschi maturi.**

Tabella 6-28. Età di prima maturazione del Lavarello

Età	Indeterminati	Femmine		Maschi	
		immaturi	maturi	immaturi	maturi
1+	0	1	4	0	3
2+	0	0	6	0	8
3+	2	0	10	0	12
4+	0	0	2	0	1
5+	2	0	2	0	1
6+	1	0	0	0	1
7+	0	0	1	0	0
8+	0	0	1	0	0

Figura 6-42. Età di prima maturazione del Lavarello



6.3.6 MORTALITÀ

La mortalità rappresenta la progressiva diminuzione del numero di individui di una stessa classe di nascita nel corso degli anni, ed è evidenziabile come numero di individui sopravvissuti per età successive.

Nel caso di popolazioni soggette a sfruttamento (pesca), la **Mortalità totale Z** rappresenta la somma della **Mortalità naturale M** (predazione, malattie, longevità) e della **Mortalità da pesca F**. Poiché $Z = F + M$ il valore di F è facilmente ricavabile come $F = Z - M$.

Il metodo più corretto di valutazione del tasso di mortalità annuale sarebbe quello condotto direttamente sulle singole coorti (dove per coorte si intende un gruppo di individui della stessa età appartenenti allo stesso stock, quindi prelevati in un singolo campionamento) sulla base dei dati di cattura delle singole classi di età a parità di sforzo.

Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi alle reti utilizzate per il campionamento. Poiché le reti sono state posizionate con superfici sensibilmente differenti è stato introdotto un fattore di correzione per i campioni relativi alle maglie da 26, 35 e 40 mm, al fine di ristabilire il presupposto di catturabilità costante sulle singole classi di lunghezza.

Tabella 6-29. Dati relativi alla rete multimaglia utilizzata per la cattura dei campioni

Reti posizionate				
Mese di campionamento	mq 26 mm	mq 32 mm	mq 35 mm	mq 40 mm
giugno	3140	5837	11760	3840
luglio	1570	3533	5880	1920
agosto	1570	3533	5880	1920
settembre	3140	4608	8400	3840
ottobre	3140	4608	5040	3840
novembre	3770	5328	6930	5280
	16330	27446	43890	20640
fattore di correzione				
Mese di campionamento	mq 26 mm	mq 32 mm	mq 35 mm	mq 40 mm
giugno	1,86	1,00	0,50	1,52
luglio	2,25	1,00	0,60	1,84
agosto	2,25	1,00	0,60	1,84
settembre	1,47	1,00	0,55	1,20
ottobre	1,47	1,00	0,91	1,20
novembre	1,41	1,00	0,77	1,01

Si considerano come **Mortalità naturale** tutte le cause di morte che non sono indotte dall'uomo, ovvero la senescenza, la predazione, varie patologie, danni causati da stress meccanico, carenze alimentari o stress post-riproduttivo.

Poiché la valutazione della mortalità naturale nelle classi non soggette a pesca non è possibile non avendo impiegato da capitolato maglie idonee alla cattura dei più giovani (<1+), la stima di tale parametro è stata effettuata tramite il confronto di modelli di letteratura.

Di seguito si specifica l'origine dei valori utilizzati per l'applicazione dei modelli di letteratura descritti nel capitolo Materiali e Metodi finalizzati al calcolo del tasso di mortalità naturale:

- i parametri di Von Bertalanffy - t_0 = **età teorica a lunghezza zero**, k = **coefficiente di crescita** e L_∞ = **lunghezza infinita** - derivano dalla curva di accrescimento lineare calcolata per la specie;
- t_M = **età alla fine del periodo riproduttivo (anni)** è stato calcolato come $-1/k \ln(1-e(k \cdot t_0)) + t_0$ (Chen e Watanabe, 1989);
- t_{m50} = **età alla quale il 50% dello stock raggiunge la maturità** e t_m = **età di prima maturazione** sono fissate in 2 anni, come confermato dai dati raccolti;
- la **longevità t_{max} = età massima alla quale circa l'1,5% della popolazione è ancora vitale** è considerabile pari a 8 anni (Negri, 1993);
- la **temperatura media annuale delle acque in superficie T °C** è stata calcolata sulla base dei dati di ARPA 2015-2019.

6.3.6.1 Bondella

6.3.6.1.1 Tasso di mortalità totale annuale Z

La struttura in coorti dei singoli campionamenti, a seguito dell'applicazione dei sopra indicati fattori di correzione, è riportata nella tabella seguente.

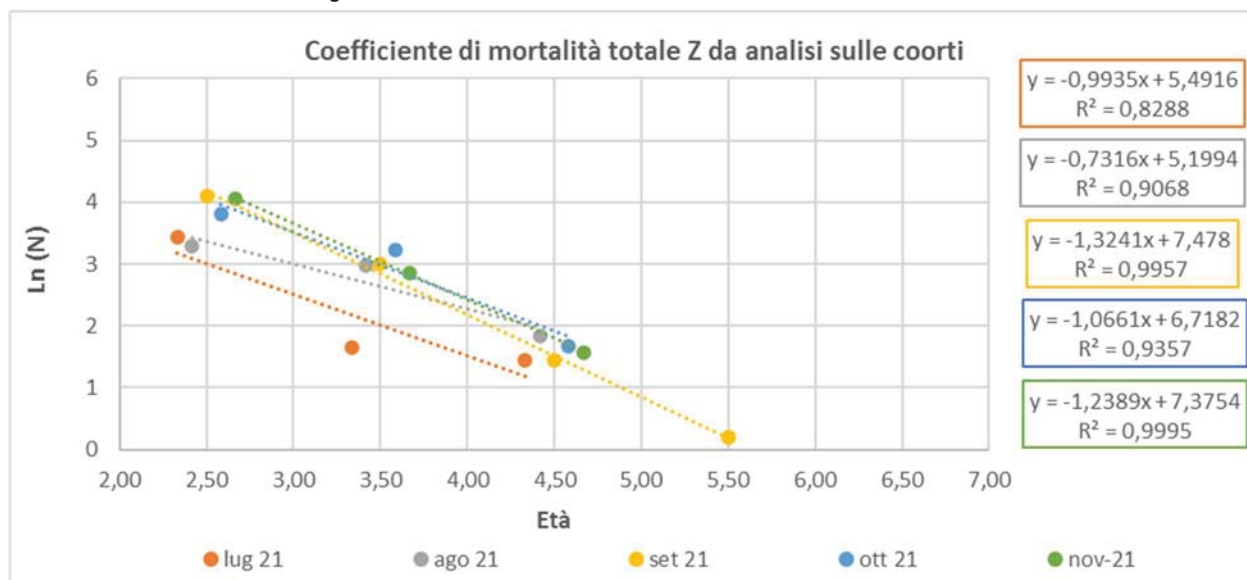
Tabella 6-30. Dati relativi alle singole coorti con fattore di correzione

	Nati nel 2019	Nati nel 2018	Nati nel 2017	Nati nel 2016
giu-21	26,0	61,9	27,1	0,0
lug-21	31,0	5,3	4,3	0,0
ago-21	27,0	19,5	6,3	0,0
set-21	59,8	20,1	4,2	1,2
ott-21	44,8	25,0	5,3	0,0
nov-21	57,7	17,5	4,8	0,0

Il numero di soggetti evidenzia una graduale tendenza al decremento nei vari mesi ad eccezione di giugno, mostrando che è possibile valutare il tasso di mortalità annuale direttamente sulle singole coorti, dato che risulta più attendibile rispetto a quello rilevato sulla pseudocoorte, ovvero analizzando il numero di soggetti di classi di nascita diverse campionati in un singolo campionamento.

Il coefficiente di mortalità totale Z viene valutato tramite il metodo della curva di cattura linearizzata (*linearized catch curve*), che è una rappresentazione grafica del logaritmo del numero di individui sopravvissuti contro le rispettive età. Applicando l'analisi di regressione lineare sui dati relativi alle coorti dei campionamenti effettuati (escluso giugno), si ottiene il grafico riportato nella figura seguente, i cui coefficienti angolari delle rette rappresentano i **coefficienti di mortalità totale Z** .

Figura 6-43. Analisi del coefficiente di mortalità totale sulle coorti



I valori di mortalità totale Z (Tabella 6-31) risultano compresi tra un minimo di 0,73 (agosto) e un massimo di 1,24 (novembre), cui corrispondono valori annuali di sopravvivenza, calcolati come $S=e^{-Z}$, compresi tra un minimo del 29% ed un massimo del 48%. **La media dei coefficienti è pari a 1,07, corrispondente a un tasso di sopravvivenza S pari a 0,34, ovvero ad una mortalità del 66%.**

Tabella 6-31. Coefficienti di mortalità totale (z) e tasso di sopravvivenza (S)

Mese di campionamento	Coefficiente di mortalità Z	Coefficiente di sopravvivenza annuale S
lug-21	0,99	0,37
ago-21	0,73	0,48
set-21	1,32	0,27
ott-21	1,07	0,34
nov-21	1,24	0,29
MEDIA	1,07	0,34

6.3.6.1.2 Tasso di mortalità naturale M

Nella tabella seguente si riportano i tassi di mortalità naturale per la Bondella calcolati come indicato nel capitolo Materiali e Metodi attraverso l'applicazione di indici di letteratura.

Tabella 6-32. Confronto tra i modelli di bibliografia per il calcolo della Mortalità naturale della Bondella

Modello di riferimento	L^{∞} (cm)	K	t_0	t_{max} (anni)	t_{mass} (anni)	t_m (anni)	T°C	M
Chen e Watanabe (1989)		0,52	-0,032			7,8		0,65
Hewitt e Hoenig (2005)				8				0,53
Jensen 1		0,52						0,78
Jensen 2					2			0,83
Rikhter e Efanov (1977)					2			0,77
Pauly (1980)	35,1	0,52					16	0,86
MEDIA								0,74
Dev. standard								±0,12
$S = e^{-M}$								0,48
Tasso di mortalità 1-S								52%

I modelli applicati evidenziano una discreta convergenza dei valori di M, che può essere ricavato come media tra quelli indicati.

Il valore medio del coefficiente di mortalità naturale M risulta pari a 0,74, che corrisponde, in assenza di pesca, a un tasso di mortalità naturale annuale pari al 52%. Quest'ultimo valore si calcola matematicamente considerando che il valore di sopravvivenza S è uguale all'antilogaritmo del coefficiente M cioè $S=e^{-M}$ (in assenza di pesca i coefficienti Z e M coincidono); quindi se $S = e^{-0.71} = 0.48$, il tasso di mortalità calcolabile semplicemente come $1-S$ è pari al 52%.

Quindi, ricordando che la Mortalità totale annuale Z è stata stimata pari a 1 (Tabella 6-31), che la mortalità naturale M è stata stimata pari a 0,74 e che $Z = F + M$, si ricava un corrispondente valore di mortalità da pesca F pari a: $1.07 - 0,74 = 0,33$.

6.3.6.2 Lavarello

6.3.6.2.1 Tasso di mortalità totale Z

La struttura in coorti dei singoli campionamenti, relativamente al Lavarello, a seguito dell'applicazione dei sopra indicati fattori di correzione, è riportata nella tabella seguente.

Tabella 6-33. Dati relativi alle singole coorti con fattore di correzione

	nati nel 2020	nati nel 2019	nati nel 2018	nati nel 2017	nati nel 2016	nati nel 2015	nati nel 2014	nati nel 2013
giu-21			4					
lug-21			3	1				
ago-21								
set-21		1	2				1	
ott-21	2	2	6	1	1	1		1
nov-21	12	5	7		1			

Tabella 6-34. Dati relativi a un'unica pseudocoorte, unificando i dati dei singoli campionamenti e utilizzando la media dell'età

Età media	1,46	2,46	3,46	4,46	5,46	6,46	7,46	8,46
N	14	7	21	2	2	1	1	1

Considerando il numero incompleto ed esiguo di soggetti per classe di età, appare evidente che non è possibile valutare i tassi di mortalità annuale, neppure utilizzando i dati relativi alle pseudocoorti.

6.3.6.2.2 Tasso di mortalità naturale M

Di seguito si riportano i tassi di mortalità naturale per il Lavarello calcolati come indicato nel capitolo Materiali e Metodi attraverso l'applicazione di indici di letteratura.

Tabella 6-35. Confronto tra i modelli di bibliografia per il calcolo della Mortalità naturale del Lavarello

Modello di riferimento	L_{∞} (cm)	K	t_0	t_{max} (anni)	t_{mass} (anni)	t_m (anni)	T°C	M
Chen e Watanabe (1989)		0,49	-0,066			7		0,63
Hewitt e Hoenig (2005)				8				0,53
Jensen 1		0,49						0,74
Jensen 2					2			0,83
Rikhter e Efanov (1977)					2			0,77
Pauly (1980)	44,5	0,49					16	0,78
MEDIA								0,71
Dev. standard								±0,11
$S = e^{-M}$								0,49
Tasso di mortalità 1-S								51%

I modelli applicati evidenziano una discreta convergenza dei valori di M, che può essere ricavato come media tra quelli indicati.

Il valore medio del coefficiente di mortalità naturale M risulta pari a 0,71, che corrisponde, in assenza di pesca, a un tasso di mortalità naturale annuale pari al 51%. Quest'ultimo valore si calcola matematicamente considerando che il valore di sopravvivenza S è uguale all'antilogaritmo del coefficiente M cioè $S=e^{-M}$ (in assenza di pesca i coefficienti Z e M coincidono); quindi se $S = e^{-0.71} = 0.49$, il tasso di mortalità calcolabile semplicemente come $1-S$ è pari al 51%.

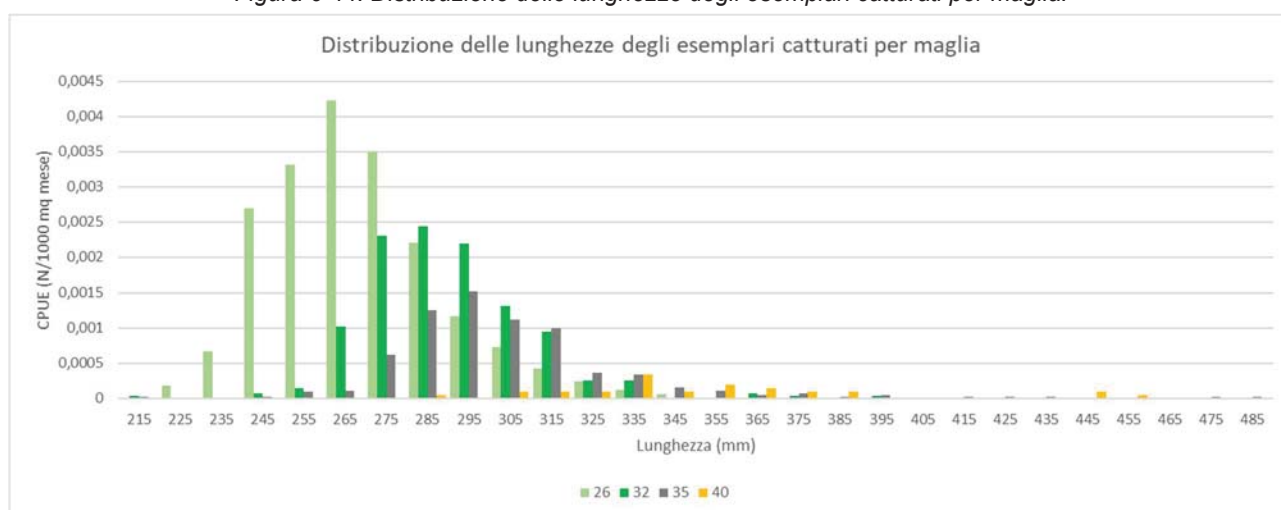
Poiché non è stato possibile calcolare la mortalità totale annuale Z, a causa del numero troppo esiguo di campioni catturati, non è possibile stimare il valore attuale di mortalità da pesca F.

6.3.7 CURVE DI SELEZIONE DELLE RETI

Il calcolo delle curve di selezione delle differenti maglie consente di comprendere per ciascuna delle due specie le variazioni della selezione nei mesi e rispetto alle lunghezze ed età degli esemplari: per questo tipo di elaborazione ci si è avvalsi di un subcampione rappresentativo e costituito da 369 bondelle e 58 lavarelli, dei quali è stata determinata l'età e sono state misurate le circonferenze massima e opercolare come da materiali e metodi.

Prima di presentare i risultati ottenuti in questo ambito si fornisce un quadro della selezione reale del pescato, ovvero un grafico che riporti la distribuzione delle classi di lunghezza del pescato (non distinto per specie) per ciascuna maglia: perché i dati fossero comparabili sono stati normalizzati in CPUE, ovvero in funzione delle metrature impiegate complessivamente per ciascuna maglia.

Figura 6-44. Distribuzione delle lunghezze degli esemplari catturati per maglia.



Dai risultati si osserva un picco di catture per la classe di lunghezza 26-27 cm per la maglia del 26, 28-29 cm per quella del 32, 29-30 cm per quella del 35 e 33-34 cm per quella del 40.

Si ribadisce il fatto che la selezione reale di una maglia sia data dall'azione concomitante della selezione teorica e della distribuzione d'abbondanza delle lunghezze degli esemplari transitanti nella rete in un dato periodo: questo grafico riflette pertanto il risultato dell'impiego di 1000 mq di rete per ciascuna delle 4 maglie e in ciascun mese del semestre indagato, su una popolazione di coregoni di composizione specifica e lunghezza rappresentative del medesimo semestre.

Il grafico mostra come l'impiego di una data maglia insista su classi di lunghezza preferenziali nel semestre in oggetto; l'analisi in seguito consentirà di comprendere in quale periodo le due specie raggiungano quei *range* di lunghezze ottenuti per ciascuna maglia, risultando quindi maggiormente catturabili.

L'obiettivo è evidentemente quello di definire quale maglia massimizzi la resa del pescato tutelando una porzione significativa della classe in prima riproduzione. I dati ottenuti in precedenza ci permettono di conoscere l'età e la lunghezza degli esemplari in prima riproduzione per entrambe le specie, e di impiegarli per gli scopi descritti.

6.3.7.1 *Bondella*

6.3.7.1.1 *Relazione lunghezza-circonferenza*

Per costruire le curve di selezione delle reti sono state in primo luogo calcolate le relazioni lunghezza-circonferenza, di tipo lineare, sulla base dei dati di circonferenza massima e circonferenza opercolare rilevati su subcampioni degli esemplari. Il rilevamento delle circonferenze consente di ricavare una valutazione molto più precisa circa la selettività operata dalle reti branchiali in funzione del lato della maglia rispetto all'utilizzo dei soli dati di lunghezza totale.

Il parametro di selettività risulta di estrema importanza per l'applicazione del dato biologico alla pesca, garantendo quindi un'accuratezza non ottenibile con la sola valutazione della lunghezza totale.

Nella costruzione delle curve teoriche di selezione operata dalle reti branchiali si è tenuto conto solo dell'immagliamentamento del pesce in un punto compreso tra la circonferenza opercolare (*gilled*) e la circonferenza massima (*wedged*). Teoricamente il pesce di dimensione minima che viene catturato ha la circonferenza massima uguale al perimetro della taglia (selezione minima), mentre quello di dimensione massima ha la circonferenza opercolare uguale al perimetro della maglia (selezione massima). In altre parole, le reti branchiali catturano gli esemplari che presentano contemporaneamente una circonferenza massima superiore al perimetro della maglia e una circonferenza opercolare inferiore al perimetro della maglia.

Di seguito vengono elaborate le relazioni mensili tra le circonferenze (massima e opercolare) e la lunghezza totale degli esemplari che sono stati attribuiti alla specie *Bondella* a seguito dell'analisi delle lunghezze e dei quali sono state raccolte le misure delle circonferenze e valutato il sesso (per un totale di 362 esemplari).

In Figura 6-45 l'evoluzione mensile tra giugno e novembre della relazione lineare tra la lunghezza totale e le circonferenze è distinta per sessi. Come si può osservare, le differenze tra i due sessi sono minime e per tale motivo nelle elaborazioni successive non verrà più operata tale distinzione di genere.

In Figura 6-46 l'evoluzione mensile tra giugno e novembre delle relazioni lineari lunghezza totale-circonferenza massima e lunghezza totale-circonferenza opercolare è messa a confronto. Dai grafici risulta evidente che il rapporto tra le due variabili non è costante ma varia mensilmente in funzione dello stato di corposità del pesce.

Figura 6-45. Relazione lunghezza totale – circonferenze: confronto tra sessi nei vari mesi di campionamento

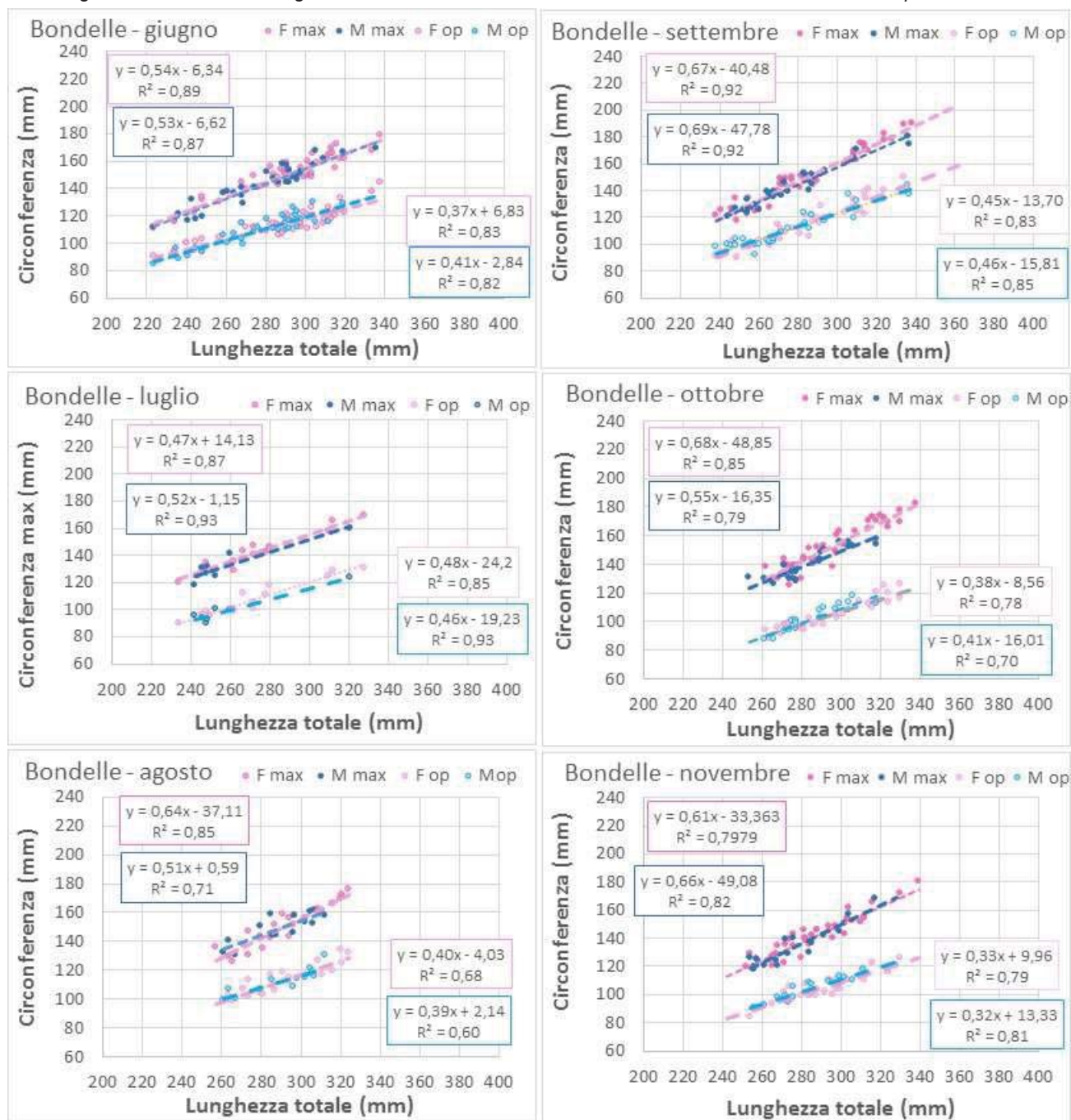
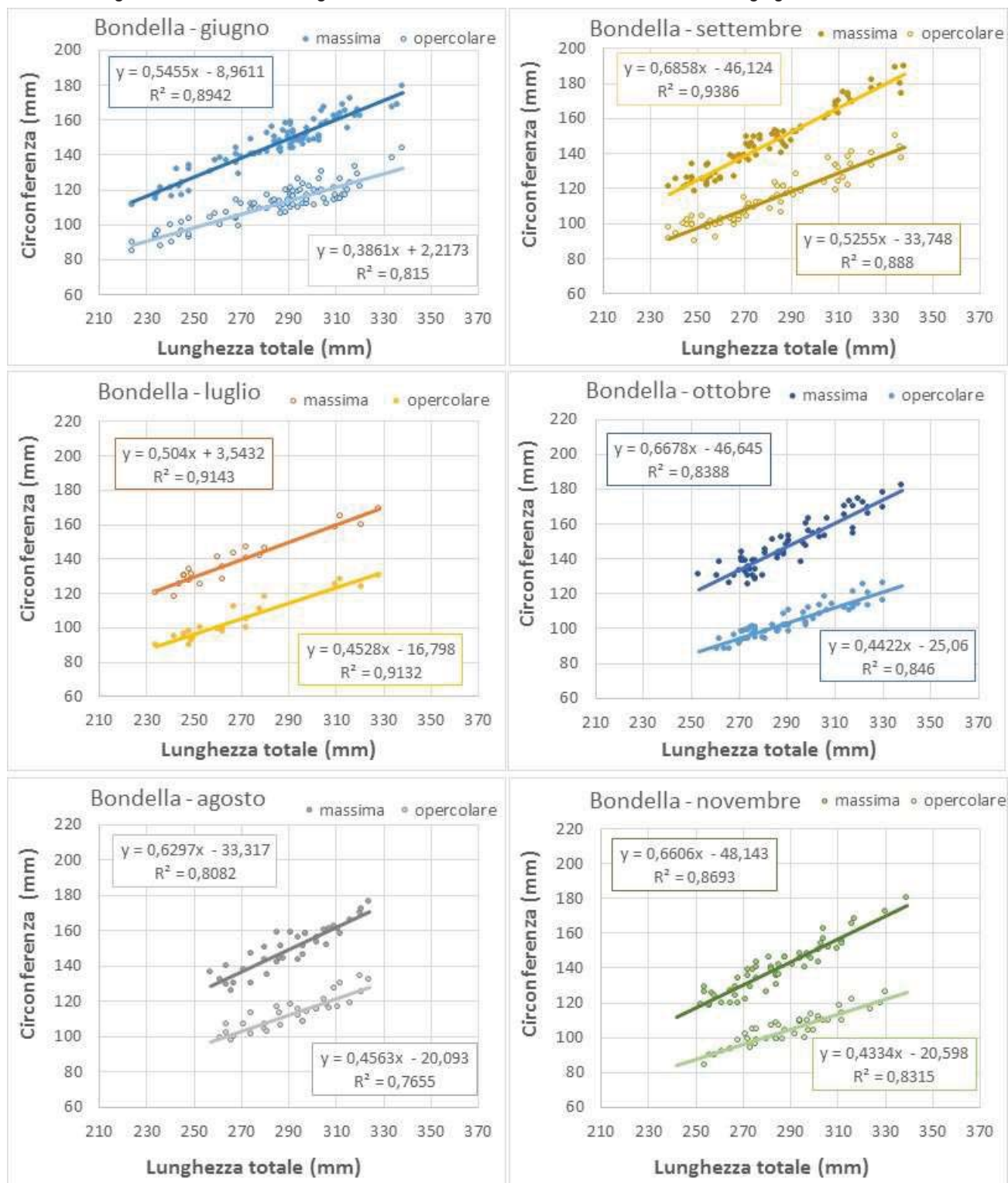


Figura 6-46. Relazione lunghezza totale–circonferenze: evoluzione mensile tra giugno e novembre



In Figura 6-47 le risultanti relazioni lineari sono messe a confronto. A settembre si evidenzia un incremento della pendenza della retta (coefficiente) e una diminuzione dell'intercetta, che si traduce in un maggior aumento della circonferenza negli esemplari di taglia maggiore. Nel periodo autunnale, nonostante il rigonfiamento addominale legato alla maturazione delle gonadi, si osserva una diminuzione dei valori di circonferenza, in particolare nel mese di novembre, in relazione al progressivo dimagrimento conseguente allo sviluppo delle gonadi. In altri termini, l'evoluzione mensile delle circonferenze segue l'andamento del fattore di condizione k . Difatti, ponendo in relazione la circonferenza massima con il peso si rileva una altrettanto stretta correlazione lineare tra le due variabili (Figura 6-48), con R^2 sempre maggiore di 0,85 e una evidente diminuzione dei valori di circonferenza nel mese di novembre.

Figura 6-47. Confronto delle relazioni lineari lunghezza-circonferenze: evoluzione stagionale

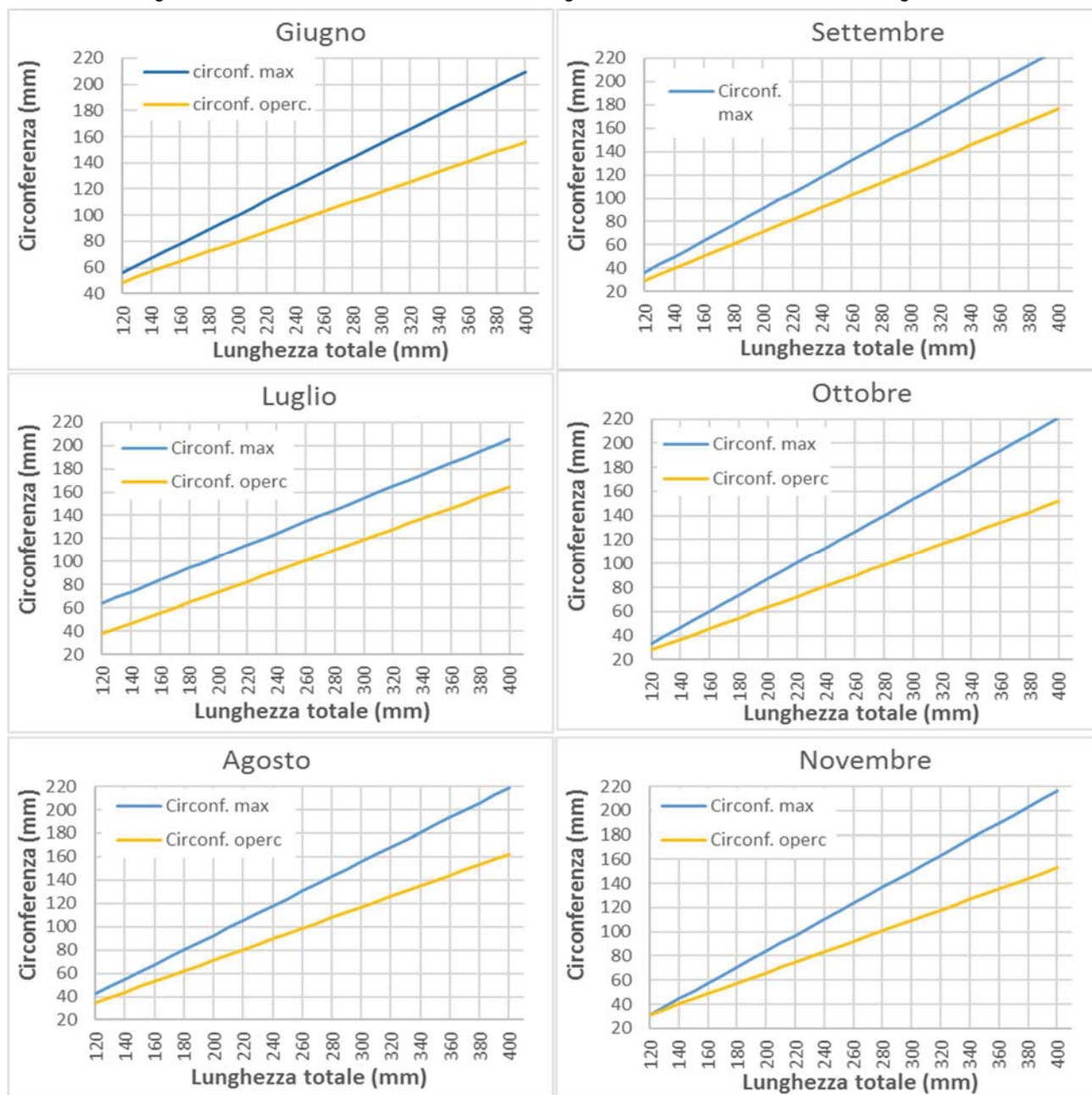
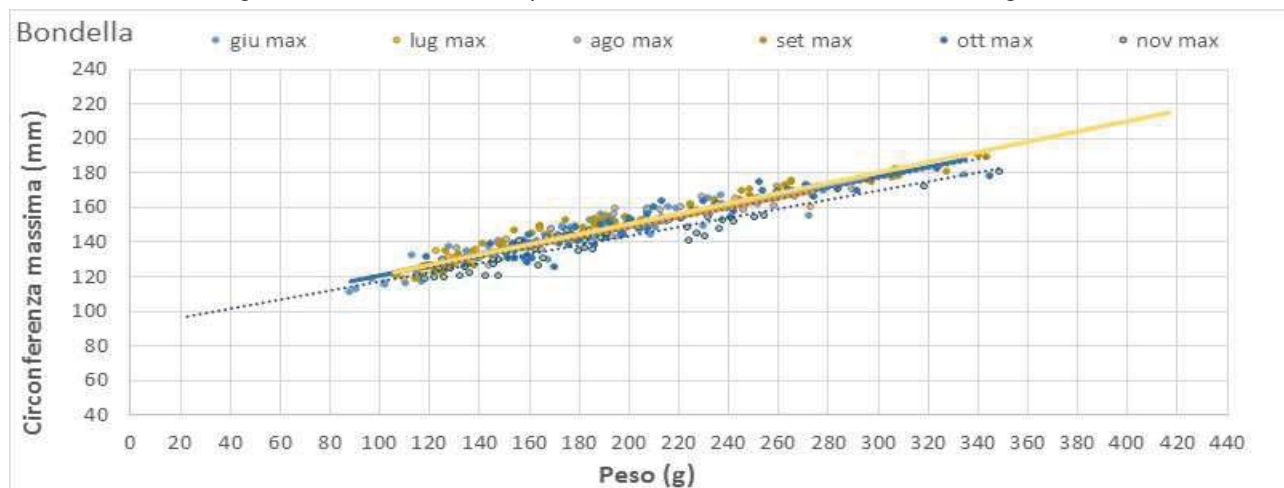


Figura 6-48. Relazioni lineari peso-circonferenza massima: evoluzione stagionale



Per quanto concerne la Bondella, l'evoluzione mensile tra giugno e novembre di tali relazioni ha evidenziato altresì valori del tutto simili per i mesi estivi (giugno, luglio e agosto) i quali sono stati accorpati, anche per garantire maggiore solidità statistica a questo subcampione. Lo stesso vale per i due mesi di ottobre e novembre; fa eccezione settembre, che evidenzia valori differenti dai due accorpamenti indicati.

Complessivamente l'evoluzione mensile delle circonferenze segue l'andamento del fattore di condizione k , spiegato in precedenza a partire dall'accrescimento della corposità (fino al periodo pre-riproduttivo) e da una sua successiva diminuzione dovuta all'allocazione dell'energia metabolica a favore dello sviluppo delle gonadi. Sulla base delle regressioni lineari descritte e secondo quanto dettagliato nel paragrafo Materiali e Metodi.

6.3.7.1.2 Curve di selezione teorica

Sulla base delle regressioni lineari descritte e secondo quanto dettagliato nel paragrafo Materiali e Metodi per ogni periodo di campionamento sono state calcolate le curve teoriche di selettività per le maglie 26, 32 e 35 mm, assumendo che:

- sono selezionati dalle reti branchiali tutti i pesci che presentano contemporaneamente una circonferenza massima superiore e una circonferenza opercolare inferiore al perimetro della maglia delle reti considerate (maglia 26 mm → perimetro 104 mm; maglia 32 mm → perimetro 128 mm; maglia 35 mm → perimetro 140 mm);
- le circonferenze relative ad ogni classe di lunghezza sono distribuite secondo una curva gaussiana (detta anche normale), con una varianza comune per tutte le classi di lunghezza.

Data l'esiguità di catture non si è proceduto al calcolo della curva di selezione teorica per la maglia 40 mm, il cui impiego si è rivelato comunque utile ai fini della definizione della consistenza delle classi d'età maggiori. Per lo stesso motivo, anche il mese di luglio non è stato considerato.

Per ogni classe di lunghezza dei pesci, la selettività è stimata dalla percentuale di pesci che presentano contemporaneamente una circonferenza opercolare inferiore e una circonferenza massima superiore al perimetro della maglia. Risulta evidente che la parte sinistra della curva è determinata dalla circonferenza massima (punto di selezione minima), mentre la parte destra dalla circonferenza opercolare (punto di selezione massima). La parte centrale è relativa alle classi di lunghezza con le percentuali più elevate per entrambe le circonferenze.

Le relazioni lunghezza / circonferenza utilizzate sono le seguenti:

Tabella 6-36. Quadro riassuntivo delle relazioni lunghezza-circonferenza massima e lunghezza-circonferenza opercolare

MESE	Circonf. massima	Coeff. R^2	σ_{\max}	Circonf. opercolare	Coeff. R^2	σ_{op}
Giugno	$= 0,55x - 8,96$	0,89	4,90	$= 0,39x + 2,22$	0,81	4,50
Agosto	$= 0,63x - 33,32$	0,81	5,75	$= 0,46x - 20,09$	0,767	5,24
Settembre	$= 0,69x - 46,12$	0,94	5,28	$= 0,53x - 33,75$	0,89	3,97
Ottobre	$= 0,67 - 46,64$	0,84	5,41	$= 0,44x - 25,06$	0,85	4,26
Novembre	$= 0,66 - 48,14$	0,87	5,46	$= 0,43x - 20,60$	0,83	3,79

dove:

- C_{\max} è la circonferenza massima;
- σ_{\max} è la media delle deviazioni standard dei valori di circonferenza massima per classi di lunghezza;
- C_{op} è la circonferenza opercolare;
- σ_{op} è la media delle deviazioni standard dei valori di circonferenza opercolare per classi di lunghezza.

Per determinare la selettività, in termini di percentuale di pesci selezionati, è stato usato il **MODELLO DI SECHIN**, modificato da Reis & Pawson (1992) (Sadough et al., 2020; Kawamura, 1972), che descrive la curva di selezione utilizzando la seguente equazione:

$$\text{Selection (Sj)} = \Phi [(P_{\text{rete}} - C_{\text{opj}}) \sigma_{\text{opj}}^{-1}] \{1 - \Phi [(P_{\text{rete}} - C_{\max j}) \sigma_{\max j}^{-1}]\}$$

dove:

- S_j è la selettività nella classe di lunghezza j
- Φ è la distribuzione normale standardizzata cumulativa ($\mu=0$ and $\sigma=1$)
- P_{rete} è il perimetro della rete
- C_{opj} è la circonferenza opercolare media (calcolata tramite le rette di regressione di cui sopra) della classe di lunghezza j

- σ_{opj} è la deviazione standard della circonferenza opercolare
- C_{maxj} è la circonferenza massima media della classe di lunghezza j
- σ_{maxj} è la deviazione standard della circonferenza massima

La prima parte dell'equazione definisce la selezione ad opera della circonferenza opercolare:

$$S(C_{opj} \leq P_{rete}) = \Phi[(P_{rete} - C_{opj}) \sigma_{opj}^{-1}]$$

e viene utilizzata per determinare la distribuzione delle lunghezze dei pesci sufficientemente piccoli da entrare in una rete con maglia di perimetro P_{rete} (circonferenza opercolare inferiore al perimetro).

La seconda parte dell'equazione definisce la selezione ad opera della circonferenza massima:

$$S(C_{maxj} \geq P_{rete}) = 1 - \Phi[(P_{rete} - C_{maxj}) \sigma_{maxj}^{-1}]$$

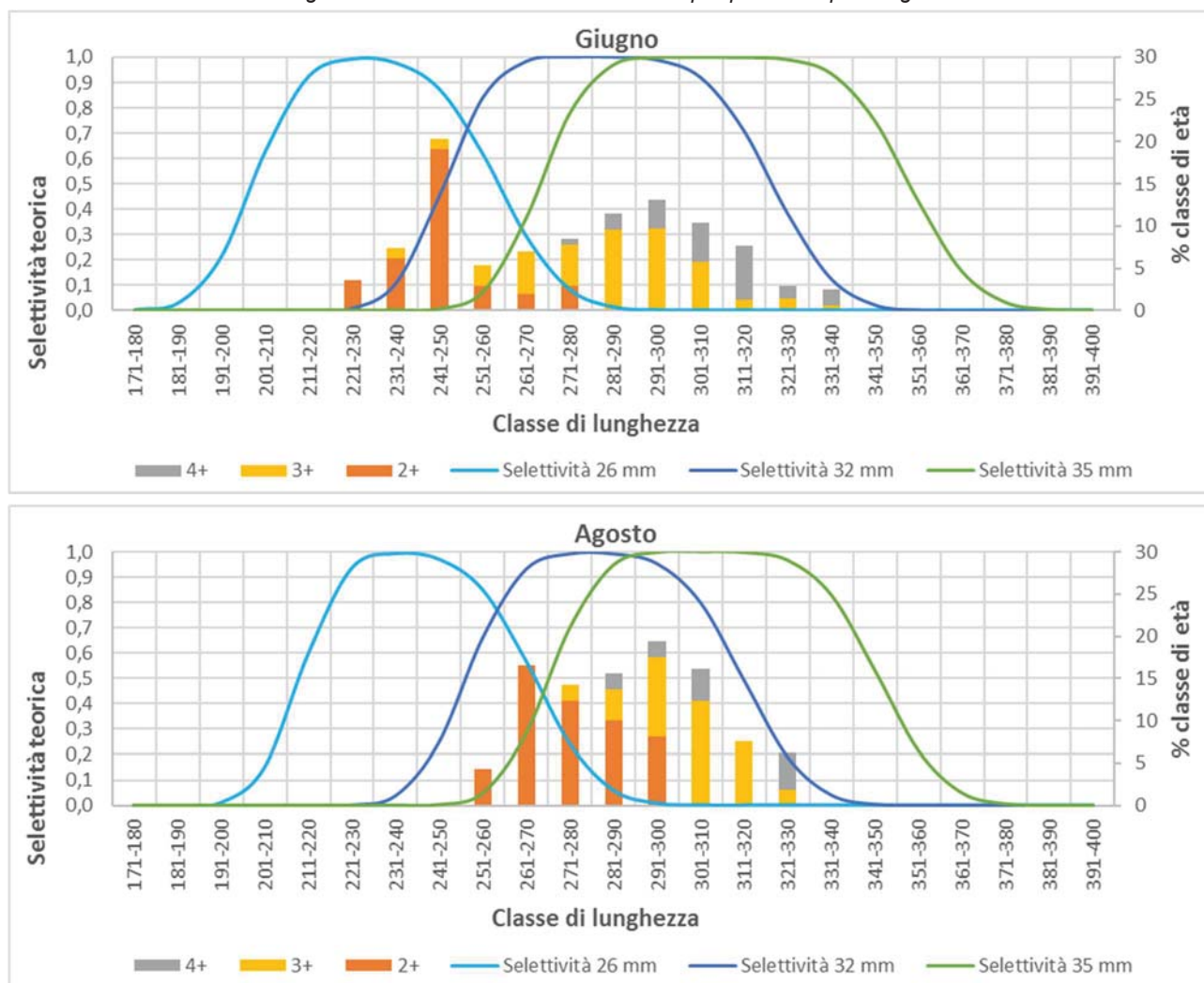
e viene utilizzata per determinare la distribuzione delle lunghezze dei pesci troppo grandi per passare attraverso la maglia (circonferenza massima superiore al perimetro).

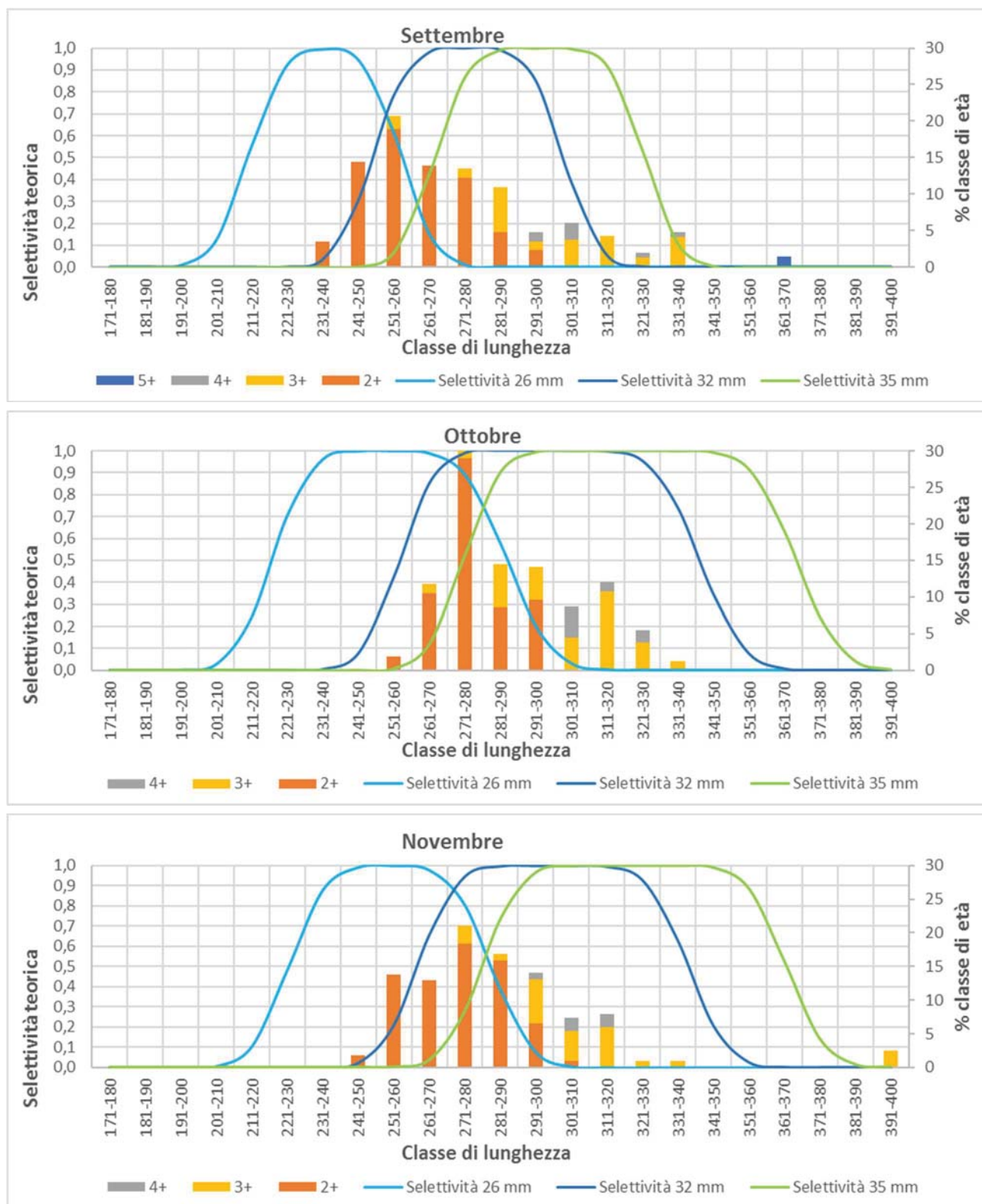
Per effettuare tale analisi è stato utilizzato il **software Excel**.

Sechin ha aggiunto coefficienti a questa formula per tenere conto della comprimibilità del corpo nel punto di ritenzione e dell'elasticità del materiale della rete (Sechin, 1969 in Sadough et al., 2020). In questo studio, questi non sono stati utilizzati perché non significativi rispetto ai dati rilevanti.

Nella figura seguente (Figura 6-49) si riportano le curve di selettività elaborate e sovrapposte alle distribuzioni percentuali in classi di lunghezza di ciascuno dei campioni mensili, le cui distribuzioni di frequenza sono state corrette sulla base dei fattori di correzione già citati in Tabella 6-29, al fine di ristabilire il presupposto di catturabilità costante sulle singole classi di lunghezza.

Figura 6-49. Curve teoriche di selettività per periodo e per maglia





Dall'analisi dei grafici di cui sopra emerge quanto segue:

- A giugno la selettività teorica della maglia 26 è efficace ($S > 0,5$, ovvero seleziona più del 50% dei pesci transanti nella rete) per bondelle di 21-26 cm circa; quella del 32 per bondelle di 25-32 cm; quella del 35 per bondelle di 27-36 cm.
- Alla fine della stagione di crescita, a novembre, la selettività teorica della maglia 26 è efficace per bondelle di 23-29 cm circa; quella del 32 per bondelle di 27-34 cm; quella del 35 per bondelle di 28-37 cm.

- La maglia legale (35 mm) durante il periodo indagato risulta selettiva per la Bondella a partire dalla lunghezza minima di 26 cm a giugno e 28 cm a novembre (accrescimento definitivo per l'anno).
- I dati relativi al pescato, se accostati alle curve di selezione teorica sembrano confermare questo modello predittivo. Fa parziale eccezione il campione catturato con maglia del 26, in quanto la selezione reale insiste su classi di lunghezza maggiori di quelle attese: questo potrebbe dipendere dal fatto che da giugno a novembre la maggior parte delle bondelle abbia superato la lunghezza 18,5-21,5 cm, oppure dal fatto che i pesci immagliati di questa lunghezza riescano a liberarsi spingendo e comprimendo il corpo contro la maglia. Quest'ultima ipotesi è stata ventilata anche da Negri (1993) e può estendersi anche alla selezione reale osservata per le altre maglie.
- Risulta evidente che per il coregone le reti branchiali presentano un intervallo di cattura piuttosto ampio, grazie alla morfologia di questa specie che determina una notevole variazione delle due circonferenze a parità di lunghezza.
- La classe 1+ non è presente in nessuno dei campioni raccolti, ma potrebbe comunque rientrare nell'intervallo di selezione della maglia da 26 mm mentre risulta evidente che non potrebbe rientrare nell'intervallo di selezione delle reti da 32 mm e 35 mm, sia nei mesi estivi che nei mesi autunnali.
- A giugno la rete della maglia da 35 mm seleziona soprattutto la classe 3+, a differenza della maglia da 32 mm che seleziona anche la classe 2+; andando avanti con la stagione di crescita anche il 35 è in grado di selezionare la classe 2+.
- In linea generale, gli intervalli di selettività teorica si ampliano all'aumentare della maglia della rete.
- Considerando una selettività teorica attiva di 0.5, si possono stimare, attraverso la curva di Von Bertalanffy elaborata nel capitolo dedicato, le seguenti età minime di cattura:

Maglia 26 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 200$ mm → $t_c = 1,6$ anni

Maglia 32 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 245$ mm → $t_c = 2,3$ anni

Maglia 35 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 270$ mm → $t_c = 2,8$ anni

Dalle considerazioni sopra esposte risulta evidente che sia la rete del 32 sia la rete del 35 corrispondono ad una gestione razionale della specie, in quanto tutelano entrambe la prima classe riproduttiva (2 anni).

6.3.7.1.3 Azione reale delle reti sulla Bondella

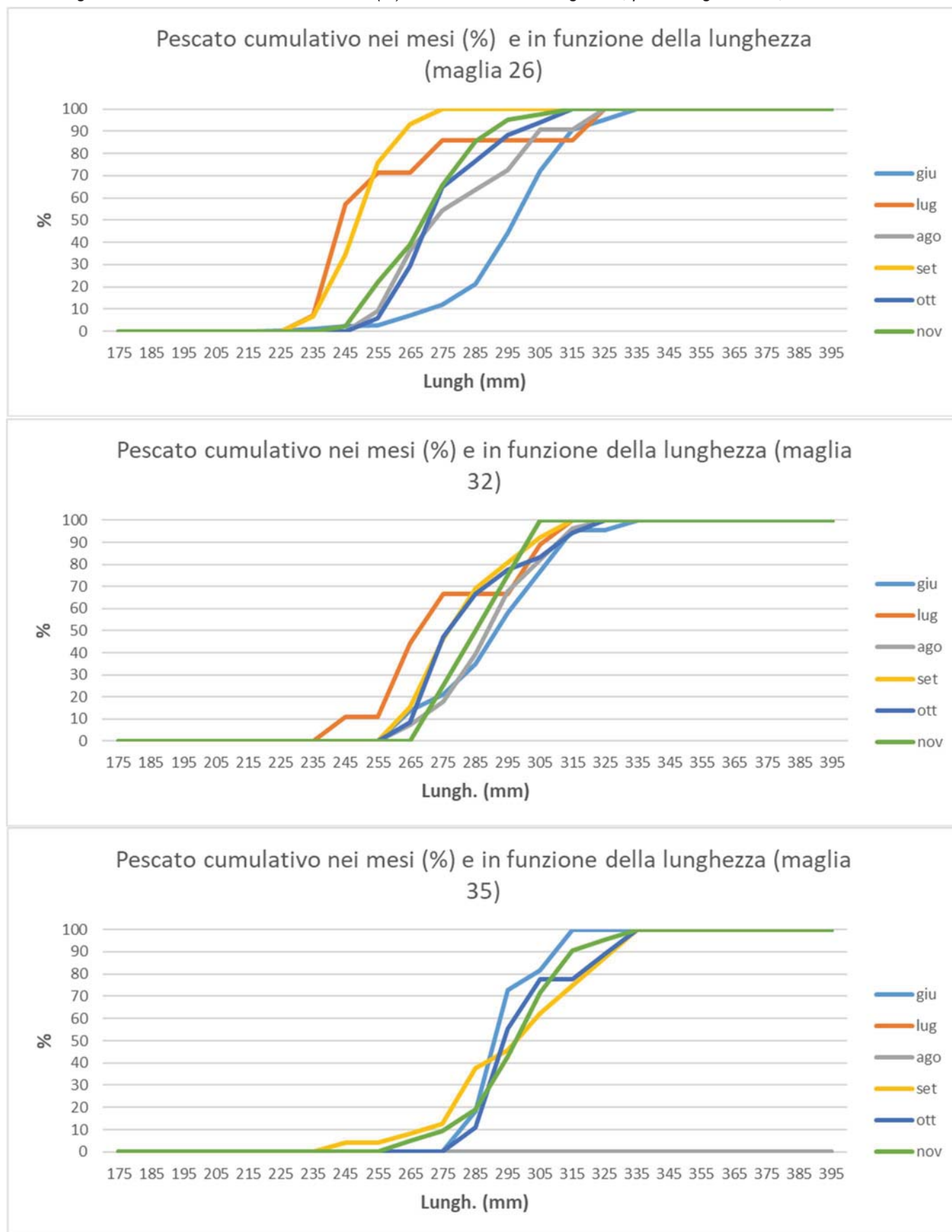
In Figura 6-50 viene riportato il pescato cumulativo nei mesi (%) e in funzione della lunghezza, per le maglie del 26, 32 e 35. L'analisi del pescato cumulativo rivela sia la differenza nella selezione di taglia tra le maglie impiegate, sia come la maglia del 26 evidenzia una maggiore variabilità in relazione alle lunghezze catturate nell'arco di tempo in oggetto.

Curiosamente l'analisi del pescato cumulativo per maglia nel semestre rivela come la maglia del 26 evidenzia una maggiore variabilità in relazione alle lunghezze catturate nell'arco di tempo in oggetto. La selezione reale di questa maglia insiste su classi di lunghezza maggiori di quelle attese: questo potrebbe dipendere dal fatto che da giugno a novembre la maggior parte delle bondelle abbia superato la lunghezza 18,5-21,5 cm, oppure dal fatto che i pesci immagliati di questa lunghezza riescano a liberarsi spingendo e comprimendo il corpo contro la maglia. Quest'ultima ipotesi è stata ventilata anche da Negri (1993) e può estendersi anche alla selezione reale osservata per le altre maglie.

D'altro canto l'occorrenza delle taglie 30-33 cm nelle reti di maglia 26 non è contemplata dalle curve di selezione teorica, ma può essere spiegata ammettendo la medesima meccanica d'immagliamento "per spinta" e per immagliamento fortuito.

Non si dimentichi infine il fatto che la selettività reale è determinata non solo dalla selettività teorica, ma anche dall'abbondanza relativa delle classi di lunghezza, la quale è funzione sua volta della struttura di popolazione e delle variabili ambientali correlate all'accrescimento (Temperatura, trofia etc...).

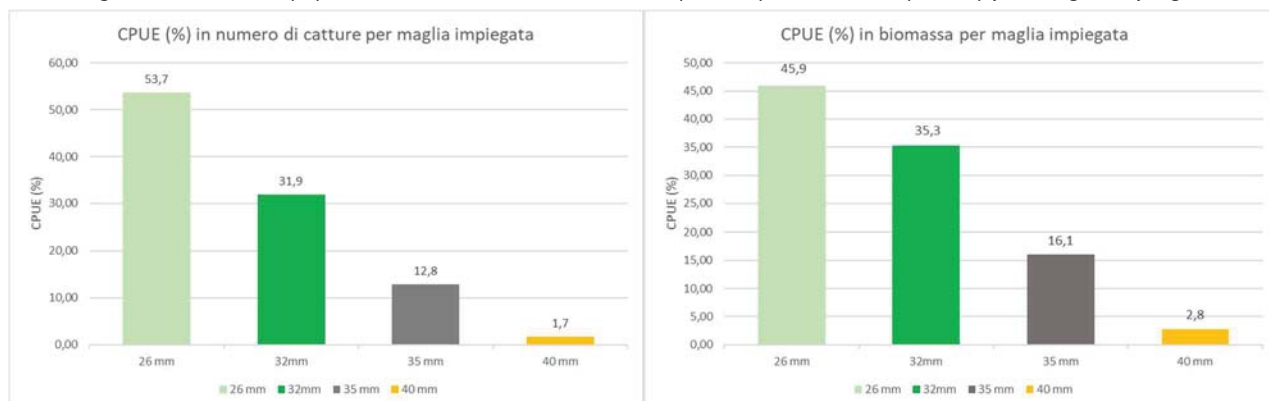
Figura 6-50. Pescato cumulativo nei mesi (%) e in funzione della lunghezza, per le maglie del 26, 32 e 35.



Si espongono in seguito alcuni grafici relativi al CPUE, ovvero al pescato nell'arco del semestre indagato, relativo a ciascuna maglia, normalizzato per la metratura di reti impiegata e ottenuto sul campione mediante

un retrocalcolo che abbia mantenuto invariati i rapporti numerici tra specie e catture mensili: questo consente di osservare e confrontare la selezione reale esercitata sulla Bondella, nei mesi e per età.

Figura 6-51. CPUE (%) in numero di catture di Bondella (sinistra) e biomassa (destra) per maglia impiegata.

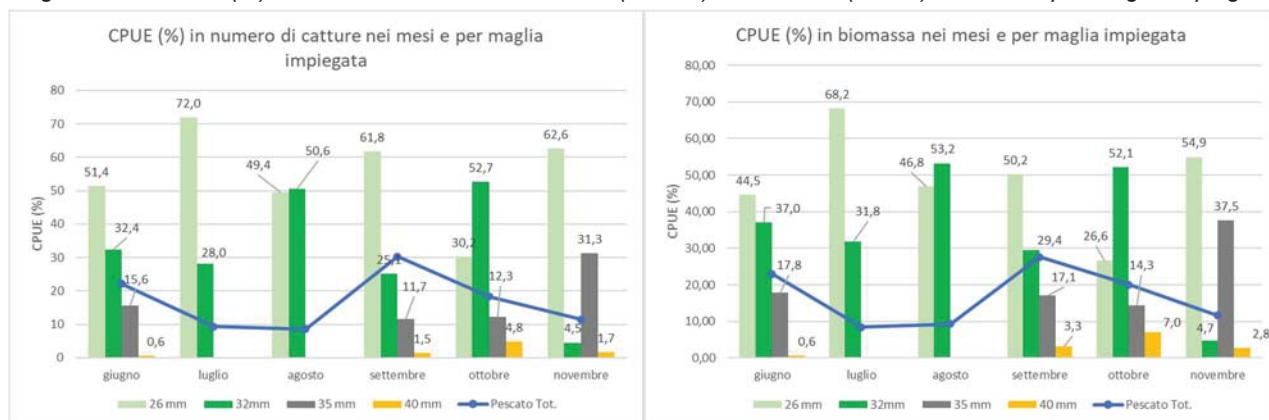


L'analisi del variare del CPUE relativo ad ogni maglia ed espresso come % del pescato complessivo evidenzia come la maglia del 26 catturi il 53,7% del campione numerico, quella del 32 il 31,9%, quella del 35 il 12,8% e quella del 40 solo l'1,7%.

Considerando il medesimo scenario ma esprimendolo in biomassa, la maglia del 26 cattura il 45,9% del campione, quella del 32 il 35,3%, quella del 35 il 16,1% e quella del 40 solo il 2,8% dello stesso.

In riferimento al dato più significativo per la pesca professionale, ovvero la biomassa catturata nel semestre, si deve tenere conto di una perdita di 10,6 punti percentuali (rispetto al totale) passando dal pescato con maglia del 26 a quello con maglia 32, e di 19,2 punti percentuali dal 32 al 35.

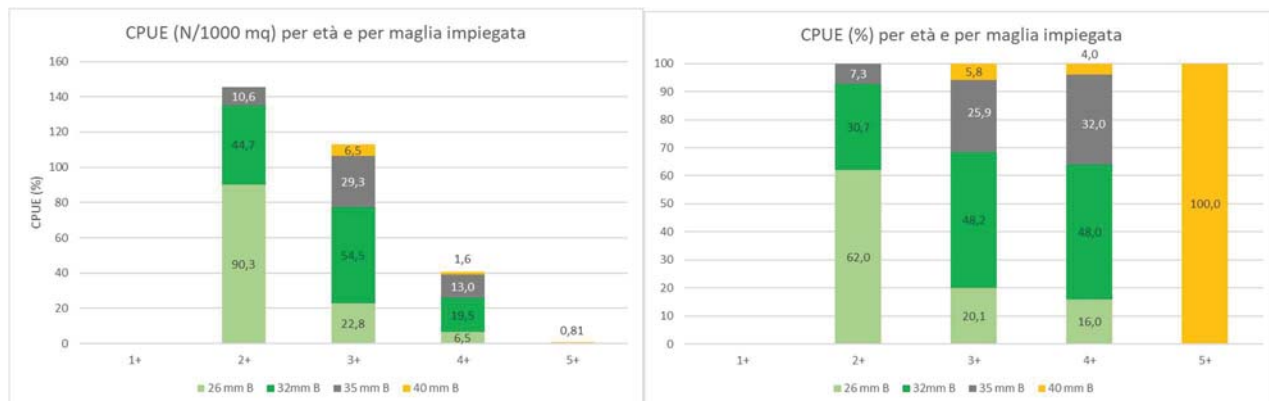
Figura 6-52. CPUE (%) in numero di catture di Bondella (sinistra) e biomassa (destra) nei mesi e per maglia impiegata.



Tenendo conto dell'andamento del CPUE nei mesi indagati, appare altrettanto evidente come la maglia del 32 garantisca catture relativamente costanti nel tempo, a differenza di quella del 35, che sembra dare fondo alla propria efficacia solo a partire da settembre.

Evidentemente queste considerazioni devono essere maggiormente contestualizzate in funzione dell'età di cattura per la Bondella e del Lavarello: si presenta quindi il grafico a seguire.

Figura 6-53. CPUE in numero di catture per età e per maglia impiegata.



L'analisi in questo senso testimonia innanzitutto come il campionamento (malgrado l'impiego della maglia del 26) non abbia condotto alla cattura di esemplari 1+ (età di prima riproduzione).

Per quanto concerne la classe d'età 2+, la più rappresentativa del campione e quella più significativa anche per la pesca professionale, risulta evidente come la maglia del 26 catturi il 62% degli esemplari della classe: ciò significa che per qualsiasi maglia di diametro superiore al 26 una consistente parte della seconda classe riproduttiva rimane tutelata.

Venendo alle due maglie il cui impiego risulta più "plausibile" dal punto di vista gestionale, si evince come la maglia del 32 catturi circa il 30,7% degli esemplari della classe 2+ contro il 7,3% del 35.

Per quanto riguarda la classe d'età 3+ la maglia del 32 risulta performante quasi il doppio di quella del 35, e per la classe d'età 4+ il 33% in più circa.

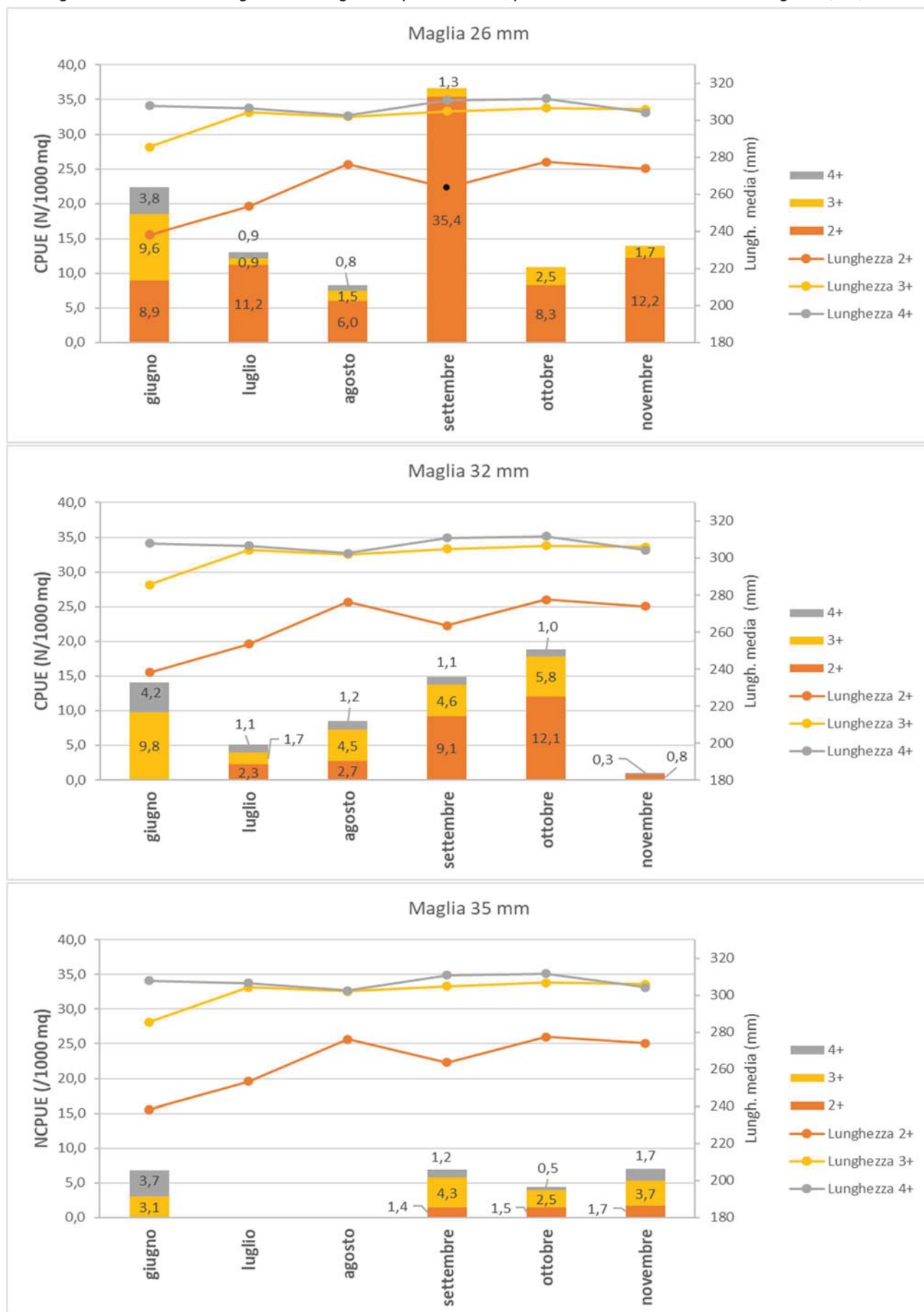
Risulta interessante notare come le percentuali di resa tra maglie rimangano piuttosto invariate se si confrontano la classe 3+ e 4+: ciò è verosimilmente dovuto alla riduzione dell'accrescimento osservata (rispetto ai dati di Negri, 1993) per la Bondella a partire proprio dagli esemplari 3+.

I grafici a seguire mostrano il CPUE nei mesi in relazione alle classi d'età (2+, 3+, 4+) e maglie (26, 32, 35) maggiormente rappresentative; è stato inserito in aggiunta anche l'andamento della lunghezza media degli esemplari nei mesi.

Come evidente la maglia del 26 risulta performante sulla classe 2+ già a partire dal mese di giugno, con un picco di catture nel mese di settembre; la medesima risulta efficace sugli esemplari 3+ limitatamente al mese di giugno.

La maglia del 32 entra in pesca sugli esemplari 2+ a partire dal mese di luglio, aumentando però significativamente la sua efficacia sugli stessi solo da settembre. Ad eccezione del picco d'efficacia sugli esemplari 3+ coincidente con il mese di giugno, la stessa aumenta progressivamente la sua efficacia su questa classe d'età fino ad ottobre: nel mese di novembre il CPUE relativo alla maglia del 32 diminuisce sensibilmente. La maglia del 35 assume efficacia molto limitata sulla Bondella rispetto alle precedenti, non catturando nei mesi di luglio e agosto ed entrando in pesca sulla classe 2+ solo nel mese di settembre. Nei 2 restanti mesi le rese permangono molto basse sulla classe 2+. Le catture rimangono marginali anche sulle classi 3+ e 4+.

Figura 6-54. CPUE e Lungh. Media degli esemplari nei mesi, per età di cattura e relativo alle maglie 26, 32, 35.



6.3.7.2 Lavarello

Si presentano in seguito i dati relativi agli esemplari di Lavarello campionati; le elaborazioni degli stessi sono state condotte in parallelo a quelle relative alla Bondella.

6.3.7.2.1 Relazione lunghezza-circonferenza

La relazione tra le circonferenze (massima e opercolare) e la lunghezza totale è stata calcolata malgrado l'esiguità del campione; come osservabile nei grafici seguenti la correlazione delle rette derivanti è risultata insoddisfacente.

Figura 6-55. Relazione tra la lunghezza e la circonferenza massima per il campione di Lavarello

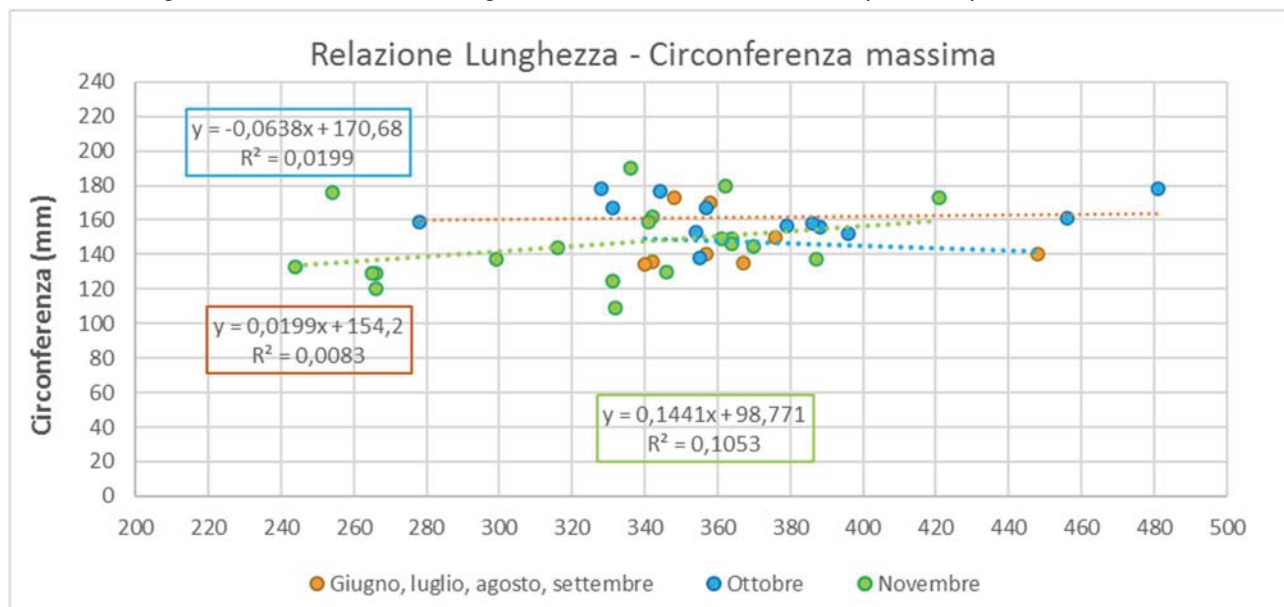
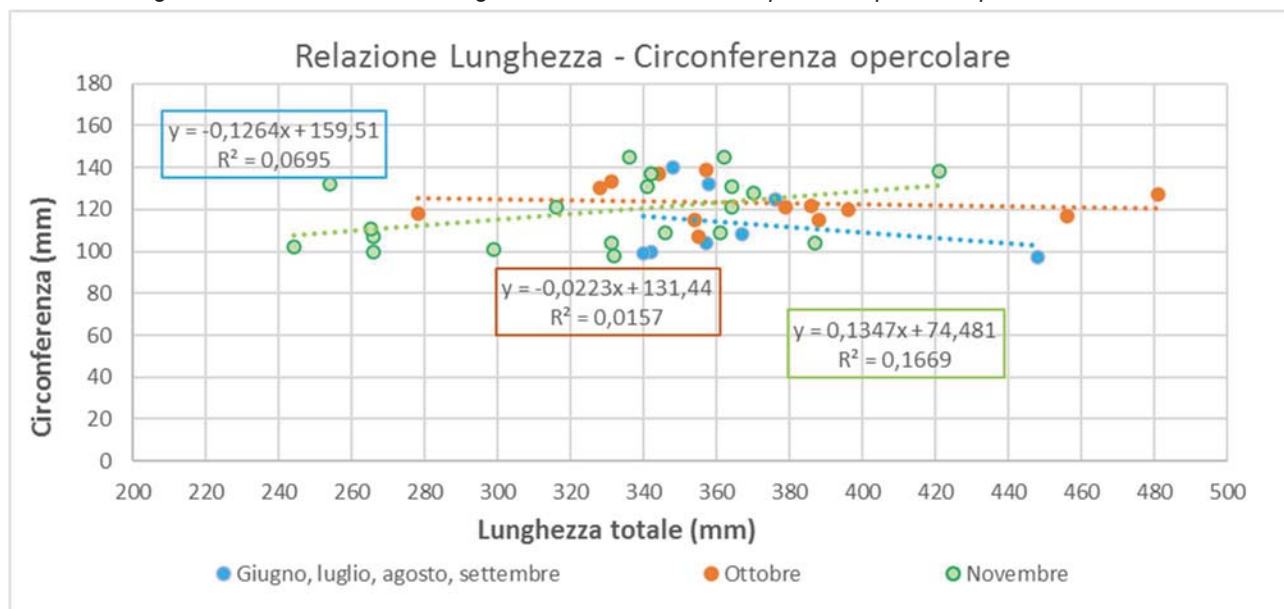


Figura 6-56. Relazione tra la lunghezza e la circonferenza opercolare per il campione di Lavarello

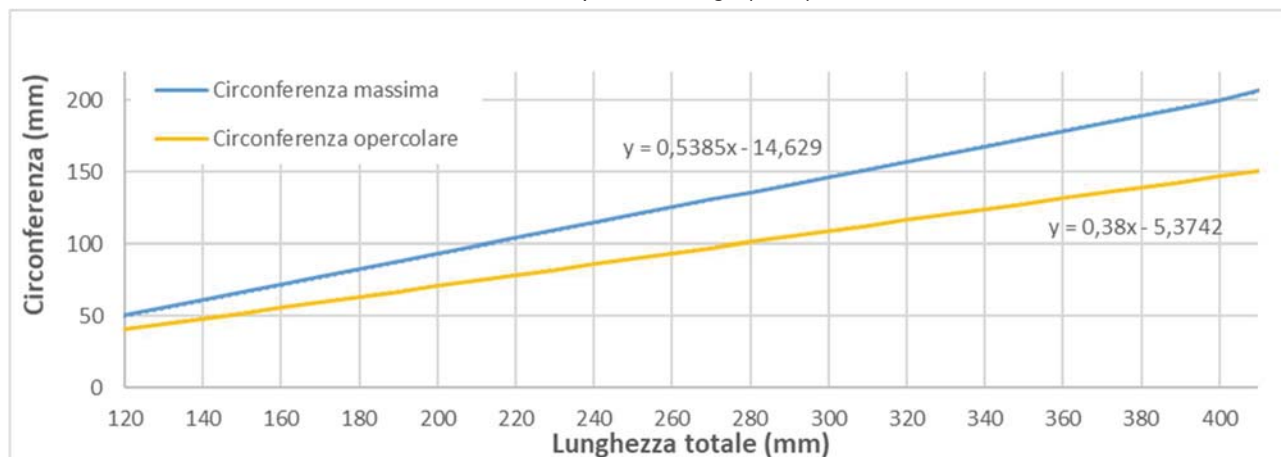


La relazione tra la lunghezza e le circonferenze massima e opercolare è necessaria al fine di calcolare la selettività delle maglie sul pescato, pertanto si è proceduto ottenendo tale relazione a partire dai dati d'interesse riportati in Negri (1993).

Nella fattispecie sono state retrocalcolate le circonferenze per ciascuna classe di taglia e per ciascun mese

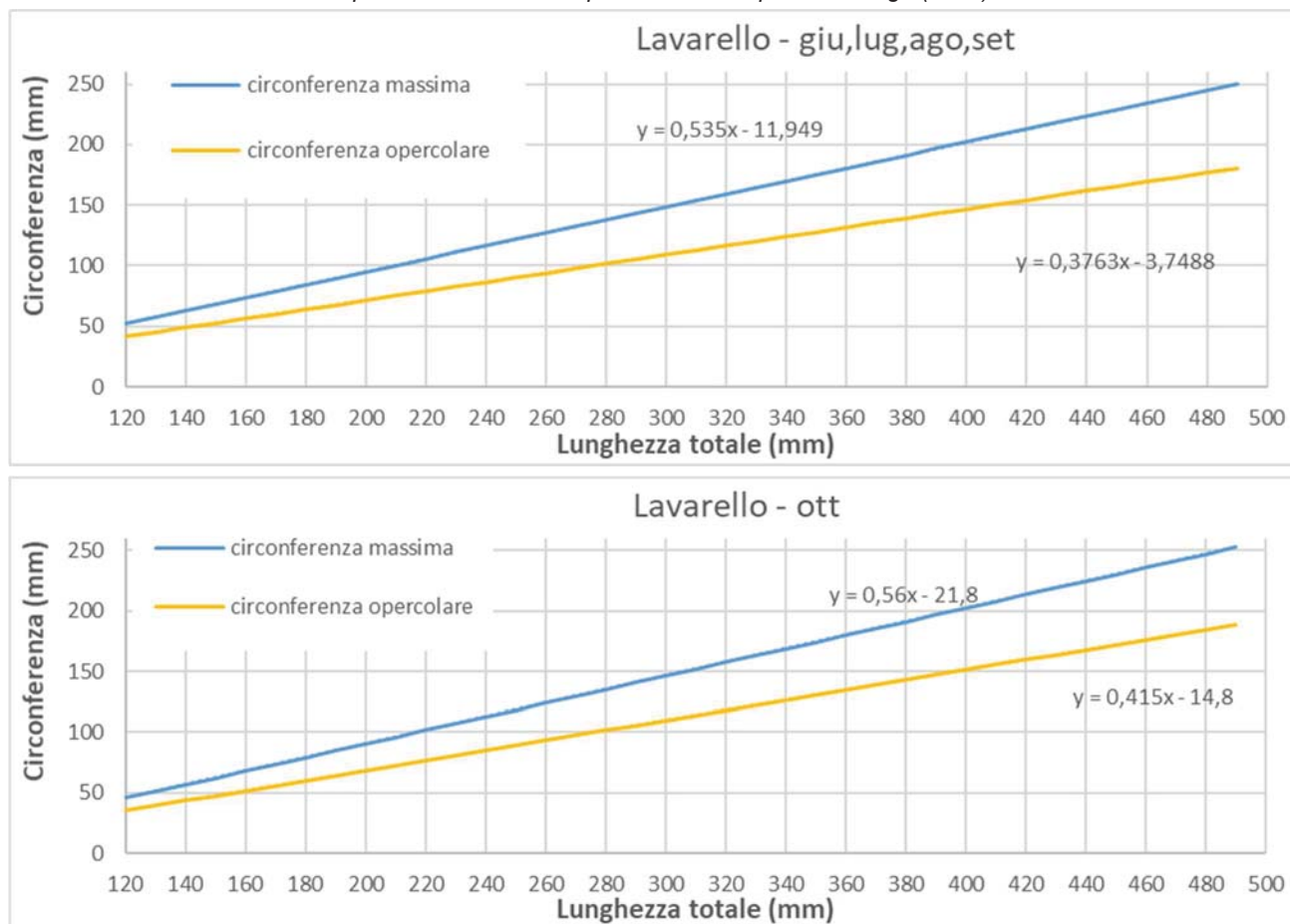
indagato, attribuendo infine ad ogni taglia il valore medio di ciascuna circonferenza nei mesi.

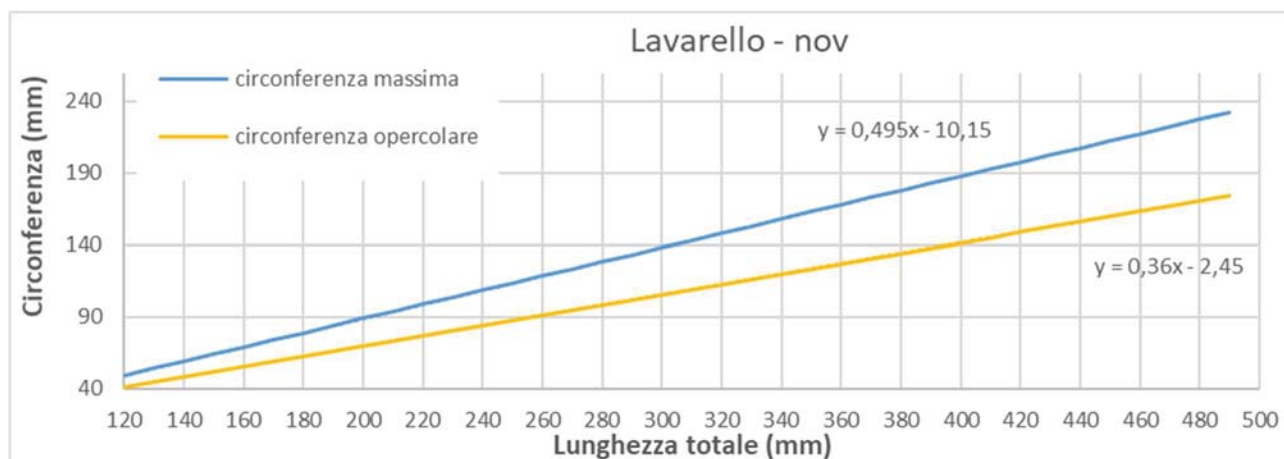
Figura 6-57. Relazione tra la lunghezza e le circonferenze massima e opercolare per il campione di Lavarello, a partire dai dati riportati in Negri (1993)



Al fine di valutare la selettività della maglia al variare della stagionalità, tale retrocalcolo è stato ripetuto per il periodo estivo (giu-lug-ago-set) e per i mesi di ottobre e novembre, come osservabile in seguito.

Figura 6-58. Relazione tra la lunghezza e le circonferenze massima e opercolare durante i mesi campionati, per il campione di Lavarello e a partire dai dati riportati in Negri (1993)





Tali regressioni lineari sono state impiegate per il calcolo delle curve di selezione teorica al paragrafo successivo.

6.3.7.2.2 Curve di selezione

Dato che la dimensione del campione non ha consentito un soddisfacente calcolo delle regressioni lineari (al capitolo precedente) sono stati calcolati i valori medi delle circonferenze massime e opercolari per classe di lunghezza, sulla base delle relative equazioni riportate in Negri (1993):

Tabella 6-37. Quadro riassuntivo delle relazioni lunghezza-circonferenza massima e lunghezza-circonferenza opercolare

giu-lug-ago-set	$C_{max} = 0,535 L - 11,949$	$\sigma_{max} = 7,845$	$C_{op} = 0,3763 L - 3,7488$	$\sigma_{op} = 7,058$
ott	$C_{max} = 0,56 L - 21,8$	$\sigma_{max} = 7,845$	$C_{op} = 0,415 L - 14,8$	$\sigma_{op} = 7,058$
nov	$C_{max} = 0,495 L - 10,15$	$\sigma_{max} = 7,845$	$C_{op} = 0,36 L - 2,45$	$\sigma_{op} = 7,058$

dove:

- C_{max} è la circonferenza massima;
- σ_{max} è la media delle deviazioni standard dei valori di circonferenza massima, calcolata come media dei valori riportati in Negri (1993) per i mesi d'interesse;
- C_{op} è la circonferenza opercolare;
- σ_{op} è la media delle deviazioni standard dei valori di circonferenza opercolare, calcolata come media dei valori riportati in Negri (1993) per i mesi d'interesse.

Per ogni periodo di campionamento sono state quindi ricavate le curve di selezione teorica delle singole reti, come già fatto per la Bondella in precedenza.

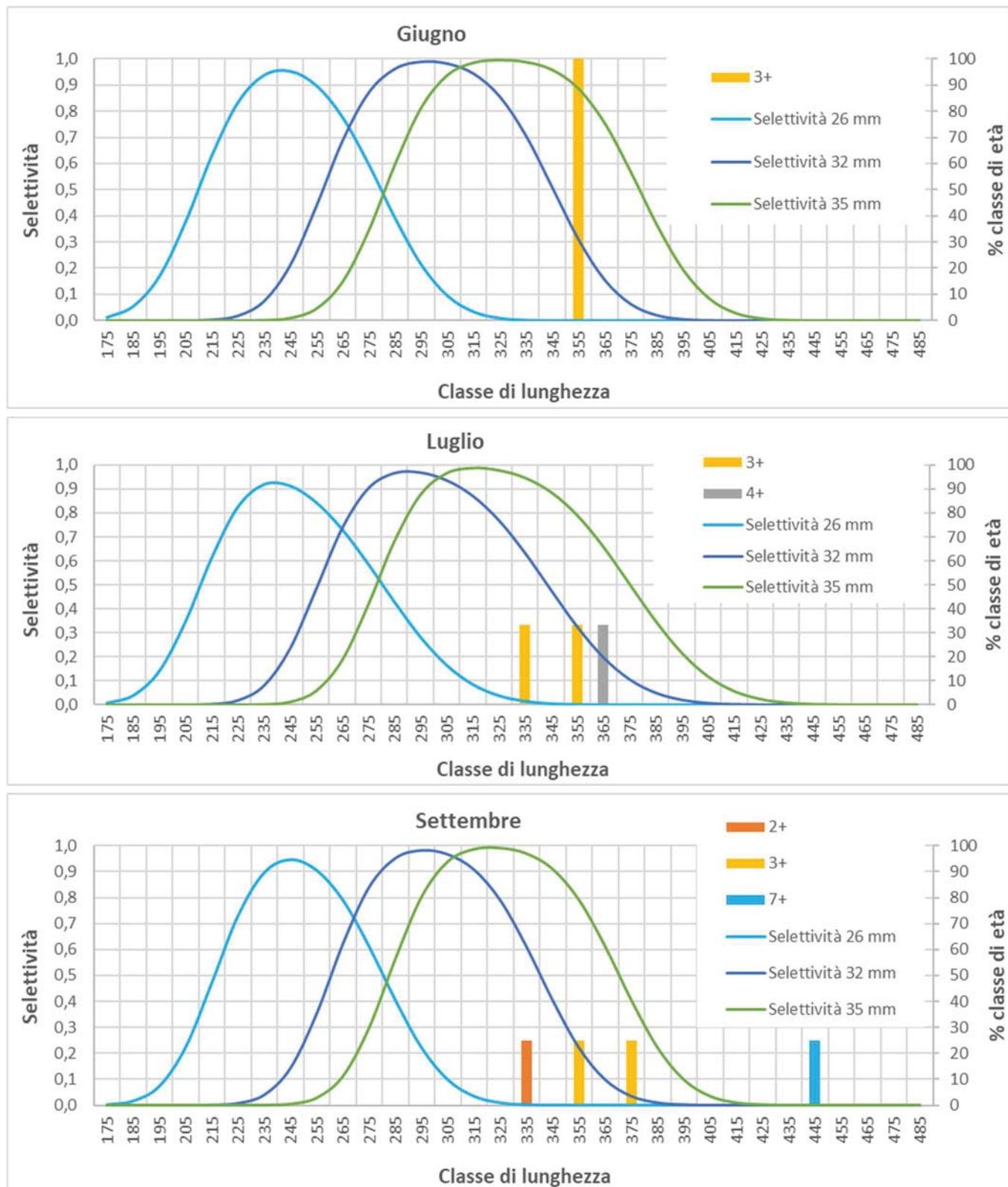
Le relazioni lunghezza / circonferenza utilizzate sono quelle riportate nel paragrafo precedente.

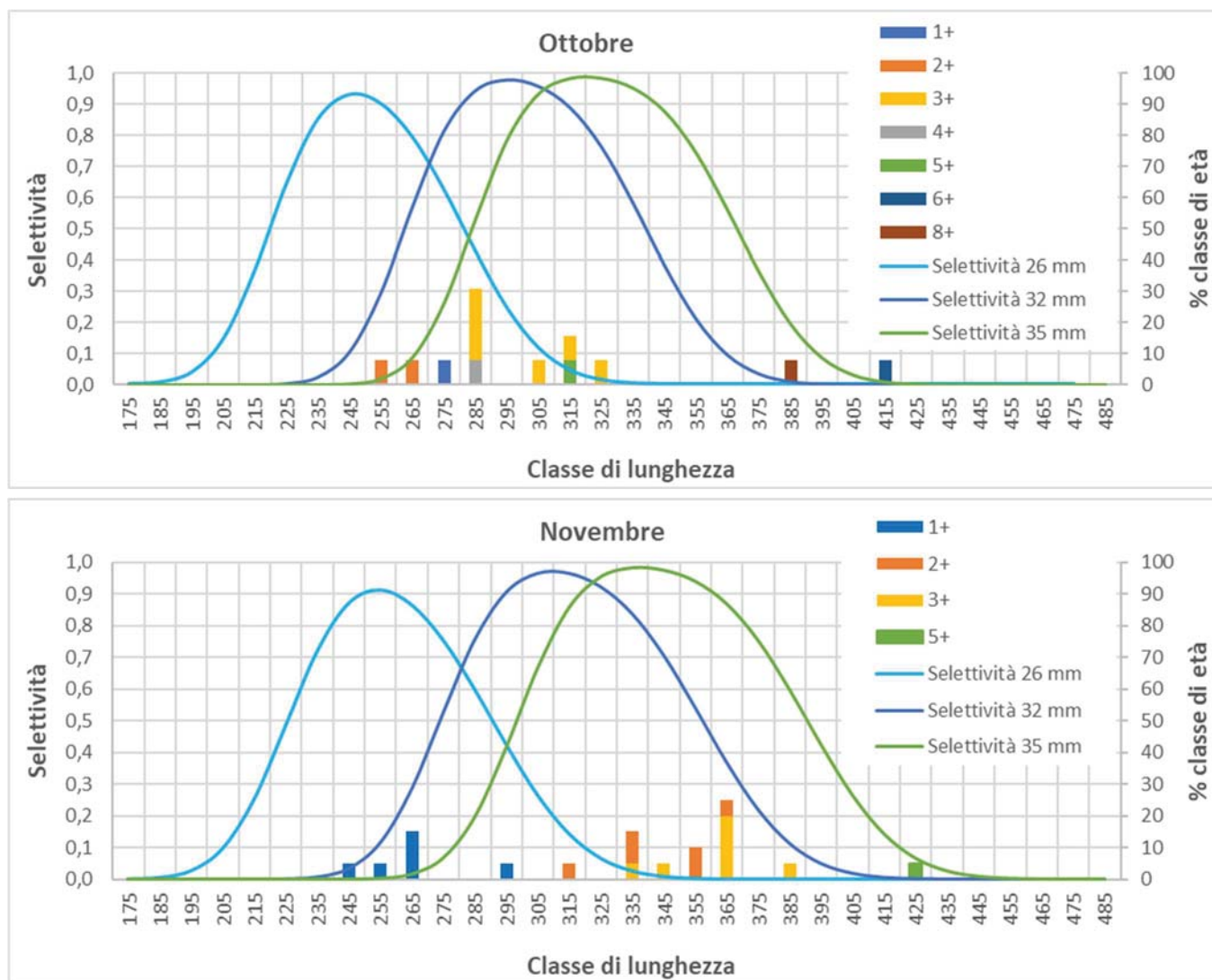
Come per la Bondella, per determinare la selettività, in termini di percentuale di pesci selezionati, è stato usato il **Modello di Sechin**, modificato da Reis & Pawson (1992).

Per l'impiego di questo modello sono state considerate le deviazioni standard relative alle circonferenze massima e opercolare per ciascun mese d'interesse e riportate nello studio di Negri (1993): in caso di assenza di tali dati si è impiegato un valore medio tra quelli disponibili.

Sulla base delle regressioni lineari descritte e secondo quanto dettagliato nel paragrafo Materiali e Metodi sono state calcolate le curve teoriche di selettività per le maglie 26, 32 e 35 mm: data l'esiguità di catture non si è proceduto al calcolo della curva di selezione teorica per la maglia 40 mm, il cui impiego si è rivelato comunque utile ai fini della definizione della consistenza delle classi d'età maggiori.

Figura 6-59. Curve teoriche di selettività teorica del Lavarello per periodo e per maglia





Relativamente al Lavarello è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- La ridotta dimensione del campione catturato non consente valutazioni solide quanto quelle condotte sulla Bondella; come già sottolineato sussiste anche la possibilità di una sottostima nell'abbondanza delle classi d'età giovanili, a causa del metodo di attribuzione specifica.
- Osservando la selettività teorica nel periodo estivo si nota come la maglia 26 risulti efficace ($S > 0,5$, ovvero seleziona più del 50% dei pesci transitanti nella rete) per lavarelli di 21-27,5 cm circa; quella del 32 per lavarelli di 25,5-34,5 cm; quella del 35 per lavarelli di 28-38 cm.
- Alla fine della stagione di crescita, a novembre la selettività teorica della maglia 26 è efficace per lavarelli di 22,5-29 cm circa; quella del 32 per lavarelli di 27,5-36 cm; quella del 35 per lavarelli di 30-39 cm.
- Considerando una selettività teorica attiva di 0.5, si possono stimare, attraverso la curva di Von Bertalanffy elaborata per il Lavarello nel capitolo dedicato, le seguenti età minime di cattura:

Maglia 26 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 210$ m → $t_c = 1,35$ anni

Maglia 32 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 255$ m → $t_c = 1,8$ anni

Maglia 35 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 280$ m → $t_c = 2,1$ anni

I dati relativi al pescato per classi di lunghezza, se accostati alle curve di selezione teorica sembrano confermare questo modello predittivo, con catture ricadenti perlopiù nei range previsti dalle relative curve. Gli esemplari più grandi sono stati catturati con la rete del 40, per la quale non è stata calcolata la curva di selettività teorica. Non si dimentichi il fatto che la selettività reale è determinata anche dall'abbondanza relativa delle classi di lunghezza; si può pertanto ipotizzare che quanto osservato dipenda da un'elevata abbondanza

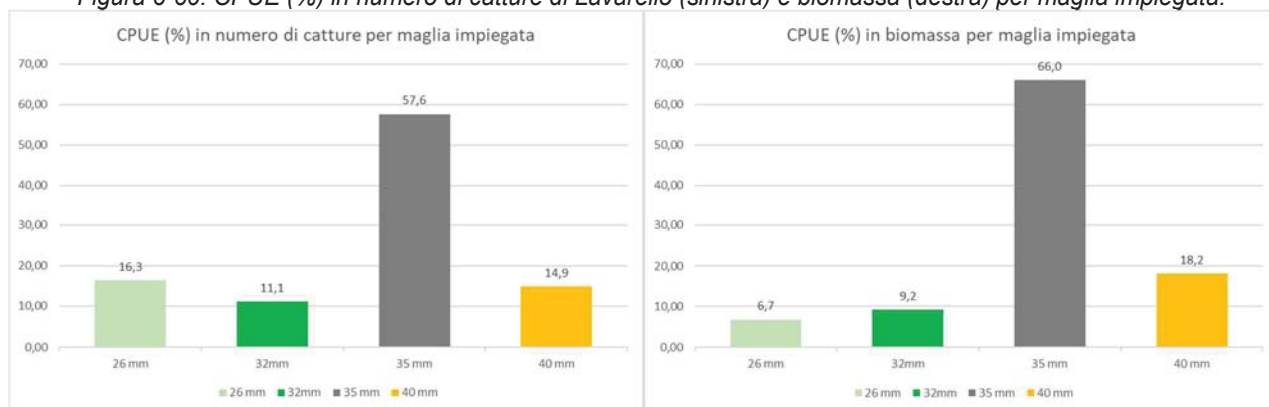
relativa delle classi di lunghezza in oggetto rispetto a quelle selezionate teoricamente ma effettivamente meno abbondanti.

Dalle considerazioni sopra esposte risulta evidente che la rete del 35 tuteli sufficientemente la prima classe riproduttiva (2 anni), a differenza delle altre due maglie.

6.3.7.2.3 Azione reale delle reti sul Lavarello

Si espongono in seguito alcuni grafici relativi al CPUE, ovvero al pescato nell'arco del semestre indagato, relativo a ciascuna maglia, normalizzato per la metratura di reti impiegata e ottenuto sul campione mediante un retrocalcolo che abbia mantenuto invariati i rapporti numerici tra specie e catture mensili: Questo consente di osservare e confrontare la selezione reale sul Lavarello, nei mesi e per età.

Figura 6-60. CPUE (%) in numero di catture di Lavarello (sinistra) e biomassa (destra) per maglia impiegata.

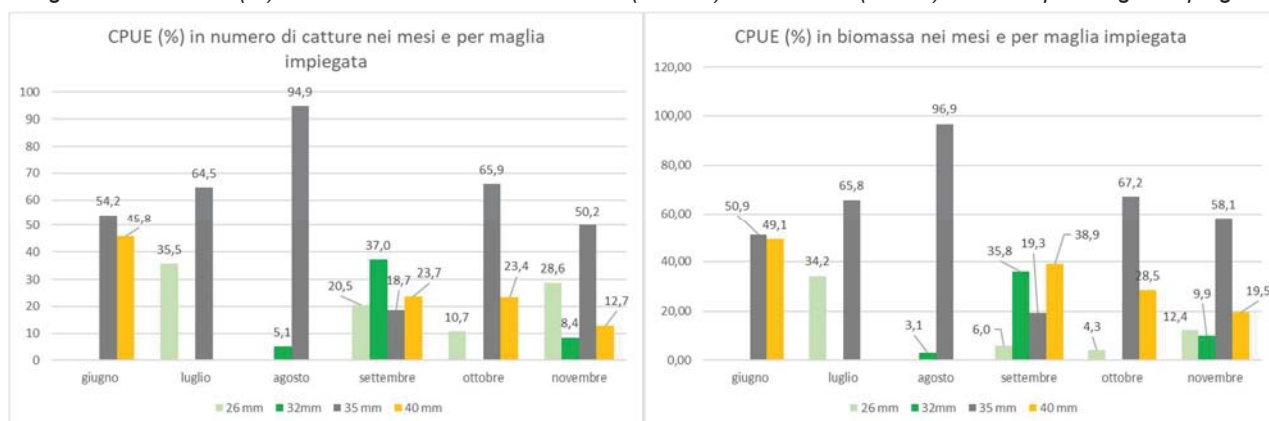


L'analisi del variare del CPUE relativo ad ogni maglia ed espresso come % del pescato complessivo evidenzia come la maglia del 26 catturi il 16,3% del campione numerico, quella del 32 l'11,1%, quella del 35 il 57,6% e quella del 40 il 14,9%.

Considerando il medesimo scenario ma esprimendolo in biomassa, la maglia del 26 cattura il 6,7% del campione, quella del 32 il 9,2%, quella del 35 il 66,0% e quella del 40 il 18,2%.

Quanto osservato può dipendere parzialmente dalla possibilità che il metodo di attribuzione specifica adottato sottostimi l'abbondanza degli esemplari di Lavarello di età 2+, nonché dalla scarsa consistenza del campione, tuttavia è verosimile che la maggiore resa della maglia 35 sia imputabile alle elevate *performance* di crescita del Lavarello.

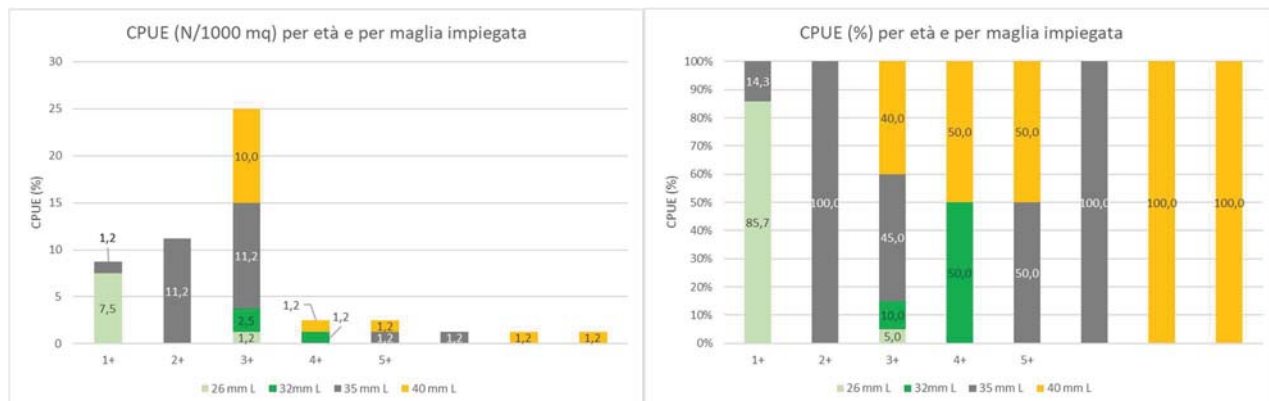
Figura 6-61. CPUE (%) in numero di catture di Lavarello (sinistra) e biomassa (destra) nei mesi per maglia impiegata.



Osservando il CPUE nei mesi si denota come la resa più abbondante e costante sia quella derivante dall'impiego della maglia del 35.

Evidentemente queste considerazioni devono essere maggiormente contestualizzate in funzione dell'età di cattura per la Bondella e del Lavarello; per questa ragione si propone il grafico a seguire.

Figura 6-62. CPUE in numero di catture per maglia impiegata, rispetto alla classe d'età



Risulta evidente come l'impiego della maglia del 26 conduca essenzialmente alla cattura di esemplari 1+ (età di prima riproduzione), mentre nell'impiego della maglia del 35 tali catture siano molto marginali.

In questo senso non sono stati catturati esemplari 1+ per mezzo della maglia del 32, ma si tratta probabilmente di una sottostima dovuta alla dimensione modesta del campione: le curve di selettività teorica non consentono di escludere la cattura di lavarelli della taglia assunta nel periodo riproduttivo. Si richiama però il fatto che la selettività reale in questo studio si è rivelata insistere su classi di lunghezza maggiori di quelle relative alla selettività teorica.

Dato l'accrescimento rapido del Lavarello, la selezione reale della maglia 26 diviene del tutto trascurabile per le classi d'età superiori, la cui cattura dipende soprattutto dall'impiego di maglie del 35 e 40.

6.3.7.3 Risultati complessivi delle curve di selezione operata dalla rete legale

Dato che la pesca professionale viene esercitata su entrambe le specie di coregoni al contempo, risulta appropriato presentare i dati relativi al CPUE per maglia ed età, relativi ad entrambe le specie.

Nel grafico seguente si osserva il CPUE espresso come % di catture effettuate da ciascuna maglia sul numero di esemplari di ciascuna coorte e come N/1000 mq di rete.

I dati fanno riferimento al subcampione per il quale è stato possibile determinare la specie e l'età degli esemplari (N=412): per una stima più precisa del pescato complessivo per maglia, giacché erano noti i rapporti in tal senso tra il subcampione e il campione complessivo (N=963), si è scelto di estendere la proiezione a quest'ultimo campione.

Figura 6-63. Composizione del campione in numero di esemplari per età

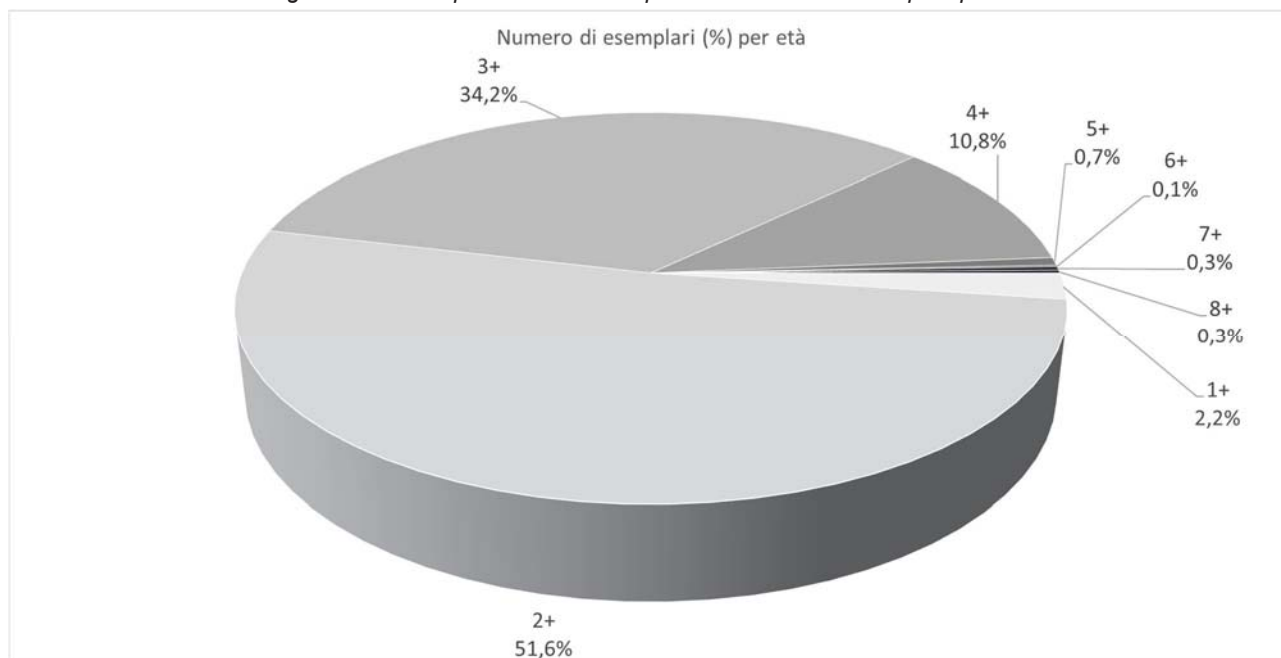
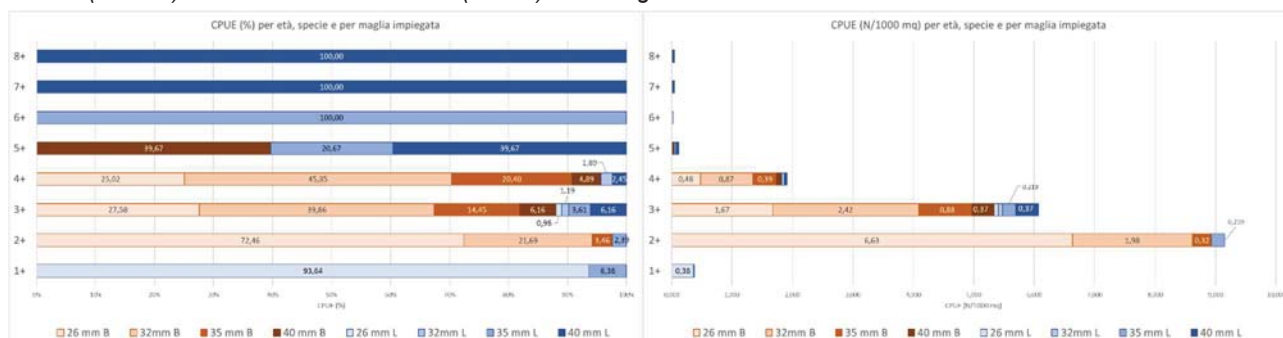


Figura 6-64. CPUE per specie, espresso come % di catture per maglia sul numero di esemplari di ciascuna coorte (sinistra) e come densità di cattura (destra). Nella legenda la lettera L indica il Lavarello e la B la Bondella.



Come evidente non sono stati catturati esemplari nel primo anno di vita (0+), probabilmente sia a causa della maglia impiegata, sia per la frequentazione di batimetriche o zone differenti da quelle campionate da parte degli esemplari giovanili.

Per quanto concerne la prima classe riproduttiva (1+) è stato catturato un numero modesto di esemplari (pari al 2,2% del campione, per un CPUE di 0,38 esemplari/1000 mq di rete) rappresentato esclusivamente da Lavarelli; le catture sono state effettuate per mezzo della maglia 26 mm (93,6% degli esemplari) e del 35 (6,4%).

Sebbene non si disponga di stime della consistenza di ciascuna coorte, è possibile condurre osservazioni sulla base dell'efficacia che hanno dimostrato le differenti maglie: la coorte 1+, poco rappresentativa nel campione, è stata catturata quasi esclusivamente dalla maglia 26; questo lascia supporre che le reti di maglia superiore impiegate effettuino scarsa selezione reale su di essa (come confermato peraltro dal calcolo della selezione teorica).

La seconda classe riproduttiva (2+) risulta la più rappresentativa del campione (51,6% dello stesso, per un CPUE di 9,15 esemplari/1000 mq di rete) ed è costituita dal 97,6% da Bondelle e dal 2,4% da Lavarelli; le catture sono state effettuate soprattutto per mezzo della maglia 26 mm (72,5% degli esemplari), del 32 (21,7%) e solo limitatamente del 35 (5,9%).

Il campione di classe 2+ (seconda classe riproduttiva) costituisce la coorte maggiormente reclutata dal campionamento; essa è costituita quasi *in toto* da esemplari di Bondella: il fatto che più del 70% di esse sia stata catturata con maglia del 26 (non consentita nell'ambito della pesca professionale) lascia supporre che questa coorte sia al contempo particolarmente rappresentativa e tutelata rispetto alle altre, e che la selezione effettuata dalla maglia del 32 (circa il 22% delle catture 2+) e del 35 (circa il 6%) siano rispettivamente appropriata e troppo lassa (in un contesto di ottimizzazione della produttività, una volta appropriatamente protetta la prima classe riproduttiva).

La terza classe riproduttiva (3+) costituisce il 34,2% del campione (CPUE pari a 6,07 esemplari/1000 mq di rete) ed è costituita dall'88,0% da Bondelle e dal 12,0% da Lavarelli; le catture sono state effettuate soprattutto per mezzo della maglia 32 mm (41,0% degli esemplari), del 26 (28,6%), e secondariamente del 35 (18,1%) e del 40 (12,3%).

In riferimento alla composizione in specie della classe d'età in oggetto, il 40% circa di esemplari è costituito da Bondelle catturate con maglia del 32 e solo il 14% circa catturate con maglia del 35. L'82% del campione di Lavarello (che costituisce il 12% delle catture 3+), è stato catturato dalle maglie del 35 e 40.

Anche in questo caso la maglia del 32 sembra sfruttare meglio la coorte in oggetto rispetto a quella del 35.

La quarta classe riproduttiva (4+) rappresenta il 10,8% del campione, per un CPUE pari a 1,91 esemplari/1000 mq di rete. Essa è costituita dal 95,7% da Bondelle e dal 4,3% da Lavarelli; le catture sono state effettuate soprattutto per mezzo della maglia 32 mm (47,2% degli esemplari) e a seguire del 26 (25,0%), del 35 (20,4%) e del 40 (7,3%).

I risultati relativi alla selezione effettuata sulla classe 4+ sono simili a quelli per la classe precedente, in quanto il 45% circa del campione è costituito da Bondelle catturate con maglia del 32, mentre meno della metà (20%) da Bondelle catturate con la maglia del 35. Solo il 4,3% del campione per questa classe d'età è costituito da Lavarelli, il cui numero è troppo esiguo per ulteriori speculazioni.

Le classi 5+, 6+, 7+ e 8+ costituiscono complessivamente l'1,3% del campione, per un CPUE pari a 0,24 esemplari/1000 mq di rete; esse sono composte dall'80,2% da Lavarelli e dal 17,8% da Bondelle, catturati con maglie del 35 e 40.

Per quanto concerne i coregoni in generale, nello studio di Negri (1993) la selettività teorica nel mese di luglio risulta significativa ($S > 0,5$; ovvero $S = 0,72$) a partire dalla classe di lunghezza 28 cm, sebbene il pescato reale sia costituito da ben il 20% di esemplari di lunghezza pari a 27 cm. La selettività teorica nel mese di novembre è significativa ($S > 0,5$) a partire dalla classe di lunghezza 29 cm, sebbene il pescato reale sia costituito dal 16% di esemplari di lunghezza pari a 28 cm. Si osserva pertanto un incremento della selettività teorica minima nel semestre da 28 a 29 cm, e della selettività reale minima da 27 a 28 cm.

Inoltre il medesimo studio conclude come gli esemplari di Bondella 1+ non siano catturabili dalla maglia del 35; mentre gli esemplari 2+ facciano registrare un significativo aumento della selettività dal 12% del mese di giugno all' 80% del mese successivo (luglio).

Sempre con tale maglia la selezione degli esemplari 1+ di Lavarello passerebbe dal 14% a luglio a divenire significativa nel mese di ottobre (63%; osservazione riferita perlomeno all'anno 1991). La selezione totale del Lavarello viene progressivamente raggiunta dagli esemplari 2+ dal mese di luglio a quello di novembre.

Riassumendo i risultati ottenuti nel presente studio in relazione alla maglia del 35, si osserva che:

- la selettività teorica nel mese di luglio risulta significativa a partire dalla classe di lunghezza minima di 26 cm, mentre quella relativa al mese di novembre dalla classe di lunghezza 28 cm. Sebbene si consideri il pescato generico di coregoni, questi valori fanno riferimento specifico ad esemplari di Bondella. Per il Lavarello questi due valori risultano superiori di circa 2 cm, ovvero pari rispettivamente a 28 e 30 cm.
- Il campione di coregoni catturati con la maglia del 35 è troppo esiguo per trarre conclusioni attendibili a livello mensile, tuttavia si osserva come il pescato reale diventi significativo a partire da esemplari di lunghezza pari a 28 cm: si osserva pertanto una corrispondenza tra la selettività teorica e reale per questa maglia.
- La classe 1+ di Bondella non è presente nel pescato relativo alla maglia del 35, come previsto dall'intervallo teorico di selezione di tale maglia, la quale assume efficacia limitata sulla Bondella (non catturando nei mesi di luglio e agosto ed entrando in pesca in maniera molto parziale sulla classe 2+ solo a partire dal mese di settembre). Per quanto riguarda le altre classi d'età essa seleziona soprattutto la classe 3+ a giugno, mantenendo una resa modesta su questa classe e sulla 4+ nei mesi di settembre, ottobre, novembre.
- La classe 1+ di Lavarello catturato dalla maglia 35 nel periodo di giugno-novembre è rappresentata da un solo esemplare, mentre si evidenzia un aumento della performance di tale maglia sulle classi 2+ e 3+: l'analisi del pescato su scala mensile non è stata possibile a causa dell'esiguità dello stesso.

In conclusione effettuando un confronto con il riferimento bibliografico pregresso si definisce che:

- La lunghezza di selettività teorica minima calcolata da Negri negli anni 1991-1992 per la maglia del 35 nel mese di luglio era pari a 28 cm, mentre quella calcolata nel presente studio è pari a 26 cm. Il pescato reale per la medesima maglia e mese è reputato significativo per la classe di lunghezza minima pari a 27 cm (*sensu* Negri, 1993), e pari a 28 cm dal presente studio.
- In riferimento alla maglia del 35, la classe 1+ di Bondella risulta tutelata dalla curva di selettività teorica e dalla selettività reale al contempo, sia per Negri (1993) sia per i risultati ottenuti in questo studio: a 2 anni gli esemplari raggiungono infatti una lunghezza media di 22,9 cm, ben inferiore alla selettività (teorica e reale) indicata sopra per la maglia del 35.
- In riferimento alla maglia del 35, secondo Negri la classe 1+ di Lavarello risulterebbe significativamente selezionata a partire dal mese di ottobre. Nel presente studio è stato catturato complessivamente un ridotto numero di lavarelli e un solo esemplare 1+ di Lavarello con la maglia del 35 nel semestre indagato: si esclude pertanto di poter effettuare considerazioni sulla base della selettività reale. Confrontando la lunghezza approssimativa degli esemplari in prima riproduzione con la lunghezza minima di selezione teorica a novembre per la maglia del 35, si può escludere che tale maglia abbia impatto sulla prima classe d'età riproduttiva.
- Gli esemplari 2+ di Bondella nello studio di Negri venivano selezionati significativamente dalla maglia del 35 a partire da luglio; il presente studio ha fatto registrare un ingresso molto modesto di questa classe d'età nel pescato solo a partire dal mese di settembre: l'aumento dello stesso nei due mesi a seguire è risultato minimo. Se ne desume che l'età di prima cattura con la maglia del 35 ($S < 0,5$) è ritardata di circa 2 mesi dagli anni '90 ad oggi.

6.3.8 CALIBRAZIONE DELLA PRESSIONE DI PESCA OTTIMALE

L'obiettivo della gestione di una popolazione ittica non è solamente la tutela della popolazione ma anche l'impostazione di una metodica di sfruttamento ottimale. L'applicazione del modello “*yield per recruit*” (ovvero “rendimento per recluta”) di Beverton e Holt (di seguito modello B-H) consente di ricavare la massima produzione ottenibile intervenendo su due variabili principali, l'**età di prima cattura (o inizio pesca) T_c** , che dipende dalla dimensione della maglia della rete, e la **mortalità da pesca F** .

Il modello descrive lo stato dello stock e il rendimento che si può ricavare dall'attività di pesca in una situazione in cui la mortalità, sia naturale sia da pesca, viene assunta costante per tutto il tempo di vita di una coorte dal momento in cui questa entra nella fase di sfruttamento.

L'accrescimento rappresenta l'incremento dello stock, mentre la mortalità, sia naturale sia da pesca, costituisce un decremento di biomassa.

Come descritto nel relativo paragrafo dei Materiali e Metodi, per ottenere i dati necessari per calibrare la pressione di pesca ottimale è stato utilizzato il programma **FISAT II - FAO-ICLARM Stock Assessment Tool** (version 1.2.2) che utilizza il concetto di **relative yield-per-recruit** di Beverton and Holt (1964) definito dalla seguente equazione:

$$Y/R = E(1-c)^{M/K} \cdot \left\{ 1 - \frac{3(1-c)}{1 + \frac{(1-E)}{(M/K)}} + \frac{3(1-c)^2}{1 + \frac{2(1-E)}{(M/K)}} - \frac{(1-c)^3}{1 + \frac{3(1-E)}{(M/K)}} \right\}$$

Dove:

E = Exploitation rate = $F/Z = F/(M+F)$, adimensionale, che varia da 0 a 1

Per cui $F = M \cdot E / (1-E)$

$c = L_c/L_\infty$

L_c = lunghezza all'età di prima cattura, che varia in funzione dell'età di prima cattura t_c

L_∞ = lunghezza infinita, ricavata dall'equazione di Von Bertalanffy calcolata nel paragrafo dedicato;

M = mortalità naturale, come calcolata nel paragrafo dedicato;

K = coefficiente di Brody, ricavato dall'equazione di Von Bertalanffy calcolata nel paragrafo dedicato;

La relazione tra Y/R e Y'/R è data, a parità di altre condizioni, da:

$$\left(Y/R \right) = Y'/R \cdot \left\{ W_\infty \cdot e^{-\left(M(t - t_0) \right)} \right\}$$

La *Relative biomass-per-recruit* (B'/R) è stimata dalla relazione:

$$B'/R = (Y'/R)/F$$

Il software restituisce grafici di Y'/R vs E e di B'/R vs E , da cui vengono stimati:

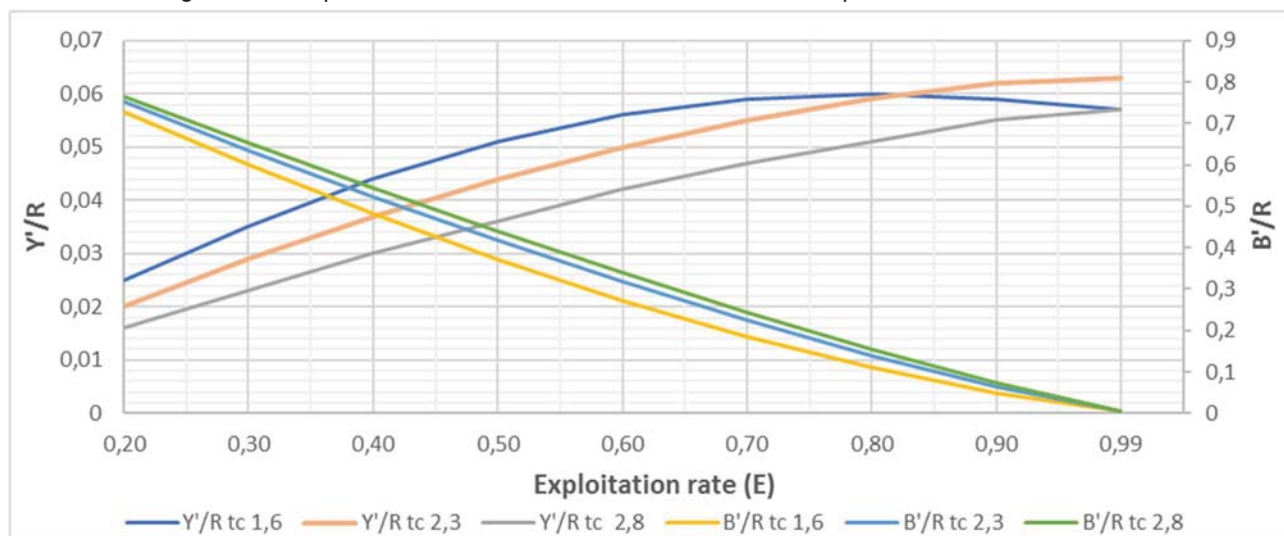
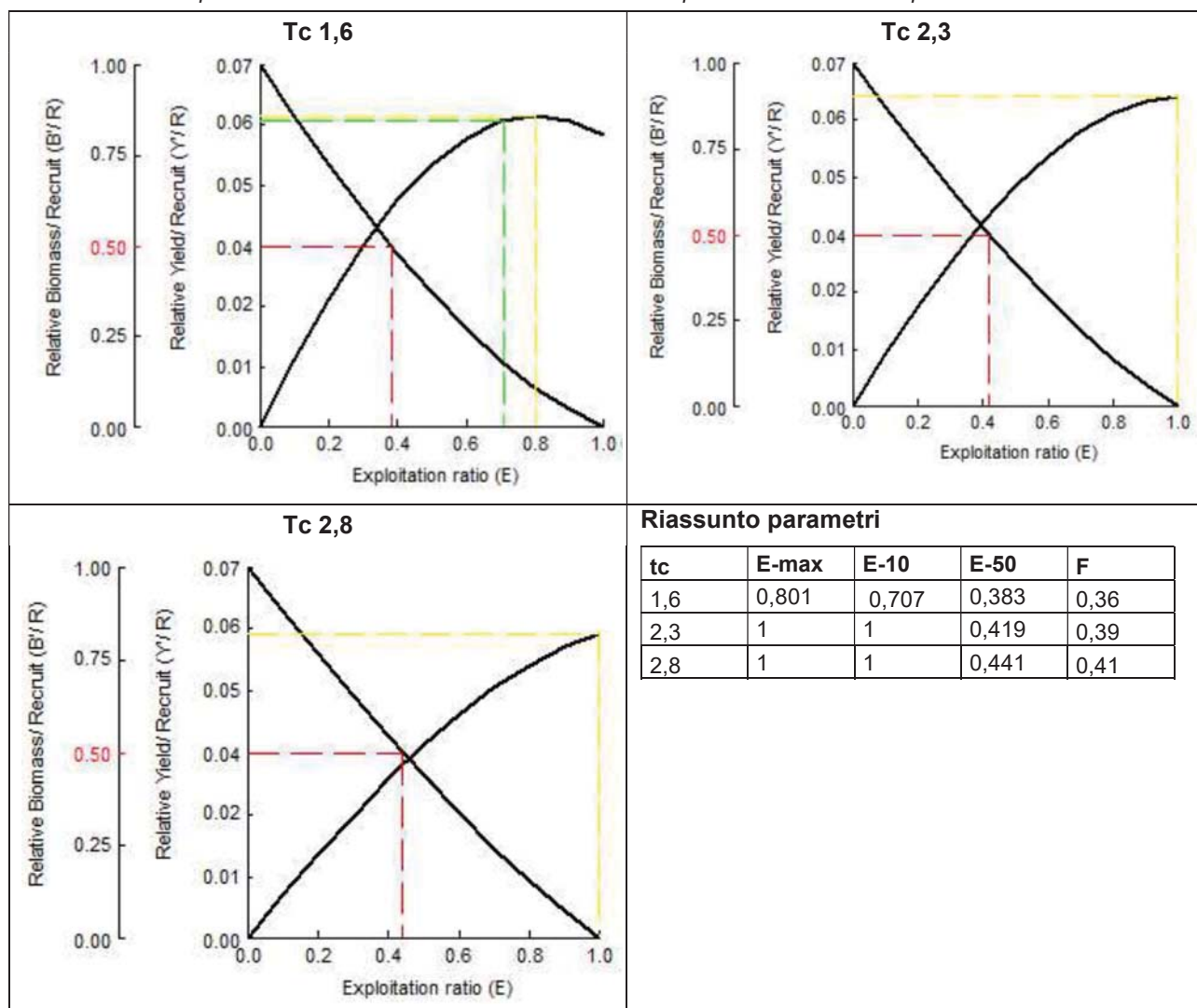
- **E_{max}** (tasso di sfruttamento che produce il massimo rendimento),
- **E_{0.1}** (tasso di sfruttamento al quale l'aumento marginale del rendimento relativo- per reclutamento è 1/10 del suo valore a $E=0$)
- **E_{0.5}** (valore di E sotto il quale lo stock è stato ridotto al 50% della sua biomassa non sfruttata).

6.3.8.1 Bondella

Considerando le curve di selezione elaborate per le tre maglie in esame e la curva di Von Bertalanffy elaborata per la popolazione di Bondella, è stato applicato il modello B-H come precedentemente descritto per le seguenti età di cattura t_c :

- Lunghezza di prima cattura $L_c = 200$ mm → Età di prima cattura $t_c = 1,6$ anni
- Lunghezza di prima cattura $L_c = 245$ mm → Età di prima cattura $t_c = 2,3$ anni
- Lunghezza di prima cattura $L_c = 270$ mm → Età di prima cattura $t_c = 2,8$ anni

Nelle immagini seguenti si visualizzano i risultati dell'applicazione del modello B-H in FISAT II.

Figura 6-65. Exploitation rate vs Y'/R e B'/R al variare dell'età di prima cattura della BondellaTabella 6-38. Exploitation rate vs Y'/R e B'/R al variare dell'età di prima cattura come output FISAT II della Bondella

Dalla modellizzazione eseguita risulta che le rese massime si hanno per una t_c di 1,6, che però risulta non tutelare la prima classe riproduttiva.

La produttività della t_c 2,3 – età di prima cattura che tutela la prima classe riproduttiva – risulta maggiore di quella della t_c 2,8, e mostra una E_{50} – ovvero un valore di *exploitation rate* sotto il quale

lo stock viene ridotto al 50% della sua biomassa non sfruttata, che in questo studio consideriamo come valore biologico di riferimento – pari a 0,42, corrispondente ad una mortalità da cattura $F = 0,39$, superiore a quella calcolata, indicando che l'attuale pressione di pesca ($=0,33$) rientra nei limiti di sfruttamento ottimale. La t_c 2.8 mostra una E50 leggermente superiore, pari a $F = 0,41$.

6.3.8.2 Lavarello

Considerando le curve di selezione elaborate per le tre maglie in esame e la curva di Von Bertalanffy elaborata per la popolazione di Lavarello, è stato applicato il modello B-H come precedentemente descritto per le seguenti età di cattura t_c :

- Lunghezza di prima cattura $L_c = 210$ mm → Età di prima cattura $t_c = 1,35$ anni
- Lunghezza di prima cattura $L_c = 255$ mm → Età di prima cattura $t_c = 1,8$ anni
- Lunghezza di prima cattura $L_c = 280$ mm → Età di prima cattura $t_c = 2,1$ anni

Nelle immagini seguenti si visualizzano i risultati dell'applicazione del modello B-H in FISAT II.

Figura 6-66. Exploitation rate vs Y'/R e B'/R al variare dell'età di prima cattura del Lavarello

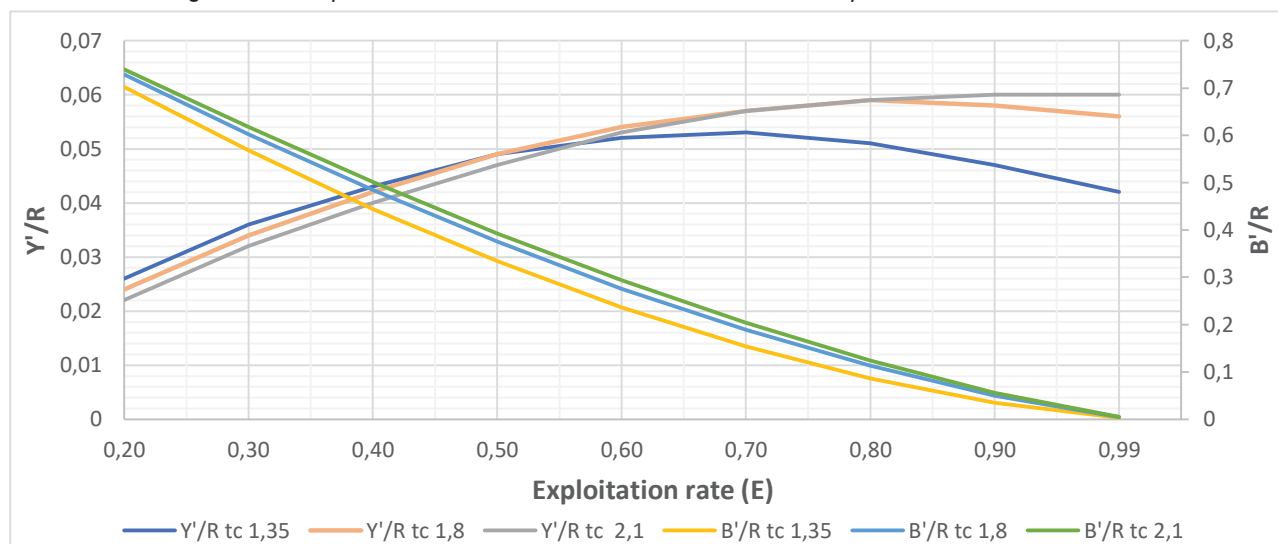
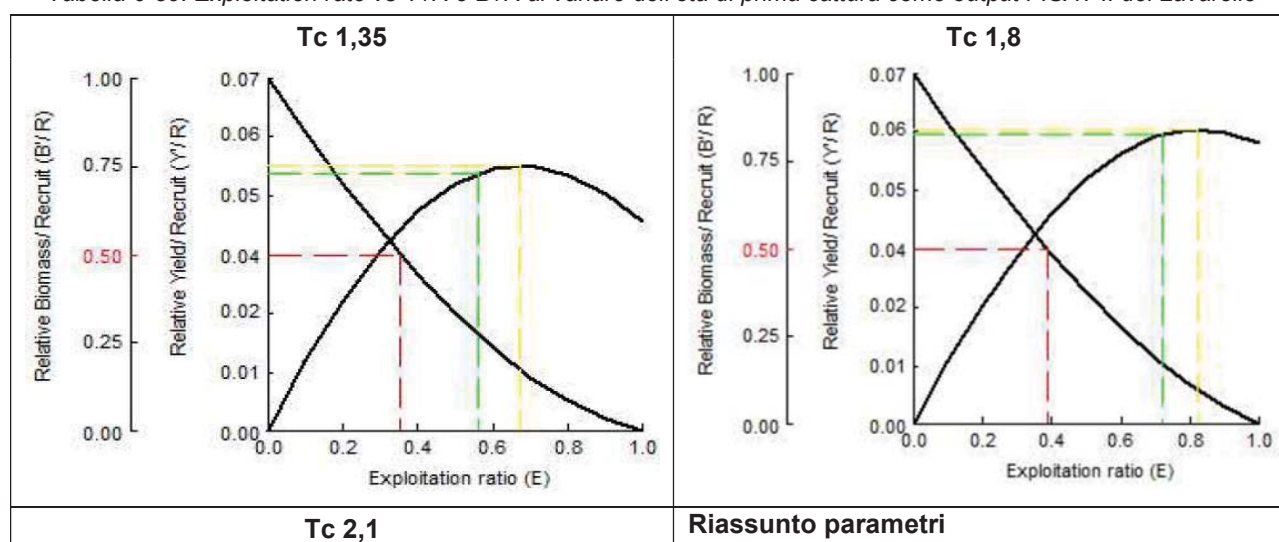
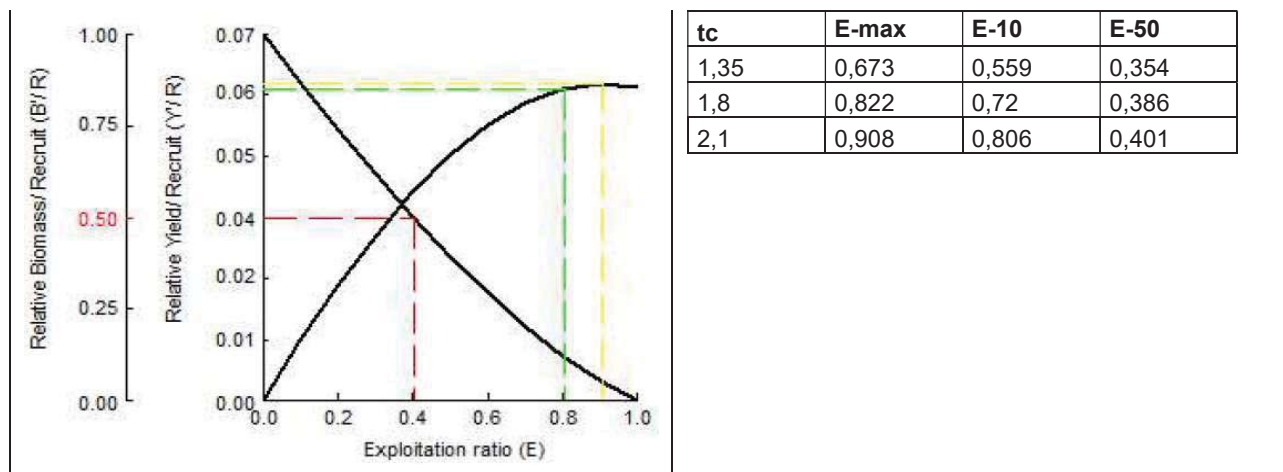


Tabella 6-39. Exploitation rate vs Y'/R e B'/R al variare dell'età di prima cattura come output FISAT II del Lavarello





Dalla modellizzazione eseguita risulta che le rese massime si hanno per una t_c di 1,35 solo per $E < 0.5$; per *exploitation rate* maggiori la produttività maggiore si ottiene con t_c 2,1. **Poiché non è stato fattibile calcolare la mortalità totale Z per il Lavarello, non è possibile confrontare l'attuale pressione di pesca con la E50** – ovvero il valore di *exploitation rate* sotto il quale lo stock viene ridotto al 50% della sua biomassa non sfruttata, che in questo studio consideriamo come valore biologico di riferimento. Le E50 variano da 0,40 con t_c 2.1 a 0,35 con t_c 1,35.

7 DISCUSSIONE

Di seguito si presentano i principali concetti emersi dall'analisi dei contenuti sopra esposti.

PARAMETRI CHIMICO-FISICI

Per quanto riguarda i parametri chimico-fisici rilevati in corrispondenza delle aree di frega della Bondella nei mesi di gennaio e febbraio 2021 nelle 3 stazioni di indagine (Bellano, Tremezzina e Onno, da 0 a 70 m di profondità), non si evidenziano criticità di sorta per il benessere del popolamento ittico: si registrano buoni livelli di Ossigeno Disciolto e Saturazione alle varie profondità (variabili tra 8,2 e 10,5 mg/l e tra 71% e 91% rispettivamente); i valori di pH si attestano in un range prossimo di neutralità-leggera basicità (pH=7,3 e 7,9); la conducibilità (174 e 185 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indica un basso contenuto di soluti. Curiosamente la temperatura lungo la colonna dell'acqua è risultata mediamente inferiore a febbraio rispetto a gennaio. Tuttavia, l'analisi dei dati del monitoraggio ufficiale ARPA ha evidenziato nel corso degli anni un leggero incremento delle temperature medie sia dell'epilimnio che dell'ipolimnio, in conseguenza del riscaldamento globale, con un trend di incremento stimato per il periodo estivo risultato significativo e pari a 0,032 °C/anno ($p < 0,05$). Anche la stratificazione termica si è rafforzata nel corso di questi decenni (ARPA Lombardia, 2020). Nel periodo di circolazione primaverile per il dodicennio 2004-2016, il confronto tra i profili di ossigeno e temperatura evidenzia una diminuzione della profondità di mescolamento a partire dal 2006, un aumento della temperatura negli strati profondi (0,5 °C di differenza tra il 2006 ed il 2016) e una diminuzione dell'ossigeno disciolto. Risulta, inoltre, evidente una forte stratificazione con gradienti di temperatura e di densità molto elevati (ARPA Lombardia, 2018). L'andamento del valore medio (media ponderata sulla colonna) di P_{tot} alla circolazione primaverile, che consente di valutare l'evoluzione trofica a lungo termine del lago, indica che ad oggi il lago versa in una condizione di mesotrofia, con valori assestatisi tra 30 e 40 $\mu\text{g}/\text{L}$ P (ARPA Lombardia, 2020).

ZOOPLANKTON

Al fine di verificare le disponibilità alimentari in termini di popolamento zooplanctonico per la fase di accrescimento larvale sono stati condotti 9 campionamenti, eseguiti tra febbraio 2021 e aprile 2021, filtrando una colonna d'acqua di 40 m. Il popolamento rinvenuto in tutte e 3 le stazioni di indagine si presenta decisamente scarso, con valori di densità totale (adulti, copepoditi e nauplii di crostacei + rotiferi) variabili da un minimo 102 ind/ m^3 (febbraio, Tremezzina) a un massimo di 697 ind/ m^3 (aprile, Onno). Confrontando i dati raccolti con i risultati del monitoraggio della comunità zooplanctonica condotto dagli scriventi nel 2011 (GRAIA, 2011), emerge un'attuale densità ridotta di ben un ordine di grandezza rispetto al decennio scorso, quando tra febbraio e aprile si registravano in media 1611 ind/ m^3 nella stazione di Abbazia Lariana e 3698 ind/ m^3 in Centro Lago.

La concentrazione di zooplancton, correlata alla produttività primaria del sistema, rappresenta un fattore chiave per la sopravvivenza delle larve. È stato ipotizzato che la mortalità larvale del coregone sia inversamente correlata alla disponibilità di zooplancton durante le prime fasi di questo stadio; evidenze sperimentali mostrerebbero addirittura una mortalità superiore al 40% delle larve con concentrazioni di zooplanctonti inferiori a 20.000 ind/ m^3 (Rellstab *et al.*, 2004), valore decisamente superiore ai dati raccolti.

Sebbene i dati non siano in grado di estendere l'ipotesi della carenza di nutrimento all'intero corso dell'anno, si evidenzia come essa costituisca un fattore limitante almeno per i primi stadi vitali dei coregoni nei mesi indagati, con un possibile effetto di collo di bottiglia sull'abbondanza d'entrambe le popolazioni.

Tenendo conto del fatto che la produttività dei laghi profondi (e quindi l'abbondanza dell'intera comunità planctonica) è direttamente collegata alla circolazione termica invernale, che riporta nello strato fotico i nutrienti confinati nell'ipolimnio in seguito ai processi di sedimentazione, sarà indispensabile monitorare negli anni la relazione tra produttività e riscaldamento globale.

ANDAMENTO DEL PESCATO

I trend del pescato descritti nell'apposita sezione testimoniano un'evoluzione dinamica della comunità ittica nell'ultimo decennio, sia in termini quantitativi sia qualitativi.

Rispetto al quinquennio precedente (2011-2015), negli ultimi 5 anni il pescato totale nel Lario è diminuito del 32% (passando da 184.654 kg a 125.406 kg), mentre quello medio di coregoni è diminuito del 56%, passando da 106.186 kg a 47.082 kg.

Si evidenzia pertanto una diminuzione dei quantitativi di pescato totale, con particolare riferimento alle specie pelagiche (pressoché dimezzate nel decennio). Tale contrazione in realtà non risulta univoca, in quanto emergono al contempo la tendenza all'aumento dell'Agone e alla diminuzione di Coregone.

Sebbene queste due grandezze non possano essere correlate (in quanto l'andamento del pescato dell'Agone subisce variazioni di tipo socio-economico indipendenti dalla sua abbondanza effettiva), non si può escludere l'ipotesi che sussista un'effettiva correlazione (inversa) tra l'abbondanza delle due specie, e che esse competano tra loro per la risorsa trofica.

Da sottolineare anche il netto e preoccupante incremento del quantitativo di Siluro pescato, comparso nelle reti la prima volta nel 2014 con 6 kg, fino a sfiorare le 2 tonnellate nel 2020. Questo elemento rappresenta indubbiamente fonte di preoccupazione sia dal punto di vista della tutela della biodiversità sia della pesca professionale: studi condotti sulla biologia ed ecologia della specie nel Lago Maggiore (De Santis e Volta, 2021; Antognazza *et al.*, 2021) hanno infatti evidenziato come la specie si adatti alla vita pelagica nei laghi subalpini, predando preferenzialmente proprio i coregoni. Sussiste indubbiamente un parallelismo tra queste evidenze scientifiche e le testimonianze empiriche dei pescatori professionisti dei laghi Maggiore, Iseo e Como, i quali lamentano elevato *bycatch* di Siluro nelle reti pelagiche da coregone.

In tal senso sarebbe necessario un approfondimento volto a quantificare gli effetti della predazione da parte di queste due specie alloctone sui coregoni e sulle altre specie ittiche del lago di Como.

DIMENSIONE DEL CAMPIONE CATTURATO

Per quanto riguarda l'attività di campionamento principale (semestre giugno-novembre 2021) il campione di fauna ittica pescato è risultato composto complessivamente da 963 coregoni; per quanto concerne invece le pesche aggiuntive (gennaio-febbraio 2022) sono stati pescati 360 coregoni, per un totale complessivo di 1323 esemplari. Come da capitolato, sono state posizionate: N° 43 Reti volanti da 26 mm (16330 mq); N° 53 Reti volanti 32 mm (27446 mq); N° 53 Reti volanti da 35 mm (43890 mq); N° 23 Reti volanti 40 mm (20640 mq).

La normalizzazione dei dati in CPUE ha evidenziato come prevedibile un'evidente correlazione inversa tra l'ampiezza delle maglie impiegate e le catture effettuate (sia in termini numerici sia di biomassa). L'andamento del CPUE risulta altalenante nel semestre considerato, con un picco di massima nel mese di settembre, compatibile con le dinamiche di crescita ponderale e corporea, massima nel periodo precedente alla riproduzione.

SEPARAZIONE DELLE SPECIE

Essendo difficile la separazione delle due forme su base morfologica, l'identificazione delle specie è stata condotta separando le due forme all'interno di un campione indistinto in relazione alla lunghezza totale retrocalcolata raggiunta alla fine della stagione di accrescimento.

La scarsità di esemplari di 1 anno nel campione, derivante dal fatto che la maglia minima utilizzata è stata di 26 mm, è stata in parte ovviata avvalendosi degli esemplari catturati nella campagna del 24 febbraio 2022 a Garlate (lavarelli) e con i valori retrocalcolati con tale metodo al 1° inverno della coorte 2019. L'analisi della distribuzione di frequenza delle classi di lunghezza del campione ha consentito la definizione della soglia di attribuzione a una specie o all'altra sulla base dell'accrescimento. Anche se le due forme di coregone hanno tassi di accrescimento corporeo differenti e a parità di età raggiungono lunghezze diverse, esiste una sovrapposizione tra le due forme.

Dei 427 esemplari sui quali si è potuta operare l'attribuzione della specie (44% del campione complessivo), **oltre l'86% appartiene alla specie Bondella e meno del 14% alla specie Lavarello**. Tali valori fanno riferimento essenzialmente al subcampione indagato e dipendono quindi sia dalla scelta della maglia sia da quella della profondità di esercizio; per questa ragione esse possono essere considerate solo con cautela come rappresentative della popolazione di coregoni del Lario. Per quanto soggetta a un margine di sottostima della rappresentatività, la percentuale di Lavarello risulta inferiore rispetto a quella ottenuta da Negri, che nel 1993 la stimava intorno al 30% e in un'indagine 2009-2010 inferiore al 25%, evidenziando una netta tendenza al decremento della specie. Tale fenomeno, ovvero la progressiva affermazione della Bondella rispetto al Lavarello, sul quale essa ha preso il sopravvento, è stato osservato anche sul Lago Maggiore.

Una volta condotta l'attribuzione specifica è stato possibile effettuare gli studi di popolazione per ciascuna delle due specie, come descritto nella sezione inerente ai materiali e metodi. Malgrado l'esiguità del

subcampione relativo alla specie, anche per il Lavarello sono stati condotti i medesimi approfondimenti condotti per la Bondella, anche se in linea generale non è stato possibile individuare trend altrettanto univoci.

ACCRESIMENTO PONDERALE

Per la Bondella le femmine presentano un accrescimento ponderale leggermente maggiore dei maschi. Tale accrescimento, se distinto per stagione, fa denotare un maggiore rapporto lunghezza-peso nel periodo settembre-novembre (coincidente con quello di massima disponibilità alimentare) e una diminuzione di tale rapporto in inverno, che testimonia la fine del periodo riproduttivo verso la fine di gennaio. L'analisi dei fattori di condizione Kn mostra, infatti, una tendenza al decremento nell'arco dei vari mesi di campionamento, raggiungendo i valori più bassi a gennaio-febbraio, a riproduzione terminata.

Anche per il Lavarello, i dati mostrano un accrescimento ponderale leggermente maggiore delle femmine rispetto ai maschi. Tale accrescimento, pur distinto per stagione, non ha evidenziato trend di sorta. L'analisi dei fattori di condizione Kn consente esclusivamente di osservare come esso sia pressoché costante tra le classi d'età 1+, 2+, 3+.

ACCRESIMENTO LINEARE

L'attribuzione dell'età mediante metodo scalimetrico ha consentito di determinare la stessa per un subcampione di 444 bondelle di età 1+ (3,6%), 2+ (48,9%), 3+ (34,2%), 4+ (13,1%), 5+ (0,2%). Ad esclusione delle classi d'età 0+ e 1+, le quali appaiono evidentemente sottostimate si reputa che le altre classi siano adeguatamente rappresentative della struttura di popolazione: risulta evidente che gli esemplari d'età superiore a 4+ siano oltremodo rari. Per ovviare alla carenza delle prime due classi d'età, ai fini della determinazione dell'accrescimento lineare secondo l'equazione di Von Bertalanffy si è rivelato necessario retrocalcolare le lunghezze al primo inverno di alcuni esemplari. Secondo tale equazione, la Bondella raggiunge i 146 mm a 1 anno, 229 mm a 2 anni, 279 mm a 3 anni, 308 mm a 4.

L'attribuzione dell'età mediante metodo scalimetrico ha consentito di determinare la stessa per un subcampione di 58 lavarelli di età 1+ (13,8%), 2+ (24,1%), 3+ (41,4%), 4+ (5,2%), 5+ (8,6%), 6+ (3,4%), 7+ (1,7%), 8+ (1,7%). Se la sottostima delle classi 0+ e 1+ dipende evidentemente dalle maglie impiegate o dalla profondità d'esercizio delle reti, quella probabile della classe 2+ di Lavarello potrebbe dipendere da una sovrapposizione alle lunghezze delle classi 2+ e 3+ di Bondella, che potrebbe sua volta aver generato un margine di errore nell'attribuzione specifica. In altre parole, gli esemplari di Lavarello 2+ che evidenziano scarse performance di crescita potrebbero avere lunghezza pari alle classi 2+ o 3+ di Bondella e generare un errore in fase d'attribuzione della specie sulla base della lunghezza: questa evenienza farebbe sottostimare la percentuale di Lavarello presente nel campione di coregoni ottenuto e sovrastimare l'accrescimento del Lavarello (in quanto rimangono esclusi gli esemplari dalle performance di crescita minori); si ritiene tuttavia che il metodo di attribuzione impiegato risulti più attendibile di quello basato sulla conta delle branchiospine. Per ovviare alla carenza delle prime due classi d'età, anche in questo caso è risultato necessario retrocalcolare le lunghezze al primo inverno di alcuni esemplari. Secondo il modello di Von Bertalanffy, il coregone raggiunge i 164 mm a 1 anno, 274 mm a 2 anni, 340 mm a 3 anni, 381 mm a 4.

Come noto, il Lavarello evidenzia una performance d'accrescimento maggiore alla Bondella, che si traduce in una lunghezza superiore di 70-90 mm alla stessa nelle classi d'età più avanzate, ovvero dal quarto anno in poi.

L'accrescimento ottenuto dal presente studio per la Bondella risulta marcatamente inferiore a quello riscontrato negli anni '90 da Negri; a partire dal quarto anno.

BIOLOGIA RIPRODUTTIVA

La prima riproduzione avviene al secondo anno di vita per entrambe le specie.

I dati ottenuti relativamente al periodo riproduttivo della Bondella suggeriscono come esso abbia inizio dopo la metà di novembre, protrahendosi almeno fino a gennaio: le femmine presentano una significativa percentuale di gonadi svuotate dalla metà di gennaio in poi, mentre fino alla fine del mese risultano simili le percentuali di maschi maturi e in riassorbimento pescati in prossimità dei letti di frega.

Tra giugno e ottobre la quasi totalità degli esemplari di Lavarello campionati presenta gonadi in maturazione e a novembre la quasi totalità si presenta sessualmente matura.

TASSI DI MORTALITÀ

La mortalità rappresenta la progressiva diminuzione del numero di individui di una stessa classe di nascita nel corso degli anni, ed è evidenziabile come numero di individui sopravvissuti per età successive. Nel caso di popolazioni soggette a sfruttamento (pesca), la **Mortalità totale Z** rappresenta la somma della **Mortalità naturale M** (predazione, malattie, longevità) e della **Mortalità da pesca F**. Poiché $Z = F + M$ il valore di F è facilmente ricavabile come $F = Z - M$.

Per valutare il tasso di **Mortalità totale Z** della Bondella è stato possibile condurre un'analisi direttamente sulle coorti sulla base dei dati di cattura delle singole classi di età a parità di sforzo. Il coefficiente di mortalità totale è stato ricavato tramite il metodo della curva di cattura linearizzata (*linearized catch curve*), che è una rappresentazione grafica del logaritmo del numero di individui sopravvissuti contro le rispettive età.

Per la Bondella l'analisi di regressione lineare per ciascuno dei mesi indagati (giugno escluso) evidenzia valori di mortalità totale Z compresi tra un minimo di 0,73 (agosto) e un massimo di 1,24 (novembre), cui corrispondono valori annuali di sopravvivenza, calcolati come $S=e^{-Z}$, compresi tra un minimo del 29% ed un massimo del 48%. La media dei coefficienti è pari a 1,07, corrispondente a un tasso di sopravvivenza S pari a 0,34, ovvero ad una mortalità del 66%.

La scarsità della composizione del campione di Lavarello non ha, invece, consentito il calcolo del valore di Mortalità totale Z per questa specie, neppure utilizzando i dati relativi alle pseudocoorti.

I tassi di **Mortalità naturale M** sono stati calcolati attraverso l'applicazione di indici di letteratura, il cui valore medio risulta pari a **0,74 per la Bondella e 0,71 per il Lavarello**, che corrispondono rispettivamente a un tasso di mortalità naturale annua pari al 52% e al 51% in assenza di pesca. Quindi, ricordando che per la Bondella la Mortalità totale annuale Z è stata stimata pari a 1,07 e che la mortalità naturale M è stata stimata pari a 0,74, si ricava un valore di **Mortalità da pesca F** corrispondente a 0,33. L'impossibilità nel calcolare la mortalità totale annuale Z comporta l'impossibilità di calcolare il valore attuale di mortalità da pesca F.

CURVE DI SELEZIONE TEORICA

Al fine di elaborare curve di selezione del pescato in funzione della maglia impiegata, il calcolo della relazione lunghezza-circonferenze (massima e opercolare) consente maggiore attendibilità rispetto al semplice impiego della lunghezza totale. Per questa ragione sono state misurate le circonferenze massima e opercolare di 362 esemplari di Bondella e 58 di Lavarello. Le relazioni ricavate sono state utilizzate per determinare la selettività, in termini di percentuale di pesci selezionati, applicando il **MODELLO DI SECHIN**, modificato da Reis & Pawson (1992) (Sadough et al., 2020; Kawamura, 1972). Le curve di selettività elaborate sono state quindi sovrapposte alle distribuzioni percentuali in classi di lunghezza di ciascuno dei campioni mensili, le cui distribuzioni di frequenza sono state corrette sulla base dei fattori di correzione calcolati per ristabilire il presupposto di catturabilità costante sulle singole classi di lunghezza, in funzione delle metrature delle reti impiegate.

Relativamente alla Bondella è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- A giugno la selettività teorica della maglia 26 è efficace ($S > 0,5$, ovvero seleziona più del 50% dei pesci transitanti nella rete) per bondelle di 21-26 cm circa; quella del 32 per bondelle di 25-32 cm; quella del 35 per bondelle di 27-36 cm.
- Alla fine della stagione di crescita (novembre) la selettività teorica della maglia 26 è efficace per bondelle di 23-29 cm circa; quella del 32 per bondelle di 27-34 cm; quella del 35 per bondelle di 28-37 cm.
- La classe 1+ non è stata catturata, sebbene potrebbe rientrare nell'intervallo di selezione della maglia da 26 mm ma non in quello delle maglie da 32 mm e 35 mm, sia nei mesi estivi sia in quelli autunnali.
- Considerando una selettività teorica significativa ($S=0,5$), si possono stimare, attraverso la curva di Von Bertalanffy elaborata nel capitolo dedicato, le seguenti età minime di cattura:
 - Maglia 26 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 200$ mm → $t_c = 1,6$ anni
 - Maglia 32 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 245$ mm → $t_c = 2,3$ anni
 - Maglia 35 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 270$ mm → $t_c = 2,8$ anni

Pertanto, risulta evidente che sia la maglia del 32 sia quella del 35 consentono una gestione razionale della Bondella, in quanto tutelano entrambe la prima classe riproduttiva (2 anni).

Relativamente al Lavarello è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- La ridotta dimensione del campione catturato non consente valutazioni solide quanto quelle condotte sulla Bondella; come già sottolineato sussiste anche la possibilità di una sottostima nell'abbondanza delle classi d'età giovanili, a causa del metodo di attribuzione specifica.
- La classe 1+ è stata catturata in maniera marginale e principalmente per mezzo della maglia da 26 mm (7 soggetti su 8) e 1 solo soggetto è stato catturato con la maglia del 35; è verosimile ipotizzare che la classe d'età potrebbe rientrare solo parzialmente nell'intervallo di selezione delle maglie da 32 mm e 35 mm. In questo senso non sono stati catturati esemplari 1+ per mezzo della maglia del 32, ma si tratta probabilmente di una sottostima dovuta alla dimensione modesta del campione: le curve di selettività teorica non consentono di escludere la cattura di lavarelli della taglia assunta nel periodo riproduttivo. Si richiama però il fatto che la selettività reale in questo studio si è rivelata insistere su classi di lunghezza maggiori di quelle relative alla selettività teorica.
- La classe 3+ è risultata la più rappresentativa del campione ed è stata catturata con ciascuna delle 4 maglie impiegate: a partire da questa classe d'età e includendo tutte quelle superiori (da 4+ a 8+), le catture sono state effettuate quasi esclusivamente con le maglie del 35 e 40. Stando a quanto catturato, l'impiego della maglia 32 non sembra selettivo nei confronti delle taglie giovanili e risulta meno performante delle maglie del 35 e 40 nella selezione delle classi adulte.
- Sebbene sia difficile condurre valutazioni sulla base del trend mensile di catture, è evidente che le sole maglie del 35 e 40 consentono di catturare il Lavarello con una certa regolarità la specie durante l'anno.
- Considerando una selettività teorica significativa ($S=0.5$), si possono stimare, attraverso la curva di Von Bertalanffy elaborata per il Lavarello nel capitolo dedicato, le seguenti età minime di cattura:

Maglia 26 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 210$ m → $t_c = 1,35$ anni

Maglia 32 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 255$ m → $t_c = 1,8$ anni

Maglia 35 mm → Lunghezza di prima cattura $L_c = 280$ m → $t_c = 2,1$ anni

Dalle considerazioni sopra esposte risulta evidente che, relativamente alla gestione della pesca al Lavarello, la rete del 35 tuteli la prima classe riproduttiva (2 anni), a differenza delle altre due maglie.

Per maggiore precisione si specifica il fatto che la maglia del 32 entrerebbe in pesca nell'autunno precedente alla riproduzione (che avviene in novembre-dicembre) lasciando un breve lasso di tempo nel quale i lavarelli risulterebbero catturabili prima che sopraggiunga il periodo di chiusura della loro pesca per la riproduzione: tale tutela non sarebbe quindi completa.

Le considerazioni seguenti fanno riferimento all'azione di campionamento estesa ad entrambe le specie.

Malgrado l'impiego della maglia del 26, sensibilmente più stretta di quella attualmente impiegata per la pesca professionale, solo il 2,2% degli esemplari campionati è risultato in prima età riproduttiva (1+) e totalmente attribuito al Lavarello. Ciò può dipendere dall'accrescimento del Lavarello, superiore a quello della Bondella (e che lo rende maggiormente catturabile con maglia del 26), oppure dal fatto che la prima classe riproduttiva di Bondella si sposti a profondità differenti da quelle usualmente interessate dalla pesca professionale e dal presente campionamento.

Seppur in qualche misura impattante sulla coorte 1+ di Lavarello, la maglia del 26 si rivela particolarmente efficace per la cattura delle bondelle 2+, le quali si rivelano selezionate efficacemente anche dalla maglia del 32. Quest'ultima si rivela inefficace per la selezione dei lavarelli 2+, i quali sono selezionati maggiormente dalla maglia 35.

A livello di pescato complessivo la maglia 32 si rivela determinante nella selezione degli esemplari d'età 3+ e 4+, costituiti in maniera decisamente preminente da bondelle: la medesima maglia si rivela nuovamente meno efficace del 35 nella selezione dei lavarelli 3+ e 4+. Ciò potrebbe rivelarsi positivo per il Lavarello, specie in contrazione e che in caso di impiego della maglia 32 per la pesca professionale supererebbe prima la taglia massima di selezione.

CALIBRAZIONE DELLO SFORZO DI PESCA

Al fine di ricavare la massima produzione ottenibile e sostenibile intervenendo su due variabili principali, l'**età di prima cattura (o inizio pesca) T_c** , che dipende dalla dimensione della maglia della rete, e la **mortalità da pesca F** , è stato applicato il modello "*yield per recruit*" (ovvero "rendimento per recluta") di Beverton e Holt, utilizzando il programma **FISAT II - FAO-ICLARM Stock Assessment Tool** (version 1.2.2).

Relativamente alla Bondella, la produttività della t_c 2.3 – età di prima cattura che tutela la prima classe riproduttiva – risulta maggiore di quella della t_c 2.8, e mostra una E50 – ovvero un valore di *exploitation rate* sotto il quale lo stock viene ridotto al 50% della sua biomassa non sfruttata, che in questo studio consideriamo come valore biologico di riferimento – pari a 0,42, corrispondente ad una mortalità da cattura $F = 0,39$, superiore a quella calcolata, indicando che l'attuale pressione di pesca ($=0,33$) rientra nei limiti di sfruttamento ottimale. La t_c 2.8 mostra una E50 leggermente superiore, pari a $F = 0,41$.

POSSIBILI CAUSE DEL DECREMENTO

Le cause potenziali del decremento della popolazione di coregoni del Lario, prospettate dalla letteratura di settore e dagli addetti ai lavori erano riassumibili come:

- scadimento qualitativo delle acque;
- carenza di fonti alimentari;
- eccesso del prelievo di pesca;
- aumento di specie competitive o predatrici.

Sulla base dei risultati derivanti dall'azione di monitoraggio, è stato possibile escludere innanzitutto lo scadimento qualitativo delle acque nelle zone riproduttive profonde, in quanto lo studio condotto non ha evidenziato presupposti per confermare questo tipo di compromissione.

Sebbene i dati non estendano necessariamente l'ipotesi della carenza di nutrimento all'intero corso dell'anno, si conferma come essa costituisca un fattore limitante effettivo, almeno per i primi stadi vitali dei coregoni nei mesi indagati, con un possibile effetto di collo di bottiglia sull'abbondanza d'entrambe le popolazioni.

Oltre al decremento del pescato di coregoni si denota altresì una diminuzione del loro accrescimento, evidente soprattutto per la Bondella, le cui cause possono essere attribuibili verosimilmente più all'effetto della selezione mediante con maglia fissa nell'ambito della pesca professionale, che non alla disponibilità trofica, la quale influisce verosimilmente solo sulla sopravvivenza larvale.

Per i primi 3 anni di vita le bondelle si accrescono infatti esattamente come osservato negli anni '90, quando la concentrazione di nutrienti nel lago era maggiore.

È ipotizzabile che la pesca selettiva catturi preferenzialmente le femmine dall'accrescimento più rapido, destinando energia alla riproduzione solo in seguito a tale accrescimento: ciò favorirebbe l'espressione del pool genico delle femmine che maturano a taglia inferiore.

In queste condizioni, le femmine che assegnano precocemente una frazione maggiore di energia alla riproduzione, producono più uova migliorando il proprio successo riproduttivo: il vantaggio della tattica alternativa (ovvero quella che destina tutta l'energia disponibile alla crescita somatica e investe nella riproduzione solo quando è stata raggiunta una certa dimensione corporea), viene effettivamente annullato dalla pesca selettiva delle dimensioni. Ciò potrebbe spiegare la diminuzione di accrescimento osservata per la bondella.

È possibile effettuare alcune considerazioni anche sull'effetto dello sforzo di pesca sui coregoni.

L'impiego della maglia del 26 in fase di campionamento ha avuto un ruolo conoscitivo determinante, soprattutto in relazione alle prime classi d'età delle due specie: considerato l'elevato CPUE ottenuto da questa maglia sulla classe 2+ (almeno per la Bondella) è stato possibile concludere che la consistenza di questa classe d'età (e implicitamente di quelle più giovani) sia significativa, almeno rispetto ai risultati ottenuti sugli adulti dalla pesca professionale.

Questo dato di "abbondanza relativa" per tali classi, assommato al fatto che esse siano state catturate in maniera quasi esclusiva dalla maglia del 26, consente di concludere che la popolazione di coregoni risulta soddisfacentemente tutelata dall'impiego nell'ambito della pesca professionale di una maglia di diametro superiore a quest'ultima. Si esclude pertanto la sussistenza di condizioni di sovrasfruttamento degli stock.

Se è assodato il fatto che l'impiego di una maglia di diametro fisso favorisca la sopravvivenza della popolazione di Bondella a scapito di quella del Lavarello (a causa del loro differente accrescimento), è anche palese come quest'ultima specie abbia mostrato recessività in diversi contesti simili a quelli del Lario, sintomo di una competizione ecologica evidente tra le due specie. Dal punto di vista conservazionistico non sussistono elementi utili a guidare le scelte gestionali, trattandosi di specie parimenti alloctone; dal punto di vista commerciale è invece evidente come limitare lo sforzo di pesca in funzione del *trend* di una specie o dell'altra sia scarsamente strategico.

L'analisi del trend del pescato nell'ultimo decennio consente di formulare un'ulteriore ipotesi circa la riduzione dei coregoni: si evidenzia infatti una diminuzione dei quantitativi di pescato totale con particolare riferimento alle specie pelagiche.

Si è già evidenziato come la ridotta disponibilità di zooplanctonti possa potenzialmente assumere un ruolo chiave nello spiegare tale tendenza per i coregoni, che non interessa probabilmente l'Agone, il cui stadio larvale è estivo, e non coincide (a differenza dei coregoni) di limitata disponibilità alimentare tipica del periodo tardo invernale. Non si può escludere neppure una sovrapposizione di nicchia ecologica e di competizione alimentare tra dette specie.

Il netto incremento del quantitativo di Siluro pescato dal 2014 ad oggi risulta oltremodo preoccupante, in quanto vi sono evidenze scientifiche ed empiriche della predazione del coregone da parte di questa specie aliena invasiva.

In conclusione, lo studio ha consentito di escludere alcune possibili cause alla rarefazione dei coregoni nel Lario e di identificare una serie di verosimili concause in grado di spiegare lo scenario attuale.

La gestione della pesca dei coregoni nei laghi prealpini dovrà indubbiamente tenere conto dell'evolversi delle politiche in materia di specie aliene e valutare in maniera molto concreta quali sono gli obiettivi gestionali.

8 CONCLUSIONI

- Nel definire il trend di popolazione dei coregoni lariani, la diminuzione percentuale del pescato degli stessi è un dato da valutare cautelativamente, facendo anche riferimento alla difficoltà di definizione dell'evoluzione dello sforzo di pesca e delle dinamiche socio-economiche innescate dal Covid-19;
- per quanto riguarda i parametri chimico-fisici rilevati in corrispondenza delle aree di frega della Bondella non si evidenziano criticità di sorta;
- il progressivo incremento delle temperature medie e della stratificazione termica negli anni, conseguenti al riscaldamento globale, potranno risultare elementi limitanti per i coregoni lariani;
- le condizioni persistenti di mesotrofia del Lago di Como non sembrano costituire in generale un fattore limitante alla crescita dei coregoni lariani, anzi;
- i dati ottenuti non sono in grado di estendere l'ipotesi della carenza di nutrimento all'intero corso dell'anno, tuttavia essa costituisce un fattore limitante almeno per i primi stadi vitali dei coregoni, con un possibile effetto di collo di bottiglia su entrambe le popolazioni;
- oltre l'86% del campione è costituito da Bondella e meno del 14% da Lavarello. Quest'ultima percentuale risulta inferiore rispetto ai dati pregressi, evidenziando il decremento della specie;
- il Lavarello evidenzia una performance d'accrescimento maggiore alla Bondella, che si traduce in una lunghezza superiore di 70-90 mm alla stessa età dal quarto anno di vita in poi;
- a partire dal quarto anno di vita l'accrescimento ottenuto dal presente studio per la Bondella risulta marcatamente inferiore a quello riscontrato negli anni '90 da Negri;
- per entrambe le specie la prima riproduzione avviene al secondo anno di vita: il periodo riproduttivo della Bondella ha inizio dopo la metà di novembre, protrahendosi grossomodo fino a metà gennaio; il periodo riproduttivo del Lavarello è leggermente anticipato.
- sia la maglia del 32 sia quella del 35 consentono una gestione razionale della Bondella tutelandone la prima classe riproduttiva (2 anni). La rete del 35 tutela la prima classe riproduttiva (2 anni) del Lavarello, a differenza di quella del 32, la quale entrerebbe in pesca nell'autunno precedente alla riproduzione (che avviene in novembre-dicembre) lasciando un breve lasso di tempo nel quale i lavarelli risulterebbero catturabili prima che sopraggiunga il periodo di chiusura della loro pesca per la riproduzione: tale tutela non sarebbe quindi completa;
- a livello di pescato complessivo la maglia del 32 si rivela decisamente più performante di quella del 35, in quanto particolarmente efficace sugli esemplari di Bondella 2+, mantenendosi determinante nella selezione degli esemplari d'età 3+ e 4+ della stessa specie, e meno efficace del 35 nella selezione dei lavarelli 3+ e 4+. Ciò potrebbe rivelarsi positivo per il Lavarello, il quale supererebbe inoltre in meno tempo la taglia massima di selezione.

Per quanto riguarda l'identificazione delle possibili cause alla base della rarefazione della popolazione di coregoni si osserva che:

- per quanto detto in precedenza si esclude la sussistenza di condizioni di sovrasfruttamento degli stock; l'abbondanza relativa di esemplari di Bondella di classe 2+ suggerisce inoltre che la popolazione di coregoni risulti soddisfacentemente tutelata;
- si esclude uno scadimento qualitativo delle acque nelle zone riproduttive profonde della Bondella;
- la riduzione dell'accrescimento della Bondella sembra imputabile all'effetto della selezione mediante maglia fissa nell'ambito della pesca professionale, piuttosto che ad una possibile riduzione della disponibilità trofica;
- a differenza del coregone, l'Agone non incontra limitazioni trofiche nello stadio larvale. Non si può escludere una sovrapposizione di nicchia ecologica e di competizione alimentare tra dette specie.
- il netto incremento del quantitativo di Siluro pescato risulta oltremodo preoccupante, in quanto vi sono evidenze scientifiche ed empiriche della predazione del coregone da parte di questa specie aliena invasiva.

9 PROPOSTE GESTIONALI

Sulla base delle osservazioni presentate nel capitolo precedente e tenendo conto di tutte le dinamiche descritte in precedenza, si avanzano delle proposte gestionali per le popolazioni di coregoni del lago di Como.

Dalle informazioni raccolte risulta difficile quantificare le variazioni dello sforzo di pesca nell'ultimo decennio: basti pensare che dal 2009 al 2014 il numero di pescatori professionisti è aumentato circa del 12%, mentre dal 2014 al 2020 è calato del 20%, passando dalle 77 alle 61 unità.

Oltre a questo andamento discontinuo si deve tenere conto della variazione della maglia legale impiegata, che ha visto un passaggio da quella del 35 all'impiego combinato tra questa e quella del 32, a quella della sola maglia del 32, fino al recente ritorno alla più cautelativa maglia del 35 (nel tentativo di proteggere i coregoni, il cui pescato è risultato in calo nel 2021 mentre da prime informazioni pare in netta ripresa nel 2022).

Insomma, a fronte di un calo del 20% del numero di pescatori, delle dinamiche sociali innescate dall'epidemia di Covid-19 e dell'effetto della variazione della maglia legale impiegata negli anni, non è semplice definire l'effettiva portata del calo del pescato di coregoni (rispetto a quella dello sforzo di pesca) nell'ultimo quinquennio, sintetizzato in termini quantitativi in una riduzione percentuale del 56%.

Secondo la modellazione effettuata il prelievo della Bondella risulta sostenibile: nell'impossibilità di portare a termine una parallela modellazione per il Lavarello, alla luce dei risultati ottenuti nell'ambito della definizione delle curve di selettività teorica e del pescato reale, si conferma perlomeno una tutela soddisfacente della prima classe riproduttiva.

In riferimento alla popolazione complessiva di coregoni, la diminuzione del pescato registrata non è da imputarsi all'eccessivo sfruttamento della risorsa, sebbene in termini generali la modifica dello sforzo di pesca possa indubbiamente influenzare le dinamiche di popolazione.

Alcune delle concause potenzialmente alla base della rarefazione degli stock di coregone nel lago di Como meritano attenzione, e nel capitolo successivo si individueranno appropriate prospettive di monitoraggio, i cui risultati potranno risultare utili all'individuazione di ulteriori misure gestionali per la tutela degli stock. Tuttavia la presente trattazione parte necessariamente da proposte gestionali dirette e che si applichino alla pesca professionale.

Prima di fornire tali indicazioni si richiamano ulteriori aspetti.

La maggiore difficoltà nella gestione dei coregoni lariani sta nella necessità di massimizzare il pescato tutelando due specie dall'abbondanza, riproduzione e accrescimento differenti.

Pur con qualche incertezza dettata dalla difficoltà di attribuzione specifica, dalla consistenza del campione e dalla metodica di monitoraggio, il presente studio attesta tra i coregoni una diminuzione della percentuale del Lavarello dal 25% circa negli anni 2009-2010 (Negri) all'attuale 14%. La progressiva affermazione della Bondella sul Lavarello è stata osservata anche sul Lago Maggiore, e dipende sia da una maggiore competitività della prima nei laghi subalpini, sia da fattori esterni molto impattanti, quali la gestione dei livelli del lago, che penalizza la riproduzione litorale del Lavarello.

A ciò si aggiunge anche il fatto che le due specie giungano contemporaneamente alla prima maturità sessuale, ma il Lavarello incontra nel frattempo una maggiore probabilità di cattura (essendo quindi soggetto ad una maggiore mortalità da pesca professionale) in quanto il suo accrescimento è maggiore di quello della Bondella.

Questo comporta il prelievo di una porzione variabile di esemplari subadulti prima che essi si possano riprodurre, funzione della combinazione tra periodo dell'anno e maglia adottata.

Dal punto di vista conservazionistico non sussistono elementi utili a guidare le scelte gestionali, trattandosi di specie parimenti alloctone, la cui presenza è giustificata dai soli fini economici; dal punto di vista commerciale è invece evidente come limitare lo sforzo di pesca ai fini della tutela della specie meno abbondante sia controproducente.

Nella pesca professionale dei coregoni lariani, è la Bondella a rappresentare la risorsa principale a causa della sua abbondanza; il Lavarello ha ormai rilevanza secondaria: malgrado gli apprezzabili sforzi ittogenici profusi nei decenni, esso affronta infatti una rarefazione probabilmente irreversibile, in quanto dovuta a cause naturali e antropiche sulle quali non pare possibile né strategico intervenire efficacemente.

La gestione a lungo termine dovrà pertanto tenere conto in maniera molto concreta e realistica dell'evoluzione di queste due popolazioni, soprattutto alla luce dei recenti risvolti in materia di specie aliene: qualora sussistesse la possibilità di proseguire con gli interventi ittogenici a favore dei coregoni, essi dovrebbero

massimizzare (seppur sostenibilmente) gli aspetti di resa economica valorizzando la Bondella, piuttosto che puntando ad un complicato recupero del Lavarello.

9.1 Proposte gestionali dirette

La scelta della maglia legale per la pesca dei coregoni costituisce il principale strumento di gestione diretta dei relativi stock; essa è stata adattata nel corso degli ultimi anni alle necessità concomitanti di sostegno della pesca professionale e di tutela della risorsa.

L'impiego della maglia del 35 è stato adottato al fine di tutelare entrambe le popolazioni di coregoni, alla luce della diminuzione del pescato degli stessi.

I risultati ottenuti dal presente studio, soprattutto in relazione alla riduzione dell'accrescimento lineare della Bondella, indicano come la maglia del 32 garantirebbe uno sfruttamento più razionale della risorsa, tutelando in maniera soddisfacente la prima classe riproduttiva (1+) di questa specie e massimizzando il pescato.

La maglia del 32 garantirebbe infatti un'entrata in pesca anticipata nei mesi rispetto alla maglia del 35 sugli esemplari 2+ (che si siano già riprodotti almeno una volta); essa risulterebbe infatti efficace su questa classe a partire dal mese di luglio, aumentando desiderabilmente la sua resa fino al mese di ottobre (in maniera molto più performante della maglia del 35).

Evidentemente il passaggio dalla maglia del 35 al 32 comporterebbe un aumento teorico delle catture di lavarelli in età preriproduttiva, ma questo studio evidenzia una ridotta resa di questa maglia sul Lavarello adulto nel periodo giugno-novembre, prospettando inoltre un'uscita precoce di questa specie dalla selezione della maglia, con la preservazione efficace di una porzione di riproduttori adulti.

In conclusione, l'impiego della maglia del 32 massimizza sostenibilmente il pescato di Bondella, aumentando il prelievo dei lavarelli d'età preriproduttiva, ma diminuendolo al contempo sugli esemplari adulti: un compromesso decisamente accettabile se la gestione si fondasse principalmente sulla Bondella.

D'altro canto l'attuale gestione ha adottato la maglia del 35 al fine di concedere maggior respiro alle popolazioni di coregoni in seguito alla diminuzione del pescato: l'impiego di questa maglia (35) comporta uno sfruttamento tardivo della Bondella 2+, la quale si immaglia a partire da settembre, con resa modesta (rispetto alla maglia 32) e che incrementa fino a novembre.

Questa strategia tutela in maniera soddisfacente la classe preriproduttiva del Lavarello, sfruttando però al contempo le classi d'età maggiori in maniera decisamente più efficace della maglia del 32.

In conclusione data la performance subottimale della maglia del 35 sulla Bondella e data la rappresentatività percentuale di quest'ultima sul popolamento di coregoni del Lario, questa gestione consente un'appropriata tutela dello stock di coregoni in generale; tuttavia si sottolinea come alla tutela della classe preriproduttiva del Lavarello mediante adozione della maglia del 35 si accompagni un significativo sfruttamento degli adulti.

In una opinabile ottica di tutela del Lavarello, l'impiego della maglia del 35 non risulterebbe dunque così inequivocabilmente preferibile a quella del 32.

In conclusione, dal punto di vista generale risulterebbe razionale e vantaggiosa una gestione di pesca improntata sullo sfruttamento prioritario, mirato (e al contempo sostenibile) della Bondella per mezzo della maglia del 32, che mitigherebbe peraltro l'impatto effettivo che essa esercita sulla classe preriproduttiva di Lavarello, grazie alla scarsa performance dimostrata sugli esemplari adulti della specie.

Rimanendo però in un'ottica di continuità con il provvedimento adottato al fine di allentare la pressione di pesca sui coregoni lariani, è necessario sottolineare come l'adozione della maglia del 35 tuteli efficacemente la Bondella: quest'ipotesi è in qualche modo confermata dall'abbondanza di esemplari 2+ catturati dalle reti di maglia 32 e (soprattutto) 26.

Per quale ragione allora i risultati di tale tutela non si traducono in un aumento delle catture relative alle classi d'età 3+ e 4+? La risposta dipende probabilmente sia dall'incidenza della mortalità naturale sia soprattutto dalla riduzione d'accrescimento lineare evidenziata proprio per queste classi d'età, che le rende difficilmente catturabili con la maglia del 35.

Tenendo conto del declino del Lavarello, degli interventi ittiogenici mirati alla sua tutela, e alla luce dei risultati di questo studio, si conclude che il mantenimento della maglia del 35 lo protegga in maniera meno univoca di quanto sperabile, sebbene si riconosca come siano altre le cause principali del suo declino.

In conclusione si consiglia di valutare una gestione dei coregoni lariani improntata principalmente sulla Bondella, che potrà avvenire a lungo termine in maniera ottimale per mezzo della maglia del 32, ma che può passare per il prolungamento del periodo cautelativo di tutela dei coregoni, recentemente attuato per mezzo dell'adozione della maglia del 35.

9.2 Proposte gestionali indirette

La gestione indiretta degli stock di coregoni si può esercitare per mezzo della gestione delle due specie alloctone identificabili come predatrici degli stessi: il Siluro e il Lucioperca.

Testimonianze di questa interazione di predazione derivano sia dalla letteratura di settore sia dalle esperienze accumulate da pescatori dilettanti e professionisti, entrambi in riferimento alla realtà dei grandi laghi subalpini; sarebbero tuttavia auspicabili studi sito-specifici, come indicato a seguire.

Per contrastare la diffusione del Siluro sul lago di Como è stato recentemente approvato (consultare la sezione che descrive il regolamento di pesca professionale) l'impiego dell'"Oltana per pesce Siluro e Lucioperca", il cui uso è consentito dalle ore 16.30 alle ore 8.00 e vietato durante il periodo di protezione della trota (01 dic – 15 gen) e del Lucioperca (01 apr – 31 mag).

In tal senso si valuti la possibilità di consentire l'impiego della rete volante di maglia minima 100 mm, ad un appropriata distanza da riva, anche durante il periodo di divieto della trota: questo incrementerebbe la cattura dei grandi predatori in un periodo di divieto di pesca dei coregoni e della trota, con scarsa probabilità di catturare quest'ultima.

Si ritiene invece utile mantenere il divieto nel periodo di tutela del lucioperca, come compromesso per favorire la riproduzione dei grandi esemplari, al fine di ricostituire sufficientemente gli stock di una specie di elevato pregio, che viene comunque pescata intensamente a livello pelagico nei restanti mesi.

Questo compromesso in conclusione tutelerebbe indirettamente i coregoni e l'attività di pesca professionale, mitigando gli effetti economici dell'approccio cautelativo adottato per lo sfruttamento del Lavarello e della Bondella.

10 PROPOSTE DI MONITORAGGIO

Per quanto concerne una più articolata conoscenza delle dinamiche di popolazione dello stock di coregoni sarà possibile estendere la campagna di monitoraggio già condotta al periodo primaverile, impiegando anche maglie di diametro inferiore a 26 mm e includendo un'azione di campionamento della fascia pelagica nel periodo riproduttivo della Bondella: questo consentirebbe di conoscere la percentuale di esemplari 1+ maturi e in prima riproduzione rispetto a quelli ancora immaturi.

Come descritto nella parte introduttiva esiste una correlazione diretta tra la fecondità e la pressione di pesca; data la disponibilità di dati pregressi in tal senso, si suggerisce di includere un approfondimento sulla fecondità dei coregoni nelle future azioni di monitoraggio.

Dal punto di vista speculativo pare opportuno definire il livello di sovrapposizione di nicchia ecologica e di competizione tra i coregoni e l'Agone, al fine di comprendere il livello della loro interazione, in cerca di elementi che spieghino la riduzione d'accrescimento osservata per la Bondella nel presente studio.

In seguito ad appropriato monitoraggio, maggiori prospettive gestionali si aprirebbero piuttosto per il Siluro, in quanto specie aliena invasiva (a differenza dell'Agone) in netto aumento nel lago di Como.

In tal senso sarebbe necessario un approfondimento volto a conoscere meglio la sua biologia ed ecologia sul lago di Como, e a quantificare gli effetti della predazione da parte dello stesso sui coregoni e sulle altre specie ittiche. Lavori scientifici di questo tipo hanno già avuto luogo recentemente sul Lago Maggiore, e hanno confermato il fondamento di una preoccupazione già espressa in questo elaborato.

Risulterebbe importante anche un parallelo approfondimento sul Lucioperca, specie d'indubbio interesse economico, elemento che non negherebbe però il ruolo potenziale di predatore di coregoni, dato il suo comportamento in parte pelagico.

In merito alla contrazione delle popolazioni di coregoni e alla riduzione dell'accrescimento della Bondella sarebbe necessario uno studio dell'andamento quantitativo e qualitativo della comunità zooplanctonica del Lario, per verificare se esso costituisca un fattore limitante solo nei mesi di gennaio e febbraio. Evidentemente questo tipo d'attività potrebbe essere propedeutica o contestuale allo studio dell'interazione tra Agone e coregoni.

11 BIBLIOGRAFIA

- Anderson R.O. & Neumann R.M. (1996).** Length, weight, and associated structural indices. In: Murphy B.R. & D.W. Willis (Eds). *Fisheries techniques*, 2nd edition. American Fisheries Society, Maryland: Bethesda, 447-481 pp.
- Antognazza, C. M., Costantini, T., Campagnolo, M., & Zaccara, S. (2022).** One Year Monitoring of Ecological Interaction of *Silurus glanis* in a Novel Invaded Oligotrophic Deep Lake (Lake Maggiore). *Water*, 14(1), 105.
- ARPA Lombardia, 2020.** Stato delle acque superficiali in Lombardia. lago di Como. Aggiornamento 2014-2019. Settore Monitoraggi Ambientali, 42 pp.
- Baghenal T.B. e Tesch F.W. 1978.** Age and Growth, in *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. International Biological Programme Handbook No.3. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp 101-136.
- Baker J.P., Olem H., Creager C.S., Marcus M.D. e Parkhurst B.R, 1993.** *Fish and Fisheries Management in Lake and Reservoirs*. EPA 841-R-93-002. Terrene Institute and U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 321 pp.
- Berg A. e Grimaldi E., 1965.** Biologia delle due forme di Coregone (*Coregonus sp.*) del Lago Maggiore. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 18: 25-196
- Berg A. e Grimaldi E., 1967.** A critical interpretation of the scale structures used for the determination of annuli in fish growth studies. *Mem Ist. Ital. Idrobiol.*, 21: 225-239.
- Busacker G.P., Adelman I.R. e Goolish E.M., 1990.** Growth, in *Methods for Fish Biology*. Schreck C.B. and Moyle P.B. eds, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp 363-388.
- Calderoni, A., (Ed.). 1997.** Ricerche sulle acque italo-svizzere nel quadriennio 1992-1995. Ed. Commissione italo-svizzera per la pesca. 2: 85 pp.
- Carlander K.D. (1950).** *Handbook of Freshwater Fishery Biology*. W.C. Brown Company, Dubuque
- Chen, S., and S. Watanabe, 1989.** Age Dependence of Natural Mortality Coefficient in Fish Population Dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55:205-208.
- Colby P.J., Spangler G.R., Hurley D.A., McCombie A.M. 1972.** Effects of eutrophication on salmonid communities in oligotrophic lakes. *J. Fish. Res. Board Canada* 29: 975–983.
- Conover, D.O. & Munch, S.B. 2002. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. *Science* 297: 94–96.
- Conover, D. O., & Munch, S. B. (2002).** Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. *Science*, 297(5578), 94-96.
- Corti M., De Bonfils G., Natili G.L., Arlati G., Cataudella S. 1995.** Whitefishes (genus *Coregonus*) in Italy: Species distinction and geographic variation, *Italian Journal of Zoology*, 62:3, 305-312, DOI: 10.1080/11250009509356080
- De Santis, V. & Volta, P. (2021).** Spoiled for Choice during Cold Season? Habitat Use and Potential Impacts of the Invasive *Silurus glanis* L. in a Deep, Large, and Oligotrophic Lake (Lake Maggiore, North Italy). *Water* 2021, 13, 2549.
- Downing J.A., Plante C., Lalonde S. 1990.** Fish production correlated with primary productivity, not the
- Eckmann R. 1987.** A comparative study on the temperature dependence of embryogenesis in three coregonids (*Coregonus* spp.) from Lake Constance. *Schweiz. Z. Hydrobiol.* 49: 353–362.
- Eckmann R., Pusch M. 1991.** At what life stage is year-class strength of coregonids (*Coregonus laveret* L.) in Lake Constance determined? *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 24: 2465–2469.
- Eckmann R. 1995.** Abundance and horizontal distribution of Lake Constance pelagic whitefish (*Coregonus laveret* L.) during winter. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Adv. Limnol.* 46: 249–259.
- Eckmann R., Kugler M., Ruhle C. 2006.** Evaluating the success of large-scale whitefish stocking at Lake Constance. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Adv. Limnol.* 60: 361–368.

- Elpers C. 1988.** Untersuchungen zum Fortpflanzungserfolg von Coregonen verschiedener Altersklassen im Bodensee. In: Limnologisches Institut, Konstanz, Vol. Diploma thesis. 81 pp. Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br. Fluchter, J. 1980. Review of the present knowledge of rearing whitefish (Coregonidae) larvae. *Aquaculture* 19: 191–208.
- FLA – Regione Lombardia, 2020.** Studio del rischio per l'immissione di Coregone Lavarello (*Coregonus lavaretus*) nei laghi di Como, Iseo e Garda. DPR 8 settembre 1997, n. 357 - DPR 12 marzo 2003, n. 102 – Decreto 2 aprile 2020 del Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del mare. 72 pp.
- Fuiman L.A., Rose K.A., Cowan J.H., Smith E.P. 2006.** Survival skills required for predator evasion by fish larvae and their relation to laboratory measures of performance. *Anim. Behav.* 71: 1389–1399.
- Gisbert E., Williot P., Castello O. 2000.** Influence of egg size on growth and survival of early stages of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) under small scale hatchery conditions. *Aquaculture* 183: 83–94.
- Giussani & De Bernardi, 1984.** *Conoscere un lago*. Collana Documenta dell'Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco de Marchi, 4, 1984. Versione elettronica. 41 pp
- Hanson J.M., Chouinard G.A. 1992.** Evidence that size-selective mortality affects growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in the southern Gulf of St. Lawrence. *J. Fish Biol.* 41: 31–41. Hare, J.A. & Cowen, R.K. 1997. Size, growth, development, and survival of the planktonic larvae of *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). *Ecology* 78: 2415–2431.
- Hare, J. A., & Cowen, R. K. (1997).** Size, growth, development, and survival of the planktonic larvae of *Pomatomus saltatrix* (Pisces: Pomatomidae). *Ecology*, 78(8), 2415-2431.
- Hartmann J., Quöß H. 1993.** Fecundity of whitefish (*Coregonus lavaretus*) during the eu- and oligotrophication of Lake Constance. *J. Fish Biol.* 43: 81–87. Hay, D.E., Cooke, K.D. & Gissing, C.V. 1986. Experimental studies of Pacific herring gillnets. *Fish. Res.* 4: 191–211.
- Heath D.D., Heath J.W., Bryden C.A., Johnon R.M., Fox C.W. 2003.** Rapid evolution of egg size in captive salmon. *Science* 299: 1738–1740.
- Heino M., Dieckmann U., God O.R. 2002.** Measuring probabilistic reaction norms for age and size at maturation. *Evolution* 56: 669–678. Hislop, J.R.G. 1988. The influence of maternal length and age on the size and weight of the eggs and the relative fecundity of the haddock, *Melanogrammus aeglefinus*, in British waters. *J. Fish Biol.* 32: 923–930.
- Hewitt, D. A., and J. M. Hoenig, 2005.** *Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity*. *Fishery Bulletin* 103:433-437.
- Hey J. 2007.** Recent advances in assessing gene flow between diverging populations and species. *Current Opinion in Genetics & Development* 16(6):592-596.
- Hunter J.R. 1981.** Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In: *Marine Fish Larvae* (R. Lasker, ed.), pp. 33–79. University of Washington Press, Seattle, WA.
- Jensen, A. L., 1996.** *Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53:820-822.
- Johansson P. (2017)** Temporal spawning divergence in European whitefish (*Coregonus lavaretus*). The first steps towards reproductive isolation in young populations (70-171 years). Student Degree Thesis in Ecology
- Jørgensen C., Enberg K., Dunlop E.S., Arlinghaus R., Boukal D.S., Brander K., Ernande B., Gardmark A., Johnston F., Matsumura S., Pardoe H., Raab K., Silva A., Vainikka A., Dieckmann U., Heino M., Rijnsdorp A.D. 2007.** Managing evolving fish stocks. *Science* 318: 1247–1248.
- Kahilainen K. K., Lehtonen H., Könönen K. 2003.** Consequence of habitat segregation to growth rate of two sparsely raked whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) forms in a subarctic lake. *Ecology of Freshwater Fish* 12(4):275-285.
- Kahilainen K. K., Malinen T., Tuomaala A., Lehtonen H. 2007.** Empirical evaluation of phenotype-environment correlation and trait utility with allopatric and sympatric whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), populations in subarctic lakes. *Biological Journal of the Linnean Society* 92(3):561-572.
- Kamler E., Zuromska H. Nissinen T. 1982.** Bioenergetical evaluation of environmental and physiological factors determining egg quality and growth in *Coregonus albula* (L.). *Pol. Arch. Hydrobiol.* 29: 71–121.
- Kawamura Gunzo, 1972.** Gill-Net Mesh Selectivity Curve Developed from Length-Girth Relationship. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 38(10), 1119-1127, (1972)

- Klemm D.J., Stober Q.J. e Lazorchak J.M., 1993.** *Fish field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters*. EPA/600/R-92/111. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati OH, 348 pp.
- Kuparinen A. Merila J. 2007.** Detecting and managing fisheries-induced evolution. *Trends Ecol. Evol.* 22: 652–659.
- Law R. 2000.** Fishing, selection, and phenotypic evolution. *ICES J. Mar. Sci.* 57: 659–668.
- Le Cren E.D. (1951).** The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology* 20: 201-219.
- Müller, R., 2008.** Untersuchungen über das Wachstum der Coregonen im Lago Maggiore, im Auftrag des Dipartimento del territorio, Via Stefano Franscini 17, 6501 Bellinzona. April 2008, 12 p
- Negri A., 1993a.** La biologia dei coregoni del lago di Como. Amministrazione Provinciale di Como Assessorato Caccia e Pesca. Seconda parte. 189 pp. Settembre 1993
- Negri A., 1993b.** Sintesi della ricerca sui Coregoni e l'Agone del lago di Como (anno 1991-1992). Amministrazione Provinciale di Como Assessorato Caccia e Pesca. 19 pp.
- Negri A., 2011.** Indagine sulla popolazione di Coregoni del Lario e relative applicazioni alla pesca professionale. Amministrazione Provinciale di Lecco e Como, Assessorato Caccia e Pesca. pp.101.
- Numann W. Quoß H. 1972.** Strudelwu "rmer dezimieren den Felchenlaich – Ursachen fu "r die unterschiedlichen Fangertra "ge in der Blaufelchen – Fischerie des Bodensees. *Fischwirt* 22: 25–27.
- Pedersen, B.H. 1997.** The cost of growth in young fish larvae, a review of new hypothesis. *Aquaculture* 155: 259–269.
- Numann, W. 1972.** The Bodensee: effects of exploitation and eutrophication on the salmonid community. *J. Fish. Res. Board Canada* 29: 833–847.
- Ohlberger J., Brännström Å., Dieckman U. 2013.** Adaptive phenotypic diversification along a temperature-depth gradient. *The American Naturalist* 182(3):359-373.
- Østbye K., Bernatchez L., Næsje T. F., Himberg K-J. M. Hindar K. 2005a.** Evolutionary history of the European whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) species complex as inferred from mtDNA phylogeography and gill-raker numbers. *Molecular Ecology* 14(14):4371-4387.
- Østbye K., Naesje T. F., Bernatchez L., Sandlund O. T., Hindar K. 2005b.** Morphological divergence and origin of sympatric populations of European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) in Lake Femund, Norway. *Journal of Evolutionary Biology* 18(3):683-702
- Pothoven et al. 2001.** Pothoven *et al.* 2001).
- Pauly D., 1980.** On the interrelationships between natural mortality growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. internat. Exp. Mer.* 39(3): 175-179.
- Pedersen, B. H. (1997).** The cost of growth in young fish larvae, a review of new hypotheses. *Aquaculture*, 155(1-4), 259-269.
- Pitcher T.J. e Hart P.J.B., 1982.** *Fisheries Ecology*. The AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut. 414 pp
- Pothoven S. A., Nalepa T. F., Schneeberger P. J., Brandt S. T. 2001.** Changes in diet and body condition of Lake Whitefish in Southern Lake Michigan associated with changes in benthos. *North American Journal of Fisheries Management* 21:876-883.
- Rellstab C., Bürgi H.R. R Müller R., 2004.** Population regulation in coregonids: the significance of zooplankton concentration for larval mortality. *Ann. Zool. Fennici* 41: 281-290
- Richter, V. A., and V. N. Efanov, 1977.** *On one of the approaches for estimating natural mortality in fish populations*. TrAtlantNIRO, via FAO 73:77-85.
- Ricker W.E. 1975.** Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Ottawa.
- Rijnsdorp A.D., Grift R.E. Kraak S.B.M. 2005.** Fisheries-induced adaptive change in reproductive investment in North Sea plaice (*Pleuronectes platessa*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 833–843.
- Rosch, R. 1987.** Egg-size of pelagic and nearshore spawning Coregonids (*Coregonus lavaretus* L.) from Lake Constance correlated with the fish weight. *Arch. Hydrobiol.* 109: 519–523.
- Rosch R. 1993.** Fischbrutanstalten – fru "her und heute. In: Bodenseefischerei (B. Wagner, H. Löffler, T. Kindle, M. Klein & E. Staub, eds), pp. 124–130. Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen.

- Rosch R. 2000.** Gonadosomatic Index (GSI) of female whitefish (*Coregonus lavaretus*) in Lake Constance. *Limnologica* 30: 193– 196.
- Rosch R. 2007.** Felchenlaichfischerei 2006 im Bodensee–Obersee erfolgreich. *Aktuelles aus Fluss- und Seenfischerei* 1: 8–9.
- Sadough Niri A, Kamrani E., Khanipour A., Madsen N., Sourinejad I., 2020.** Determining gill-net selectivity for longtail tuna (*Thunnus tonggol* Bleeker, 1851) using artisanal fishery data in the Iranian waters of the Oman Sea. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 19(1) 510-517 2020
- Sakamoto T., Danzmann R. G., Okamoto N., Ferguson M. M., Ihssen P. E. 1999.** Linkage analysis of quantitative trait loci associated with spawning time in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 173:33-43.
- Saksgård R., Naesje T. F., Sandlund O. T., Ugedal O. 2002.** The effect of fish predators on European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) habitat use in Lake Femund, a deep Norwegian lake. *Advances in Limnology* 57:537-552.
- Sarvala J., Helminen H. Hirvonen A. 1992.** Fecundity of vendace (*Coregonus albula*) in relation to year-class variations in Lake Pyhajarvi, SW-Finland. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 39: 341–349.
- Schluter D. 2001.** Ecology and the origin of species. *Trends in Ecology & Evolution* 16(7):372-380.
- Scott, B.E., Marteinsdottir, G., Begg, G.A., Wright, P.J. & Kjesbu, O.S. 2006.** Effects of population size/age structure, condition and temporal dynamics of spawning on reproductive output in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Ecol. Modell.* 191: 383–415.
- Smith V.H., Tilman G.D. Nekola J.C. 1999.** Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Pollut.* 100: 179–196.
- Springate, J.R.C. & Bromage, N.R. 1985.** Effects of egg size on early growth and survival in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture* 47: 163–172.
- Sparre P. e Venema S.C., 1992.** *Introduction to tropical fish assessment. Part I – Manual.* FAO Fisheries Technical Paper 306/1 Rev.1, 376 pp.
- Straile D., Eckmann R., Jungling T., Thomas G., Loffler H. 2007.** Influence of climatic variability on whitefish (*Coregonus lavaretus*) year-class strength in a deep, warm monomictic lake. *Oecologia* 151: 521–529.
- Swain D.P., Sinclair A.F., Hanson J.M. 2007.** Evolutionary response to size-selective mortality in an exploited fish population. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci.* 274: 1015–1022.
- Thomas G., Eckmann R. 2007.** The influence of eutrophication and population biomass on common whitefish (*Coregonus lavaretus*) growth – the Lake Constance example revisited. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64: 402–410. (van Raaphorst e de Jonge, 2004).
- Thomas G., Quoß H., Hartmann J., Eckmann R. (2008)** Human-induced changes in the reproductive traits of Lake Constance common whitefish (*Coregonus lavaretus*)
- van Raaphorst, W., & de Jonge, V. N. (2004).** Reconstruction of the total N and P inputs from the IJsselmeer into the western Wadden Sea between 1935–1998. *Journal of Sea Research*, 51(2), 109-131.
- Volta P. e Muller, 2011.** *Indagini sui coregoni del Lago Maggiore: Analisi sui pesci catturati nel 2010.* Rapporto commissionato dal Dipartimento del territorio, Ufficio della caccia e della pesca. Bellinzona.
- Walsh M.R., Munch S.B., Chiba S., Conover D.O. 2006.** Maladaptive changes in multiple traits caused by fishing: impediments to population recovery. *Ecol. Lett.* 9: 142–148.
- Webb P.W., Weihs D. 1986.** Functional locomotor morphology of early life history stages of fishes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 115–127.
- West-Eberhard M. J. 1989.** Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:249-278.
- Wright P.J. 2005.** Temporal and spatial variation in reproductive investment of haddock in the North Sea. *ICES J. Mar. Sci. CM Q07.*
- Wright, P.J. 2007.** Understanding the maturation process for field investigations of fisheries-induced evolution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 335: 279–283.
- Yoneda M., Wright P.J. 2004.** Temporal and spatial variation in reproductive investment of Atlantic cod *Gadus morhua* in the northern North Sea and Scottish west coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 276: 237–248.
- Zijlstra J.J. 1973.** Egg weight and fecundity in the North Sea herring (*Clupea harengus*). *Neth. J. Sea Res.* 6: 173–204.

