

Valutazione dell'importanza degli scambi mare-laguna per il mantenimento degli stock ittici soggetti a sfruttamento commerciale (EXCHANGE II).

Progetto PO FEAMP 2014/2020 – Misura 1.40 par. 1 – 02/RBC/2018 – CUP H74I19001320005

Reg. (UE) 508 del 15 maggio 2014 – Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP)

INTRODUZIONE

Le lagune costiere sono ecosistemi di transizione modellati, sia dal punto di vista morfologico che ecologico, da una molteplicità di fattori, sia naturali che antropici (Sarretta et al. 2010; Jewell, Walker, and Fortunato 2012).

La presenza di gradienti, generati dalle situazioni di passaggio tra un ambiente e l'altro (ad esempio tra acque dolci e salate), le rendono ecosistemi altamente produttivi, con comunità biologiche diversificate e processi di regolazione complessi (Pérez-Ruzafa, Pérez-Ruzafa, et al. 2019). Grazie a questa eterogeneità, le lagune rappresentano una importante area di nursery non solo per le specie neotoniche tipicamente lagunari, ma anche per quelle marine, tra cui figurano diverse specie di valore commerciale (Elliott, 2004).

Per questi motivi, la funzionalità ecologica delle lagune costiere e la conservazione in buono stato delle popolazioni di queste specie sono strettamente connesse agli scambi di organismi che avvengono tra lagune e l'ambiente marino costiero (Gillanders 2002; Pérez-Ruzafa, De Pascalis, et al. 2019; Sheaves et al. 2015).

Questa connettività garantisce, infatti, il supporto ai cicli vitali e permette la rigenerazione delle risorse naturali, che a loro volta influenzano anche la società umana e le attività economiche.

Nel caso dell'alto Adriatico, le migrazioni periodiche interessano sia la componente ittica, sia alcune specie di crostacei e cefalopodi, i quali nel complesso costituiscono una grossa porzione degli stock sfruttati a fini di pesca.

In questo contesto, decine di specie a riproduzione marina trovano rifugio allo stadio larvale e giovanile negli habitat di basso fondale presenti lungo la costa occidentale adriatica, ricca di estuari, delta e lagune. I giovanili di orata (*Sparus aurata*), spigola (*Dicentrarchus labrax*), passera (*Platichthys flesus*), sogliola (*Solea solea*) e di varie specie di cefali (*Chelon auratus*, *C. saliens*, *C. labrosus* e *Mugil cephalus*) arrivano nelle lagune costiere quando sono ancora allo stadio di larve o postlarve, con lunghezza standard inferiore, in genere, ai 20 mm (Franzoi et al., 2005). Anche gli stadi larvali e giovanili di acciuga (*Engraulis encrasicolus*), sardina (*Sardina pilchardus*) e spratto (*Sprattus*

sprattus), tipicamente marini, vengono spesso rinvenuti negli ecosistemi di transizione della fascia costiera.

Negli ambienti lagunari dell'Adriatico settentrionale, è noto da tempo che il picco principale di presenze di migratori giovanili viene osservato in coincidenza con il passaggio tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera; a questo segue un secondo massiccio ingresso dal mare a fine estate-inizio autunno (Rossi, 1986). Durante i mesi tardo-autunnali, complice la rapida diminuzione di temperatura delle acque lagunari, gli individui delle suddette specie migrano di nuovo verso il mare (Franzoi et al., 1989).

Questi scambi sono dunque regolati dalla stagionalità, ma è stato osservato che il flusso di marea e le condizioni meteomarine possono altresì influenzarne quantità e periodicità (Potter et al. 2015). Oltretutto, le pressioni causate dalle attività antropiche e le derivanti perturbazioni a carico dell'ecosistema acquatico sembrano in grado di modificare la sopravvivenza dei giovanili, il tasso di crescita e la distribuzione delle biomasse (Brehmer et al. 2013).

Concentrandosi sulla laguna di Venezia, diversi studi sono stati effettuati per indagare la connettività mare-laguna relativamente agli stadi larvali e post larvali dell'ittiofauna e più in generale della comunità nectonica; per contro, sono ancora scarsi gli studi sugli spostamenti che riguardano individui adulti e sub-adulti, i quali transitano attraverso le bocche di porto soprattutto per fini trofici e riproduttivi.

Nella fauna ittica, infatti, sono presenti fenomeni di apprendimento, intelligenza sociale e preferenza per luoghi e condizioni di illuminazione (Bshary and Brown 2014; Beri, Patton, and Braithwaite 2014; Ebbesson and Braithwaite 2012) che, unite a sviluppate capacità motorie, rendono gli spostamenti degli adulti molto impegnativi da tracciare all'interno di un ambiente così eterogeneo come la laguna.

Per giungere a una corretta gestione dell'ambiente lagunare e delle sue risorse, perciò, è necessario adottare un approccio ecosistemico, il quale valuti quanto sia garantita la connettività tra laguna e mare. Questo obiettivo può essere raggiunto soprattutto con la registrazione dei pattern di distribuzione e migrazione delle specie marine e lagunari attraverso le bocche di porto e le aree connesse.

Comprendere tali dinamiche è fondamentale, poiché qualsiasi ipotesi gestionale a scala lagunare, ma anche di alto Adriatico, non può prescindere dal considerare che le risorse aliutiche rinvenibili nelle lagune e in aree marine costiere sono tra di loro estremamente connesse tanto da risultare spesso, se non sempre, appartenenti alla stessa popolazione.

Pertanto, comprendere e tracciare gli spostamenti, la loro intensità in termini di biomassa e taglia, le specie interessate e le condizioni meteo marine e di marea che li favoriscono, diventa un elemento di cruciale importanza, in particolare nella prospettiva in cui la laguna di Venezia diventi una 'laguna

regolata' con l'entrata in funzione del Mose e conseguenti disconnessioni, più o meno prolungate tra mare e laguna.

In tale contesto, inoltre, diviene molto importante poter mappare le zone di cruciale importanza ai fini trofici, riproduttivi e della concentrazione di individui, con metodi non invasivi per le popolazioni, accoppiando, ai risultati di *echosounding*, la mappatura delle aree in cui si concentra il prelievo alieutico, sia professionale che ricreativo, per individuare dove la produttività secondaria rischia di essere minacciata dall'eccessivo sfruttamento. Tra l'altro, questo obiettivo risulta in linea con la strategia EUSAIR (Topic 1.2 - *Fisheries and Aquaculture*) e con l'Obiettivo 14.a di Agenda 2030, concordi nel richiedere basi scientifiche che permettano di tutelare l'ambiente e promuovere l'uso sostenibile delle risorse.

Muovendo da queste premesse, è stato proposto, come supporto al raggiungimento della conoscenza necessaria a fini gestionali, il progetto EXCHANGE II, finanziato nell'ambito della misura 1.40 del FEAMP 2014-2020 (avente come finalità di protezione e di ripristino della biodiversità degli ecosistemi marini e l'attivazione di interventi volti a migliorare la gestione e le conoscenze delle risorse biologiche marine), con il quale si intende estendere ed integrare la base di risultati prodotta con il progetto EXCHANGE (CUP H17G17000090009).

EXCHANGE II ha perciò avuto come obiettivo principale l'applicazione di tecniche di acustica attiva per la valutazione dei flussi di organismi (in termini di biomassa) in entrata e uscita dalla laguna di Venezia, anche in relazione a diverse condizioni ambientali.

In questo progetto, per approfondire le osservazioni raccolte nel precedente EXCHANGE (CUP H17G17000090009), i campionamenti sono stati estesi anche ai canali interni direttamente collegati alle bocche di porto, in quanto i rilievi precedenti avevano permesso di notare la presenza di particolari pattern di distribuzione negli habitat profondi presenti in alcuni punti dei canali lagunari.

A supporto di questo rationale, si evidenzia come la connettività tra ecosistemi dipenda da una rete idrodinamica estesa, che interessa anche le derivazioni minori dei delta e delle bocche di porto (Pérez-Ruzafa, et al. 2019) quasi come se fossero dei corridoi in grado di favorire le migrazioni tramite tappe successive; pertanto, a copertura di queste interessanti zone, in EXCHANGE II si è ritenuto opportuno valorizzare i campionamenti andando a indagare sia le zone di passaggio, sia quelle che sembrano favorire la concentrazione di biomassa.

Obiettivo ulteriore del progetto è stato quello di valutare la strategia di resilienza del settore della piccola pesca locale, specialmente in relazione alla minaccia costituita dalla presenza dello ctenoforo alieno *Mnemiopsis leidyi*, segnalato a partire dal 2017 sia all'interno della laguna di Venezia, sia lungo la zona costiera adriatica (Shiganova et al. 2019; Tirelli et al. 2017). Inoltre, anche la situazione

pandemica da SARS-CoV-2 ha rappresentato una componente di ‘minaccia’ da analizzare, portando ad alcune considerazioni aggiuntive nel corso del progetto.

MATERIALI E METODI

Attività di campo

I campionamenti sono stati effettuati nel corso del 2020 e del 2021, nelle zone delle bocche di porto e dei canali lagunari direttamente collegati a ciascuna bocca.

In particolare, le campagne hanno coperto il periodo invernale del 2020, la primavera 2021 e infine l'estate 2021, con campionamenti della durata minima di sei ore per ogni zona, allo scopo di indagare diverse fasi del ciclo mareale. La calendarizzazione è avvenuta, con i necessari adattamenti causati dalla situazione di emergenza sanitaria e restrizione agli spostamenti, secondo quanto riportato nella Tabella 1.

Campagna	Zona		
	Nord	Centro	Sud
1 - autunnale	06/11/2020	10/11/2020	10/11/2020
2 - invernale	10/03/2021	09/03/2021	09/03/2021
3 - primaverile	19/05/2021	18/05/2021	18/05/2021

Tabella 1: Campagne di campionamento

La scelta dei siti di campionamento e delle rotte operative è stata effettuata considerando, per quanto possibile:

- batimetria e peculiarità morfologiche di ciascuna zona;
- il grado di rimaneggiamento subito da ciascuna bocca di porto e area prospiciente in seguito ai lavori per il Mose;
- il grado di conservazione del gradiente di salinità e dell'ecotono mare-gronda;
- la circolazione e l'idrodinamismo;
- il tasso di mantenimento della corrente marina in ingresso verso il canale interno.

Per il campionamento è stato utilizzato un *echosounder* scientifico Simrad EK80 *wide-band* dotato di tecnologia *split-beam* e modulazione di frequenza. I dati sono stati acquisiti tramite un trasduttore combinato, con frequenze 38 kHz e 200 kHz.

Solitamente, in mare aperto si opera lungo transetti paralleli tra di loro, intervallandoli con brevi spostamenti longitudinali; in questo caso, invece, data la necessità di monitorare aree così peculiari

per forma e dimensioni come le bocche di porto e i canali adiacenti per flusso, si è cercato di definire delle rotte lungo la direttrice dei canali che permettessero esplorare il collegamento tra bocca di porto e spot interni con alta concentrazione di biomassa, alternandole a rilievi statici su punti di interesse quali zone ad alta batimetria e buche di raschiamento profonde (Figura 1).



Figura 1 : traiettorie di campionamento effettuate cumulativamente nelle tre campagne

L'incrocio delle informazioni derivanti dal campionamento di tipo tradizionale e delle osservazioni riportate da gruppi di pescatori con quelle ottenute tramite *echosounder* ha consentito di individuare le caratteristiche principali della risposta acustica degli organismi target: ciò ha permesso di valorizzare e ampliare il carico informativo del dato, contribuendo inoltre all'avanzamento delle

conoscenze riguardanti applicabilità, versatilità e capacità discriminante di questa tecnica sulle coste adriatiche e negli ecosistemi di transizione.

Metodica acustica

L'*echosounder* scientifico utilizzato, di base, funziona come un comune eco-scandaglio, strumento frequentemente usato sia da pescatori professionali che amatoriali. Il *trasduttore* (Figura 2a), una volta immerso in acqua, emette un impulso ad una specifica frequenza; l'onda di pressione che si genera si propaga lungo la colonna d'acqua finché non incontra un ostacolo che la riflette. Una parte, o

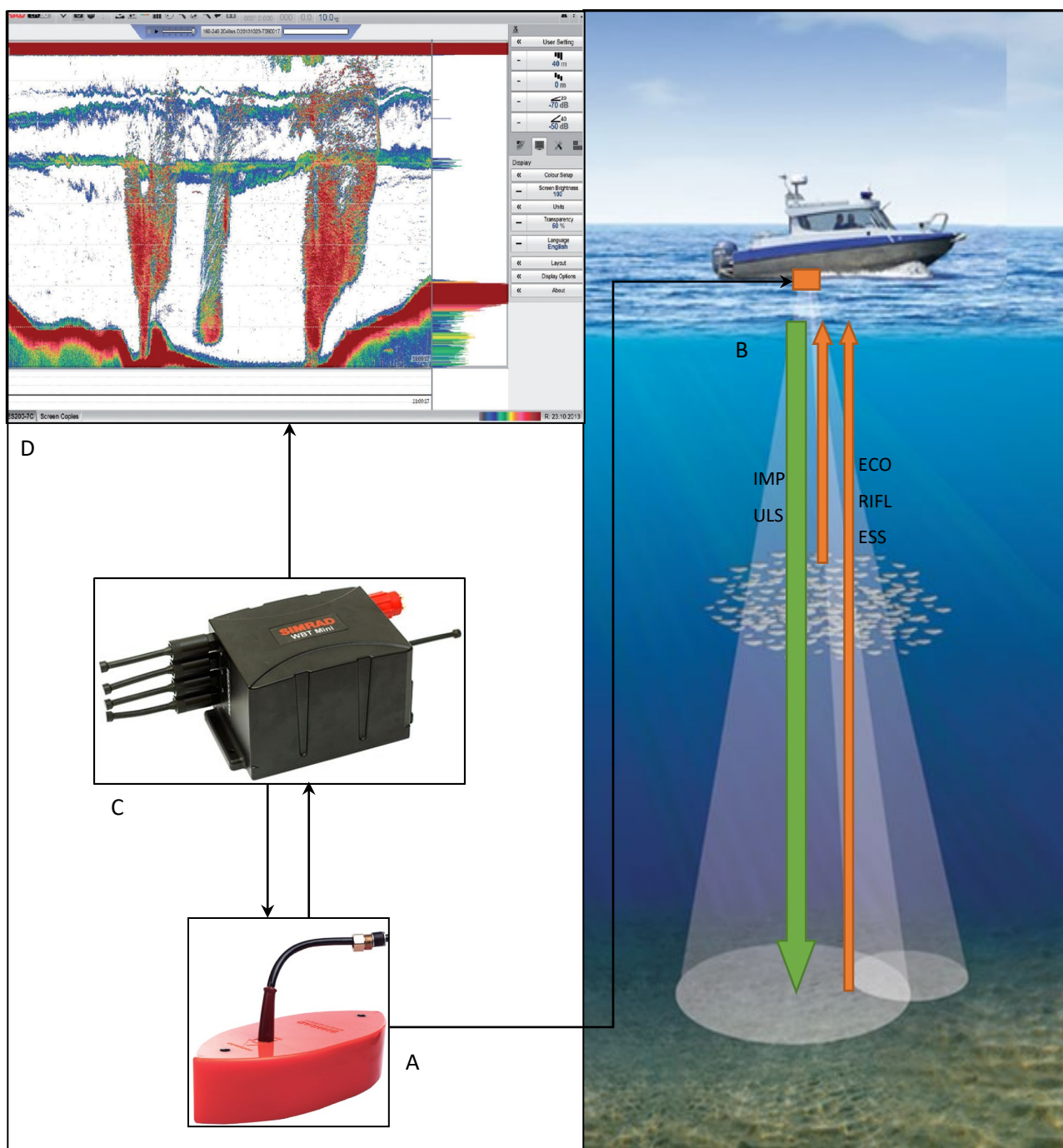


Figura 2: schema di funzionamento generale di un sistema echosounder scientifico. Il trasduttore (A) emette impulsi sonori e registra gli echi di ritorno (B); il transceiver (C), controlla l'emissione degli impulsi, riceve gli echi dal trasduttore, e genera un echogramma (D)

tutta l'eco riflessa, viene registrata tramite il *transceiver* (Figura 2b) e rappresentata sotto forma di ecogramma (Figura 2c). La frequenza di pressione degli impulsi (ping) e la larghezza del fascio del trasduttore determinano la risoluzione del dato ottenibile.

Tutti i dati raccolti vengono registrati su appositi supporti informatici per essere successivamente elaborati ed analizzati. La riflettività acustica, che prende il nome di *Target Strength (TS)*, è la frazione di eco riflessa dal bersaglio e captata dal trasduttore. Essa, con varie approssimazioni, si può considerare proporzionale alla taglia del bersaglio, ed è misurata in decibel (dB). I valori di *TS* possono quindi essere utilizzati per risalire alla lunghezza degli organismi presenti all'interno del fascio di emissione e quindi alla stima della biomassa. Quando i singoli target sono relativamente piccoli e addensati all'interno del volume d'acqua campionato, i loro echi si combinano e non è più possibile risalire ai singoli contributi in termini di energia riflessa. In questo caso, la quantità misurata è il volume di backscattering (*Sv* o *MVBS*). Tale quantità è comunemente utilizzata negli studi sulle aggregazioni planctoniche. Nel presente studio le analisi condotte si riferiscono a misurazioni di *TS*.

In relazione allo scopo di utilizzo, gli *echosounder* scientifici possono operare a diverse frequenze, generalmente comprese tra 1 kHz e 5MHz. La scelta delle frequenze è sempre frutto di un compromesso, in quanto le basse frequenze permettono di esplorare maggiori porzioni di colonna d'acqua rispetto alle onde sonore ad alta frequenza a discapito, però, della risoluzione del dato ottenibile. Alte frequenze, sopra i 200 kHz, consentono di individuare target molto piccoli, sotto il millimetro di dimensione, ma in acque torbide come quelle dell'alto Adriatico si possono esplorare solo pochi metri sotto il trasduttore a causa dell'attenuazione del segnale. I trasduttori più utilizzati per l'individuazione dei pesci solitamente operano tra i 30 kHz e i 200 kHz. I vari fattori che devono essere presi in considerazione per la scelta delle frequenze adatte al monitoraggio che si vuole condurre sono riportati in Figura 3.

La strumentazione utilizzata in questo progetto è caratterizzata da alti valori di precisione ed accuratezza delle misure in quanto i componenti sono stati assemblati cercando di minimizzare il più possibile i rumori elettrici che possono a loro volta causare rumori di fondo (alto rapporto segnale/rumore), inoltre il fascio conico di emissione delle onde sonore è stato progettato per minimizzare effetti indesiderati come la presenza di *side lobes*, regioni di emissione accessorie che possono interferire con la regione centrale e dare luogo a misurazioni non veritiere. In più, tramite una sfera di calibrazione in tungsteno, è stato possibile tarare l'*echosounder* per avere un'intensità di risposta specifica per il medium acqueo esplorato, in quanto la trasmissione delle onde sonore in acqua dipende anche dalla salinità e dalla temperatura di quest'ultima.

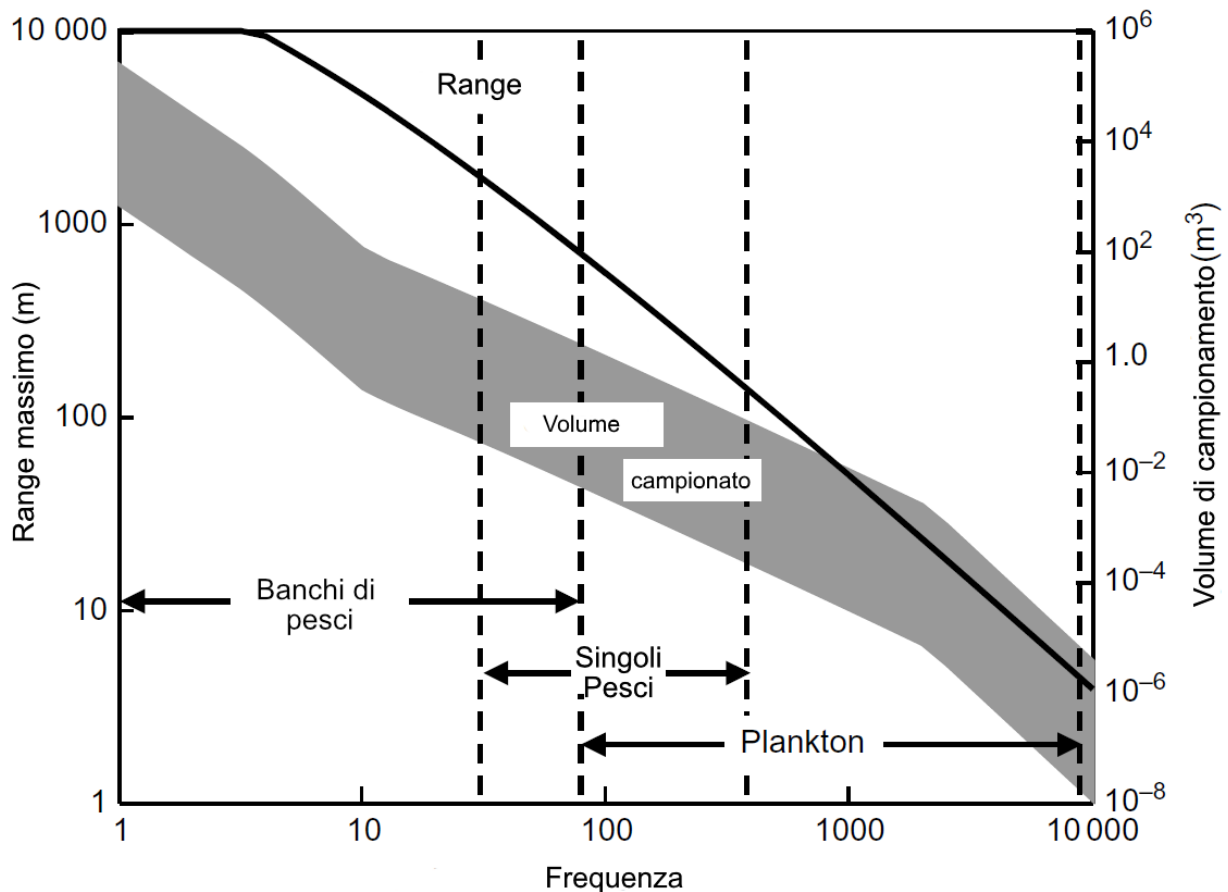


Figura 3: La capacità dei sonar di rilevare dei target dipende dalla frequenza delle onde sonore emesse. Il range verticale indica la massima distanza a cui i bersagli possono essere identificati ed isolati dal rumore di fondo. In ascissa sono riportate le frequenze tipicamente usate per il campionamento di banchi, singoli bersagli e plankton.

La tecnologia *split-beam*, utilizzata a 38 kHz, ha permesso inoltre di definire le direzionalità dei target; ciò è reso possibile dal fatto che il trasduttore è idealmente diviso in 4 quadranti (canali - Figura 4a) che registrano ciascuno in modo differenziale l'intensità di risposta dell'eco. Integrando le 4 intensità per ciascun ping è possibile stimare la posizione del target all'interno del cono di emissione; sommando le posizioni appartenenti ad un singolo pesce per più ping consecutivi è possibile identificare la direzione del movimento del bersaglio (Figura 4b).

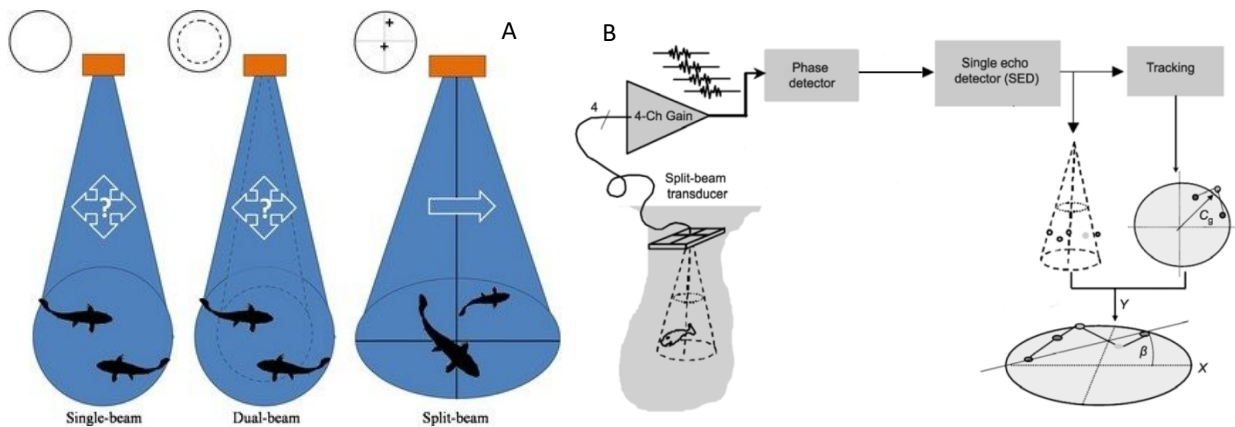


Figura 4: A – La tecnologia single-beam è in grado di discriminare i target solo lungo l'asse verticale, quella dual-beam sfrutta un cono di emissione centrale stretto ed uno adiacente più ampio per migliorare l'identificazione dei target. Con l'introduzione della tecnologia split-beam è possibile registrare la direzione e la velocità di spostamento dei singoli pesci. B – Integrando più rilievi successivi appartenenti allo stesso bersaglio (pesce), è possibile ricostruirne gli spostamenti.

La discriminazione dei vari target può essere basata sulla registrazione dei *TS* su un ampio spettro di frequenze, grazie alla funzione *wide-band* (per i dettagli vedi capitolo successivo). La forma della curva di risposta è target-specifica ed è ricavata dalla congiunzione di più valori di *TS* nel range di frequenze 35-45 kHz e 190-230 kHz (Figura 5).

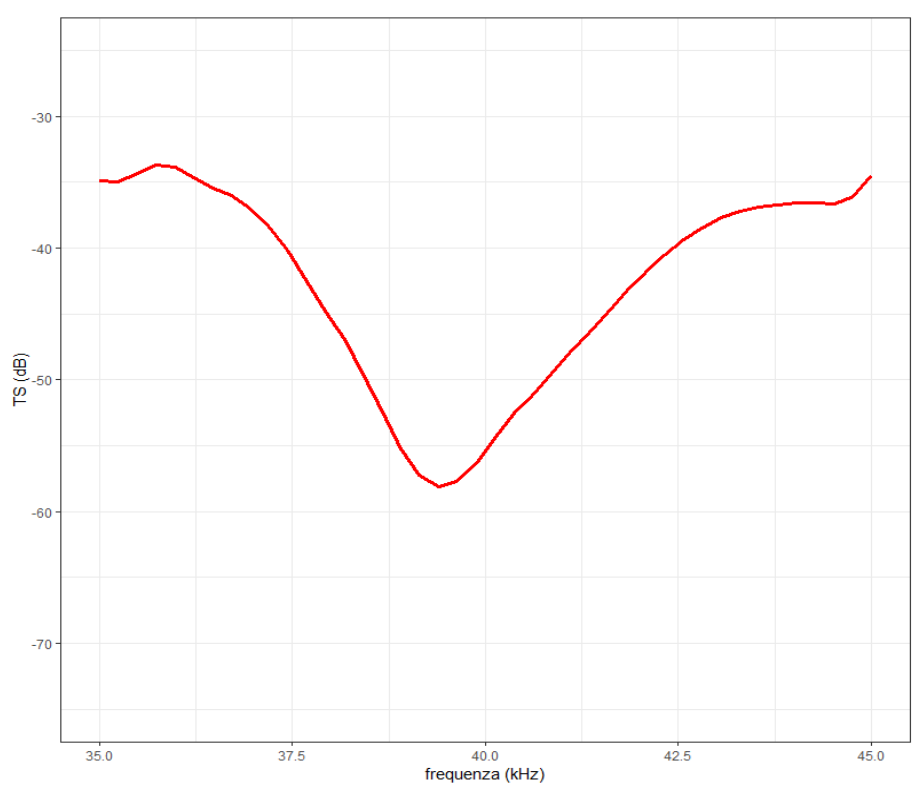


Figura 5: Esempio di curva di risposta per frequenze tra i 35 e i 45 kHz

Vantaggi

I monitoraggi della comunità nectonica per mezzo di tecniche di acustica attiva comportano dei chiari vantaggi rispetto a metodi più tradizionali come l'esecuzione di campagne di pesca scientifica; in primo luogo si tratta di un campionamento che non arreca alcun disturbo agli organismi marini, poiché non ne comporta né la manipolazione né il prelievo nemmeno temporaneo, e che può essere esteso facilmente in termini sia spaziali che temporali, permettendo quindi di ottenere una migliore copertura dell'area di studio e reiterare i campionamenti nel tempo, aumentandone la frequenza. Inoltre, è possibile campionare in presenza di varie condizioni meteo marine, nelle ore notturne e tutti gli strati della colonna d'acqua in modo sinottico.

Setup

La configurazione adottata durante tutte le campagne di campionamento è schematizzata in Figura 6. Essa si compone di un PC dotato di software Simrad EK80 e di ricevitore GPS per la registrazione della velocità di spostamento dell'imbarcazione e della posizione lati-longitudinale dei ping. Al personal computer, tramite collegamento LAN, è collegato il *transceiver* WBT-Mini, a sua volta collegato ad una fonte di alimentazione a 12V e al trasduttore; quest'ultimo è immerso in acqua tramite un sostegno esterno 'a palo' e fissato ad una delle murate della barca.

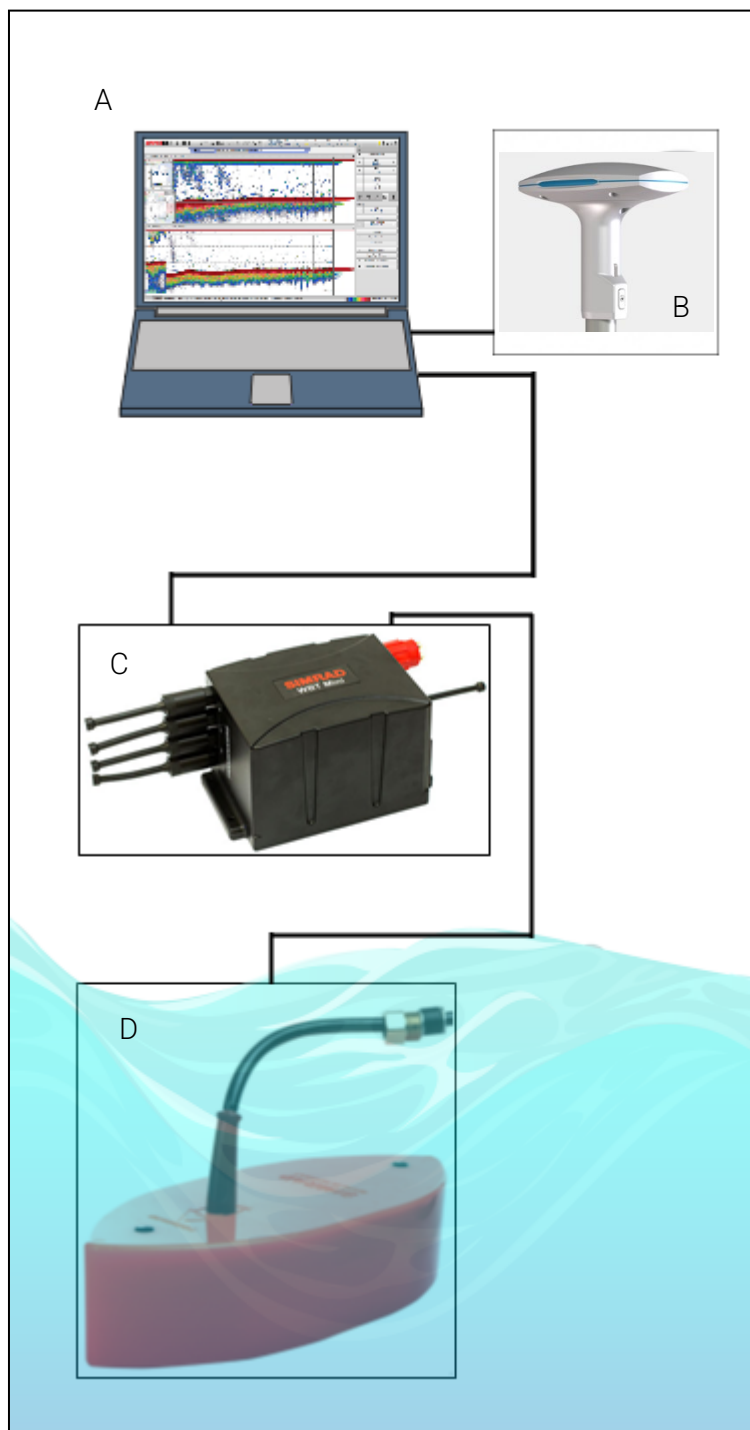


Figura 6: Schema della strumentazione acustica usata in Exchange II - PC laptop rugged (A), Unità di navigazione GPS (B), Transceiver EK-80 WBT Mini (C), Trasduttore combinato 38-200 kHz (D).

Wideband echosounding

L'intero processo di *echosounding* inizia con l'emissione di un impulso sonoro ad alta frequenza da parte del trasduttore. L'impulso si propaga attraverso la colonna d'acqua e si riflette parzialmente quando colpisce dei bersagli. La riflessione viene registrata continuamente dal trasduttore e il processo viene poi ripetuto per ogni ping.

Il trasduttore usato con il sistema EK80 è stato un Simrad ES38-18/200-18C, che è formato da diversi elementi piezoelettrici i quali emettono simultaneamente una porzione del segnale, contribuendo a formare un'onda di pressione che si propaga tra gli strati d'acqua formando un cono via via più largo (Figura 7).

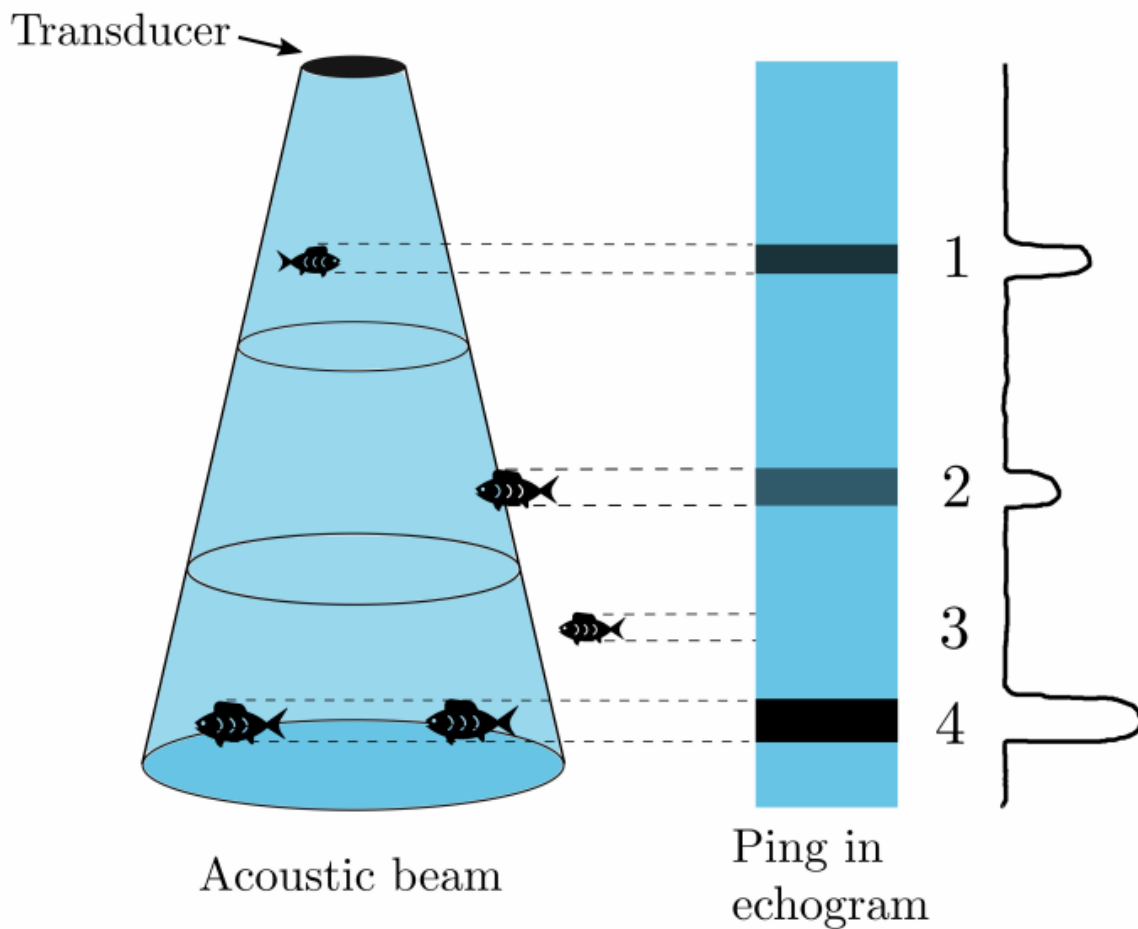


Figura 7: Rappresentazione grafica del cono di onde emesso da un echosounder e rispettivo ecogramma ottenuto per un ping. Vengono riportate 4 situazioni tipiche: 1. Pesce completamente all'interno del cono, il segnale riflesso, o eco, è forte. 2. Pesce solo parzialmente all'interno del fascio, il segnale riflesso è più debole. 3. Pesce fuori dal fascio che non apparirà nell'ecogramma. 4. Due pesci alla stessa profondità vengono visti come un unico pesce più grande se il trasduttore non è dotato di tecnologia split-beam.

Più in dettaglio, il segnale trasmesso (ping) è esteso ad un intervallo di frequenze - da qui il nome della tecnologia - centrate ai valori di 38 e 200 kHz (Figura 8). Questo vuol dire che in un intervallo di tempo τ molto breve il trasduttore emette un'onda di pressione che varia all'interno di un range di frequenze f_0-f_1 ottenendo quindi un dato riflesso (backscattering) ad una risoluzione maggiore rispetto a quanto è possibile con un *echosounder* a singola frequenza.

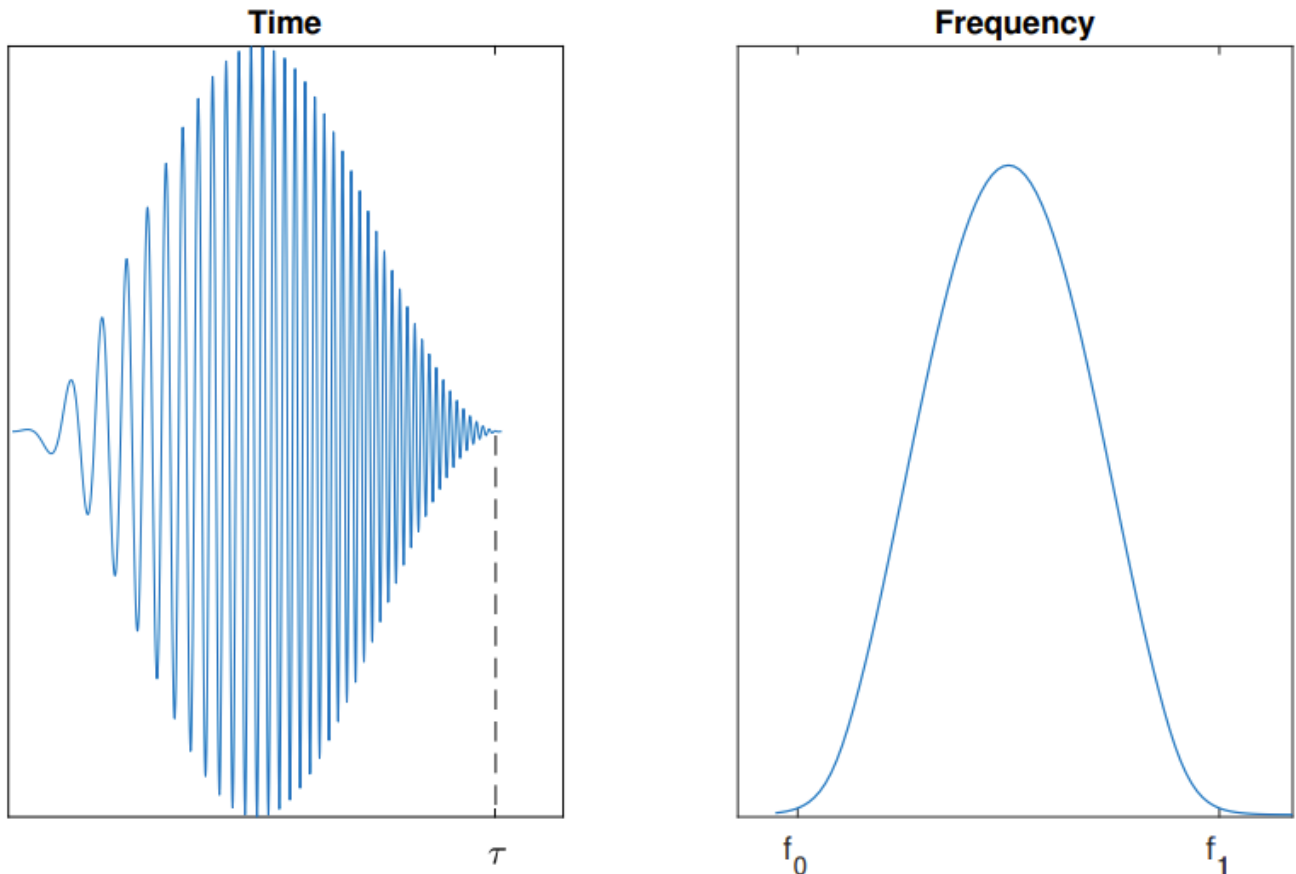


Figura 8: Suddivisione nel tempo e nel dominio delle frequenze di un segnale wideband (chirp).

Lo specifico *set* di frequenze emesse, quando colpisce un bersaglio, si propaga omnidirezionalmente, quindi anche verso la superficie e il traduttore. Parte dell'eco viene registrata dagli idrofoni posti all'interno del trasduttore stesso permettendo quindi di ottenere un dato di risposta esteso su un range di frequenze ma dalla 'forma' specifica per il singolo bersaglio. La curva di risposta che si ottiene una volta puliti ed estratti i dati riferibili ai target (pesci in questo caso) ha due particolarità, la struttura e il suo livello medio di intensità (Figura 9).

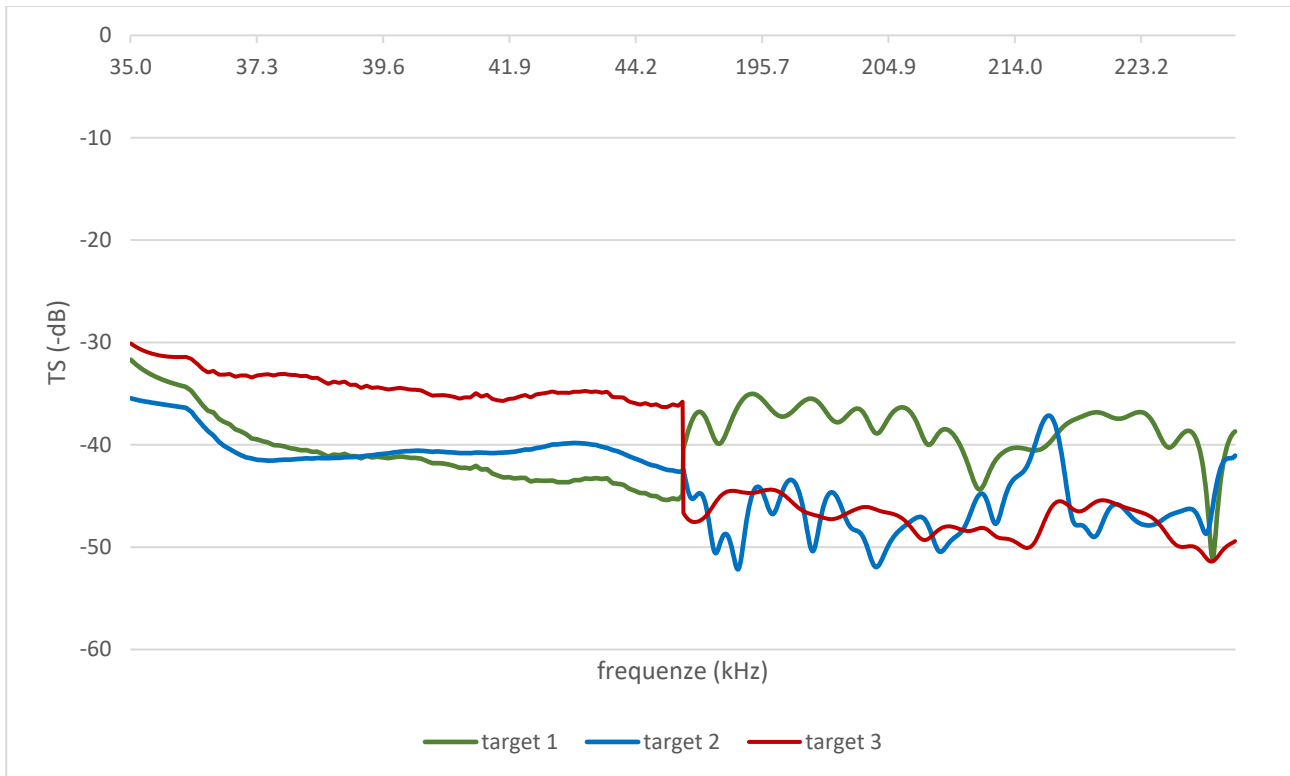


Figura 9: Esempio di response curves per tre target differenti. Si noti come esse abbiano intensità e forme lungo tutto il dominio differenti l'una dall'altra.

Queste due caratteristiche sono riconducibili all'aspetto morfologico degli organismi target, come ad esempio la loro taglia, la presenza di vescica natatoria o meno, la presenza di tessuti ossei o cartilaginei, ecc.

Per le finalità di questo progetto, il trattamento dei dati raccolti è stato mirato alla suddivisione dei segnali wideband dei soli pesci tramite una Cluster Analysis basata su un algoritmo K-means, un metodo di raggruppamento partizionale che permette di suddividere un insieme di oggetti in k gruppi sulla base dei loro attributi, cosicché ogni target sia associato al cluster con intensità media più vicina.

RISULTATI

Dati di densità

La Figura 10 mostra la densità di target, espressa come numero di individui per ettaro, rilevata lungo i transetti effettuati nelle tre campagne. Le tre mappe nella parte superiore della figura (Figura 10 *a, b, c*) mostrano i risultati dei rilievi effettuati in laguna Nord, nella zona della bocca di porto di Lido; le tre mappe centrali (Figura 10 *d, e, f*) mostrano i risultati dei rilievi in Laguna centrale, nei canali adiacenti alla bocca di Malamocco; infine, le tre più in basso (Figura 10 *g, h, i*) mostrano quanto rilevato in Laguna sud, nei canali afferenti alla bocca di porto di Chioggia.

Prendendo in esame i canali della laguna settentrionale, si evidenzia una distribuzione disomogenea dei bersagli, con le maggiori concentrazioni (800-1200 individui/ha) rilevabili alla confluenza tra Dese e Silone (novembre 2020 – Figura 11*a*), nel tratto del canale di Burano da Mazzorbo fino alla confluenza con il canale Crevan (marzo 2021 – Figura 10 *b*), alla biforcazione tra canale Burano e San Felice (tutte le campagne, con densità maggiori a marzo 2021 – Figura 10 *b*), e per un tratto del canale San Felice di circa 2 km oltre tale biforcazione (marzo 2021 – Figura 10 *b*), in zona Lio Piccolo (maggio 2021 – Figura 10 *c*), e infine presso Punta Sabbioni (maggio 2021 – Figura 10 *c*) e San Nicolò (marzo 2021 – Figura 10 *b*). Tutti questi punti di concentrazione presentano profondità maggiori della media, con batimetriche tutte superiori ai 10 metri, in certi casi anche di molto.

Una distribuzione disomogenea si ritrova anche nei canali sondati in laguna centrale. In particolare, si evidenziano due hotspot dove sono state rilevate le maggiori densità di individui di tutte le aree campionate: si tratta della fossa di oltre 45 metri presente all'imboccatura della bocca di Malamocco, con densità sempre superiori ai 2000 individui/ettaro, che a marzo hanno raggiunto valori pari a 12000 individui/ettaro (Figura 10 *e*), e l'intersezione del canale Malamocco-Marghera con il canale Spignon, in cui nelle campagne autunnale e invernale si sono misurate densità di 4-5000 individui/ettaro (fig. Figura 10 *d, e*). La bocca di porto stessa sembra essere un habitat molto frequentato, in particolare in autunno-inverno.

Prendendo in esame l'area indagata in laguna sud, infine, le concentrazioni maggiori di individui sono state rilevate in corrispondenza della bocca di porto di Chioggia in autunno e in primavera (fino a 800 individui/ettaro), presso la "buca" di 35 m di profondità all'inizio della bocca (fino a 2000 individui/ettaro in primavera – Figura 10 *i*), e alla confluenza tra i canali di Poco Pesce e della Perognola (2000 individui/ettaro rilevati nella campagna invernale – Figura 10 *h*, 1000 in autunno e primavera – Figura 10 *g, i*).

Dal punto di vista della variabilità stagionale, le densità maggiori di individui sono state rilevate, in tutti i casi, durante la campagna invernale (Figura 10 *b, e, h*).

In generale, i dati raccolti consentono di differenziare aree a maggior concentrazione rispetto ad altre zone a basse concentrazioni, con un pattern costante nelle diverse stagioni. In particolare, le aree con profondità maggiore ai 10 metri, presenti in alcune zone dei canali e formatesi a causa di condizioni peculiari di idrodinamismo (le “buche di raschiamento”) sono apparse sempre più ricche di target.

Da questo punto di vista, tali zone ad alta concentrazione di pesci adulti e sub-adulti coincidono tradizionalmente con le zone più frequentate dai pescatori sportivi e dilettantistici. La conoscenza dei fenomeni locali e il passaparola hanno da sempre connotato la distribuzione e le preferenze dei pescatori; perciò, ai dati di campionamento sono stati accoppiati anche i dati di cattura dichiarati dai pescatori dilettantistici. Questo affiancamento tra dati di origine diversa ha fornito un triplice vantaggio: in primo luogo, è servito per fornire un database in grado di simulare un campionamento tradizionale, rappresentato però dal prelievo dei pescasportivi; in secondo luogo, ha permesso di raccogliere le opinioni e le percezioni dei pescatori sulla presenza di pesci nelle varie zone in base alla stagionalità; infine, ha generato una serie di dati con cui confrontare le “firme acustiche” più frequenti e raffinare la distinzione delle caratteristiche fisiche dei target.

In base alle valutazioni sulla densità degli individui, associati alla misura del TS medio ottenuto in ciascun sito di rilievo nelle tre campagne, è stato possibile inoltre ottenere una stima della biomassa presente nei canali al momento dei campionamenti.

La Tabella 2 mostra i risultati della stima, che vanno interpretati come kg di biomassa presente nell’area campionata, in un ciclo mareale (quindi in un periodo di circa 12 ore).

Data	Zona	Biomassa stimata (kg)
06/11/2021	N	120,13
10/11/2021	C	156,32
10/11/2021	S	139,79
10/03/2021	N	75,67
09/03/2021	C	526,50
09/03/2021	S	71,94
19/05/2021	N	38,37
18/05/2021	C	10,21
18/05/2021	S	7,30

Tabella 2: Biomassa stimata in ciascuna area di campionamento nelle tre campagne, nell’arco di tempo di un ciclo mareale

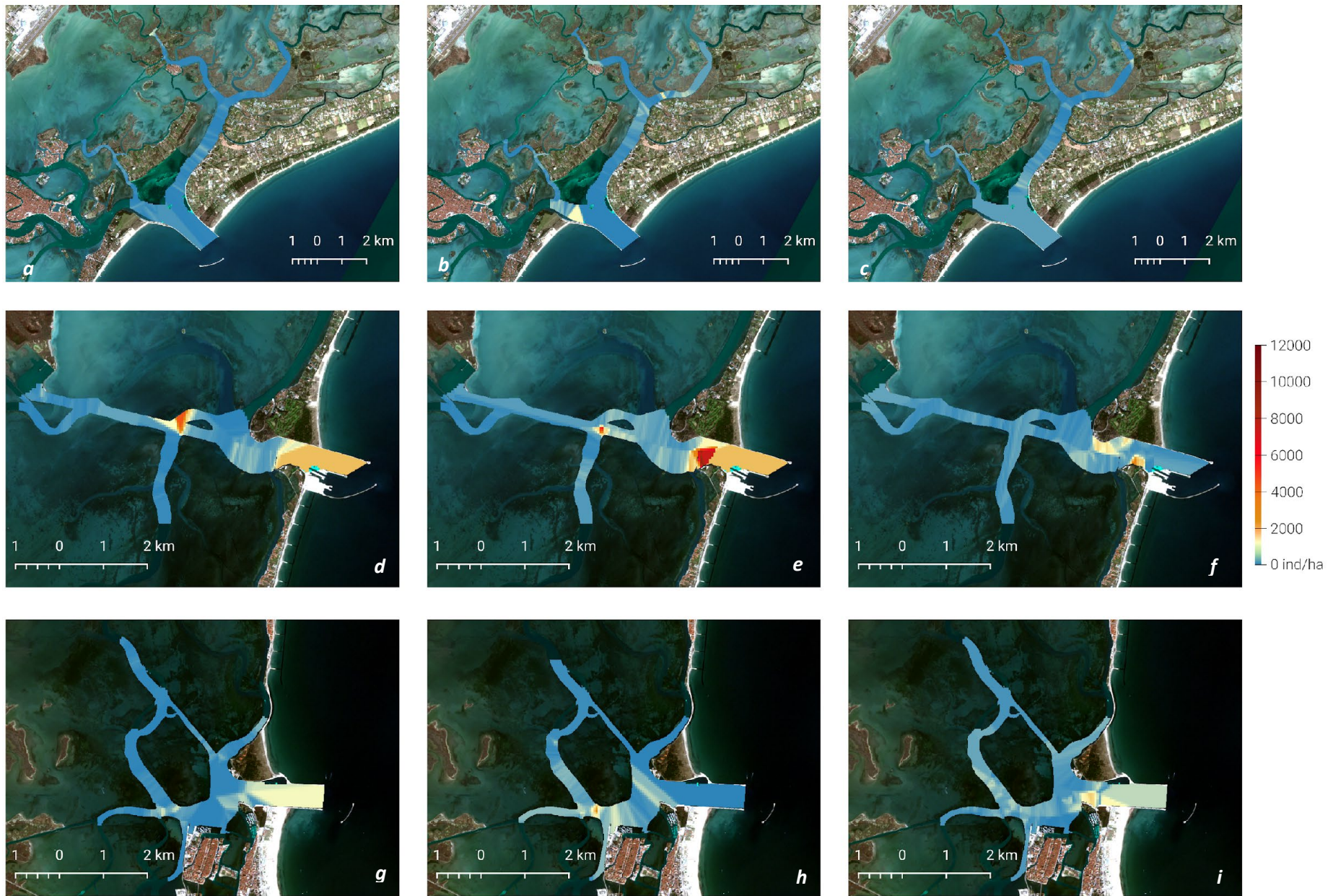


Figura 10: Dati di densità di individui all'ettaro, raccolti nelle campagne effettuate in ciascuna area (Laguna Nord – a, b, c; Laguna Centro – d, e, f; Laguna Sud – g, h, i.) Da sinistra verso destra: campagna autunnale, campagna invernale, campagna primaverile.

Analisi dei dati wideband

Un significativo campione di riferimento dei dati raccolti è stato usato per l'analisi dei segnali wideband al fine di suddividere le *fish-track* (il subset di dati riferibili inequivocabilmente a pesci) in gruppi omogenei di target. Nelle figure 11 e 12 sono riportate le *response curves* di circa 200 target; si può notare come vi siano diverse forme di curva sia nella porzione dei 38 kHz che in quella dei 200 kHz. Ciascuna curva rappresenta infatti un target, precisamente la sua risposta in termini di *backscattering*, suddivisa per ciascuna frequenza emessa, riflessa e, successivamente, registrata dal trasduttore.

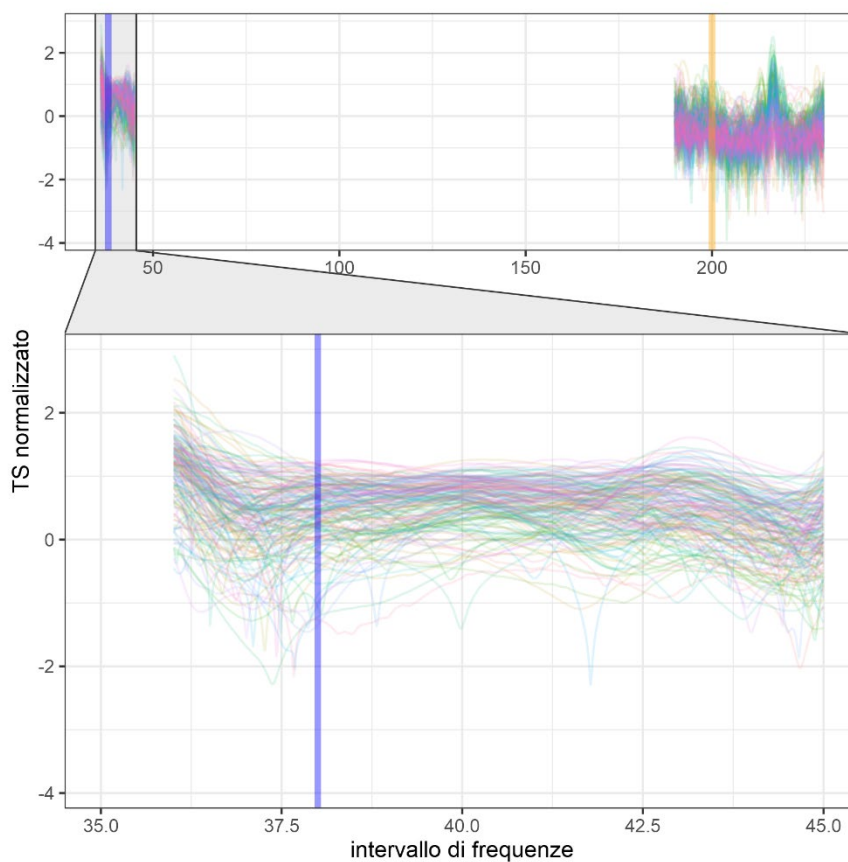


Figura 11: Intervallo di frequenze campionate e dettaglio delle curve di risposta per la sezione 35-45 kHz.

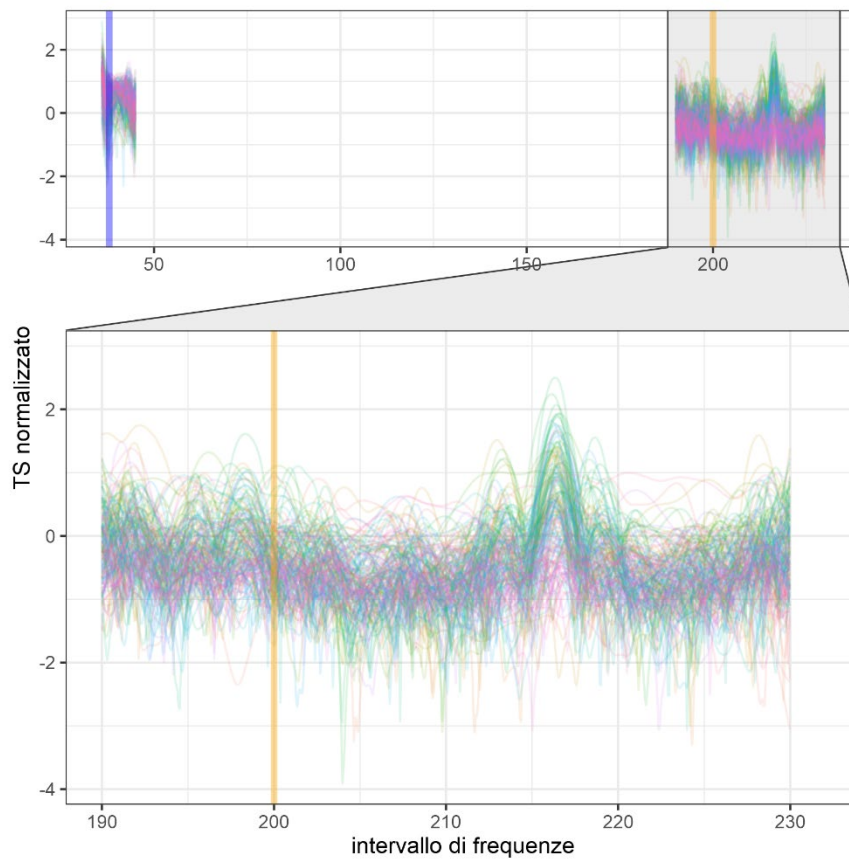


Figura 12: Intervallo di frequenze campionate e dettaglio delle curve di risposta per la sezione 190-230 kHz.

Un primo tentativo di suddivisione delle curve di risposta in gruppi è stato fatto usando un riordinamento multidimensionale - *metric Multi-Dimensional Scaling* (Figura 13), usando un algoritmo in grado di ricondurre il carico informativo di ciascun dato a un numero inferiore di gruppi per osservare quali, tra i target, potessero essere raggruppati nello stesso insieme grazie alla loro similarità. I risultati mostrano come vi sia una separazione dei dati sull'asse delle ascisse, ma non sia possibile ricavare un netto raggruppamento. Solo tramite la *cluster analysis*, altra tecnica statistica che enfatizza la distanza tra dati simili e dati dissimili, è stato possibile assegnare i vari target a uno specifico insieme.

In particolare, è stato possibile estrarre due gruppi di target costituiti al loro interno da circa 120 e 60 osservazioni ciascuno (Figura 14). Il cluster 1, il più numeroso, risulta molto compatto lungo l'asse principale (che spiega il 35.2% della varianza del campione) ed è riferibile agli sparidi o comunque a gruppi tassonomici con evidente compressione laterale; il cluster 2, più disperso lungo entrambi gli assi, è costituito da pesci con forma del corpo più allungata ed è riferibile prevalentemente ai branzini e ai cefali. Alcuni target (circa il 12% del totale), posti ai margini dell'area che delimita i gruppi, sono stati assegnati ad un terzo raggruppamento comprendente i pesci non riferibili a nessuna delle succitate categorie.



Figura 14: Risultato del raggruppamento dei dati tramite CA, algoritmo k-means. I vari target sono rappresentati dalla lettera 'f' seguita da un numero.

La classificazione in gruppi si tramuta in una suddivisione delle curve di risposta in due categorie (Figura 15). Il primo gruppo ha mediamente valori più alti nella sezione di risposta centrata sui 38 kHz

e più bassi nell'intervallo dei 200 kHz. Il secondo gruppo è caratterizzato da un pattern di risposta opposto.

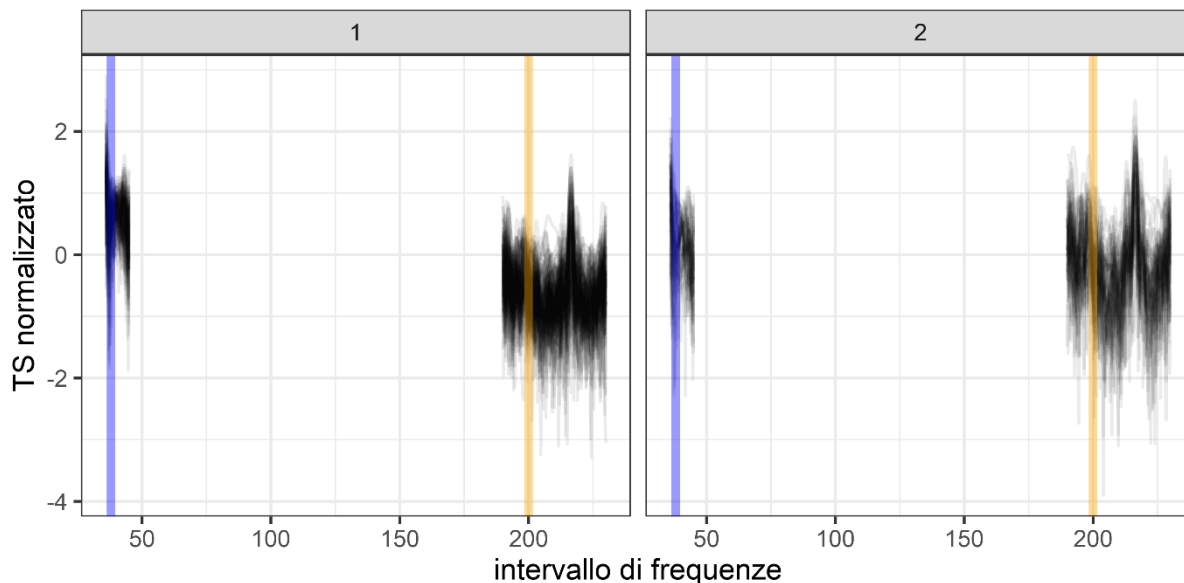


Figura 15: Curve di risposta dei vari target suddivisi nei due cluster. Le linee verticali rappresentano la frequenza di 38 kHz e 200 kHz (blue e giallo, rispettivamente).

Questo comportamento appare ancora più evidente una volta mediate le curve per raggruppamento. In questo modo è stato possibile ricavare le *response curves* specifiche per ciascun insieme di dati (Figura 16) e applicare le conversioni “Target Strength – Lunghezza – Peso” specie specifiche per i due gruppi, al fine di risalire alle biomasse rilevate nei siti di monitoraggio.

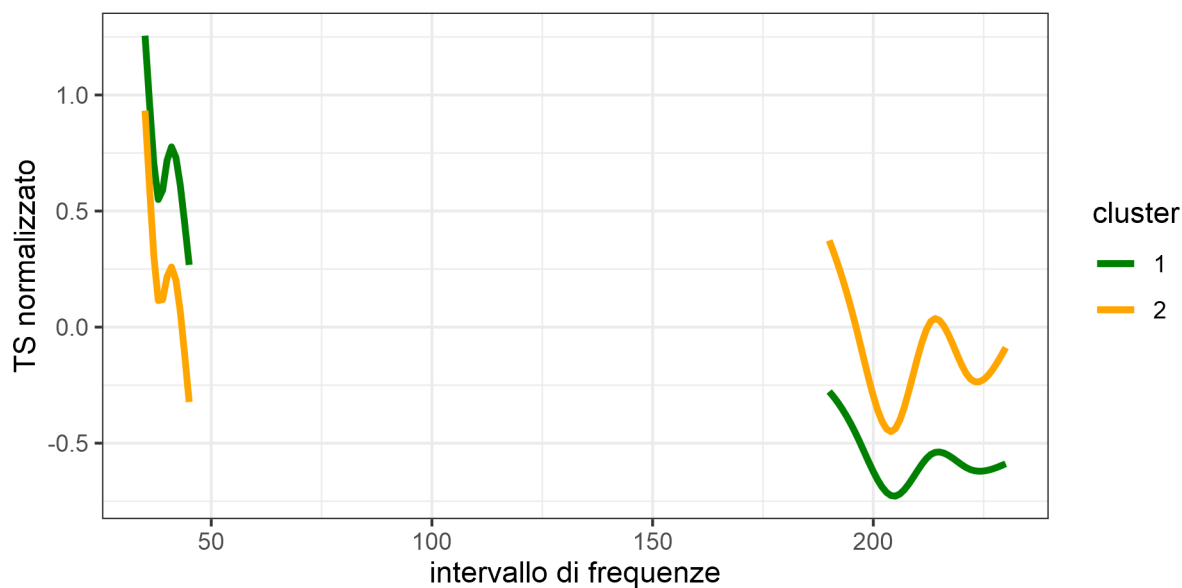


Figura 16: Valori medi delle curve di risposta per ciascun raggruppamento. Linea verde: sparidi; linea arancione: branzini e cefali.

I risultati ottenuti dall'analisi dei dati wideband sono stati validati grazie al confronto con altre tecniche di rilevamento: osservazioni in loco tramite videocamera subacquea e ROV, interviste dirette ai pescatori ricreativi e professionisti operanti nei siti di campionamento, e dati ricavati da bibliografia.

Calcolo della densità di biomassa

Oltre al calcolo delle densità di numero di target spazializzato per i canali interni della laguna, è stato possibile risalire, in alcune aree interne, alle biomasse per unità di superficie. Questo calcolo è stato effettuato, ad esempio, per quanto riguarda uno *scour hole* (buca di raschiamento che si crea per erosione alla confluenza di due o più canali di marea) posto in gronda lagunare nord (Figura 17). In questi ambienti i pesci di fatto stazionano a lungo ed è possibile quindi ottenere molti dati relativi a ciascun target al fine di calcolare dei valori di Target Strength che siano il più possibile accurati.

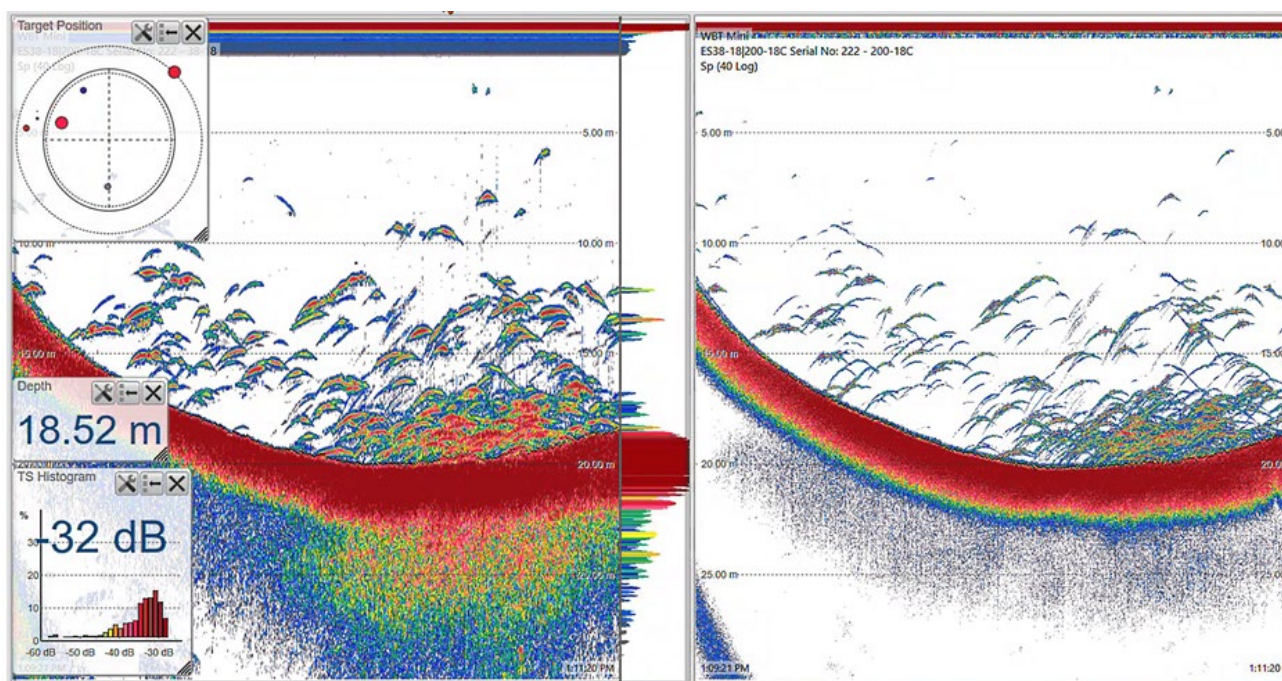


Figura 17: Porzione di ecogramma di una buca di raschiamento di elevata profondità (20 m) localizzata in gronda lagunare nord. Si possono osservare parte dei pesci rinvenuti (forme ad arco) sia nella colonna d'acqua che aggregati sul fondale. La fascia rossa concava rappresenta il fondale della buca.

Osservando la distribuzione spaziale dei dati (Figura 18), si può notare come i pesci si posizionino preferibilmente all'interno della buca, occupando maggiormente il settore sinistro dell'incrocio tra i tre canali (cioè la zona più profonda). Sebbene le densità (e quindi le biomasse) osservate in questo sito specifico siano sempre molto maggiori rispetto alle medie rinvenibili nei tratti di canali circostanti, si è osservato che i valori di biomassa primaverili sono circa dieci volte più elevati di quelli ottenuti 2 mesi prima (Tabella 3).

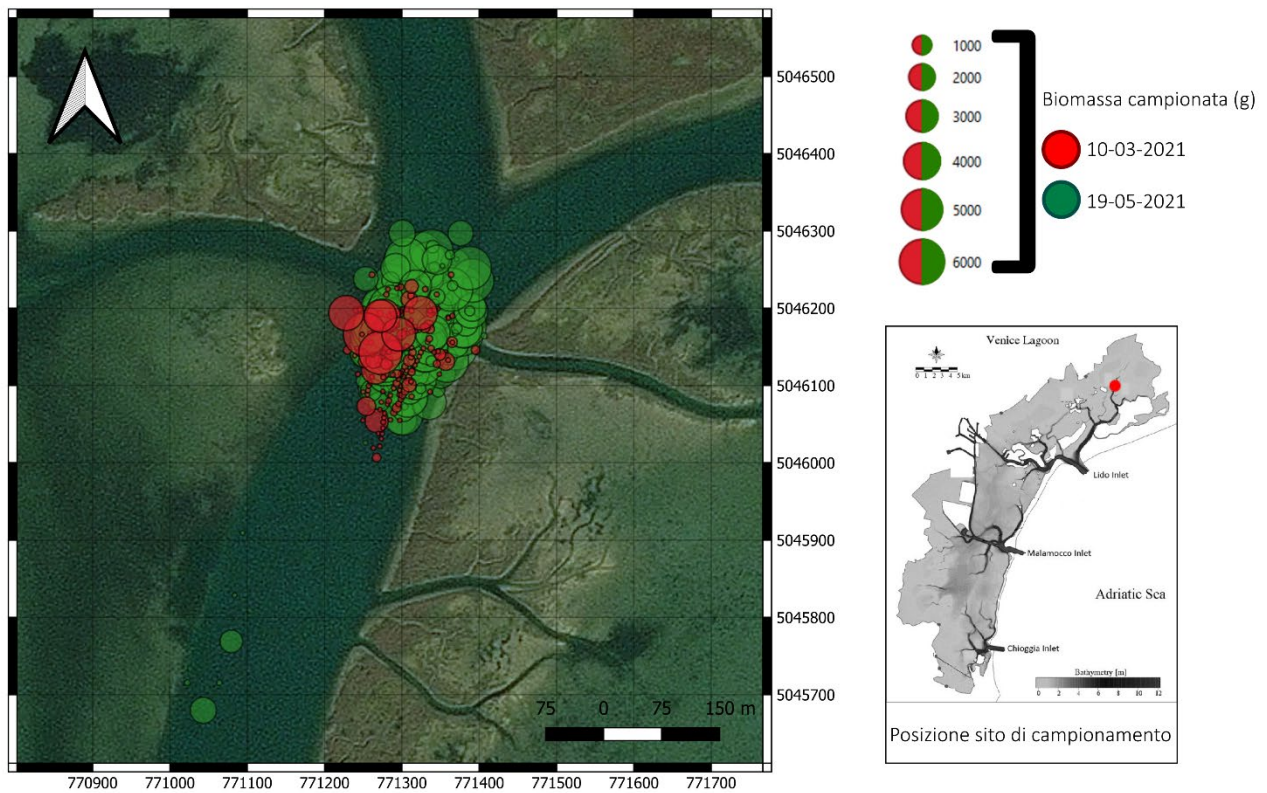


Figura 18: Mappa della scour hole con sovrainpresse le densità di biomasse rinvenute in due distinti campionamenti. I cerchi sono proporzionali ai valori di biomassa e il loro numero è proporzionale alla quantità di target presenti.

Questo fatto è dovuto al progressivo riscaldamento delle acque lagunari nella stagione primaverile. Infatti, gli esemplari adulti di orate e branzini, dopo aver passato l'inverno lungo le coste adriatiche, gradualmente si spostano nelle aree interne della laguna in primavera-estate per scopi trofici e di riproduzione.

DATA	numero target osservati	Biomassa tot (kg)	Densità (kg/m ²)
10/03/2021	179	47	0.041
19/05/2021	589	1119	0.398

Tabella 3: Risultati relativi al calcolo delle biomasse rinvenute nel sito di riferimento mostrato nella figura precedente.

Risultati dei monitoraggi alle bocche di porto

In riferimento ai rilievi effettuati nelle bocche di porto si può confermare e validare quanto osservato nel precedente progetto. I target anche in questi luoghi non occupano uniformemente lo spazio a disposizione ma preferiscono aggregarsi in alcuni specifici tratti, contraddistinti da una batimetria media elevata. In Figura 19 è riportata la distribuzione media dei target per profondità osservata. Mediamente i pesci occupano preferenzialmente il layer attorno ai 10 metri di profondità, anche se non mancano individui che occupano le parti più profonde della colonna d'acqua, specialmente nei canali a Malamocco e Chioggia.

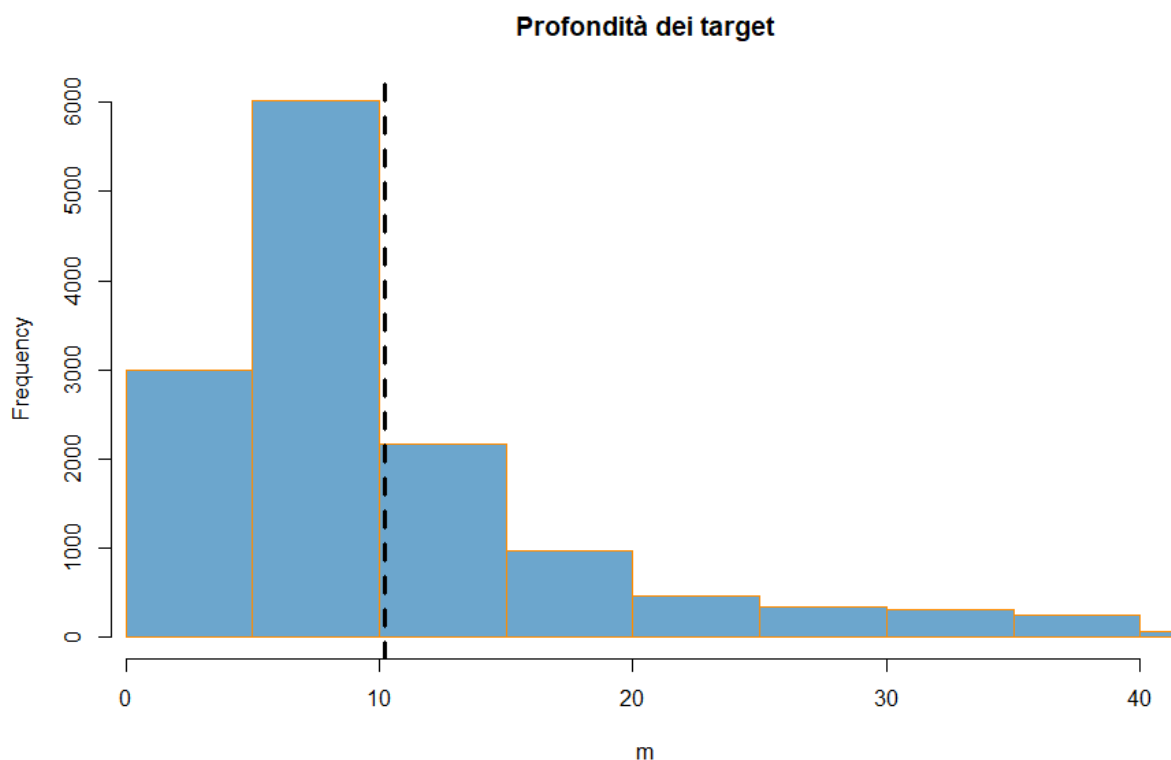


Figura 19. Istogramma delle frequenze dei target in base alla profondità.

Più in dettaglio, in Figura 20 si può osservare come la profondità preferenziale dei target nelle 3 bocche di porto sia del tutto simile, ma al Lido siano presenti densità inferiori. Inoltre, è interessante notare come a Malamocco e Chioggia vi siano aggregazioni di pesci significative anche attorno alla batimetria dei 20 m, non rinvenibili al Lido, che mostra una batimetria limitata, rispetto alle altre due bocche.

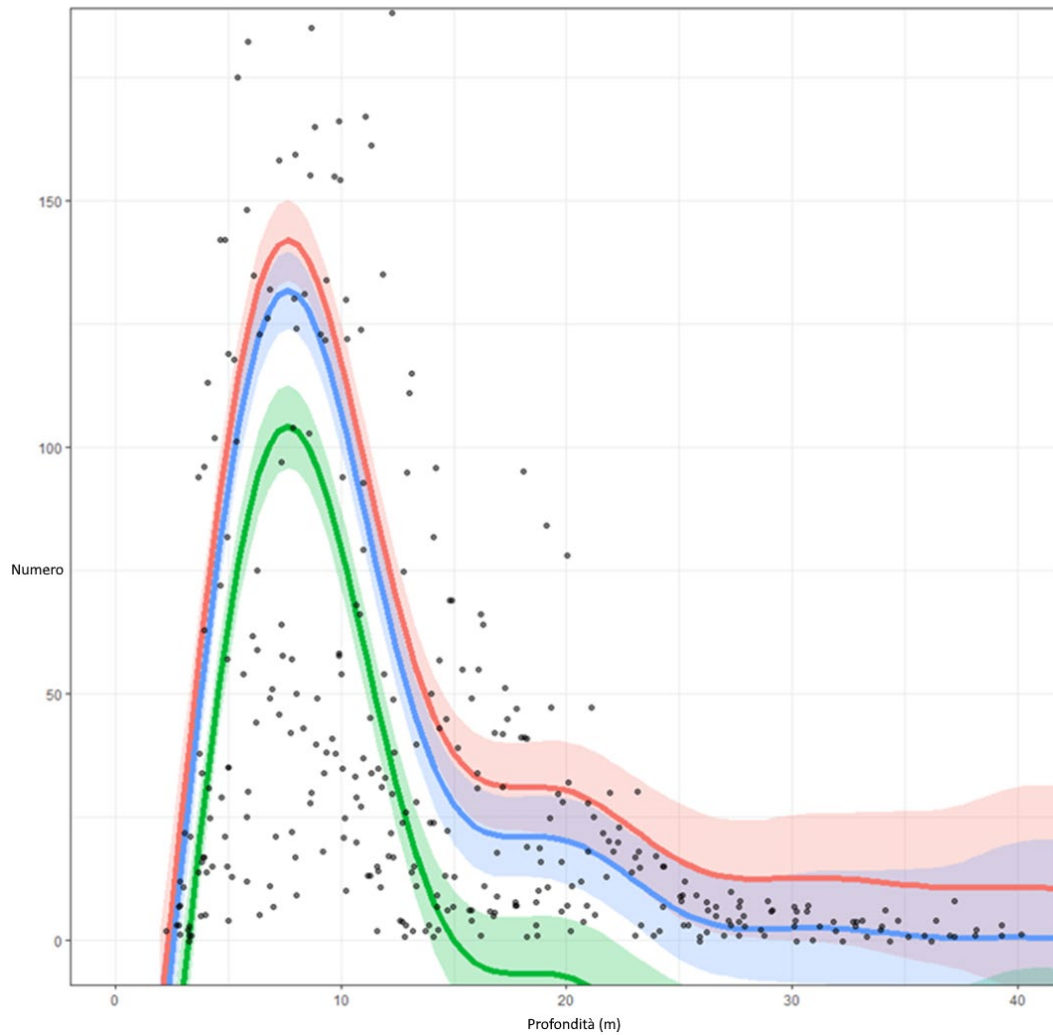


Figura 20. Modello additivo generalizzato (GAM) della relazione tra profondità dei target e numerosità degli stessi n base al sito di campionamento. Linea rossa: Malamocco, linea blu: Chioggia, linea verde: Lido

Questo pattern sembra quindi sito specifico, confermando quanto visto per i canali più interni o per altre sezioni più interne delle bocche di porto stesse.

Ad esempio, nella mappa in Figura 21 si può notare come le celle contraddistinte da alta densità di individui siano relativamente poche e aggregate in corrispondenza di due aree profonde (la prima localizzata in una porzione interna del canale Malamocco-Marghera, la seconda in corrispondenza della bocca stessa, nella Palada delle Ceppe).

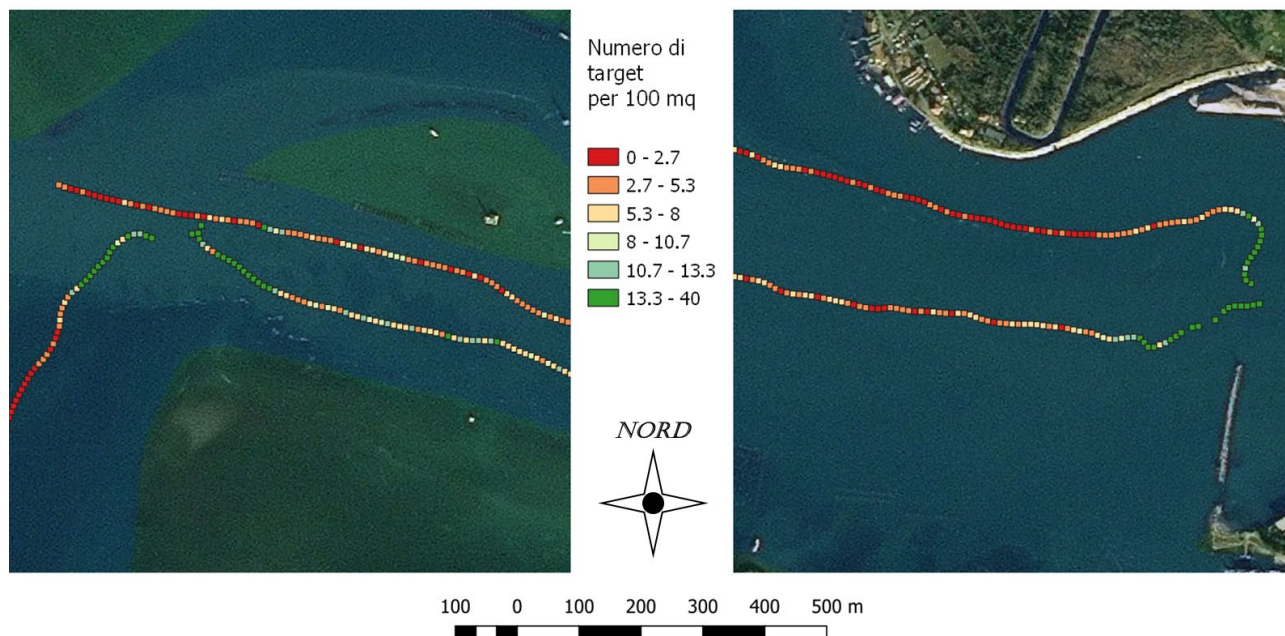


Figura 21. Mappe rappresentanti le densità di target rinvenute in due transetti effettuati nel canale di Malamocco-Marghera e nella bocca di porto di Malamocco

Questi schemi aggregativi, come visto in precedenza per i canali di marea interni alla laguna, si riflettono nelle abbondanze e densità medie registrate in questi tre siti di monitoraggio (Tabella 4). Infatti, la bocca di porto del Lido, pur essendo la più estesa, presenta il minor numero di target, i quali generalmente occupano la porzione di colonna d'acqua attorno ai 7-8 m. Significativamente maggiori sono invece le densità di Chioggia e Malamocco (rispettivamente 3.5 e 7 volte il dato rinvenuto al Lido) ove i pesci tendono ad occupare anche strati d'acqua più profondi. Non si osservano invece differenze significative tra i siti per quanto riguarda la taglia acustica dei target e quindi la loro lunghezza media

Tabella 4. Differenze in termini di densità di target e localizzazione nella colonna d'acqua tra i tre siti di monitoraggio.

SITO	DENS. (n°/km²)	PROF. MEDIA (m)	TS MEDIO (dB)	Lunghezza media (cm)
LIDO	248.7	-7.4	-41.6	21.0
MALAMOCCO	1746.6	-13.5	-41.1	22.0
CHIOGGIA	868.3	-8.6	-40.8	22.7

Il progetto EXCHANGE II in periodo di pandemia: impatti e opportunità per le indicazioni gestionali future

Alcune fasi del progetto, in particolare l'interazione con i pescatori, hanno visto pesanti rallentamenti e cancellazioni di attività a seguito della pandemia e delle conseguenti misure di distanziamento sociale, adottate nel corso degli ultimi 16 mesi.

Tutto ciò ha però rappresentato l'occasione per verificare, direttamente sul campo, la reale resilienza dell'attività di pesca commerciale in laguna di Venezia, a seguito di eventi esterni critici ed imprevedibili, come ad esempio il lockdown della primavera 2020.

Il confronto tra i dati relativi al primo semestre 2019 e 2020 hanno consentito, infatti, di valutare gli effetti della chiusura forzata di gran parte delle attività presenti nel territorio lagunare. In particolare, andando a confrontare le attività di pesca in tre periodi (prima, durante e dopo il lock-down) del 2019 e 2020, è emerso un effetto significativo sia sullo sforzo di pesca, che sulle catture e i profitti.

L'analisi ha rivelato che durante il lockdown e immediatamente dopo, il numero di imbarcazioni uscite a pescare mostra una flessione del 6 e 19%, rispettivamente, rispetto al corrispondente periodo del 2019. Gli effetti maggiori si rilevano però in termini sia di sbarcato, con una flessione prossima al 80% nel post lockdown, che di profitto, -54 e -64%, rispettivamente (Figura 22). I dati riferiti ai primi mesi consentono di evidenziare che quanto descritto sopra non è frutto di un trend di diminuzione, legato magari a fattori naturali di scarsità di risorse, ma piuttosto di una reale influenza delle drastiche misure adottate per far fronte all'emergenza pandemica (Russo et al, 2021).

Tutto questo ha messo 'drammaticamente' in evidenza l'estrema vulnerabilità della pesca artigianale lagunare, che, dipendendo per buona parte da un mercato a forte connotazione turistica, si è rivelato troppo sensibile alle dinamiche di un singolo settore economico. La diversificazione del mercato e una

profonda rivisitazione delle dinamiche economiche legate alla piccola pesca locale (anche esaltandone le caratteristiche di maggior sostenibilità) dovrà essere considerata nel prossimo futuro allo scopo di migliorare la resilienza del settore nei confronti di possibili eventi critici (Pranovi et al. 2013).

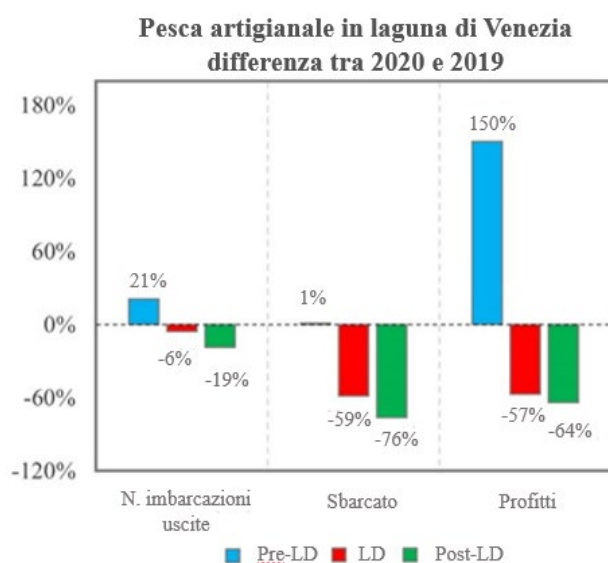


Figura 22: Differenza tra periodi del primo semestre del 2020 rispetto agli stessi periodi del 2019. Pre-LD = periodo precedente al Lockdown; LD = Lockdown; Post-LD: period successive al lockdown. Adattato da Russo et al., 2021.

Parallelamente a quanto accaduto per la pesca professionale, la pesca ricreativa aveva subito uno stop nel periodo delle misure più restrittive alla mobilità, il quale però è stato seguito da una decisa ripresa nella così denominata “Fase Due”, nel quale il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 13 marzo 2021, n. 30, ha permesso di riprendere le attività sportive individuali svolte all’aria aperta sia in zone a basso rischio (zone “bianche”), sia nelle zone classificate dal Ministero della Salute come “gialle” o “arancioni”.

Questo, oltre ad aver fatto riscoprire a gran parte della popolazione nazionale l’entusiasmo per l’attività *outdoor*, è probabilmente servito come volano per l’attività di pesca ricreativa, con ricadute importanti sul settore economico ma soprattutto sul numero di pescatori ricreativi che hanno iniziato, o ripreso, a pescare con regolarità.

Infatti, complice la possibilità di dichiarare di praticare la pesca sportiva come giustificazione per lo spostamento dal proprio domicilio, il settore della pesca sportiva ha rilevato un repentino aumento di oltre il 40% rispetto alla domanda usuale nel periodo tra marzo e maggio, sia in termini di attivazione di licenze di pesca dilettantistica, sia in termini di richiesta di attrezzatura sportiva, stando alle testimonianze degli operatori di pesca sportiva e alle stime delle Federazioni con competenza in materia di pesca sportiva e ricreativa (FIPSAS, FIPO).

Questa situazione, unita al maggior tempo libero a cui era “costretta” una buona fetta di popolazione a causa della chiusura protratta di alcune attività e del ricorso alle misure di cassa integrazione, ha avuto come conseguenza l’aumento della frequenza di pesca e di quantità di biomassa ittica prelevata da parte dei pescatori in possesso di licenza di tipo B. Quantificare con certezza la magnitudine del prelievo della pesca dilettantistica in questo periodo appare ancora difficile e lo studio in questo senso è appena iniziato, ma le prime evidenze confermano la necessità perentoria di monitorare tale attività, specialmente di fronte alla dinamica oggi emergente.

Monitoraggio dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi*

Riguardo alla presenza di *Mnemiopsis leidyi*, che negli anni precedenti aveva fatto preoccupare notevolmente a causa della tendenza di questo ctenoforo a svilupparsi in biomasse notevoli, con fenomeni simili a veri e propri bloom, si riporta che nel corso del 2020 e 2021 la situazione sembra meno grave nelle zone interessate dal campionamento, poiché non sono stati riscontrati rinvenimenti massicci ma solo sporadici, limitati alle stagioni calde.

Le osservazioni dai rilievi sono confermate anche da quelle riportate dai pescatori artigianali e dai pescatori sportivi che frequentano le zone lagunari e le bocche di porto. Su un campione di 60

pescatori ricreativi interpellati, il 30% del campione riporta di aver notato recentemente noci di mare; sono stati molto più frequenti gli avvistamenti di meduse già note, quali *Rhizostoma pulmo*, *Aurelia aurita* e *Cothyloriza tuberculata*, riportati dal 63% degli intervistati. Segue per numerosità la comunicazione di aver pescato o trovato granchi blu *Callinectes sapidus*, specie alloctona ormai stabilmente presente in laguna di Venezia, insieme ad altre specie termofile spinte nel bacino adriatico dai cambiamenti climatici (Libralato, Caccin, and Pranovi 2015).

DISCUSSIONE

La funzionalità ecologica degli ecosistemi costieri di transizione dipende dalla connettività con il mare. La laguna di Venezia non fa eccezione, tanto che la sua morfologia la rende un caso emblematico di ecosistema in cui le popolazioni sfruttano i gradienti lagunari non solo per il proprio ciclo vitale, ma anche per compiere migrazioni trofiche e trovare rifugio.

Le bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia, allo stato attuale, riescono a garantire due volte al giorno il ricambio dell'acqua mediante lo scambio mareale e le dinamiche dei sedimenti, della sostanza organica e dei nutrienti. Gli organismi usano lo stesso canale di collegamento per svolgere le proprie funzioni biologiche migrando con ritmi e frequenze diverse, a seconda della specie e dell'età e reagendo ai fenomeni ambientali.

Molti sono gli studi effettuati o tuttora in corso sul regime idraulico, sul bilancio di sedimenti e sullo scambio di nutrienti in laguna di Venezia; al contrario, lo scambio di organismi è molto poco approfondito, con studi concentrati soprattutto sugli stadi larvali e giovanili (Cavraro et al. 2017; Franzoi et al. 2019; Brigolin et al. 2014), mentre la connettività biologica delle popolazioni adulte ha iniziato ad essere solo recentemente esplorata.

Il progetto EXCHANGE (CUP H17G17000090009) è stato il primo progetto ad applicare sulle coste adriatiche le tecnologie di acustica attiva per l'individuazione della direzionalità degli organismi marini: con esso si è esplorata la possibilità di analizzare e quantificare i flussi di organismi attraverso le bocche di porto, al fine di stimare i flussi di biomassa entranti ed uscenti in laguna di Venezia, mettendoli in relazione diretta con le fasi di marea, l'escursione della stessa, le stagioni e la fase del giorno.

Per consolidare e ampliare le informazioni che è possibile raccogliere con tale metodo, il successivo progetto EXCHANGE II ha proseguito la sperimentazione metodologica e ha implementato nuovi approcci di elaborazione dei risultati.

In primo luogo, oltre all'esplorazione delle bocche di porto con transetti trasversali, in questa edizione del progetto l'ambito di studio è stato anche esteso ai canali lagunari vicini, che raccolgono le maggiori direttrici di acqua e sedimenti. Questo approccio ha permesso di caratterizzare meglio i pattern di utilizzo degli habitat e di spostamenti degli organismi tra una zona e l'altra della laguna e verso il mare.

In secondo luogo, l'acquisizione di dati da pesca professionale e da pesca ricreativa e l'analisi congiunta degli stessi con i dati di *echosounding* ha permesso poi di approfondire e validare l'interpretazione dei risultati. In questo modo, i dati geospazializzati e analizzati con tecniche statistiche multivariate, hanno portato a stimare la densità di biomassa, a individuare zone di alta concentrazione di individui, a determinarne le direttrici di spostamento, fino a raggiungere la discriminazione in gruppi della biomassa osservata sulla base della risposta del segnale acustico, nell'ottica di sviluppare una metodica che possa portare verso l'identificazione delle specie.

Per massimizzare l'efficacia dei campionamenti, i monitoraggi sono stati effettuati per mezzo di rotte di esplorazione dei canali afferenti a ciascuna delle tre bocche di porto, con opportuna impostazione della frequenza degli echi di emissione (38-200 kHz) e l'uso della tecnologia *wideband*.

Il precedente studio aveva evidenziato come la presenza di individui nell'area oggetto di campionamento non sia costante. Era stato registrato, infatti, un sensibile aumento delle densità nel passaggio tra il giorno e la notte e, soprattutto, tra le diverse stagioni. La tendenza emersa aveva quindi condotto a progettare nuovi monitoraggi per approfondire questa dinamica e ampliare l'area indagata.

In EXCHANGE II, i risultati hanno confermato che i pesci si distribuiscono in modo disomogeneo sia dal punto di vista temporale che spaziale. Infatti, rispetto alla stagionalità si è potuto osservare che nella campagna di marzo il numero di individui consistentemente maggiore dipende dai cicli biologici delle specie presenti, per cui all'inizio della fase di riproduzione avviene la citata migrazione dal mare verso la laguna a fini riproduttivi.

Riguardo alla distribuzione spaziale, per la zona della laguna Nord si è notato come essa sia caratterizzata dalla grande abbondanza di target in luoghi dalla batimetria maggiore rispetto alla profondità media di un canale lagunare e dei bassifondi circostanti.

Le maggiori concentrazioni sono state infatti rilevate nelle buche presenti alla confluenza tra i vari canali (Dese e Silone, canale di Burano e canale Crevan, canale Burano e San Felice) e in zone a profondità oltre i 10 metri nei pressi di Lio Piccolo, Punta Sabbioni e San Nicolò.

Lo stesso pattern è riscontrabile anche nei canali che si sviluppano in senso frontale alla bocca di porto di Malamocco, già individuato come habitat di rilievo nel precedente progetto. In particolare, la fossa di oltre 45 metri presente all'imboccatura è risultata ospitare quantità sempre superiori ai 2000

individui per ettaro, con un particolare picco nella campagna di marzo, come ci si potrebbe aspettare basandosi sul riscaldamento delle acque per l'avanzamento della stagione primaverile. A conferma di questa predilezione per habitat profondi da parte di individui adulti compare non solo il risultato di elevata densità di individui nella buca creata all'intersezione del canale Malamocco-Marghera con il canale Spignon, ma anche nella buca simile presente presso la bocca di porto di Chioggia, con profondità intorno ai 35 metri, in laguna Sud.

Considerando che le densità maggiori sono sempre state registrate in questi habitat profondi rispetto alle altre zone dei canali, si può ipotizzare che questo dipenda dal fatto che la maggior batimetria offra un ambiente più stabile sia dal punto di vista del range di diversi parametri, quali temperatura, distribuzione della sostanza organica, luce, ecc., sia dal punto di vista dei possibili disturbi sia naturali che antropici (moto ondoso, passaggio natanti, rumore).

Ciò conforta ancora una volta l'ipotesi secondo cui le bocche di porto e le zone profonde probabilmente vengono sfruttate per la loro particolare funzionalità ecologica, e non solo come zona di passaggio, portando a una netta preferenza degli organismi per la frequentazione di queste zone, simili a 'oasi', rispetto a quelle dei canali poco profondi.

Di conseguenza, una ulteriore ricerca della relazione tra distribuzione della biomassa e parametri caratterizzanti questi habitat profondi potrebbe risultare di fondamentale importanza a fini gestionali, conducendo, ad esempio, ad una revisione dell'attuale organizzazione e suddivisione della laguna in termini di corpi idrici e sottobacini.

Oltretutto, giungere a rilevare le specie che frequentano queste zone così peculiari potrebbe fungere da elemento di supporto per l'analisi della connettività, della rete migratoria ittica e della biologia comportamentale delle popolazioni che conducono vita tra mare e laguna; sulla base di ciò, sarebbe possibile perfezionare lo studio degli impatti legati alle possibili interruzioni al flusso di marea secondo gli scenari futuri.

Si segnala inoltre che il progetto Mose in tempi recentissimi risulta minacciato da un possibile abbandono e quindi bisognerà ricorrere forse ad altre soluzioni gestionali, di gran lunga più economiche, che potrebbero condurre a una interruzione molto maggiore del flusso a causa dell'innalzamento del medio mare e l'incremento di fenomeni atmosferici intensi. Anche in questo senso sarà necessario agire d'anticipo per evitare che la "tentazione" di chiudere la laguna, per la necessità di tutelare le zone residenziali e le attività economiche, possa impattare in maniera irreversibile sui cicli biologici.

Ipotesi gestionali

I risultati qui esposti e le osservazioni condotte durante i monitoraggi hanno evidenziato come le zone a maggior densità di target siano prevalentemente le buche di raschiamento presenti nelle parti interne della laguna e le buche di erosione nelle bocche di porto.

Parallelamente, si è portato alla luce il fatto che queste sono sfruttate costantemente dai pescatori ricreativi.

Come emerso, infatti, le risorse marine in laguna non presentano affatto un pattern distributivo omogeneo. Lunghi tratti di canale e intere sezioni delle bocche di porto relativamente poco profonde (fino ad 8 metri circa nel primo caso e 10 metri nel secondo) possono risultare completamente privi di organismi marini in colonna d'acqua; mentre le piccole buche di raschiamento o altre porzioni di canale più profonde (ad esempio nella parte esterna dei meandri) sono caratterizzate da densità elevate.

Questo rapporto positivo tra presenza di buche profonde e aggregazioni di pesce è noto, e i pescatori ricreativi lo sfruttano già da tempo, a differenza dei pescatori professionisti che sono impossibilitati a posizionare reti e altri attrezzi da posta nei canali e nelle bocche di porto. Se da un lato, quindi, questo studio è riuscito a quantificare ciò che si conosce in maniera aneddotica riguardo ai luoghi ove i pesci si aggregano, dall'altro con questo progetto si getta luce sul possibile impatto legato alle quantità (potenzialmente anche molto elevate) che i pescatori ricreativi possono prelevare, sfruttando costantemente questi specifici *fishing ground*. Tutto ciò, legato alla difficoltà di poter efficacemente controllare il rispetto della regolamentazione delle attività di pesca ricreativa, getta le basi per una profonda asimmetria tra pesca sportiva e pesca commerciale. I pescatori ricreativi possono potenzialmente avere un impatto negativo sulle quantità di risorse alieutiche presenti in laguna, addirittura per certi aspetti maggiore rispetto ai pescatori artigianali, potendo accedere in modo esclusivo alle aree a maggior densità.

Per ridurre la competizione (per certi versi asimmetrica) tra le tipologie di attività di pesca e fare in modo che le risorse alieutiche siano gestite in ambito lagunare con una maggiore attenzione alla sostenibilità ambientale, limitando gli effetti distruttivi sulla biodiversità, si propongono alcuni interventi.

- Intensificazione dei controlli sul prelievo di risorse alieutiche da parte dei pescatori ricreativi, al fine di limitare al massimo le catture sotto taglia e *l'overfishing*, specialmente quando le catture hanno come obiettivo le popolazioni che sfruttano le bocche di porto e le parti profonde della laguna;
- L'istituzione di piccole aree *no-kill*, sul modello di quanto avviene nei fiumi, ove tratti fluviali di ripopolamento sono vincolati all'esercizio della pesca con rilascio obbligatorio;

- L'obbligo di fermo pesca anche per i pescatori ricreativi in alcuni periodi dell'anno, specialmente quando coincidenti con le fasi riproduttive, in laguna e nelle bocche di porto;
- L'istituzione di un organo collettivo, ad esempio un'associazione, che abbia il compito di istruire i pescatori ricreativi sull'importanza di mantenere in salute gli stock ittici e che in qualche modo controlli il loro operato;
- Attivazione di sistemi di supporto al monitoraggio della pesca ricreativa, in primis attraverso registrazione volontaria delle catture, e in secondo luogo attraverso la realizzazione di progetti di *citizen science* o di formazione e collaborazione tra pari.

È presumibile, inoltre, che i cambiamenti climatici portino ad un aumento delle densità di individui all'interno delle buche ad elevata profondità. Questo perché l'estremizzazione dei fenomeni atmosferici e marini (ad esempio il forte e repentino aumento delle temperature degli specchi d'acqua poco profondi, che già è stato registrato negli ultimi anni in primavera) porterebbe i pesci ad aggregarsi sempre più nelle aree più profonde, alla ricerca di una stabilità non rinvenibile in altre aree lagunari.

Questo pattern porterebbe a pensare, in prima battuta, ad una maggiore densità (e quindi presenza) di pesci in laguna e potrebbe essere scambiato quindi per un fenomeno positivo, quale invece non è. Infatti, gran parte delle altre aree lagunari risulterebbero vuote, o quasi. Sempre in ottica di preservare la laguna e le sue caratteristiche di biodiversità, si può pensare di mantenere efficienti (e quindi ben scavate) le buche profonde della laguna, evitando che il trasporto mareale di sedimenti da altre aree in erosione ne riduca la profondità. Questo aspetto gioca un ruolo importante specialmente nel caso in cui si fosse costretti a ricorrere a chiusure frequenti e/o prolungate della laguna, in quanto anche la perdita di sedimenti attualmente in atto si placerebbe e potrebbe portare verso equilibri molto diversi da quelli attualmente monitorati.

Pertanto, si potrebbe considerare di attivare una manutenzione di una rete di aree profonde di limitata estensione spaziale e istituire dei 'corridoi biologici' lungo alcuni canali mareali lagunari. Queste zone, una volta individuate in accordo con la circolazione mareale e le altre realtà economiche che insistono sulla laguna, potranno essere sfruttate dai pesci sia come "aree rifugio" che come "aree di sosta" lungo il loro percorso stagionale dalle bocche di porto alla gronda lagunare e viceversa.

CONCLUSIONI

Nella laguna di Venezia le bocche di porto garantiscono la connettività mare-laguna. Con questo progetto è stato evidenziato come anche i canali più interni siano fondamentali per la distribuzione della biomassa.

Dire con certezza su quali aspetti del ciclo vitale dei pesci questi habitat particolari abbiano maggiore influenza è complesso, ma considerando le dimensioni dei target intercettati sembra ragionevole ammettere che le zone di canale e di “buca” possano favorire le migrazioni a scopo trofico e sociale, rappresentando l’importante estensione di quella rete di connessione tra ambiente marino e habitat di basso fondale su cui l’ecosistema lagunare trova fondamento e resilienza. Una laguna regolata, pertanto, dovrà confrontarsi anche con questioni riguardanti il mantenimento di alcuni *hot-spot* attualmente presenti, i quali potrebbero mutare sia in risposta alle modifiche delle ingressioni di marea e della circolazione delle correnti, sia alle conseguenze delle scelte gestionali potenzialmente anche drastiche che potrebbero rendersi necessarie per far fronte all’impatto sempre maggiore del cambiamento climatico sul livello del mare.

Inoltre, specialmente alla luce degli effetti del Covid-19, le indicazioni gestionali dovranno necessariamente comprendere l’interazione con tutti i gruppi di portatori di interesse. Come è emerso, infatti, i pescatori sportivi e dilettantistici frequentano zone a maggior concentrazione di biomassa e vi attingono con frequenze e abbondanze assolutamente rilevanti.

Attualmente nei piani gestionali esistono precisi vincoli, sia spaziali che temporali, indirizzati ai pescatori commerciali; essi, però, non interessano il comparto degli sportivi. Ne consegue che questi ultimi hanno accesso a spazi e risorse interdette alla pesca professionale, cosicché per alcune specie di interesse commerciale (come orata, mormora, branzino, cefalo e seppia) si verifica facilmente uno sbilanciamento a favore del paniere dei pescatori sportivi.

Queste considerazioni fanno emergere come sia importante, oltre che migliorare la conoscenza delle zone di passaggio e concentrazione delle popolazioni ittiche, migliorare anche il sistema di monitoraggio dei praticanti la pesca dilettantistica in laguna di Venezia, allo scopo di arrivare a una gestione che possa costruire sul dialogo tra gruppi diversi di *stakeholder* nuove traiettorie di sostenibilità.

Disseminazione dei risultati del progetto

Vista l'impossibilità di effettuare incontri in presenza, a causa delle restrizioni imposte dall'emergenza epidemiologica da COVID-19, le attività svolte e i risultati del progetto sono stati riassunti mediante la realizzazione di quattro video. I video sono stati caricati sulla piattaforma YouTube, in un canale dedicato al progetto visitabile all'indirizzo:

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/CHANNEL/UC6ZVXu-GEUdsNRhUHwSn8Q](https://www.youtube.com/channel/UC6ZVXu-GEUdsNRhUHwSn8Q).

I video saranno poi pubblicizzati sui mezzi social di Ateneo. Di seguito si riportano i link ai video realizzati.

Intervista al prof. Fabio Pranovi, responsabile scientifico del progetto (1' 39")

[HTTPS://YOUTU.BE/CFLXJF6UFZK](https://youtu.be/CFLXJF6UFZK)

Intervista al dott. Marco Anelli Monti, socio di GreenSea Soc. Coop. a cui è stato affidato il servizio di campionamento (2' 26")

[HTTPS://YOUTU.BE/TFTy7RHVvJ0](https://youtu.be/TFTy7RHVvJ0)

Intervista a Dionisio Crosera, pescatore artigianale (2' 16")

[HTTPS://YOUTU.BE/EWEVYiI-JRS](https://youtu.be/EWEVYiI-JRS)

Video riassuntivo delle attività svolte e dei risultati conseguiti dal progetto (4' 07")

[HTTPS://YOUTU.BE/903QOEMWTCl](https://youtu.be/903QOEMWTCl)

Bibliografia

- Beri, S., B. W. Patton, and V. A. Braithwaite. 2014. "How Ecology Shapes Prey Fish Cognition." *Behavioural Processes* 109 (PB): 190–94. <https://doi.org/10.1016/J.BEPROC.2014.09.020>.
- Brehmer, P, T Laugier, J Kantoussan, F Galgani, and D Mouillot. 2013. "Estuarine, Coastal and Shelf Science Does Coastal Lagoon Habitat Quality Affect Fish Growth Rate and Their Recruitment? Insights from Fishing and Acoustic Surveys" 126: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.011>.
- Brigolin, D., C. Facca, A. Franco, P. Franzoi, R. Pastres, A. Sfriso, M. Sigovini, et al. 2014. "Linking Food Web Functioning and Habitat Diversity for an Ecosystem Based Management: A Mediterranean Lagoon Case-Study." *Marine Environmental Research* 97: 58–66. <https://doi.org/10.1016/J.MARENVRES.2014.02.006>.
- Bshary, Redouan, and Culum Brown. 2014. "Fish Cognition." *Current Biology* 24 (19): R947–50. <https://doi.org/10.1016/J.CUB.2014.08.043>.
- Cavrarò, Francesco, Matteo Zucchetta, Stefano Malavasi, and Piero Franzoi. 2017. "Small Creeks in a Big Lagoon: The Importance of Marginal Habitats for Fish Populations." *Ecological Engineering* 99. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.045>.
- Ebbesson, L. O.E., and V. A. Braithwaite. 2012. "Environmental Effects on Fish Neural Plasticity and Cognition." *Journal of Fish Biology* 81 (7): 2151–74. <https://doi.org/10.1111/J.1095-8649.2012.03486.X>.
- Franzoi, Piero, Luca Scapin, Simone Redolfi Bristol, and Matteo Zucchetta. 2019. "Atti XVII Congresso Nazionale Associazione Italiana Ittiologi Acque Dolci-Roma It." *Italian Journal of Freshwater Ichthyology* 5 (1): 221–27.
- Gillanders, Bronwyn M. 2002. "Connectivity between Juvenile and Adult Fish Populations: Do Adults Remain near Their Recruitment Estuaries?" *Marine Ecology Progress Series* 240 (September): 215–23. <https://doi.org/10.3354/MEPS240215>.
- Jewell, Sarah A., David J. Walker, and André B. Fortunato. 2012. "Tidal Asymmetry in a Coastal Lagoon Subject to a Mixed Tidal Regime." *Geomorphology* 138 (1): 171–80. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2011.08.032>.
- Libralato, Simone, Alberto Caccin, and Fabio Pranovi. 2015. "Modeling Species Invasions Using Thermal and Trophic Niche Dynamics under Climate Change." *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2015.00029>.
- Pérez-Ruzafa, Angel, Francesca De Pascalis, Michol Ghezzi, Jhoni Ismael Quispe-Becerra, Raquel Hernández-García, Irene Muñoz, Carlos Vergara, Isabel María Pérez-Ruzafa, Georg Umgiesser, and Concepción Marcos. 2019. "Connectivity between Coastal Lagoons and Sea: Asymmetrical Effects on Assemblages' and Populations' Structure." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 216 (January): 171–86. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2018.02.031>.
- Pérez-Ruzafa, Angel, Isabel M. Pérez-Ruzafa, Alice Newton, and Concepción Marcos. 2019. "Coastal Lagoons:

Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity." *Coasts and Estuaries: The Future*, January, 253–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00015-0>.

Potter, Ian C., James R. Tweedley, Michael Elliott, and Alan K. Whitfield. 2015. "The Ways in Which Fish Use Estuaries: A Refinement and Expansion of the Guild Approach." *Fish and Fisheries* 16 (2): 230–39. <https://doi.org/10.1111/FAF.12050>.

Pranovi, F., A. Caccin, P. Franzoi, S. Malavasi, M. Zucchetta, and P. Torricelli. 2013. "Vulnerability of Artisanal Fisheries to Climate Change in the Venice Lagoon." *Journal of Fish Biology* 83 (4): 847–64. <https://doi.org/10.1111/jfb.12124>.

Sarretta, A., S. Pillon, E. Molinaroli, S. Guerzoni, and G. Fontolan. 2010. "Sediment Budget in the Lagoon of Venice, Italy." *Continental Shelf Research* 30 (8): 934–49. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2009.07.002>.

Sheaves, Marcus, Ronald Baker, Ivan Nagelkerken, and Rod M. Connolly. 2015. "True Value of Estuarine and Coastal Nurseries for Fish: Incorporating Complexity and Dynamics." *Estuaries and Coasts* 38 (2): 401–14. <https://doi.org/10.1007/S12237-014-9846-X>.

Shiganova, Tamara A, Ulrich Sommer, Jamileh Javidpour, Juan Carlos Molinero, T A Shiganova, U Sommer, J Javidpour, et al. 2019. "Patterns of Invasive Ctenophore Mnemiopsis Leidy Distribution and Variability in Different Recipient Environments of the Eurasian Seas: A Review Bottom-up Regulation of Phytoplankton in the Guadiana Estuary View Project EMBLAS View Project Patterns of Invasive Ctenophore Mnemiopsis Leidy Distribution and Variability in Different Recipient Environments of the Eurasian Seas: A Review." <https://doi.org/10.1016/j.marevres.2019.104791>.

Tirelli, Valentina, Paolo Paliaga, A Malej, V Tirelli, D Lučić, P Paliaga, M Vodopivec, et al. 2017. "Mnemiopsis Leidy in the Northern Adriatic: Here to Stay? 'Invasion of Alien Species in Holarctic. Borok-VI' View Project COCONET (Project Full Title: "Towards COast to COast NETworks of Marine Protected Areas (from the Shore to the High and Deep Sea), Coupled with Sea-Based Wind Energy Potential. " View Project Alenka Malej National Institute of Biology-Nacionalni Inštitut Za Biologijo Mnemiopsis Leidy in the Northern Adriatic: Here to Stay?" *Journal of Sea Research* 124: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.04.010>.