



RELAZIONE FINALE DEL PROGETTO

“SMART MOLLUSK FARM”

2/INA/19/AB

PO **FEAMP** 2014/2020

Regolamento (UE) n. 508/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 maggio 2014
relativo al Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca

PRIORITÀ 2

Favorire un'acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa,
competitiva e basata sulle conoscenze (OT 3, capo 2 del Regolamento (UE) n. 508/2014

AVVISO PUBBLICO

Misura 2.47

INNOVAZIONE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TERAMO



mipaaf
ministero delle politiche
agricole, alimentari e forestali



RELAZIONE FINALE DEL PROGETTO

“SMART MOLLUSK FARM”

2/INA/19/AB

PO **FEAMP** 2014/2020

**Regolamento (UE) n. 508/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 maggio 2014
relativo al Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca**

PRIORITÀ 2

Favorire un’acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa,
competitiva e basata sulle conoscenze (OT 3, capo 2 del Regolamento (UE) n. 508/2014

AVVISO PUBBLICO
Misura 2.47
INNOVAZIONE

Università degli Studi di Teramo- Facoltà di Medicina Veterinaria

Coordinamento scientifico generale

Prof. Pietro Giorgio Tiscar (Facoltà di Medicina Veterinaria)

Collaboratori:

Dr. Francesco Mosca

Drs. Laura Lanci

Teramo, lì

22/12/2021

Il coordinatore:



INDICE

INTRODUZIONE.....	6
IL MITILO MEDITERRANEO.....	7
Generalità tassonomiche.....	7
Morfologia.....	7
Riproduzione	9
Zona di distribuzione	10
La mitilicoltura in Italia	11
Impianti e tecniche di allevamento	15
AREE TERRITORIALI INTERESSATE DALLE ATTIVITÀ DI PROGETTO	18
Adriatica Offshore srl.....	18
Mitilmare srl.....	20
Silmar srl.....	22
IL PROGETTO SMART MOLLUSK FARM	24
Il monitoraggio ambientale	25
Parametri indagati e relativi aspetti biologici.....	25
Temperatura: distribuzione e misure.....	25
Salinità.....	29
Composizione chimica e classificazione degli elementi chimici.....	31
La produzione primaria.....	35
Gas in soluzione	39
Sostanze organiche disciolte e particellate	40
Il sistema di monitoraggio	41
La valvometria non invasiva	45
La valutazione dei parametri immunologici del mitilo	48
LE ATTIVITÀ PREVISTE	57
ATTIVITÀ 1. CONDIVISIONE DEI SISTEMI DI INNOVAZIONE	58
Introduzione.....	58
Materiali e metodi	58
Risultati	58
ATTIVITÀ 2. PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E MESSA A DIMORA DELLE ATTREZZATURE IN MARE	
Introduzione.....	62

Materiali e metodi	62
Risultati	63
Posizionamento dei sistemi di monitoraggio	63
Monitoraggio mediante biosensori	73
Calibrazione dei biosensori	76
Elementi descrittivi di benessere animale	78
 ATTIVITÀ 3. PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E MESSA A DIMORA DELLE ATTREZZATURE A TERRA	
Introduzione.....	80
Materiali e metodi	80
Risultati	84
Monitoraggio mediante biosensori presso CIMAR.....	84
 ATTIVITÀ 4. MONITORAGGIO DELLA FUNZIONALITÀ DELLE ATTREZZATURE A MARE E A TERRA	
Introduzione.....	88
Materiali e metodi	88
Risultati	93
Monitoraggi pregressi mediante dati satellitari	93
Salinità.....	93
Clorofilla	94
Fitoplancton	94
Ossigeno disciolto	95
Nitrati	95
Fosfati	96
Monitoraggi attuali e attività di aggiornamento dei mitilicoltori	97
Dati forniti dal Servizio Idrografico della Regione	99
Monitoraggio a mare mediante biosensori.....	102
Valutazione dei parametri immunologici a mare	105
Rilevazioni della sonda multiparametrica di Vasto	105
Misurazioni effettuate mediante correntometro	108
Rilevazioni della sonda multiparametrica di Giulianova	113
 ATTIVITÀ 5. AGGIORNAMENTO E RINFORZO DELLE COMPETENZE DEGLI OPERATORI END-USERS E MODALITÀ DI DIFFUSIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO	
Introduzione.....	115
Materiali e metodi	115
Risultati	116

Logo del progetto.....	116
Scheda del progetto	116
Brochure di progetto.....	116
Poster di progetto	120
Comunicazione mediante videoconferenze, interviste e presentazioni di progetto	120
Convegni.....	122
Videoconferenze	123
Seminari	124
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	125

INTRODUZIONE

Lungo la costa abruzzese, territorio dalle peculiari caratteristiche ambientali, culturali e socio-economiche, trova spazio la qualificazione di un prodotto organoletticamente particolare che riflette la notevole complessità ecosistemica ivi presente: il mitilo. I sistemi produttivi odierni di acquacoltura devono tendere verso lo studio e validazione di nuovi modelli ecosostenibili che consentano di ottenere una cosiddetta “*Blue Growth*”, ovvero una forma di sviluppo incentrata sulla sostenibilità, sull'utilizzo di nuove tecnologie, sulla ricerca di metodi alternativi finalizzati alla valorizzazione delle materie prime locali e sulla creazione di nuove possibilità di sviluppo economico e di occupazione. Il progetto Smart Mollusk Farm (PO FEAMP, 2/INA/19/AB), attraverso una serie di obiettivi perfettamente integrati con le richieste della Commissione europea in termini di *Crescita Blu*, pone le fondamenta per lo sviluppo dell'acquacoltura di precisione, basata sul monitoraggio in continuo dell'ambiente marino dell'allevamento da utilizzarsi in parallelo a parametri biologici degli animali allevati avendo il fine di fornire markers di benessere e qualità dei molluschi. L'approccio, in un'ottica “*animal based*”, si basa sull'identificazione e definizione di indicatori che possano rappresentare degli standard di riferimento in grado di configurarsi quali modelli predittivi di intervento in risposta ad eventuali stati di sofferenza o patologia degli animali. Il progetto mira a realizzare un innalzamento delle conoscenze e competenze relative all'elemento acquatico, favorendo l'impiego di innovazioni tecnologiche del settore e contribuendo in maniera essenziale all'approccio di filiera per una valorizzazione commerciale delle produzioni molluscoltore del territorio. Smart Mollusk Farm ha inoltre l'ambizione di porre la molluscoltura abruzzese quale struttura pilota nei termini di piattaforma produttrice di dati ambientali sulla quale Istituzioni di controllo e di ricerca nazionali ed internazionali possano svolgere le loro attività attraverso misurazioni in continuo dell'ambiente acquatico effettuate su tre siti di mitilocoltura posti al largo della costa abruzzese fornendo in parallelo elementi indispensabili per i livelli decisionali. All'Università degli Studi di Teramo (Leadpartner) si affiancano differenti partners: Royal Netherland Institute for Sea Research, Associazione Mediterranea Acquacoltori, Società Italiana Ricerca Applicata Molluscoltura, FLAG Costa blu e FLAG Costa dei Trabocchi. La presente relazione si compone di una parte compilativa a carattere esplicativo e di una parte operativa mirata a descrivere i risultati delle attività di progetto.

IL MITILO MEDITERRANEO

Generalità tassonomiche

Le generalità tassonomiche del mitilo mediterraneo vengono riportate nella tabella che segue.

Dominio	Eukaryota
Regno	Animalia
Sottoregno	Eumetazoa
Ramo	Bilateria
Superphylum	Protostomia
Phylum	Mollusca
Subphylum	Conchifera
Classe	Bivalvia
Ordine	Mytiloida
Famiglia	Mytilidae
Genere	<i>Mytilus</i>
Specie	<i>M. galloprovincialis</i>

Morfologia

M. galloprovincialis è un mollusco dotato di un rivestimento esterno rigido e protettivo: una conchiglia, liscia e allungata, con il margine superiore incurvato, composta di due valve convesse, articolate dorsalmente fra loro e unite da una fascia proteica elastica non calcificata, il legamento della cerniera, e da una coppia di muscoli, gli adduttori anteriore e posteriore che, agendo in antagonismo con il legamento e contraendosi, determinano la chiusura delle valve.

Queste, di colore nerastro o nero-violaceo, sono simmetriche, bombate, quasi triangolari, caratterizzate da linee concentriche di forma ovale e, all'interno, mostrano

riflessi madreperlacei, con possibili variazioni cromatiche in funzione del sesso e della fase del ciclo produttivo (Fig. 1). Il piede costituisce un'appendice muscolosa che consente di sondare la superficie ed effettuare piccoli spostamenti. Inoltre, da un incavo posto sul lato ventrale del piede, viene rilasciata una secrezione viscosa capace di solidificare a contatto con l'acqua: essa dà origine ai filamenti del bisso, costituiti da collagene e da particolari proteine di adesione che permettono al mitilo di aderire efficacemente a substrati duri.



Figura 1- Anatomia della conchiglia di *M. galloprovincialis*

Il mantello è sostanzialmente una lamina di tessuto connettivo, aderente alla superficie interna delle valve e fissato alla regione dorsale, che racchiude tutta la massa viscerale. Presenta un'ampia apertura inalante attraverso cui entra l'acqua e un orificio esalante da cui la espelle dopo aver captato l'ossigeno disciolto in essa e particelle alimentari. Le branchie o ctenidi sono composte da due emibranchie, ognuna delle quali presenta a sua volta due lamelle, una ascendente e una discendente, tenute assieme da giunzioni connettivali (forma a W). Le lamelle branchiali sono rivestite da un epitelio ciliato riccamente vascolarizzato che favorisce la corretta circolazione dell'acqua, necessaria sia per la filtrazione che per gli scambi respiratori. Le particelle in sospensione nell'ambiente acquoso vengono trattenute dalle ciglia e convogliate, tramite battito ciliare lungo un solco branchiale, verso i palpi labiali e alla bocca. Da

qui, le particelle giungono nello stomaco, dotato di sacco dello stilo e, al suo interno, dello stilo cristallino, dove sono racchiusi enzimi digestivi come amilasi, lipasi e cellulasi. Le particelle alimentari parzialmente digerite giungono nella ghiandola digestiva, che consiste in una serie di diverticoli comunicanti con lo stomaco. Infine, il materiale digerito viene trasportato nell'intestino fino a sboccare, tramite l'ano, nella cavità palmale in prossimità della corrente esalante.

L'apparato escretore consta di due nefridi di tipo metanefridiale, collocati sotto la cavità pericardica. I prodotti del catabolismo proteico sono rappresentati principalmente da ammoniaca e urea. L'apparato circolatorio è costituito da un sistema aperto a circolazione incompleta e mista. Posto dorsalmente, il cuore è composto da un ventricolo, il principale propulsore dell'emolinfa, e da due atri.

Riproduzione

Il sistema riproduttivo dei bivalvi è estremamente semplice. Le gonadi sono generalmente accoppiate, ma solitamente si trovano così vicine tra loro da essere piuttosto difficili da rilevare. Ognuna di esse consiste in poco più di un sistema di tubuli ramificati e i gameti gemmano dal tessuto del rivestimento epiteliale dei tubuli stessi. Questi ultimi si uniscono per formare condotti di calibro sempre maggiore per poi terminare in un breve gonodotto. Nella maggior parte dei bivalvi, i gonodotti si aprono all'interno della cavità del mantello per mezzo di pori indipendenti.

I mitili sono dioici, i sessi sono separati e la gonade si sviluppa all'interno della cavità del mantello. Nell'adulto di *M. edulis* il mantello contenente i gameti è tipicamente arancione negli individui femmine e bianco crema in quelli di sesso maschile (Gosling E., 2003). In particolare, esso cambia colore e aspetto in funzione dello stadio di maturità sessuale: spesso e di colore bianco-giallastro o avorio (riposo sessuale); disegno a rete (I e II stadio di maturità); massimo spessore e colorazione giallo-crema nei maschi e rosso-arancio nelle femmine (maturità sessuale ed emissione dei gameti). Sono presenti diversi stadi di sviluppo larvale, fino a quello in cui la larva simile all'adulto si fissa con il bisso. La maturità sessuale viene raggiunta a 5-8 mesi di età, dopo l'attaccamento al substrato e l'attività sessuale dura per l'intero arco della vita. La riproduzione è condizionata da fattori esogeni, come la temperatura, la dieta, la salinità e la luce e da fattori endogeni quali i cicli neuro-endocrini e il genotipo.

Zona di distribuzione

M. galloprovincialis vive su substrati duri della zona intertidale, dove può raggiungere anche profondità di 40 m, prevalentemente lungo le coste rocciose, in porti riparati ed estuari. L'areale autoctono è nel Mediterraneo (Barsotti e Meluzzi, 1968) e nell'Atlantico orientale, dall'Irlanda e dal Regno Unito (Gosling, 1992) all'Africa settentrionale (Comesana et al., 1998). Questa specie si trova anche sulla costa pacifica del Nord America (McDonald e Koehn, 1988), in Giappone (Wilkins et al., 1983), a Hong Kong (Lee and Morton, 1985), in Sudafrica (Grant and Cherry, 1985), in Cile (Hilbish et al., 2000; Gérard et al., 2008) e in Australia (Hilbish et al., 2000; Gérard et al., 2008). L'introduzione in queste regioni è indubbiamente dovuta alle attività umane, a meno che la cozza australiana autoctona non venga considerata a tutti gli effetti parte della specie *M. galloprovincialis* (McDonald et al., 1991; Daguin e Borsa, 2000; Gérard et al., 2008; Hilbish et al., 2000). Le introduzioni storiche sono probabilmente accidentali, nonostante l'acquacoltura possa fungere da fonte secondaria: si pensi ad esempio, al caso dello stato di Washington, dove *M. galloprovincialis* si è diffuso grazie alla navigazione, sostituendo il nativo *M. trossulus* in ragione della sua presunta maggiore resistenza alla neoplasia disseminata (Wonham, 2004).

Delinare l'esatta distribuzione del mitilo mediterraneo risulta piuttosto complicato, sia per via della mancanza di differenze morfologiche attendibili tra le diverse specie del genere *Mytilus*, sia per via dell'ibridazione. Ad esempio, in Francia, Bretagna e Irlanda, *M. galloprovincialis* è simpatico con *M. edulis*, il che comporta la generazione di incroci dei due (Gosling, 1992). Al di fuori del suo areale nativo comunque, il mitilo mediterraneo è ibridato con *M. trossulus* nel Pacifico (Rawson and Hilbish, 1995; Brannock et al., 2009). Inoltre, in Cile, Australia e Nuova Zelanda, vi è evidenza di due specie di mitili, una delle quali è *M. galloprovincialis* (Hilbish et al., 2000; Gérard et al., 2008), ma non è noto se essi abbiano dato origine a degli incroci. Il mitilo mediterraneo viene coltivato in Albania, Bulgaria (dove rappresenta una delle specie commerciali più importanti -- Merdzhanova et al., 2016), Cina, Croazia, Egitto, Francia, Grecia, Italia, Marocco, Portogallo, Federazione russa, Spagna, Sudafrica, Turchia, Ucraina, ex Jugoslavia (Hickman, 1992; FIGIS, 2005), Canada e Scozia (Beaumont, 2008).

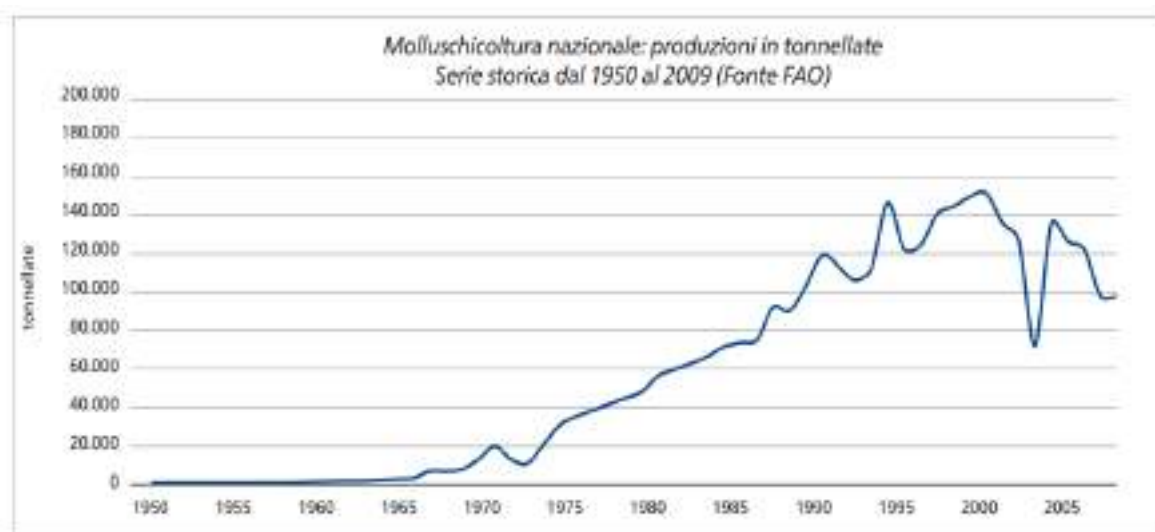


Figura 2- Distribuzione globale delle specie appartenenti al genere Mytilus.

La mitilicoltura in Italia

Con il termine “acquacoltura” si intende l’allevamento o la coltura di organismi acquatici che comporta l’impiego di tecniche finalizzate ad aumentare, al di là delle capacità naturali dell’ambiente, la produzione degli organismi acquatici in questione; questi rimangono di proprietà di una persona fisica o giuridica durante tutta la fase di allevamento o di coltura, compresa la raccolta; (*Reg. CE 1198/2006*). L’acquacoltura marina italiana ha radici molto antiche (*AA.VV., 2001*) ed è cresciuta come attività fortemente diversificata grazie all’elevata diversità ambientale che caratterizza il territorio (*Cataudella S., 2012*). Essa è infatti il risultato di una forte interazione tra potenzialità degli ambienti e capacità di trasformazione degli stessi da parte delle comunità locali e, in tempi più moderni, da parte delle imprese. In relazione al criterio dei segmenti produttivi, il settore dell’acquacoltura può essere distinto in quattro grandi comparti: piscicoltura, molluschicoltura, crostaceicoltura e alghicoltura. Tra questi, la molluschicoltura, basata sull’allevamento di molluschi sia in mare aperto che nelle aree

lagunari, riveste particolare importanza. In Fig. 3 sono riportati i valori delle produzioni totali annuali di molluschi a livello nazionale durante un arco temporale di 60 anni, dal 1950 al 2009, sulla base dei dati disponibili nella banca dati FAO. Nei primi cinque anni non si sono registrate produzioni di molluschi, molto probabilmente in ragione delle modeste quantità prodotte e della frammentazione delle realtà locali produttive che mal si adattavano alle procedure di censimento e stima del prodotto allevato. I primi dati produttivi sono riferiti al 1956, anno in cui si sono registrate le prime produzioni di



mitili di un certo interesse e da parte di imprese riconosciute a livello nazionale.

Tra la fine degli anni Cinquanta e la metà degli anni Novanta, si è osservata una costante e decisa crescita delle produzioni, in gran parte determinata dallo sviluppo di tecniche di allevamento flottante in mare aperto e all'avvio dell'allevamento e della diffusione in natura della vongola filippina (*Ruditapes philippinarum*) a partire dagli anni 1984-1985. Successivamente al 1995 le produzioni della molluschicoltura italiana fanno registrare valori fluttuanti di anno in anno e con una tendenza alla diminuzione dei valori complessivi. Nella figura 4, la produzione totale per anno è stata suddivisa per specie, il mitilo (*Mytilus galloprovincialis*) e le vongole veraci (*Tapes philippinarum* e *Tapes decussatus*); le scarse produzioni di ostriche (*Crassostrea spp.*), registrate

Figura 3- Produzione della molluschicoltura dal 1950 al 2009 (1950-2001: FAO, FishStat; 2002-2008: MiPAAF; 2009: Unimar, censimento in corso).

soprattutto nell'ultimo decennio, non consentono un'analisi storica approfondita.

Per i mitili la crescita tecnologica ha consentito lo sviluppo di pratiche colturali flottanti off-shore con conseguente incremento degli spazi produttivi. Si è quindi passati, nel corso degli anni Ottanta, dal sistema di allevamento fisso su pali, tipico di pochi ambienti lagunari o di tratti di mare costieri e riparati, a sistemi flottanti long-line del tipo monoventia o triestino, in grado di offrire un'elevata resistenza degli impianti agli eventi meteo marini, anche di forte intensità. La fascia adriatica riveste grande importanza nel settore, con una significativa distribuzione delle imprese tra il Golfo di Trieste a Nord e il Gargano a Sud. Lungo le altre aree costiere dello Ionio e del Tirreno, si osservano imprese concentrate in aree limitate protette sottocosta, quali il Mar Piccolo e Grande di Taranto, l'area di Pozzuoli, il Golfo di Gaeta e il Golfo di La Spezia. È evidente che le caratteristiche del fondale marino adriatico, poco profondo anche in aree offshore, ha consentito lo sviluppo della mitilicoltura flottante (long-line), mentre la ricchezza di ambienti salmastri dell'Alto e Medio Adriatico ha determinato lo sviluppo della venericoltura di fondo.



Figura 4- Produzione della molluschioltura suddivisa in mitili e vongole dal 1950 al 2009 (1950-2001: FAO - FishStat; 2002-2008: MiPAAF; 2009: Unimar, censimento in corso).

Le produzioni di mitili (figura 4) dopo il calo registrato nel biennio 2003-2004 determinato sia da particolari condizioni climatiche che da alcuni problemi sanitari del prodotto giovanile, evidenziano un trend in recupero dei quantitativi prodotti dal 2007 al 2008, attestato oltre le 70.000 t, pur con un calo registrato nel 2009 (60.982 t). Alcuni limiti nello sviluppo della molluschioltura sono legati alle difficoltà di ottenere concessioni demaniali, dal costo dei canoni, dalla qualità e salubrità degli ambienti acquatici interessati dall'allevamento e dagli aspetti normativi determinati dall'entrata in vigore del Pacchetto Igiene. Tra questi il reg. (CE) 178/2004 e i regg. (CE) 852/2004

– 853/2004 e 854/2004 possono aver condizionato e condizionare il prevedibile sviluppo delle imprese, e quindi delle produzioni, in relazione alla forte domanda di prodotto fresco nazionale, spesso soddisfatta con l’importazione di mitili prodotti in altri Paesi comunitari e non. Secondo l’ultimo annuario degli indicatori ambientali pubblicato dall’Ispra, nel 2018 l’Italia è il quarto produttore in Europa nel settore dell’acquacoltura, dopo Francia, Spagna e Grecia e contribuisce all’11% del volume di produzione dell’UE. Oltre il 60% della produzione è di molluschi bivalvi, mitili e vongole, allevati con tecniche estensive in aree marino costiere. L’indicatore “aziende in acquacoltura e produzione” stima la dimensione del settore in termini di numero di impianti attivi e produzioni. Distingue tre tipologie produttive – piscicoltura, crostaceicoltura, molluschi – e considera le produzioni complessive per le principali specie allevate. L’indicatore distingue il tipo di risorsa idrica utilizzata per l’allevamento (acqua dolce o salata/salmastra). Dalla fig. 5 emerge che la produzione italiana d’acquacoltura censita per il 2018 è stata di 152.534 tonnellate, di cui il 60,7 % di molluschi, il 39% di pesci e lo 0,01% di crostacei. Le produzioni d’acquacoltura nel periodo di riferimento 2013 – 2018 sono cresciute complessivamente dell’8,3%, con un trend su base annua dell’1,7%, in linea con le stime di crescita indicate dal MiPAAF nel Piano nazionale Strategico 2014-2020. Il settore della molluschiicoltura è quello che presenta più criticità e oscillazioni nei volumi di produzione e richiede azioni di supporto specifiche per ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici, migliorare la qualità ambientale nelle aree destinate alla vita dei molluschi e superare le difficoltà burocratico-amministrative nel rilascio e rinnovo delle concessioni demaniali marittime, criticità comune a tutti gli impianti di produzione di pesci e molluschi in zone marine.

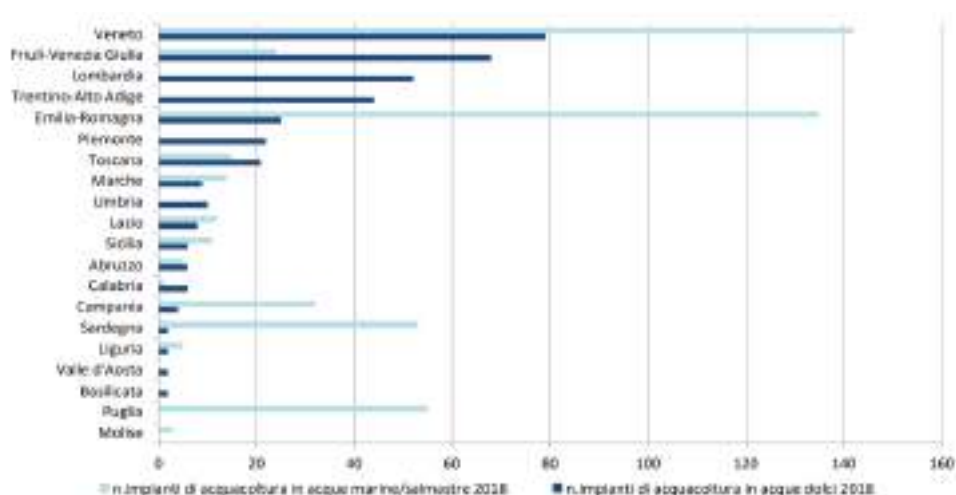


Figura 5- Aziende in acquacoltura e produzioni nell’anno 2018. Elaborazione ISPRA su dati MiPAAF, API, AMA.

Impianti e tecniche di allevamento

La mitilicoltura in Italia si caratterizza principalmente per i seguenti sistemi di produzione, a seconda che l'impianto sia situato in laguna o in mare aperto (*Unimar 2001, Bussani, 1983*):

1. Sistema a pali fissi
2. Sistema a filari galleggianti o long-line

Il sistema a pali fissi (Fig. 6) è tipico delle zone lagunari o costiere riparate dove la profondità si aggira tra i 5 e i 10 metri e le concessioni hanno dimensioni modeste (poche migliaia di metri quadrati). Per tale sistema non esiste un modulo standard di costruzione, poiché si diversificano in base alle tradizioni delle marinerie delle zone geografiche di riferimento. Generalmente consiste in una struttura formata da pali di legno di castagno o di cemento o di metallo, di diametro che varia dai 10 ai 35 cm, posizionati ad una profondità di 2 metri sotto il fondale ed emergenti per 1,5 metri dalla superficie. I pali sono collegati tra loro da cavi in acciaio o in poliestere su cui vengono poi appese le reste (reti tubolari in materiale plastico contenenti i mitili). A livello nazionale è possibile distinguerne due principali tipologie:

- “modulo a filare”, tipica delle lagune dell'Alto Adriatico, adatta a fondali bassi, formato da due file parallele di pali distanti uno dall'altro tra i 3 e i 5 metri per una lunghezza variabile tra i 25 e i 50 metri sulle quali è posizionata una trave a cui sono legate le reste dei mitili;
- “modulo a riquadro”, di derivazione tarantina, tipica del Sud Italia, dove le profondità dei fondali sono maggiori. È costituito da uno specchio d'acqua di forma quadrata o rettangolare di superficie tra i 500 e i 1000 m², lungo il perimetro del quale sono presenti dei pali posti a 5 metri di distanza uno dall'altro che sostengono le travi. La particolarità di questo modulo è che oltre ad un palo semplice verticale, sono presenti altri due pali disposti obliquamente con il ruolo di punti di attacco per le altre travi disposte in modo tale da formare le diagonali dell'impianto. Questo viene fatto con l'intento di rafforzare la struttura dell'impianto e aumentare la superficie di attacco delle reste. Queste strutture tipiche delle aree lagunari sono andate diminuendo nel tempo, per lasciare spazio allo sviluppo degli impianti off-shore.



Figura 6- Rappresentazione di un impianto a pali fissi. (Unimar, 2001)

Il sistema a filari galleggianti o long-line è il tipico impianto che si riscontra in mare aperto (off-shore), nonché quello adottato dai molluscoltori dei siti oggetto di monitoraggio (fig. 7). Essi sono collocati in zone con profondità variabile tra i 10 e i 30 metri lungo la fascia costiera e si configurano come concessioni marittime di dimensione che varia tra poche decine di ettari ad un massimo di 100 ettari, delimitate da una serie di boe dotate di segnale luminoso. I filari sono posizionati ad una profondità di 3-5 metri per ridurre le oscillazioni provocate dal moto ondoso. L'impianto è fissato al fondale grazie a dei blocchi di cemento, pietra o metallo chiamati "corpi morti" che hanno funzione di ancoraggio, ai quali sono agganciate delle funi chiamate travi o "ventie" in polipropilene o in poliestere, di lunghezza compresa tra i 100 e i 300 m. Le ventie di ogni modulo che forma l'impianto vengono chiamate "campate" e sono tenute in sospensione da una serie di apposite boe galleggianti in poliestere (gaviboa), poste a circa 40 metri l'una dall'altra sulla trave. Il numero di boe varia in base al peso del prodotto che la trave deve sostenere (ad esempio su una trave di lunghezza di 150 metri possono essere collocate da 6 a 60 boe). Quelle che delimitano il perimetro dell'impianto sono più grandi e più pesanti rispetto alle intermedie, e vengono chiamate "boe di testa". La distanza tra due moduli paralleli è di circa 20 metri. Le reste di mitili sono appese alla ventia e scendono perpendicolarmente in acqua. Le reste, nelle quali vengono inseriti i mitili, sono costituite da reti tubolari in polipropilene dette "calze" e lunghe tra i 2 e i 4 metri, dotate di maglie di dimensioni adeguate alla taglia

degli animali (più piccole quando viene inserito il seme, più larghe quando viene fatto il reinalzo).

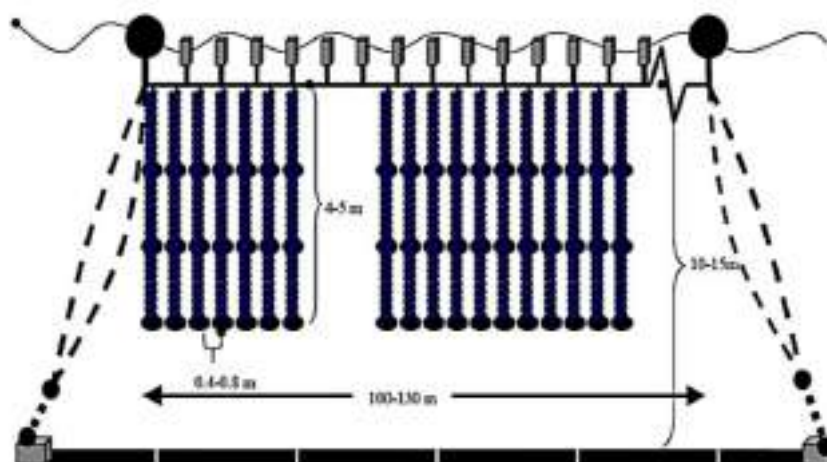


Figura 7- Rappresentazione schematica di un impianto long-line. (Gavine F. e McKinnon L., 2002)

Esse sono in genere posizionate ad una distanza di 50 cm l'una dall'altra. Il numero delle ventie in sospensione può variare da uno (sistema long-line monoventia, praticato lungo il litorale veneto e rappresentato in fig. 16) a tre (sistema long-line bi/triventia, detto anche “triestino”, perché diffuso nel Golfo di Trieste nel Friuli-Venezia Giulia, rappresentato in fig. 8). La differenza principale tra i due sistemi è che nel monoventia il cavo è mantenuto in profondità a 2-5 m, perché si tratta di impianti diffusi in aree esposte a forti correnti, mentre nel sistema triestino la ventia è posizionata in prossimità della superficie.

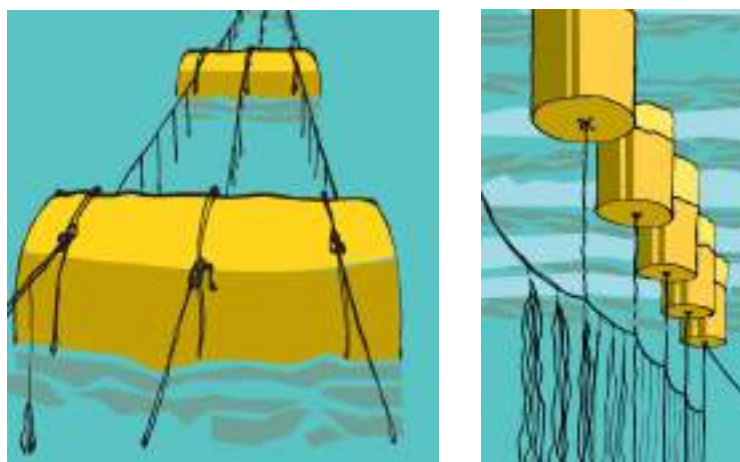


Figura 8- Rappresentazione schematica dei sistemi long-line monoventia e bi-triventia (triestino).

AREE TERRITORIALI INTERESSATE DALLE ATTIVITÀ DI PROGETTO

Adriatica Offshore srl

La concessione descrive un cerchio, di circa 350 m di raggio, il cui centro è il punto A con le seguenti coordinate geografiche:

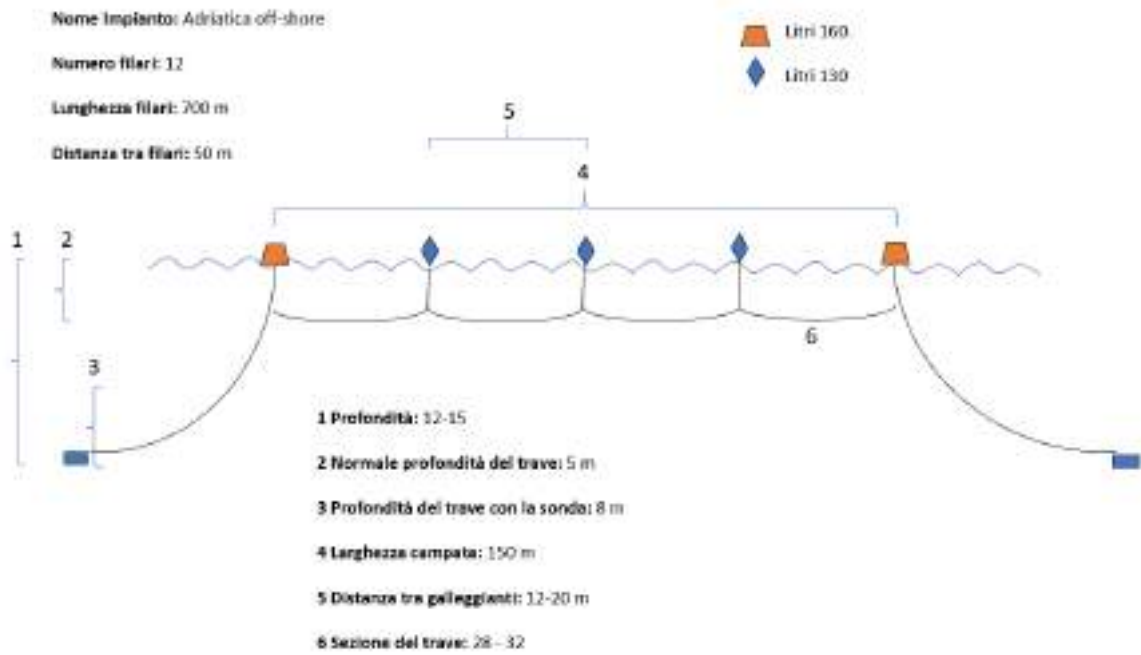
1. A: Lat. 42°48'30''N e Long. 14°00'00''E

L'impianto si trova nei pressi del porto di Giulianova, nel Compartimento Marittimo di Pescara e si caratterizza per l'allevamento di mitili realizzato sia con il sistema 'long-line' flottante, sia con strutture di cemento appoggiate sul fondale marino. Nell'area è vietato il transito, la pesca, l'ancoraggio e qualsiasi altra attività a qualunque natante, imbarcazione e nave. La produzione annua stimata è di circa 144 tonnellate.



Tratto da EcoSeagis Abruzzo

La struttura dell'impianto è riportata nella figura seguente.

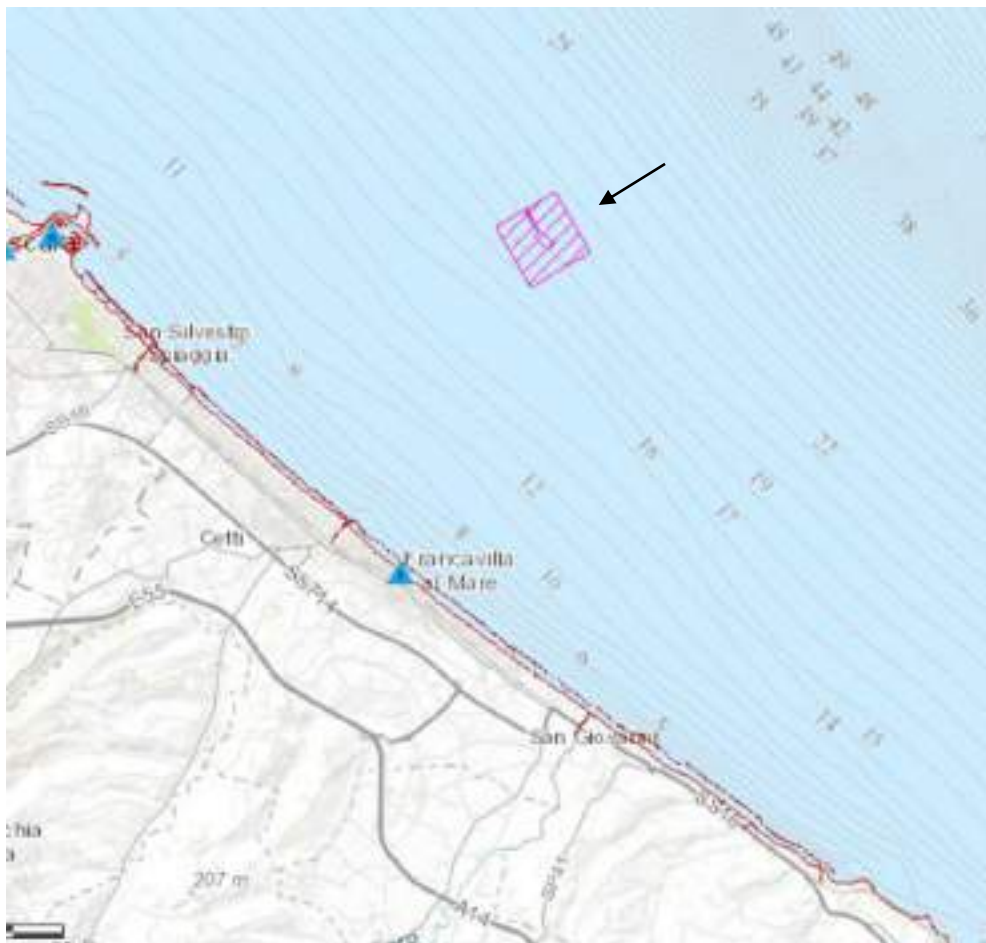


Mitilmare srl

La concessione descrive un poligono, di cui A, B, C, D sono i vertici con le seguenti coordinate geografiche:

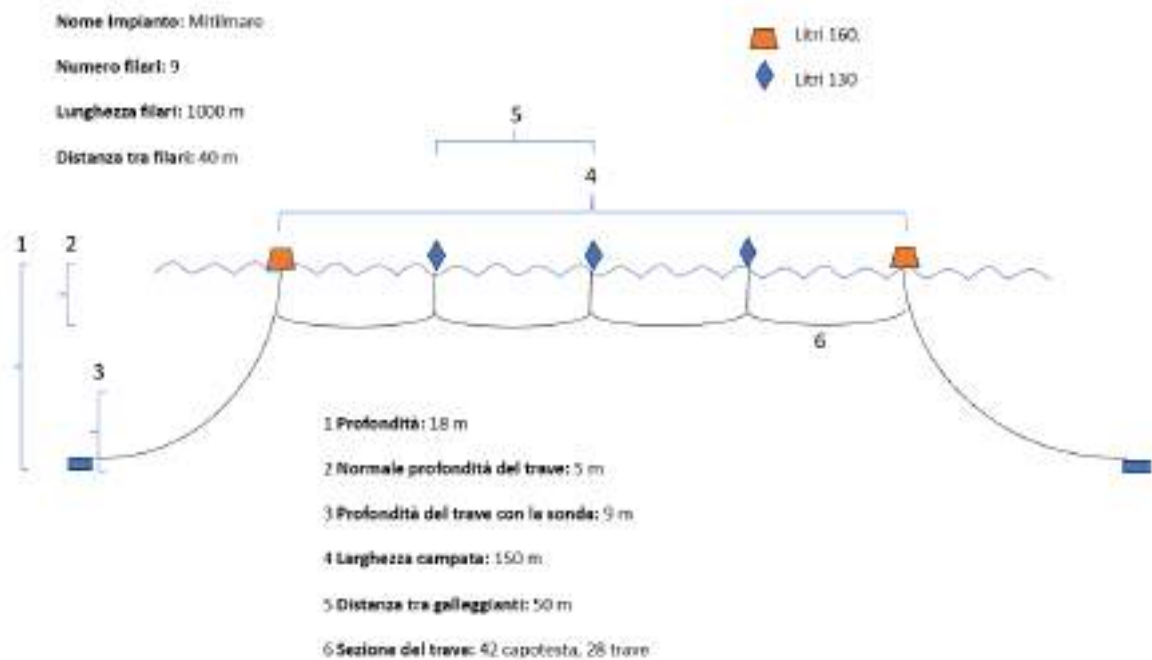
1. A: Lat. 42°28'37''N e Long. 14°18'37''E
2. B: Lat. 42°28'21''N e Long. 14°19'17''E
3. C: Lat. 42°27'52''N e Long. 14°19'40''E
4. D: Lat. 42°27'34''N e Long. 14°19'01''E

L'impianto, di tipo long-line, si trova al confine tra il Compartimento Marittimo di Ortona e quello di Pescara, a circa 3 miglia dalla costa, in prossimità della piattaforma Poseidonia. Nell'area è vietato il transito, la pesca, l'ancoraggio e qualsiasi altra attività a qualunque natante, imbarcazione e nave. La produzione annua stimata è di circa 500 tonnellate.



Tratto da EcoSeagis Abruzzo

La struttura dell'impianto è riportata nella figura seguente.

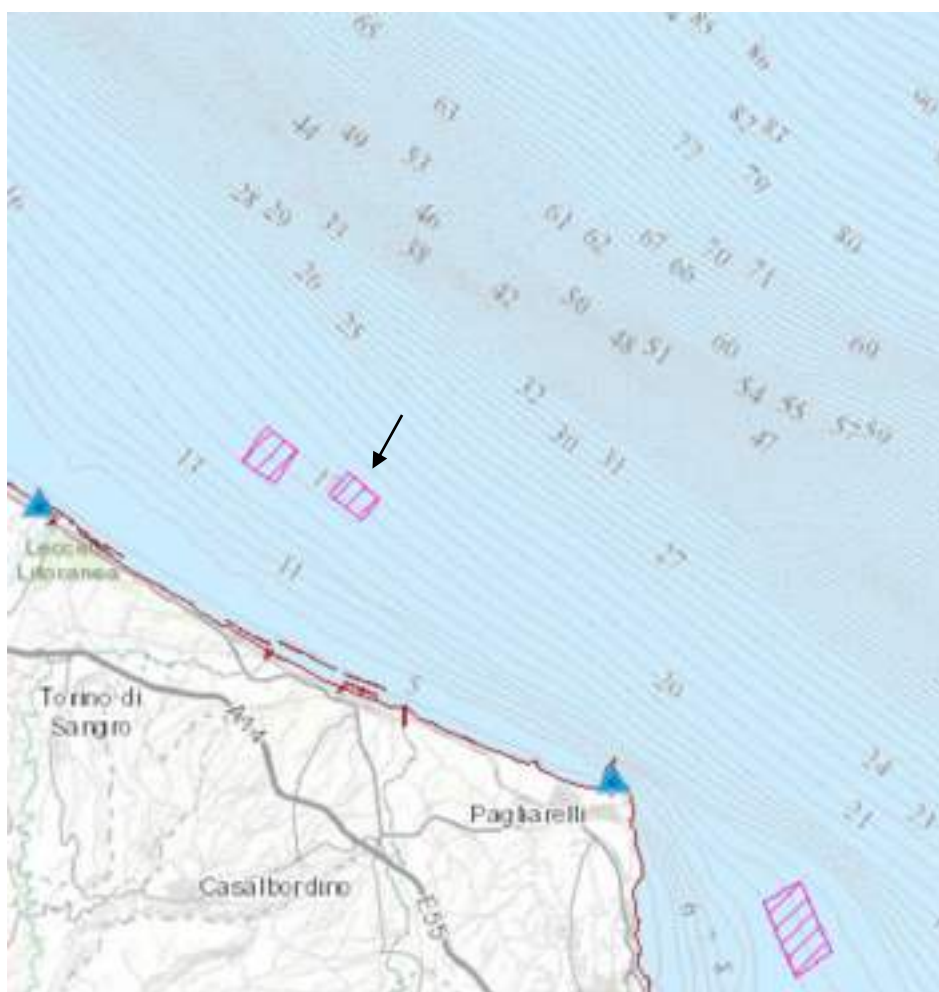


Silmar srl

La sede dell'impianto di mitilicoltura Silmar Srl, rappresentata in fig. 20, corrisponde allo specchio acqueo antistante la costa del Comune di Casalbordino, compreso tra il Porto di Punta Penna di Vasto e la foce del fiume Sangro. Esso possiede forma rettangolare e dimensioni di mt. 1000 X mt. 700 ed è delimitato dalle seguenti coordinate:

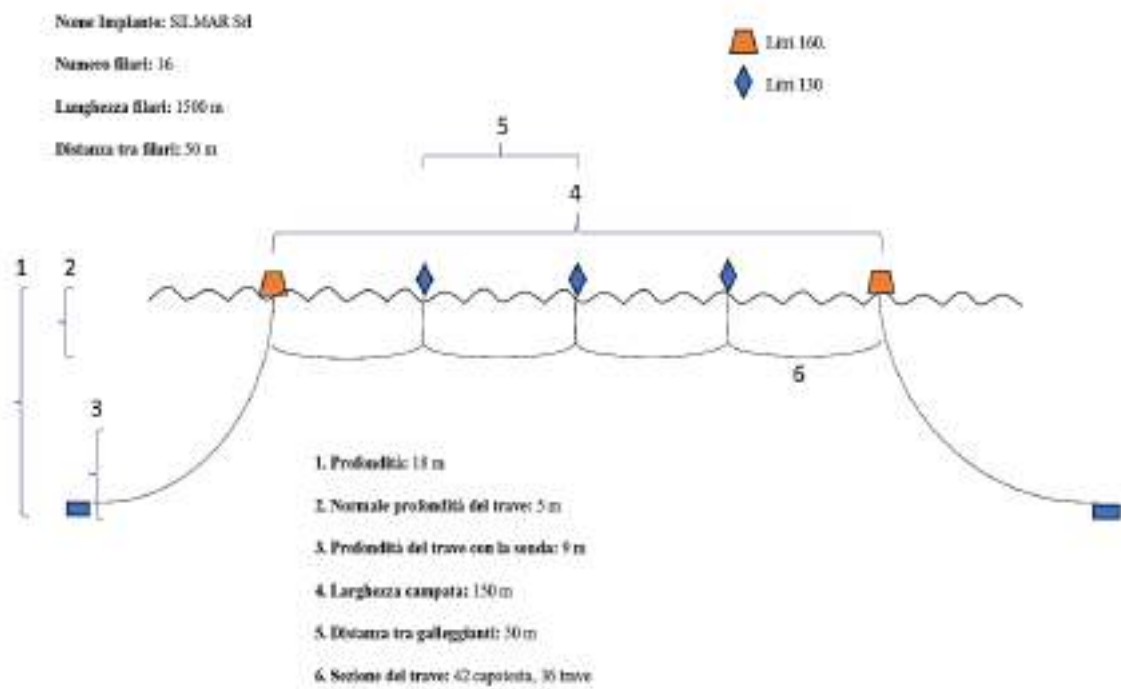
- Vertice "B" lato mare - Lat. 42° 14' 42'' N – Long. 014° 37' 51'' E
- Vertice "D" lato terra - Lat. 42° 14' 03'' N – Long. 014° 38' 06'' E
- Vertice "C" lato mare - Lat. 42° 14' 21'' N – Long. 014° 38' 24'' E
- Vertice "A" lato terra - Lat. 42° 14' 24'' N – Long. 014° 37' 30'' E

L'impianto si caratterizza per l'allevamento di mitili realizzato con il sistema "long-line" flottante. Nell'area è vietato il transito, la pesca, l'ancoraggio e qualsiasi altra attività a qualunque natante, imbarcazione e nave.



Tratto da EcoSeagis Abruzzo

La struttura dell'impianto è riportata nella figura seguente.



IL PROGETTO SMART MOLLUSK FARM

La molluschicoltura permette di ottenere prodotti dall'elevato valore nutrizionale e dal ridotto impatto ambientale, poiché basata sulla gestione delle risorse naturali. Il ciclo produttivo è infatti molto semplice e prevede la raccolta delle larve giovanili in mare, le fasi di alimentazione e accrescimento mediante alghe e microrganismi naturalmente presenti nell'ambiente marino, la raccolta e la vendita. Tale attività, inoltre, si caratterizza per le interessanti potenzialità di ottimizzazione di processi e prodotti, con ampi margini di miglioramento. Per queste ragioni, la Commissione europea ha inserito nel programma Europa 2020 una serie di strategie con l'obiettivo di incrementare la produzione di molluschi bivalvi fino a 680.000 tonnellate entro il 2020. Particolare attenzione è stata posta al recupero di strutture dismesse e alla costruzione di nuovi impianti off-shore su long-line sommersi (che permettono di ridurre i danni dovuti alle mareggiate, e l'impatto visivo degli stessi allevamenti), all'incremento della produttività grazie all'impiego di tecniche innovative (*Smart farm*), alla riduzione dell'impatto ambientale con utilizzo di materiali eco-compatibili o riciclabili (riduzione delle materie plastiche) e al ricorso a nuove tecnologie per la raccolta di informazioni ambientali utili sia per conoscere le caratteristiche fisico-chimiche delle acque, sia per la prevenzione e la mitigazione dei danni economici derivati da eventi climatici avversi.

Il sistema di molluschicoltura attuale, basato sull'esecuzione prevalentemente manuale delle operazioni di ciascuna fase di allevamento e su sistemi decisionali soggettivi e spesso obsoleti, non consente il controllo delle variabili ambientali e non permette la standardizzazione del processo. In tal senso, la molluschicoltura di precisione rappresenta un sistema di ottimizzazione delle dinamiche e dei processi di allevamento applicato ai bivalvi. Tale modello mira a migliorare l'accuratezza, la precisione e la ripetibilità delle operazioni condotte dai mitilicoltori attraverso il monitoraggio in continuo delle variabili ambientali circostanti la specie allevata. Ciò consente di incrementare l'affidabilità delle decisioni prese, riducendo il ricorso a valutazioni soggettive ed empiriche, migliorando al contempo il benessere degli animali e, conseguentemente, la produttività dell'allevamento. La "Smart Farm" è quindi un sistema di "allevamento intelligente" che riconosce come fondamento l'osservazione e l'elaborazione delle risposte biologiche delle specie allevate allo scopo di attuare decisioni adeguate.

Il monitoraggio ambientale

I fattori fisici e chimici, che costituiscono nel loro insieme i fattori abiotici, sono di più facile e preciso rilevamento rispetto a quelli biotici, che coinvolgono tutta una serie di fenomeni estremamente complessi e metodi di misura molto diversi a seconda delle varie situazioni. I principali parametri fisico-chimici dell'ambiente marino sono la temperatura, la salinità, la viscosità, la densità, la penetrazione della luce e la pressione idrostatica.

L'acqua di mare si configura come una soluzione complessa con una concentrazione media di 35 g/kg di sali disciolti. Sono presenti in soluzione, in varia percentuale, anche i gas dell'atmosfera e quantità molto piccole di sostanze organiche. A causa dei sali disciolti alcune sue proprietà differiscono sostanzialmente da quelle dell'acqua pura. Infatti, le caratteristiche fisiche che nell'acqua distillata dipendono solo da temperatura e pressione, nell'acqua di mare sono condizionate anche dal contenuto totale in sali, comunemente chiamato salinità. In generale, la soluzione di acqua di mare può essere appena approssimata ad una soluzione di NaCl e sono disponibili delle espressioni empiriche per calcolarne le proprietà fondamentali, ma sia le trattazioni teoriche sia i dati fondamentali per una completa definizione dell'equazione di stato dell'acqua di mare non sono ancora disponibili. È comunque sufficiente ricordare che gli effetti più importanti dei sali disciolti sono quelli di diminuire il punto di congelamento e quello relativo al massimo di densità. Questa condizione si verifica perché i sali disciolti impediscono la formazione di gruppi ordinati di molecole sicché la densità è controllata esclusivamente dagli effetti dell'espansione termica. Vengono qui di seguito riportati alcuni aspetti fondamentali circa i principali parametri oggetto del monitoraggio.

Parametri indagati e relativi aspetti biologici

Temperatura: distribuzione e misure

La radiazione elettromagnetica proveniente dal sole possiede un ampio spettro di frequenze. Durante l'attraversamento dell'atmosfera viene assorbita energia in varie bande di frequenza. Esprimendo i valori dell'energia radiante in $\text{Cal/cm}^2/\text{min}$ (su 24 ore giornaliere) la quantità di energia che raggiunge la parte superiore dell'atmosfera nell'emisfero illuminato è di circa 0,5. Di questa, il 50% viene assorbita dall'atmosfera stessa, sicché il totale che giunge alla superficie del mare e del suolo è

approssimativamente $0,25 \text{ Cal/cm}^2/\text{min}$. Questa quantità sarebbe sufficiente a far aumentare la temperatura del primo metro d'acqua di oltre 3 C° al giorno se non intervenisse il mescolamento superficiale che trasferisce parte del calore assorbito negli strati sottostanti. Questo meccanismo, assieme all'elevata capacità termica dell'acqua di mare, impedisce le forti escursioni di temperatura che si osservano al suolo fra giorno e notte. In effetti, la luce solare non penetra molto in profondità. Nelle acque oceaniche più limpide e trasparenti, il 99% di essa viene assorbito nei primi 100-150 m. Gli scambi di calore si verificano nello strato superficiale e l'oceano può essere considerato un sistema inefficiente da un punto di vista termodinamico. Il bilancio termico della superficie degli oceani è espresso dall'equazione:

$$[Q_s + Q_c] - [Q_r + Q_e + Q_h] = Q_t$$

Dove con Q_t viene indicato il tasso termico, con Q_s il guadagno di calore della radiazione solare, con Q_c il guadagno o la perdita per il mescolamento dovuto alle correnti oceaniche, con Q_r la perdita di calore per restituzione verso lo spazio, con Q_e la perdita di calore per evaporazione e con Q_h la perdita di calore per conduzione nell'atmosfera. Se il tasso netto Q_t risulta positivo la temperatura è in aumento, se è negativo si sta verificando il raffreddamento della massa d'acqua, se è nullo la temperatura rimarrà costante. La perdita di calore dalla superficie oceanica continua giorno e notte e in tutte le stagioni attraverso tre processi fondamentali:

1. La radiazione verso lo spazio, a cui contribuisce la riflessione o albedo che per il mare è molto piccola (fino al 3% della radiazione incidente), mentre sui suoli è molto elevata (fino al 90% per la neve)
2. L'evaporazione dell'acqua
3. Il riscaldamento dell'atmosfera

In conclusione, circa il 40% dell'insolazione ricevuta dagli oceani viene restituita allo spazio; poco più della metà del raffreddamento è imputabile all'evaporazione dell'acqua. Il calore latente di evaporazione sottratto alla superficie durante tale processo viene restituito all'atmosfera quando il vapore d'acqua si condensa in pioggia o neve negli strati superiori di essa. Infine, una piccola parte del calore viene trasferito per conduzione all'atmosfera che si riscalda, almeno negli strati più bassi. Generalmente la superficie dell'acqua oceanica è più calda di circa 1°C rispetto allo strato d'aria al suo

contatto. A causa della circolazione oceanica e del conseguente mescolamento delle acque, gli effetti delle condizioni climatiche del pianeta si distribuiscono e si mediano a livello regionale e planetario. Gli strati superficiali del mare sono quelli soggetti alle più ampie variazioni termiche stagionali, particolarmente nelle zone temperate, ma al di sotto di 150-200 m dalla superficie si estinguono gli effetti diretti dell'irraggiamento solare e il campo termico dopo i 1000 m risulta praticamente costante. La temperatura in superficie, oltre a variare nell'ambito della stessa giornata, dipende ovviamente dall'alternarsi delle stagioni, dalla vicinanza dei blocchi continentali, dall'azione del vento e delle correnti, dalla nuvolosità e, in genere, da tutti i fattori climatici che interferiscono con l'irraggiamento solare. La distribuzione della temperatura con la profondità è dipendente dalla morfologia del bacino oceanico e dalla circolazione profonda che può determinare la presenza di acque molto fredde anche a basse latitudini o di acque più calde nel Mediterraneo rispetto alle stesse quote dell'adiacente oceano Atlantico. Di norma, al di sotto dello strato superficiale, la temperatura dell'acqua tende a diminuire con la profondità fino a raggiungere una condizione di omotermia in tutti i bacini oceanici. Tale andamento non è comunque generalizzato perché in taluni bacini si verificano delle inversioni imputabili all'intrusione di corpi d'acqua più freddi di origine polare, o più caldi di origine equatoriale, che modificano il normale profilo verticale della temperatura. In ogni caso, gli strati superficiali del mare, ad eccezione delle zone polari, sono mediamente più caldi delle acque sottostanti ed esercitano una forte influenza sul clima mitigando la temperatura dell'aria.

Come conseguenza del riscaldamento della superficie oceanica si origina una struttura termica di tre strati: uno strato superficiale mescolato, dove il calore dovuto all'irraggiamento solare si trasmette in profondità a causa del rimescolamento procurato dai venti; una di transizione, nella quale la temperatura diminuisce in modo repentino (termoclino permanente) e una zona profonda, dove la temperatura si mantiene relativamente costante, intorno ai 2-3 C°, all'aumentare della profondità. Qui l'effetto della pressione idrostatica influenza la temperatura che assume *in situ* valori di qualche grado superiori a quelli che avrebbe se venisse portata adiabaticamente in superficie: questa temperatura ideale, in assenza degli effetti di pressione, viene chiamata temperatura potenziale. Nei mari temperati, come ad esempio nel Mediterraneo, durante i mesi estivi si forma un termoclino stagionale, vicino alla superficie, tra i 25 e i 40 m, che scompare durante l'inverno. La sua importanza per i processi biologici è enorme. La

presenza di un forte gradiente di temperatura in pochi metri della colonna d'acqua e immediatamente al di sotto dello strato superficiale mescolato, dal luogo anche a forti incrementi di densità (picnoclino) che, in definitiva, costituiscono uno sbarramento per la diffusione dei nutrienti e per i movimenti verticali del plancton con conseguenze rilevanti per i fenomeni biologici degli strati superficiali del mare.

La temperatura costituisce una delle più importanti proprietà delle acque marine e la sua corretta misura ha rappresentato uno dei problemi più ardui dell'oceanografia applicata. Infatti, piccole differenze termiche fra gli strati possono influenzare la stabilità delle masse d'acqua, il loro movimento e la loro caratterizzazione. Per misure in superficie non esistono particolari difficoltà e la precisione è dipendente dalle caratteristiche del termometro. Le misure in profondità hanno costituito un serio problema pratico a causa delle alterazioni dovute alla risalita degli strumenti o dei campioni d'acqua da quote profonde attraverso strati più caldi o più freddi, mentre la necessità di conoscere il valore della temperatura fino al centesimo di grado ha fatto abbandonare, nella seconda metà del secolo scorso, tutti i tentativi che sfruttavano l'elevata capacità tecnica sia dell'acqua di mare che di corpi cattivi conduttori di calore. Negli ultimi anni sono stati posti in commercio dei termometri elettronici che bloccano la temperatura misurata in situ con una precisione migliore del centesimo di grado. Il principio di misura utilizza i termistori, costituiti da semiconduttori metallici opportunamente trattati in cilindretti o dischetti sistemati attorno a due elettrodi metallici che trasmettono il segnale. In pratica, si misura la variazione della resistenza elettrica di un corpo al variare della temperatura.

La misura della temperatura mediante telerilevamento da satellite e da aeromobile consente di ottenere visioni sinottiche di tratti di mare ampi anche centinaia di chilometri quadrati. Per il telerilevamento vengono utilizzati strumenti elettronici ed ottici in grado di eseguire la scomposizione spettrale dalle radiazioni emesse dalla superficie del mare, di sfruttare solo talune bande e di registrarne l'energia. Tali radiazioni nel campo dell'infrarosso sono in funzione della temperatura dei corpi che le emettono. Il rilevamento può venire effettuato da satelliti e l'esplorazione attiva della superficie del mare viene ottenuta inviando una radiazione di opportuna lunghezza d'onda e registrando quella riflessa o assorbita. Le misure ottenute sono semiquantitative ed evidenziano differenze termiche fra le aree più calde o più fredde. Per ricavare i valori di temperatura con entrambi i sistemi è necessario effettuare, in

concomitanza del passaggio del satellite, misure puntuali di temperatura superficiale (verità mare) da inserire nei propri programmi di calcolo per l'elaborazione delle immagini finali. Queste misure sono di grande importanza perché consentono di fotografare su grande scala gli spostamenti delle masse d'acqua a diversa temperatura, di individuare i fronti termici e di studiare le correnti superficiali.

Nel mare Adriatico, la temperatura presenta marcate fluttuazioni stagionali a causa della bassa profondità media, della latitudine e dell'afflusso di acque fluviali, determinando non solo una modificazione delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua stessa, ma influenzando in maniera sostanziale la vita degli organismi acquatici.

Salinità

Il termine salinità indica sostanzialmente il contenuto, espresso in grammi, di sali disciolti per kg di acqua di mare (viene usata l'unità di peso e non di volume perché quest'ultimo è più dipendente dalla temperatura di quanto il peso non lo sia dall'accelerazione di gravità). Tuttavia, correntemente è utilizzato il simbolo percentuale in rapporto alla definizione di salinità e al tipo di misura. Nel 1978 è stata introdotta “the Practical Salinity Scale” (PSS78), una scala derivata da una serie di misure che legano la salinità di un campione di acqua di mare con la sua conducibilità elettrica e quella di uno standard di conducibilità nota a condizioni definite di temperatura (15 C°). pertanto, trattandosi di un rapporto, formalmente la salinità è un numero adimensionale.

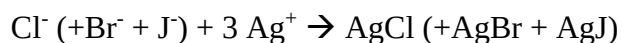
La distribuzione della salinità sulla superficie degli oceani presenta un andamento quasi simmetrico nei due emisferi. Le salinità più elevate (36-37) si osservano intorno a 20-30 °C di latitudine (Nord e Sud) in concomitanza delle zone di massima evaporazione, corrispondenti alle aree desertiche dei continenti. Nelle aree equatoriali la salinità è minore (35) e, procedendo verso latitudini più alte, la salinità decresce ulteriormente, in modo particolare nell'emisfero boreale. Anche nelle zone costiere la salinità è generalmente più bassa per via degli apporti fluviali, ma può aumentare per l'azione dei venti che favoriscono l'evaporazione o l'affioramento di acque profonde più salate (upwelling). In conclusione, le variazioni di salinità sono imputabili all'evaporazione, agli apporti fluviali e alle precipitazioni.

La salinità media per tutte le acque oceaniche può considerarsi intorno a 35 ma esistono mari, generalmente caratterizzati da modeste comunicazioni con gli oceani adiacenti, in cui si raggiungono valori di 39-40 (Mar Mediterraneo) o più, come in Mar Rosso, e “mari diluiti” con salinità di 15 (Mar Baltico) con punte minime fino a 2 nel Golfo di Botnia. In generale, la salinità aumenta con la profondità, talvolta con un forte gradiente (alocline, termine analogo a termocline) che gioca anch'esso un ruolo notevole per gli organismi marini. Inversioni di salinità possono verificarsi in rapporto all' affondamento di acque più salate e più dense e alla loro intrusione per azione delle correnti profonde in corpi d'acqua con caratteristiche chimico-fisiche diverse.

La determinazione della salinità, fino agli anni '60, veniva universalmente effettuata mediante un metodo chimico standard, il metodo di Knudsen, che prevedeva il dosaggio degli alogeni, su 15 mL di acqua di mare, per via argentometrica. Il procedimento analitico è semplice e veloce e ha una buona accuratezza. Il metodo si basa sulla cosiddetta “legge della costanza dei rapporti ionici dei maggiori costituenti”, secondo la quale, determinando uno di essi, il cloro (come Cl), si può calcolare il contenuto totale in solidi disciolti mediante una relazione empirica che lega la salinità espressa in g/kg (‰) e il contenuto in cloruri:

$$S_{\text{‰}} = 1,80655 \text{ Cl}_{\text{‰}}$$

Dove Cl‰ per rappresenta la clorinità del campione, definita come la concentrazione dei cloruri in acqua di mare, in g/kg, quando bromuri e ioduri siano stati sostituiti da cloruri. La standardizzazione di AgNO₃ viene effettuata per titolazione con acqua di mare standard (*Standard Sea Water*) a clorinità e salinità (35‰) note, preparata in un laboratorio che esplica tale servizio e invia gli standard in tutto il mondo. In definitiva, la clorinità viene misurata per titolazione:



e la salinità viene calcolata dall'equazione precedente o mediante tabelle. La validità di questo metodo, applicabile essenzialmente in acque oceaniche è però discutibile per acque marine a salinità molto diverse da 35 e per quelle salmastre nelle quali rapporti ionici fra i maggiori costituenti non siano costanti. D'altra parte, le determinazioni gravimetriche, dopo evaporazione al residuo secco, risultano difficoltose e imprecise a causa della decomposizione a caldo di taluni sali e della formazione di fumi di HCl. Pertanto, a partire dalla fine degli anni '60, con il miglioramento della strumentazione

elettronica, la determinazione viene effettuata attraverso misure di conducibilità elettrica. Il principio del metodo prevede il confronto, in celle termostate, della conducibilità del campione con quella di una soluzione di KCl a conducibilità perfettamente nota:

$$k_{15} = \frac{\text{Conducibilità del campione}}{\text{Conducibilità della soluzione standard}}$$

A 15 °C e 1 atm di pressione. Dal rapporto di conducibilità si ricava la salinità mediante una serie di equazioni. Queste definiscono la cosiddetta “salinità pratica” (PSS 78) dell'acqua di mare che, come visto, non ha dimensioni.

Nel caso del Mar Adriatico, le variazioni di salinità dipendono soprattutto dagli apporti di acque dolci in superficie provenienti principalmente dalla zona Settentrionale e all'ingresso di correnti di fondo di acque più salate dal bacino Meridionale.

Composizione chimica e classificazione degli elementi chimici

Le sostanze più comuni disciolte in acqua di mare sono i sali inorganici. Approssimativamente, la “soluzione acqua di mare” contiene 0,5 moli di NaCl, 0,05 moli di MgSO₄, molte altre sostanze inorganiche e tracce di composti organici. La condizione che più nettamente fornisce un'idea della complessità dell'acqua di mare dal punto di vista chimico consiste nel fatto che gli elementi presenti (fino ad oggi sui 92 elementi naturali, circa 80 sono stati riscontrati nell'acqua marina e gli altri saranno sicuramente determinati al progredire delle tecniche analitiche) possiedono delle concentrazioni che vanno da un massimo di 19,510³ (cloro) a un minimo di 610⁻¹⁶ mg/l (Radon) con un'escursione di 20 ordini di grandezza. Una tale distribuzione è la risultante dei continui dilavamenti delle terre emerse, dell'azione vulcanica, particolarmente attiva nelle dorsali oceaniche ai primordi del nostro pianeta, e di una serie di complessi equilibri e reazioni tra gli elementi presenti da quando l'acqua limpida ha cominciato ad invadere i bacini oceanici primordiali circa quattro miliardi di anni fa. La composizione chimica di questi oceani all'inizio della storia della terra è stata certamente diversa da quella odierna. Probabilmente il sistema carbonato-bicarbonato era fortemente sbilanciato verso questi ultimi mentre i solfati dovevano avere una concentrazione molto bassa in quanto lo zolfo era precipitato principalmente come S²⁻ insolubile. Anche il Fe²⁺ e il Mn²⁺, che in forma ridotta sono solubili, dovevano essere a

concentrazione più elevata di quella attuale. L'ossigeno libero era inesistente o in tracce e, per questo motivo, quasi certamente, la vita sulle terre emerse poté svilupparsi dopo la produzione dello stesso da parte delle prime alghe. Parte di esso fu poi trasformato in ozono capace di bloccare le nocive radiazioni ultraviolette. In definitiva, con un'atmosfera ossidante e con la diminuzione della CO₂ precipitata nei sedimenti come carbonato dall'attività biologica, l'oceano circa un miliardo di anni fa raggiunse una composizione ritenuta simile a quella attuale. I cloruri si sono accumulati nei mari primordiali a causa dell'intensa azione vulcanica e delle emissioni di HCl gassoso. Conferme dirette che la composizione chimica dell'acqua oceanica sia rimasta costante per tutto questo tempo sono state ottenute dai geologi marini che hanno analizzato i depositi sedimentari formati sul fondo degli oceani primordiali. Pertanto, giacché la composizione ionica attuale si trova allo stato stazionario e deriva dal bilancio tra il tasso al quale le sostanze inorganiche pervengono al mare e quello al quale esse vengono rimosse per precipitazione nei sedimenti o vengono restituite all'atmosfera, è stato introdotto il concetto di tempo di Residenza di un elemento (τ), che rappresenta il tempo medio durante il quale esso rimane nel mare prima di essere rimosso:

$$\tau = \frac{A}{\left(\frac{dA}{dt}\right)}$$

Dove A è la massa totale dell'elemento disciolto o in sospensione negli oceani e dA/dt è la velocità alla quale esso viene aggiunto o allontanato (per precipitazione).

È possibile comprendere meglio i concetti di stato stazionario e di tempo di Residenza per gli elementi chimici nell'acqua del mare se si considera l'oceano mondiale costituito essenzialmente da due strati o compartimenti. Il compartimento superiore, molto sottile (100-200 m) termina all'inizio del termocline permanente e interagisce con l'aria e con le terre emerse. In questo strato, illuminato e riscaldato dal sole, avviene la fotosintesi con formazione di particellato organico (produzione primaria) che sostiene i successivi anelli delle catene trofiche marine. Dopo la morte degli organismi che popolano il comparto superiore le spoglie finiscono per affondare nel compartimento sottostante, perennemente buio, dove servono da nutrimento durante la loro discesa per altri animali e batteri. Ciò che resta dopo un affondamento di migliaia di metri si deposita sullo strato superficiale dei sedimenti dove altri organismi continuano ad utilizzarlo come cibo; una porzione più o meno modesta rimane intatta e

viene inglobata nei sedimenti assieme agli elementi chimici che contiene. Il modello a due compartimenti funziona sulla base di alcune ipotesi semplificative:

1. Gli elementi chimici in soluzione arrivano al mare nel comparto superiore essenzialmente attraverso le acque fluviali e il bilancio fra l'acqua che entra e quella che evapora su base annuale è nullo;
2. gli elementi chimici pervenuti nel comparto superiore vengono rimossi dall'attività biologica attraverso l'assimilazione e il bioaccumulo;
3. dal punto di vista chimico gli oceani sono in uno stato stazionario: i tassi di rifornimento e quelli di rimozione devono essere uguali sia all'interno dei due comparti che nel loro insieme;
4. poiché gli elementi biologicamente attivi presentano in soluzione concentrazioni molto diverse nei due comparti, lo scambio fra questi deve essere assicurato dai moti di convergenza e di divergenza.

La storia di un elemento biologicamente attivo, che perviene in mare attraverso un fiume, inizia nelle acque superficiali dove viene rapidamente utilizzato dagli organismi vegetali. Dopo parecchi scambi, anche durante una sola stagione, fra organismi animali, vegetali e batteri, resta intrappolato in un residuo che affonda nel compartimento inferiore dove continua a trasferirsi in altri organismi eterotrofi. Quando raggiunge il fondo oceanico sotto forma di detrito organico una quantità uguale a quella che è entrata nello strato superiore viene sepolta nei sedimenti. La parte più consistente che era stata rimossa dal primo comparto viene trasportata verso l'alto dai moti ascensionali del mare. Il volume di acqua scambiato e posto in giuoco nei due comparti rimane costante consentendo, così, lo stato stazionario. Tali scambi però, se si escludono certe aree costiere ed oceaniche ben localizzate, dove sono presenti correnti ascendenti o discendenti, sono molto lenti a causa della diversa densità delle acque nei due comparti.

Gli elementi chimici presenti in acqua di mare possono essere suddivisi in quattro classi principali:

1. Costituenti maggiori: si tratta di 11 elementi presenti in concentrazione superiore ad 1 mg/kg. Sono scarsamente reattivi e costituiscono il 99,9% in peso dei sali disciolti.
2. Costituenti minori: il restante 0,1% dei soluti i quali subiscono notevoli oscillazioni di concentrazione soprattutto in rapporto all'attività biologica e

geochimica. Dai costituenti minori spesso vengono separati i cosiddetti sali nutritivi come:

- Micronutrienti: azoto, fosforo e silicio sotto forma ionica che sono essenziali per l'attività fotosintetica e in rapporto ad essa presentano forti oscillazioni stagionali.
- Gas in soluzione: la cui presenza nelle acque, particolarmente ossigeno e anidride carbonica, è essenziale per tutti i processi vitali di animali e piante.

A causa della loro scarsa reattività, solo gli 11 costituenti più abbondanti presentano una concentrazione sostanzialmente costante rispetto alla salinità. La scoperta che i rapporti ionici fra i maggiori costituenti sono costanti indipendentemente dal valore della salinità ha condotto alla formulazione della legge di Dittmar-Marcet che ha enormemente facilitato la determinazione della salinità stessa: “la quantità totale dei costituenti maggiori può variare nei diversi mari ed oceani ma le loro proporzioni relative rimangono praticamente costanti”. Pertanto, misurando la concentrazione di uno di essi è possibile risalire al totale dei sali disciolti grazie all' espressione:

$$S = k \times A$$

Dove S è la salinità, k una costante ricavata sperimentalmente e A uno degli 11 maggiori costituenti. È stato scelto il cloro perché la sua analisi mediante il metodo di Knudsen, condotta in condizioni standard, è rapida e ripetibile. Gli 11 elementi vengono chiamati, inoltre, conservativi perché la loro concentrazione non viene modificata né dall'attività biologica né da quella chimica. Contrariamente, quelli minori non sono conservativi e in acqua di mare presentano delle variazioni di concentrazione molto elevate. Queste oscillazioni possono essere imputabili alla loro maggiore reattività chimica, all' azione dei processi biologici e ad eventi saltuari e localizzati come le eruzioni sottomarine e il dilavamento delle terre, compreso il rifornimento da parte di grandi fiumi.

Analogamente a quanto accade per le piante terrestri, il fitoplancton marino e in generale tutti i processi autotrofi necessitano di sali minerali di fosforo e azoto per il loro sviluppo. Anche il silicio è indispensabile al plancton vegetale e animale, che lo utilizzano per la costruzione del loro scheletro. Questi elementi possono essere considerati biolimitanti dal momento che la loro disponibilità può condizionare la

produzione biologica nelle acque superficiali. In concentrazione elevata, al contrario, possono dar luogo a fenomeni particolari come l'eutrofizzazione delle zone costiere. La concentrazione di questi elementi è estremamente variabile sia regionalmente (rifornimento costiero da parte di fiumi o effluenti urbani industriali, upwelling e così via), sia stagionalmente (in rapporto all' assimilazione fitoplanctonica), sia con la profondità. Per tutti e tre i micronutrienti gli andamenti risultano molto simili: basse concentrazioni nei primi 100-200 m e, quindi, un rapido incremento con l'aumentare della profondità fino al raggiungimento di valori costanti in tutta la colonna d'acqua sottostante. Le basse concentrazioni osservate in tutti i mari ed oceani nello strato superficiale sono in relazione alla rimozione effettuata dagli organismi fitoplanctonici che nei mari temperati li assimilano principalmente durante il periodo primavera-autunno ed in misura minore nei mesi invernali. In definitiva, come già visto a proposito del modello a due compartimenti, i nutrienti vengono assimilati in superficie dagli organismi del fitoplancton e trasferiti in profondità dalle spoglie degli organismi morti. Man mano che tali residui, alle profondità intermedie, vengono decomposti da animali e batteri, i nutrienti tornano in soluzione procurando un aumento della loro concentrazione.

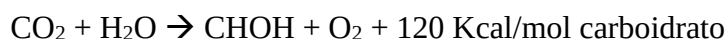
La produzione primaria

Il termine comunemente utilizzato dai biologi marini per indicare il complesso dei processi attraverso i quali il carbonio inorganico viene trasformato in materiale organico cellulare è la produzione primaria. La sua definizione può essere ricondotta essenzialmente a due impostazioni concettuali. La prima, preferita soprattutto dai fisiologi vegetali, biochimici ed ecologici teorici, si basa sul flusso di energia e definisce la produzione come input biochimico di energia nell'ecosistema acquatico. La seconda, sostenuta da biologi marini, ecologi applicati e modellisti, si basa sul flusso di materia e sugli organismi protagonisti della produzione autotrofa all'interno della catena alimentare marina. È indubbio che sul piano operativo tale dualismo influisca su cosa sia corretto misurare come produzione primaria del plancton e che le tecniche di misura impiegate abbiano inevitabilmente esercitato una certa influenza, anche a livello concettuale, sulla sua definizione. Ad ogni modo, poiché fra i processi responsabili della produzione primaria la fotosintesi clorofilliana è quello di gran lunga più rilevante negli ecosistemi marini, essa si può convenientemente definire come la “quantità di materiale

organico particellato prodotto nell'unità di tempo dagli organismi autotrofi". Operativamente viene espressa in unità di massa (grammi, moli) di carbonio C fissato dai produttori primari presenti nell'unità di volume (dm^3 , m^3) per unità di tempo (h, giorno) (P_t^C). La produzione primaria è quindi un tasso che indica la velocità con la quale il carbonio inorganico viene trasformato in prodotto cellulare sostanzialmente attraverso la fotosintesi operata dagli organismi vegetali. Poiché, come già visto, gli ecosistemi marini costituiscono un sistema ciclico in cui sono contemporaneamente attivi i processi produttivi e la respirazione, è utile, ai fini della comprensione del loro funzionamento, introdurre i concetti di produzione primaria lorda – espressa sempre come C- (P_L^C) e produzione primaria netta (P_N^C). La prima può essere definita come il “carbonio organico totale prodotto attraverso la fotoassimilazione autotrofa” e la seconda come la “produzione lorda meno le perdite in carbonio dovute alla respirazione autotrofa” (R_a^C):

$$P_N^C = P_L^C - R_a^C$$

Dal momento che la maggior parte del carbonio organico nell'idrosfera marina viene prodotto attraverso la fotosintesi clorofilliana, si riporta l'equazione generale:



La conversione della luce in energia chimica viene effettuata dalle piante fissando l'energia in molecole stabili che vengono accumulate nell'organismo fino a quando non siano richieste per il suo metabolismo. Il processo fotosintetico, pertanto, sta alla base della produzione primaria degli ecosistemi marini. In generale, nel processo fotosintetico è possibile distinguere fra una serie di reazioni interamente dipendenti dall'energia luminosa per la produzione di energia chimica (“reazione chiara”) e una serie di altre reazioni attraverso le quali vengono formati composti stabili come i carboidrati (“reazione scura”).

Nella fotosintesi algale, la conversione dell'energia luminosa in energia chimica avviene ad opera della clorofilla, il pigmento fotosintetico più importante nella maggior parte degli organismi del fitoplancton. Essa è contenuta nei cloroplasti all'interno della cellula che possiede altri pigmenti: carotene, xantofille e in alcune specie anche ficobiline. I prodotti della fotosintesi sono gli zuccheri, presenti soprattutto come polisaccaridi. La struttura di base della clorofilla a è costituita da quattro gruppi pirrolici formanti un anello porfirinico con un atomo di magnesio al centro. Ad uno dei gruppi

più eolici è attaccata la lunga catena del fitolo. Il particellato organico vivente, prodotto attraverso i processi autotrofi, viene comunemente chiamato biomassa primaria oppure, con riferimento agli organismi vegetali, biomassa fitoplanctonica. La differenza fra biomassa e produzione primaria consiste nel fatto che la biomassa corrisponde ad una massa presente al tempo t mentre la produzione è un tasso che esprime la velocità con la quale varia nel tempo la massa stessa. Il fattore che più di tutti influenza l'assimilazione del carbonio nell'ecosistema marino è indubbiamente la radiazione luminosa, nonostante i meccanismi di adattamento e le modifiche di tipo fisiologico adottati dalle specie di fitoplancton. Inoltre, poiché la radiazione luminosa diminuisce con la profondità, anche la produzione primaria è limitata alla parte superficiale degli oceani. Il tasso fotosintetico, dunque, diminuirà con la profondità, parallelamente all'intensità luminosa, fino a raggiungere un punto nel quale i processi di produzione eguaglieranno, in media nell'arco delle 24 ore, quelli di respirazione. Questa profondità viene indicata come profondità di compensazione e la corrispondente intensità luminosa come intensità di compensazione. Al di sotto di questa quota il processo fotosintetico potrà continuare, ma con bilancio negativo: la materia organica prodotta sarà consumata nei processi catabolici. Sebbene la fotosintesi sia considerata una reazione atermica, e in particolare le reazioni della fase chiara, la produzione primaria è influenzata in diversa misura, sia direttamente sia indirettamente, dalla temperatura. Inoltre, in natura, lo sviluppo dei processi produttivi delle specie algali è in relazione al loro optimum termico. Una condizione per mezzo della quale la temperatura influenza indirettamente la produzione primaria negli oceani è l'omeotermia degli strati superficiali che favorisce, attraverso i moti turbolenti, il trasporto del fitoplancton nello strato disfotico. In uno strato omeotermo, vigorosamente mescolato dalla forza del vento, le cellule del fitoplancton saranno uniformemente distribuite su tutta la colonna d'acqua interessata dal moto. Pertanto, la produzione primaria diminuirà logaritmicamente con la profondità analogamente all'intensità luminosa mentre la respirazione rimarrà approssimativamente costante.

Fra le sostanze che regolano la crescita del fitoplancton, i nutrienti di N, P e Si, per la loro scarsa concentrazione nel mare, costituiscono un fattore critico. Le forme principali di azoto inorganico disponibili sono l' NH_4^+ , l' NO_2^- e l' NO_3^- . Esse vengono utilizzate nell'ordine, secondo un indice di preferenza che vede le specie chimiche a minore numero di ossidazione preferite dal fitoplancton. Anche l'urea, nonostante sia

considerata un composto organico, può essere utilizzata direttamente come fonte di azoto, sebbene alte concentrazioni di ione ammonio ne possano inibire l'assimilazione. Il fosforo (P) viene assimilato principalmente come ortofosfato ma alcune forme organiche, come gli esteri fosforici, possono essere utilizzate a seguito di idrolisi enzimatica che si produce a livello della membrana. Alcune specie sono in grado, inoltre, di utilizzare i polifosfati in presenza di un eccesso di nitrati (N), probabilmente sempre a seguito di idrolisi extracellulare. Il silicio, indispensabile al metabolismo della classe fitoplanctonica più diffusa, le diatomee, raramente costituisce un fattore limitante per la produzione primaria dal momento che è uno dei componenti più diffusi nella crosta terrestre ed è continuamente veicolata in mare dalle acque dolci relativamente più ricche di silicio rispetto a quelle marine. Tuttavia, la sua concentrazione subisce forti oscillazioni in rapporto al suo utilizzo da parte degli organismi planctonici.

Il trattamento quantitativo delle relazioni esistenti fra concentrazione dei nutrienti e produzione di fitoplanctonica inizia alla fine degli anni '60 con gli studi fondamentali di Caperon (1967) e Dugdale (1967) che utilizzavano il modello della cinetica enzimatica di Michaelis-Menten per descrivere il tasso di assimilazione dell'azoto (N) da parte del fitoplancton. L'espressione generale è data dalla formula che descrive un andamento iperbolico:

$$\mu = \mu_{max} \frac{N}{(K+N)}$$

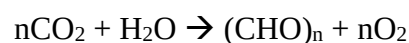
dove μ e μ_{max} sono rispettivamente il tasso di crescita e il tasso massimo (in genere il tempo di duplicazione cellulare), N la concentrazione del nutriente e K la costante di semisaturazione. Praticamente, la velocità di assimilazione del nutriente N aumenta con la sua concentrazione nel mezzo fino a giungere ad un valore massimo (μ_{max}) di plateau nel quale il tasso di crescita μ rimane costante per un ulteriore aumento di N. Questo andamento, di norma comune a tutte le specie fitoplanctoniche, presenta talune differenze a seconda se specie o comunità siano adattate ad alte o basse concentrazioni di nutrienti. La costante K, in definitiva, costituisce un indice di affinità della comunità fitoplanctonica per il nutriente; tanto minore è il valore di K tanto maggiore risulta l'efficienza con la quale esso può essere utilizzato, anche a piccole concentrazioni. Il fitoplancton oceanico è più efficiente nell'assimilare i nutrienti a bassa concentrazione rispetto al fitoplancton delle acque costiere o eutrofiche, che necessita di concentrazioni più elevate di nutrienti. Questa condizione può risultare critica nella competizione

interspecifica per l'assimilazione dei nutrienti e determinare il successo e la prevalenza di talune specie rispetto ad altre nel corso della successione stagionale.

Gas in soluzione

I gas presenti nell'atmosfera non mostrano variazioni nelle proporzioni dei costituenti più abbondanti: l'azoto (78%), l'ossigeno (21%) e l'argon (1%). I gas nobili e quelli prodotti in parte anche dalle attività umane sono a concentrazione molto bassa o variabile, come accade anche per il vapore dell'acqua. All' interfaccia tra l'atmosfera e l'oceano si verifica uno scambio continuo a causa della diffusione molecolare. Lo scambio avviene nei due sensi in condizioni di saturazione, quando cioè la concentrazione di ciascun gas nell'acqua è in equilibrio con quella dell'aria. Se lo strato superficiale è influenzato da moti turbolenti lo scambio con l'atmosfera è molto più rapido ed è favorito dalla formazione di bolle di gas. Queste, spinte in acque sottosature, le arricchiscono di gas procurando un aumento di concentrazione negli strati superiori. La solubilità dei gas aumenta con la pressione e quindi con la profondità e con il diminuire della temperatura, ma diminuisce con l'aumentare della salinità. È importante osservare come l'anidride carbonica, pur avendo una pressione parziale in aria pari allo 0,03%, possiede una solubilità molto superiore a quella degli altri tre gas a causa della sua elevata reattività nell'acqua di mare. Tra i gas disciolti, quelli più importanti da un punto di vista chimico e biologico sono ossigeno (O₂) e anidride carbonica (CO₂). Gli altri gas (CO, N₂O, CH₄), prodotti nelle acque superficiali dalle attività biologiche del plancton, intervengono solo marginalmente nei grandi processi biochimici e sono presenti solo in quantità molto modesta con una scarsa incidenza sul funzionamento dell'ecosistema oceanico.

Lo strato superficiale dell'oceano oggi è soprassaturo di ossigeno, in parte a causa della liberazione del gas durante la fotosintesi:



Ma principalmente per i processi fisici di scambio all' interfaccia aria-acqua. All' aumentare della profondità, al di sotto dello strato eufotico, la concentrazione di O₂ diminuisce per il prevalere delle attività respiratorie di animali e piante e dei batteri che demoliscono i detriti organici che piovono dagli strati superficiali. Si perviene, quindi, alla profondità di circa 700-1000 m, ad un minimo di ossigeno che in casi estremi può

avvicinarsi all'anossia. È interessante osservare che l'andamento verticale della concentrazione del gas in questi strati è spesso opposto a quello della concentrazione dei sali nutritivi di azoto (N) e fosforo (P): al minimo valore di O_2 è associato il massimo di nitrati e fosfati prodotti dall'ossidazione batterica. A profondità maggiori, negli oceani, la concentrazione di ossigeno aumenta per l'intrusione di acque di origine polare più fredde e ossigenate di quelle sovrastanti.

La distribuzione orizzontale negli oceani dipende in generale dalla circolazione, con aree più o meno ossigenate in rapporto all'origine delle masse d'acqua. Le zone costiere, soprattutto quelle influenzate da fenomeni di eutrofizzazione, possono presentare in superficie forti soprassaturazioni ma a pochi metri di profondità anche pronunciata ipossia o, addirittura, anossia. Tipico esempio di queste condizioni è la fascia costiera dell'Adriatico centro-settentrionale.

Sostanze organiche disciolte e particellate

La sostanza organica dell'acqua marina si suddivide in due categorie: disciolta (DOM) e particellata (POM). In genere, la sostanza organica disciolta è da 10 a 20 volte superiore a quella particellata e costituisce la maggiore riserva di carbonio organico degli oceani. Il carbonio disciolto gioca un ruolo centrale nel ciclo biogeochimico di questo elemento in mare, anche se non sono ancora chiari buona parte dei processi che lo regolano, le stesse dimensioni della massa totale, la natura chimica e il peso molecolare dei composti formati.

La sostanza organica disciolta nell'ambiente marino può derivare da molte fonti:

1. apporti fluviali, dilavamento e scarichi antropici;
2. dissoluzione delle spoglie di organismi per autolisi o azione batterica;
3. escrezione di prodotti extracellulari dalle alghe viventi;
4. escrezione di composti azotati da parte dello zooplancton e di organismi superiori.

La maggiore frazione della sostanza organica disciolta è rappresentata da materiale giallo costituito da una miscela di polimeri a struttura policiclica, simile all'humus terrestre. Probabilmente esso deriva da polifenoli escreti da alghe brune e da proteine e carboidrati di origine vegetale; è un materiale molto resistente all'attacco batterico e pertanto diffuso ampiamente nel mare. La rimanente frazione della sostanza organica

disciolta è costituita da sostanze rappresentative delle principali classi biochimiche. Molti di questi componenti organici disciolti giocano un ruolo ecologico nell'ambiente marino; ciò vale per gli organismi auxotrofi e per quelli eterotrofi, il cui fabbisogno di carbonio in nutrienti è supplito direttamente dalla sostanza organica. Inoltre, altre sostanze organiche disciolte dimostrano di agire direttamente o indirettamente come fattori di crescita od inibizione per molte specie di microrganismi ed influire così sull'evoluzione delle successioni fitoplanctoniche. Espressa come carbonio, la sostanza organica disciolta varia generalmente tra 0,3 e 3 mgC/l; valori più alti, dell'ordine di 20 mgC/l si possono rilevare nelle acque costiere. I massimi valori di concentrazione si trovano nei periodi di fioritura del fitoplancton. Al di sotto dello strato eufotico la concentrazione della sostanza organica disciolta è minore e tende a divenire costante in quanto costituita prevalentemente da composti refrattari all'attacco batterico.

La sostanza organica presente nel mare in forma particellata è costituita sia da organismi viventi, che da detrito formato sostanzialmente da spoglie di organismi. Nel loro insieme, questi costituenti rappresentano, mediamente, più del 25% in peso del materiale in sospensione nell'acqua marina mentre la rimanente parte è costituita da materiali di natura inorganica. Nello strato eufotico, il fitoplancton rappresenta la frazione percentualmente più alta del particellato organico: esso contiene tutte le principali classi dei maggiori componenti cellulari ed altri composti organici biologicamente importanti. Con l'aumento della profondità, si registra una progressiva riduzione della concentrazione della sostanza organica particellata, poiché durante la lenta sedimentazione essa viene contemporaneamente ossidata dall'azione batterica e, in parte, assunta dallo zooplancton. Espressa come carbonio, la sostanza organica particellata negli oceani varia generalmente tra 0,003 e 3 mgC/l, rispettivamente nelle acque al largo e in quelle costiere.

Il sistema di monitoraggio

Il sistema di monitoraggio ideato, messo a punto ed impiegato nel corso delle varie attività progettuali, è composto dai seguenti elementi:

- Pannello solare: dispositivo capace di fornire energia per la registrazione e trasmissione dei dati raccolti e per alimentare i sensori

e i wiper (sistema programmabile per la pulizia in automatico dei sensori dal biofouling eventualmente depositatosi sopra).

- *Data logger*: sistema per la registrazione dei dati su memoria non volatile.
- *Sentinel modem*: sistema di trasmissione programmabile dei dati e degli allarmi predefiniti in fase di programmazione
- Sonda multiparametrica: dispositivo capace di rilevare i parametri di temperatura, salinità, clorofilla e ossigeno.
- Correntometro profilatore: strumento in grado di profilare la velocità e la direzione delle correnti tra il punto di posizionamento e la boa.

Il sistema viene illustrato nella figura che segue.

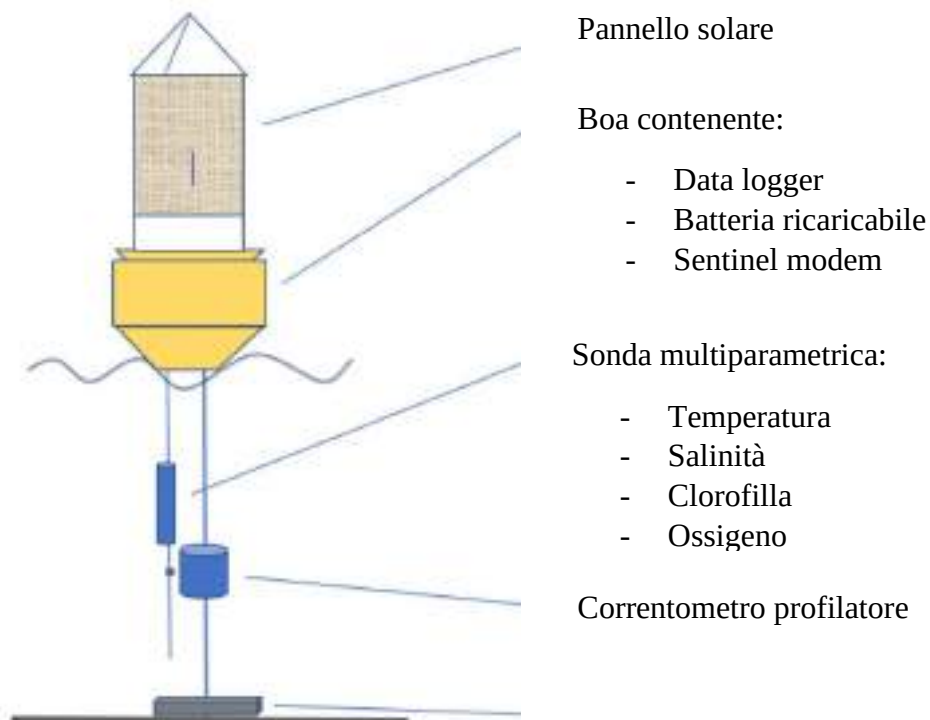


Figura 15- Rappresentazione schematica di un sistema di monitoraggio

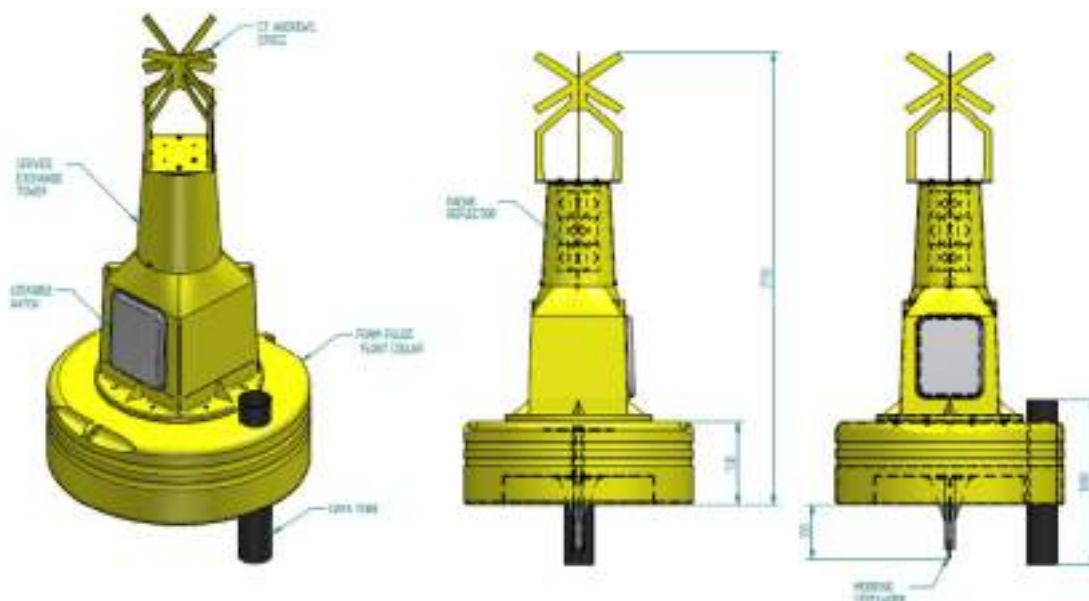


Figura 16- Rappresentazione schematica di trasmissione dati

La sonda multiparametrica (Fig. 17) si configura come uno strumento portatile di analisi dell'acqua che ospita diversi sensori, ciascuno dei quali specifico per un determinato parametro. La sonda impiegata nella presente attività progettuale rileva dati mediante sette sensori sostituibili e un trasduttore di pressione integrato. Ogni sensore esegue la misurazione di un parametro attraverso una varietà di sistemi di rilevamento elettrochimici, ottici o fisici. A seconda delle impostazioni definite dall'utente, la sonda raccoglie i dati e li memorizza a bordo per poi trasferirli ad una piattaforma di raccolta, oppure direttamente al computer portatile di un utente, tramite cavo, connessione USB o Bluetooth®. I parametri misurati dai sensori sono:

- Profondità
- Temperatura e conducibilità
- Clorofilla
- Salinità
- Ossigeno

Il setting dello strumento viene effettuato mediante un software chiamato Kor (Fig. 18), attraverso il quale è possibile impostare l'intervallo temporale di misurazione dei parametri di interesse per poi monitorarne gli andamenti. Sono disponibili inoltre graficazioni dei dati rilevati, il cui download si realizza direttamente in formato Excel



Figura 17- Rappresentazione grafica della sonda multiparametrica

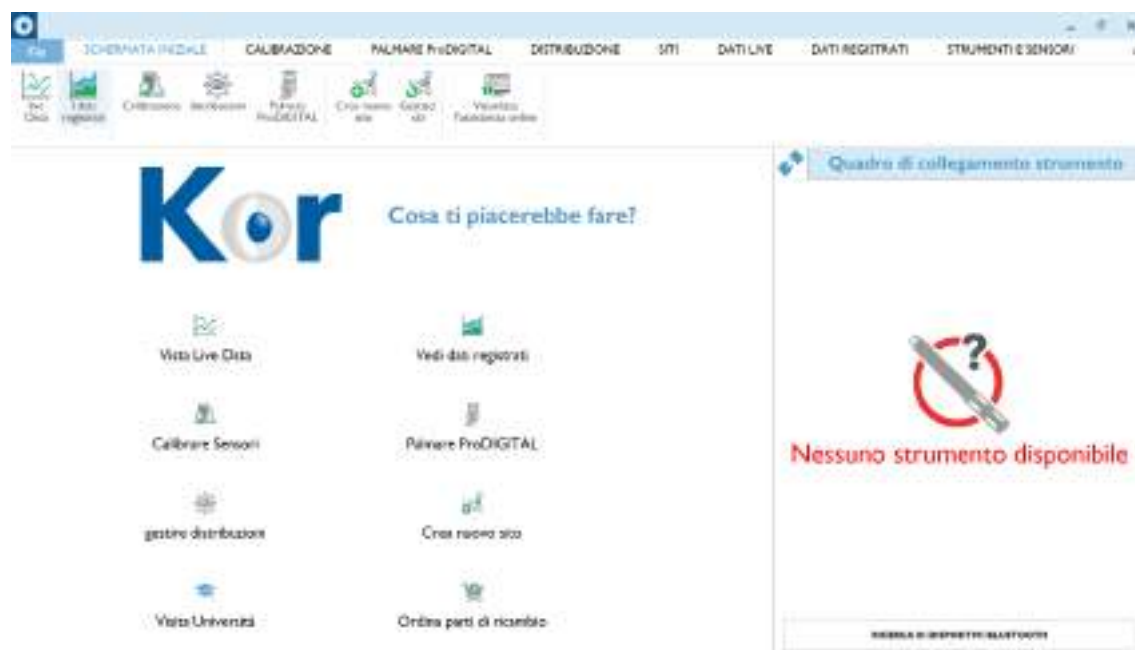


Figura 18- Interfaccia del software Kor

Il correntometro profilatore offre la possibilità di misurare le correnti sottomarine sia in prossimità dello strumento che lungo la colonna d'acqua.

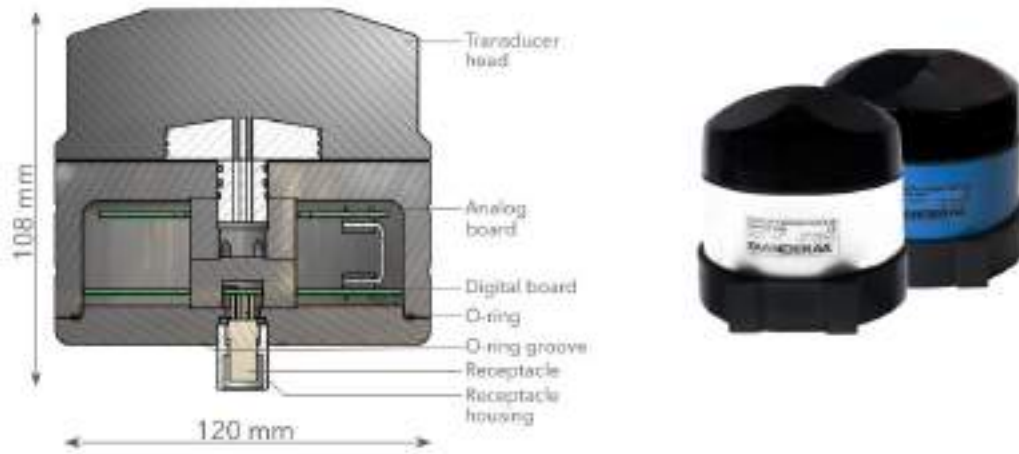


Figura 19- Rappresentazione grafica del correntometro

La valvometria non invasiva

La valvometria non invasiva è un'efficace tecnica di registrazione del comportamento di *gaping* valvare dei molluschi bivalvi, basata sull'impiego di specifici biosensori ai fini dello studio dei ritmi biologici del mitilo. Essa permette di definire le alterazioni causate da fattori di stress naturali e antropogenici, fornendo informazioni sull'ambiente e sugli ecosistemi marini e di acqua dolce, da remoto e quasi in tempo reale. I valvometri sono versatili e resistenti, adatti al monitoraggio a lungo termine e, se i feedback dei dati ricavati non mostrano anomalie, si può presumere il mantenimento della medesima qualità dell'acqua, secondo i livelli precedentemente misurati; al contrario, una modificazione improvvisa o progressiva dell'ambiente, determinerà un cambiamento dei feedback, con conseguente attivazione di un sistema di allarme, che ridurrà in maniera significativa lo sforzo umano impiegato, garantendo al contempo una maggiore efficienza decisionale.

L'attività di *gaping* viene rilevata grazie a dei particolari elettrodi, progettati per ridurre al minimo l'interferenza con il normale comportamento dei bivalvi e costituiti da due elettromagneti rivestiti di resina, dal peso di 56 mg, attraversati da una corrente che consente di misurare la distanza di apertura delle valve con un errore molto limitato, di

circa 1µm. Gli elettrodi, a loro volta, sono collegati ad una scheda elettronica che gestisce la raccolta di informazioni successivamente acquisite da un software, deputato al salvataggio e alla digitalizzazione dei dati. Questi ultimi, vengono quindi trasferiti dal campo al laboratorio attraverso scheda di memoria e poi elaborati e analizzati, mediante una graficazione di facile lettura. In questo modo è possibile identificare rapidamente le tendenze giornaliere, settimanali o mensili, offrendo un monitoraggio in tempo reale dello stato ambientale di più ecosistemi marini, anche contemporaneamente. Inoltre, i metadati vengono memorizzati, dando origine ad una vera e propria banca dati che consente di confrontare nel tempo le variazioni delle registrazioni, allo scopo di produrre modelli predittivi.

Le informazioni ricavate mediante tale sistema possono essere integrate con quelle provenienti da altri tipi di studio, come quello ambientale, specialmente quando la valvometria viene associata ad una sonda multiparametrica (temperatura, ossigeno, clorofilla, torbidità ecc), o ancora quello fisiologico (riproduzione, accrescimento) e patologico (mortalità, alghe tossiche).

È possibile affermare che il valvometro non invasivo differisce significativamente dagli altri metodi utilizzati a questo scopo:

- I sensori sono leggeri e causano il minimo disturbo agli animali. È stato dimostrato che non vi è differenza nel comportamento tra animali con elettrodi e quelli privi
- Le misurazioni sono effettuate su animali nel loro habitat naturale
- Una volta installati, i sensori non richiedono manutenzione frequente (da 3 a 9 mesi in condizioni artiche). In condizioni di laboratorio tali sensori possono restare efficienti anche per diversi anni
- Il sistema funziona sia con bivalvi marini che d'acqua dolce in ambienti difficili e estremamente differenti.
- Questo sistema ad oggi è l'unico che consente registrazioni simultanee della crescita, del comportamento, dell'attività delle valve, dei ritmi biologici
- La valvometria consente di identificare in modo molto preciso la morte degli animali sentinella (errore di 1 minuto)

-
- Il sistema consente di identificare chiaramente quando l'animale si sta riproducendo e potenzialmente predire con precisione i tempi di riproduzione. Questo è un importante indicatore del benessere dei molluschi bivalvi e della buona qualità dell'acqua. Questa informazione, inoltre, può essere utilizzata per pianificare la captazione del seme.

Nel nostro caso specifico sono stati impiegati i sensori Biophys parse, che consentono, oltre al monitoraggio del *gaping* valvare mediante movimento di un magnete incollato in corrispondenza di una valva del mitilo, a sua volta adeso ad un supporto in plastica solidale con il biosensore, anche la registrazione della temperatura e dei movimenti del sistema.

La valutazione dei parametri immunologici del mitilo

Negli invertebrati, l'immunità innata costituisce il solo ed esclusivo meccanismo di difesa nei confronti degli agenti patogeni, manifestandosi attraverso fattori umorali quali peptidi antimicrobici, lectine ed opsonine, e processi cellulari come la fagocitosi. La fagocitosi riveste un ruolo primario e, in termini evolutivi, tale processo sembrerebbe originare come semplice funzione di inglobamento dei principi nutritivi da parte di specifiche cellule che successivamente hanno acquisito funzioni propriamente difensive. Nei molluschi bivalvi marini (MBM), molte sono le esperienze e le ricerche maturate nell'ambito del sistema immunitario, in virtù delle caratteristiche ecologiche che rendono tali organismi dei target biologici ideali nei programmi di monitoraggio ambientale. La valutazione dell'impatto di fattori di stress sugli organismi acquatici, infatti, viene sovente condotta attraverso la misurazione di biomarkers, tra cui i parametri immunitari rivestono un ruolo esclusivo. L'evoluzione delle conoscenze immunitarie nei MBM è dovuta, quindi, in gran parte al loro utilizzo quali bioindicatori. Ciò nonostante, l'acquisizione di dati sul sistema immunitario ed il perfezionamento delle metodiche volte a valutare differenti parametri morfo-funzionali negli studi ambientali hanno costituito un ulteriore incentivo per la comprensione dei processi immunitari, sia in un approccio di tipo comparato, considerando i MBM come modello di studio, sia nell'applicazione dei medesimi parametri quali markers di qualità attraverso la filiera commerciale.

Gran parte delle ricerche sul sistema immunitario dei MBM riguarda specie ampiamente diffuse sul pianeta e caratterizzate da un notevole interesse commerciale in termini sia di consumi alimentari che di allevamento. Tra queste, i mitili (*Mytilus spp.*), le vongole (*Ruditapes spp.*) e le ostriche (*Ostrea spp.*, *Crassostrea spp.*) costituiscono gli organismi sui quali sono state dedicate a livello europeo numerose iniziative scientifiche nel corso degli anni, focalizzate principalmente su aspetti di base ed applicativi del processo fagocitario. Tale meccanismo, prioritario nel panorama dei processi difensivi dei MBM, risiede in cellule specifiche, note come emociti, circolanti all'interno dell'organismo in un sistema lacunare emolinfatico. L'emolinfa, quindi, svolge funzioni analoghe al sangue dei mammiferi nelle sue componenti cellulari e sieriche; in particolare, la fagocitosi operata dagli emociti presenta numerosi aspetti comuni con il medesimo processo riscontrabile nei granulociti neutrofili e nei macrofagi

dei mammiferi, testimoniando la conservazione di un meccanismo immunitario innato tanto ancestrale quanto filogeneticamente conservato nella scala evolutiva.

Gli emociti dei MBM vengono schematicamente suddivisi in due principali tipologie sulla base di caratteri morfologici evidenziabili in microscopia ottica. In termini generali, gli ialinociti sono cellule caratterizzate dall'assenza o dalla scarsa presenza di granuli citoplasmatici, oltre che da un elevato rapporto N:C (nucleo:citoplasma). Al contrario, i granulociti mostrano un minore rapporto N:C per la presenza di un ampio citoplasma munito di granuli distinguibili per dimensione ed affinità tintoriale. Risulta noto e ben documentato, inoltre, come i granulociti possiedano maggiore attitudine fagocitaria rispetto agli ialinociti, sia in termini di inglobamento che degradazione del not-self. In *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819), studi in microscopia ottica hanno evidenziato la presenza di ialinociti con diametro medio di 8.33 μm ed un rapporto N:C medio pari a 0.61. Il citoplasma di tali cellule, tendenzialmente basofilo, si presenta privo di granuli o scarsamente granulare. Negli studi ultrastrutturali condotti in microscopia elettronica, gli ialinociti appaiono come cellule rotonde caratterizzate occasionalmente dalla presenza superficiale di alcuni pseudopodi. Il nucleo risulta ampio ed in posizione centrale, caratterizzato in alcune cellule da abbondante eucromatina ed in altre da consistenti aree di eterocromatina. Il citoplasma appare di ridotte dimensioni e contiene qualche mitocondrio, alcune cisterne o vescicole del reticolo endoplasmico liscio e rugoso, e pochi ribosomi liberi; in talune cellule è possibile evidenziare la presenza di piccoli granuli. I granulociti riscontrati in microscopia ottica, invece, sono risultati suddivisibili in acidofili, basofili e misti, sulla base dell'affinità tintoriale dei loro granuli citoplasmatici. Il diametro medio risulta pari a 10.95 μm , quindi maggiore rispetto agli ialinociti, con un rapporto N:C medio di 0.44 a testimonianza della presenza di un ampio citoplasma basofilo contenente granuli. In particolare, gli acidofili mostrano un diametro superiore rispetto alle altre tipologie granulocitarie con la presenza di granuli citoplasmatici che oltre a distinguersi per l'affinità tintoriale risultano anche più grandi delle rispettive strutture evidenziate nei basofili e nelle cellule miste. Gli studi ultrastrutturali hanno evidenziato nei granulociti una forma ovoidale con margini frastagliati per la presenza di numerosi pseudopodi. Il nucleo si trova in posizione eccentrica, caratterizzato prevalentemente da eterocromatina, mentre il citoplasma risulta ricco di mitocondri, cisterne e vescicole del reticolo endoplasmico liscio e rugoso, oltre alla presenza di apparati del Golgi. I granuli

citoplasmatici, rotondi o ovali, mostrano una densa zona centrale circondata da un'area traslucida, e le loro dimensioni costituiscono un'indicazione sulla tipologia cellulare di appartenenza secondo quanto descritto in microscopia ottica. Infatti, alcune cellule, probabilmente riferibili ai granulociti acidofili, mostrano granuli con diametro superiore ai 0.7 μm , mentre altre, probabilmente granulociti basofili, presentano granuli di diametro inferiore ai 0.5 μm . Tra queste due popolazioni si colloca una terza di tipo misto caratterizzata dalla presenza di granuli piccoli e grandi. In termini differenziali, inoltre, le cellule con granuli piccoli mostrano numerosi mitocondri ed un abbondante struttura reticolare rugosa, mentre le cellule con i granuli più grandi si caratterizzano per la presenza citoplasmatica di ampi vacuoli contenenti svariate tipologie di materiali. Gli emociti di *M. galloprovincialis* contengono enzimi importanti nei processi difensivi quali fosfatasi, esterasi, proteasi e glucosidasi. Al contrario risultano privi di alcune glucosidasi (α -galattosidasi e β -glucosidasi) e proteasi (tripsina e α -chimotripsina). In particolare, la fosfatasi acida si localizza a livello dei granuli citoplasmatici, indicandone quindi la natura lisosomiale; tuttavia, la positività della reazione si evidenzia in pochi granuli della medesima cellula e in un certo numero di casi interessa solamente una parte della struttura. Le esterasi non specifiche e la β -glucuronidasi si localizzano prevalentemente nei piccoli granuli ed in alcuni casi a livello di membrana plasmatica. L'enzima NADPH-ossidasi risulta localizzato nei granuli emocitari mentre le membrane plasmatiche risultano negative; in particolare, la reazione è evidente nelle cellule contenenti grandi granuli o nelle cellule granulari miste, così come riscontrato per la perossidasi che, tuttavia, risulta positiva anche a livello di membrana plasmatica, differenziandosi in tal modo dalla NADPH-ossidasi. Un'elevata percentuale di emociti mostra anche una discreta positività alla fenolossidasi, risultando però impossibile la distinzione tra le differenti tipologie cellulari. Infine, la misurazione spettrofotometrica del lisozima ha indicato negli emociti una notevole presenza dell'enzima, ben superiore rispetto a quanto riscontrato nella parte sierica dell'emolinfa.

Per quanto riguarda, invece, la concentrazione di emociti circolanti nell'emolinfa, alcuni autori hanno effettuato studi stagionali riportando valori compresi nell'intervallo $1-5 \times 10^6$ /ml, misurati mediante camera contaglobuli. La concentrazione subisce oscillazioni legate alla temperatura dell'acqua, risultando maggiore durante i mesi estivi e minore nei mesi invernali; tale andamento sembrerebbe imputabile all'incremento, durante i mesi estivi, della disponibilità di nutrienti, considerata anche la funzione di

trasporto che gli emociti svolgono. Non sono state riscontrate invece correlazioni tra la concentrazione emocitaria ed altri fattori quali peso, età e ciclo riproduttivo degli organismi. In termini di conta differenziale eseguita al microscopio ottico, i granulociti costituiscono le cellule dominanti con l'85% circa sul totale, di cui più della metà rappresentato da acidofili, mentre gli ialinociti rappresentano il restante 15%. La conta differenziale non subisce particolari fluttuazioni riconducibili alla stagione, pertanto le sottopopolazioni emocitarie mantengono inalterati i loro rapporti percentuali; al contrario, è stato possibile evidenziare un aumento della quota granulocitaria direttamente proporzionale al peso ed alla taglia degli organismi.

Studi di carattere stagionale sono stati condotti anche nella valutazione del contenuto enzimatico degli emociti e dell'emolinfa, evidenziando per gran parte degli enzimi testati l'assenza di una qualche modulazione dipendente sia da fattori ambientali che da variabili quali la taglia, il peso e lo stato riproduttivo degli organismi. Al contrario, per quanto riguarda il lisozima, è stata riscontrata una significativa differenza in relazione all'età, con i soggetti più giovani caratterizzati da un maggior contenuto, quasi a testimoniare un meccanismo difensivo compensativo di questi soggetti alla minore presenza di granulociti, da cui dipende, in maniera quasi esclusiva, il processo di fagocitosi.

In termini schematici, il processo fagocitario degli emociti viene distinto in diverse fasi che si succedono in sequenza temporale:

- Fase I: consiste nella migrazione degli emociti verso il sito di infezione e risulta caratterizzata da un'attivazione ameboide delle cellule che in tal modo acquisiscono proprietà locomotorie in seguito all'emissione di pseudopodi. Tale fase risulta legata al riconoscimento del not-self che avviene attraverso specifici recettori di superficie in grado non solo di riconoscere direttamente molecole di natura chemiotattica appartenenti a cellule estranee ma anche di legare tali molecole in maniera indiretta attraverso le lectine che, in forme libere circolanti o legate alla membrana emocitaria, svolgono un importante ruolo opsonizzante. L'attivazione immunitaria degli emociti si traduce in termini morfologici in variazioni morfologiche. In particolare, si assiste ad un aumento dell'irregolarità della cellula che assume una

conformazione ameboide in seguito alla produzione di pseudopodi, tale da permetterne la migrazione verso il sito di infezione e l'inglobamento del materiale estraneo. L'acquisizione di proprietà ameboidi da parte di cellule fagocitarie risulta strettamente dipendente dal riarrangiamento del citoscheletro, ovvero dall'equilibrio dinamico che si instaura tra la forma monometrica e filamentosa dell'actina. La microscopia elettronica a scansione ha evidenziato, in emociti di mitili soggetti a fenomeni di attivazione ameboide, sia la presenza di numerosi e prominenti filopodi sotto forma di proiezioni simili a raggi in grado di permettere alla cellula l'esplorazione del substrato, sia la presenza di lamellipodi appiattiti indicanti il fenotipo migratorio. La marcatura dell'actina filamentosa con falloidina coniugata ha evidenziato la presenza, in gran parte delle cellule, di fibre dello stress, ovvero fasci paralleli di actina con funzione contrattile in grado di esercitare tensione. A livello periferico, invece, sono state evidenziate fibre diffuse a formare i filopodi ed i lamellipodi descritti in microscopia a scansione. Le proprietà migratorie degli emociti non dipendono esclusivamente dall'organizzazione dell'actina, ma da tutti quei fattori che regolano tale riarrangiamento, quali le molecole di adesione cellulare, le integrine ed i componenti della matrice extracellulare. In particolare, il legame della fibronectina allo specifico recettore transmembrana induce la rapida organizzazione dell'actina, permettendo in tal modo i cambiamenti conformazionali della cellula. L'esatto meccanismo di formazione dei fagosomi non risulta ben chiaro nei MBM, mentre aspetti maggiormente studiati riguardano il destino del fagosoma e del materiale in esso contenuto, destinato alla distruzione. Risulta noto, infatti, che il fagosoma va incontro ad un importante fenomeno di acidificazione al suo interno. L'acidificazione del lume fagosomiale, probabilmente mediato da pompe protoniche, ha lo scopo di favorire al meglio l'attività degradativa degli enzimi lisosomiali che verranno riversati al suo interno, quali lisozima, fosfatasi acide e β -glucuronidasi, in grado di mostrare un optimum di attività intorno a pH 4.5-5.5. Esiste, inoltre, un ulteriore meccanismo di distruzione che comporta l'attivazione del

-
- burst respiratorio con produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS), molecole altamente dannose nei confronti sia del materiale inglobato che della cellula stessa. Tale meccanismo risulta particolarmente conservato lungo la scala evolutiva tanto che, in molte specie di molluschi, gli enzimi coinvolti e le vie metaboliche sono molto simili a quanto ampiamente documentato nei mammiferi.
- Fase II: essa, definita di resistenza, vede l'organismo impegnato in un processo di adattamento nei confronti dell'evento stressante, al fine di mantenere in equilibrio la propria omeostasi. Il concetto di stress è entrato nella terminologia del mondo scientifico da oltre mezzo secolo, al punto che in campo medico situazioni di stress sono spesso state rilevate come fattori che precedono l'insorgenza di malattie, a volte con un ruolo scatenante, altre volte con un vero e proprio ruolo determinante. Nel 1936, lo stress venne definito come una "Sindrome generale di adattamento", ovvero la somma di tutte le reazioni che si manifestano nell'organismo a seguito dell'esposizione a fattori ambientali in grado di alterarne la propria condizione omeostatica. Tale sindrome è stata suddivisa in una iniziale fase di allarme, caratterizzata da una risposta acuta in cui vengono mobilitate le energie difensive dell'organismo, mediate dal rilascio di adrenalina e corticosteroidi.
 - Fase III: essa, definita di esaurimento, si caratterizza per l'insorgenza di patologie difficilmente reversibili e, nei casi estremi, dalla morte. La valutazione dello stress viene infatti condotta mediante *biomarkers*, ovvero parametri in grado di misurare alterazioni morfologiche, fisiologiche e biochimiche sia a livello di cellula che di sistemi biologici maggiormente strutturati. La scienza dei *biomarkers* è stata sviluppata con l'intento di fornire strumenti preventivi, diagnostici e prognostici nei processi di "risk assessment". In tal senso, esistono varie tipologie di *biomarkers*, suddivisibili in precoci o tardivi, morfologici o funzionali, invasivi o non, di esposizione o effetto e così via.
-

I MBM rappresentano organismi ampiamente utilizzati nel monitoraggio dell'inquinamento ambientale, in virtù non solo delle caratteristiche di stanzialità che permettono di fornire un quadro puntiforme del livello di contaminazione, ma anche dell'attitudine filtratoria che comporta un bioaccumulo degli inquinanti nei loro tessuti. Inoltre, i MBM sono scarsamente dotati di vie metaboliche complesse, pertanto la loro capacità di smaltimento degli inquinanti risulta praticamente nulla, fornendo in tal modo un'indicazione ancora più realistica sullo stato di contaminazione dell'ambiente in cui vivono.

In considerazione dell'importanza socio-economica della molluschicoltura e di tutta la filiera commerciale, nel corso degli anni si è assistito ad una crescente applicazione dei *biomarkers* nella valutazione dell'esposizione e degli effetti legati non solo a stress di natura chimica, ma anche fisica o biologica. L'utilizzo dei biomarkers nei MBM, spazia quindi dal monitoraggio ambientale al controllo e gestione di banchi naturali ed allevamenti, fino ai processi di certificazione della qualità di filiera. Tra gli indicatori di stress impiegati nei MBM, il processo fagocitario rappresenta un "endpoint" di notevole rilevanza, in considerazione del ruolo del sistema immunitario nelle interazioni tra ambiente ed organismo. Di conseguenza, qualsiasi modulazione negativa indotta dallo stress sul processo fagocitario può direttamente evolvere in uno stato di malattia del mollusco o indirettamente rappresentare un fattore predisponente all'insorgenza di parassitismo o infezioni.

Tra i fattori fisici di stress, la temperatura e la salinità rivestono un ruolo principale. Aumenti consistenti dei due parametri, indotti sperimentalmente in vivo o evidenziati in studi di campo stagionali, determinano infatti negli emociti di *Mytilus galloprovincialis* una riduzione sia del THS che dell'Indice Fagocitario. Inoltre, negli ultimi venti anni, numerosi eventi di mortalità a carico dei MBM bentonici sono stati imputati all'azione diretta o predisponente dell'ipossia e dello stress meccanico. L'ipossia dei sedimenti rappresenta un fenomeno naturale riscontrabile soprattutto durante i caldi mesi estivi e, condizioni ipossiche applicate sperimentalmente in vivo, hanno evidenziato un decremento dell'Indice Fagocitario, dell'Indice di Adesività, e del contenuto di enzimi lisosomiali. I mitili risultano meno esposti nell'ambiente a condizioni ipossiche, in virtù di habitat differenti soprattutto rispetto alle vongole, così come la loro raccolta non prevede attrezzi invasivi, fonte di stress meccanico. Tuttavia, per quanto riguarda l'ipossia, i mitili, come altri MBM, sono soggetti a tale tipologia di stress durante la

filiera commerciale. In tal senso, alcuni autori hanno studiato alcuni parametri emocitari lungo un processo di filiera reale e sperimentale, evidenziando un progressivo decremento della capacità ossidativa. Tale approccio dimostra come l'impiego dei parametri immunitari quali marker di stress rivesta una propria utilità anche nella valutazione di aspetti che sconfinano nelle caratteristiche qualitative del prodotto alimentare.

Per quanto riguarda l'impatto dello stress chimico sul processo fagocitario nei MBM, gran parte dei lavori vengono attualmente condotti sui mitili in virtù della maggiore distribuzione mondiale di questi organismi e della nicchia ecologica che occupano negli ambienti marini, tale per cui meglio di altri bivalvi forniscono un quadro realistico della contaminazione ambientale. Studi di campo condotti su *M. galloprovincialis* in ambienti fortemente contaminati hanno evidenziato una significativa riduzione dell'Indice Fagocitario e della produzione di ROS in relazione alla presenza di metalli pesanti ed inquinanti organici persistenti. Tuttavia, gli studi di campo non individuano il ruolo di ciascun contaminante nel determinare fenomeni immunodepressivi, visto che gli organismi sono esposti ad una miscela di sostanze che possono agire tra loro in maniera sinergica. Pertanto, gli studi sperimentali si rivelano maggiormente indicati nello stabilire connessioni tra stress chimico e risposta immunitaria, esponendo volta per volta gli organismi a singoli contaminanti.

Per ciò che concerne l'influenza dello stress sulle proprietà ameboidi degli emociti, risulta noto che molti stressori esercitano un'azione tossica diretta a carico dell'actina, comportando una disorganizzazione strutturale e funzionale del citoscheletro, soprattutto nella zona corticale della cellula. I medesimi fattori di stress, tra cui i metalli pesanti svolgono un ruolo di primo piano, possono alterare il processo di riarrangiamento citoscheletrico agendo non tanto sull'actina, quanto sulle diverse proteine regolatorie che ne presiedono l'assemblaggio e l'organizzazione. I meccanismi inibitori a livello del citoscheletro, tuttavia, possono riconoscere non solo cause specifiche legate all'azione diretta di vari stressori sui propri componenti, ma possono anche essere connessi a situazioni aspecifiche di stress, in grado di comportare un deficit energetico cellulare. Lo stress esercita un ruolo inibitorio anche nei confronti del burst respiratorio e, nei leucociti, i fattori di stress possono ridurre la produzione fagocitaria di ROS sia attraverso meccanismi diretti di tossicità nei confronti delle vie enzimatiche che presiedono all'instaurarsi della catena respiratoria, sia mediante

meccanismi indiretti in grado di alterare più in generale la funzionalità della cellula. Nei MBM, i meccanismi dello stress nell'inibizione del burst respiratorio non risultano ben chiari. Tuttavia, si ritiene che condizioni ipossiche dell'emolinfa, imputabili ad un'infinita serie di stressori in grado di ridurre la filtrazione del mollusco, possano determinare un'acidificazione del citoplasma emocitario con alterazioni funzionali degli enzimi ossidativi.

LE ATTIVITÀ PREVISTE

Le fasi di sviluppo della struttura progettuale sono articolate nelle seguenti attività:

Attività 1. Condivisione dei sistemi di innovazione

Sviluppo di iniziative di R&S per l'individuazione e la prototipazione di soluzioni tecnologiche innovative nei termini completi di filiera per migliorare i processi produttivi nell'ottica dello sviluppo sostenibile.

Attività 2. Progettazione, realizzazione e messa a dimora delle attrezzature in mare

Realizzazione di attività volte a ottimizzare le tecnologie più adatte alle specifiche esigenze, al fine di porre le basi per l'attivazione di un sistema di allevamento del prodotto su base sostenibile.

Attività 3. Progettazione, realizzazione e messa a dimora delle attrezzature a terra

Realizzazione di attività volte a ottimizzare le tecnologie più adatte alle specifiche esigenze, al fine di porre le basi per l'attivazione di un processo depurativo più consono alle aspettative imprenditoriali.

Attività 4. Monitoraggio della funzionalità delle attrezzature a mare e a terra

Messa a punto delle modalità di elaborazione dei dati ambientali prodotti, verifica della loro rappresentatività e condivisione in continuo dei risultati ottenuti con gli operatori.

Attività 5. Aggiornamento e rinforzo delle competenze degli operatori end-users e modalità di diffusione dei risultati del progetto

Realizzazione di un percorso informativo volto a diffondere le innovazioni e le soluzioni tecnologiche sviluppate nell'ambito del progetto e rendere disponibili le informazioni scientifiche più attuali agli operatori del settore e degli organi gestionali operanti nel comparto ittico Abruzzese su temi quali l'ambiente marino, la biologia e le patologie dei molluschi, le tecnologie produttive e gli aspetti normativi concernenti le produzioni molluscolicole.

ATTIVITÀ 1.

CONDIVISIONE DEI SISTEMI DI INNOVAZIONE

Introduzione

Il Progetto Smart Mollusk Farm è stato un progetto innovativo perché ha cercato, non solo di sviluppare strategie comuni attraverso la cooperazione regionale di una soluzione reciprocamente complementare, ma anche perché ha cercato di garantire che, attraverso le capacità istituzionali e tecniche e con una maggiore consapevolezza, si possa contribuire allo sviluppo di strategie ma soprattutto, a consolidare la loro successiva attuazione.

Materiali e metodi

In questa fase progettuale sono stati condivisi con il partenariato gli elementi fondamentali della metodologia del progetto che possiamo così riassumere:

- Attività propedeutiche allo sviluppo di strategie e piani comuni: esse sono identificabili nella creazione di reti tecnico/scientifiche e di database comuni intesi come primo passo per elaborare proposte di soluzioni innovative di organizzazione della filiera.
- Definizione di un programma congiunto di monitoraggio standard in grado di migliorare la conoscenza e raccogliere i dati chiave.

In questo senso è apparsa strategica la costruzione del partenariato utilizzando un approccio pragmatico che ha assicurato la partecipazione delle “*persone*” con significativa esperienza e degli attori che sono i protagonisti fondamentali per fornire strategie e piani rivolti alle politiche sviluppo locale, soprattutto nella fase successiva all’implementazione del progetto.

Risultati

Il contributo scientifico dell’Università di Teramo, Facoltà di Medicina Veterinaria (UNITE/MV), è stato rivolto, innanzi tutto, al coordinamento scientifico del progetto che è stato affidato al Prof. P.G. Tiscar. UNITE/MV è stata parte prioritaria nella produzione delle informazioni scientifiche utili per lo sviluppo delle tecnologie che sono state approntate nel corso della ricerca sia per quanto riguarda i rilievi a mare che

nelle ricerche a terra. UNITE/MV ha svolto la funzione, infine, di responsabile verso la Regione Abruzzo per tutti i profili finanziari e contabili.

Il progetto Smart Mollusk Farm ha ritrovato nelle sue componenti essenziali il ruolo determinante dei tre siti produttivi (Adriatica off-shore, Mitilmare e SILMAR) collocati nei due compartimenti marittimi abruzzesi sottolineando, comunque, che l'impianto di Mitilmare è fondamentalmente nelle disponibilità di SILMAR.

All'interno dei due insediamenti Adriatica off-shore e SILMAR si sono posizionati i sistemi di monitoraggio per molluscoltura.

Il progetto Smart Mollusk Farm ha avuto l'ambizione di promuovere una diretta e consapevole gestione tecnica delle produzioni molluschiole da parte degli operatori in un'ottica di assoluta originalità nell'ambito mediterraneo dove la molluscoltura adriatica, primaria in termini economici di bacino, è caratterizzata da allevamenti posti al largo della costa sottoposti a condizioni meteo marine del tutto particolari svolgendosi in mare aperto.

La prima difficoltà che, quindi, si è rappresentata nei termini di implementazione del progetto è stata caratterizzata dalla graduale presa di coscienza da parte degli operatori relativa al loro diretto impegno nella fase di realizzazione tecnologica e definizione delle caratteristiche delle attrezzature da porsi in mare presso le loro concessioni implicando attività di manutenzione diretta e possibili complicazioni ai cicli produttivi.

Nell'ambito di una predisposizione di un vocabolario comune si sono aggiunte le difficoltà intrinseche ad una nuova modalità di comunicazione e rapportazione conseguente all'impatto pandemico sviluppatosi nell'ambito del periodo estate-autunno 2020: difficoltà che hanno avuto ruolo anche sull'efficienza dei servizi amministrativi applicati al progetto.

Superata, comunque, la prima fase di progetto si sono potuti stabilire contatti praticamente quotidiani con i produttori utilizzando, tra l'altro, anche una piattaforma whatsapp che è risultata utile sia per la diffusione interna delle comunicazioni relative al progetto, sia per quanto riguarda la somministrazione settimanale dei dati satellitari caratterizzanti i tre impianti.

Nell'ambito del progetto, il FLAG Costa dei Trabocchi ed il FLAG Costa Blu hanno partecipato a tutte le attività di carattere trasversale legate alla creazione dell'interesse locale per l'implementazione tecnologica del settore molluschiole. In

particolare i due FLAG hanno contribuito all'attività di informazione, comunicazione ed animazione territoriale finalizzate alla sensibilizzazione dei target di riferimento ed alla diffusione, anche verso i propri soci, dei risultati di fase e finali del progetto. Strategico è stata, quindi, il ruolo del FLAG Costa dei Trabocchi per l'organizzazione del convegno a Vasto il 24 settembre 2021.

Ulteriore forte ruolo di diffusione delle informazioni relative al progetto scaturiscono dai serrati contatti attuati nei confronti di AMA (Associazione Mediterranea Acquacoltori), la principale organizzazione associativa dei molluscoltori italiani, e la SIRAM (società Italiana Ricerca Applicata Molluscoltura) che hanno permesso una visibilità anche internazionale alle attività progettuali sia nei confronti del mondo dei produttori che in quello scientifico.

Il progetto ha permesso anche lo svilupparsi di nuove reti interessate alle tematiche relative ai monitoraggi ambientali rappresentati sia da Enti a carattere locale che Istituzioni a carattere scientifico.

Ai sensi di una piena complementarietà dei dati ambientali prodotti a livello regionale e in vista di una piena messa a sistema dei sistemi di rilevazione regionali, si sono intraprese azioni di avvicinamento nei confronti del sistema idrografico della regione Abruzzo così come nei confronti di ARTA Abruzzo.

A seguito dei fitti confronti sviluppati si è pervenuti a condividere il testo di un "Protocollo d'intesa" tra Università di Teramo e l'Agenzia Regionale di Protezione Civile, Servizio Emergenze di Protezione Civile e Centro Funzionale – Ufficio Idrologia, Idrografico e Mareografico già inviato presso i rispettivi uffici amministrativi per il suo sviluppo formale.

Il protocollo in questione ha lo scopo di costituire una cornice istituzionale alle iniziative di collaborazione tra l'Agenzia e l'Università, facilitando la condivisione di attività di ricerca e sperimentazione, assistenza tecnica, erogazione di servizi e cooperazione negli ambiti ritenuti di interesse congiunto e a livello territoriale, regionale, nazionale e internazionale qualora si ravvisino le condizioni per le due istituzioni di contribuire congiuntamente al raggiungimento di obiettivi coerenti con le finalità di ciascuna. Il protocollo, inoltre, regola e supporta l'interazione del personale afferente ai due enti e prevede anche che strutture, attrezzature e servizi appartenenti all'una o all'altra istituzione possano essere destinati ad un utilizzo condiviso.

Inoltre, ulteriori contatti si sono intrapresi con ISPRA e soprattutto con l'Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (CNR IRBIM) di Ancona con il quale

ai è provveduto ad effettuare scambi culturali a carattere scientifico con differenti ricercatori del suddetto Ente mirati a costruire sinergie future in grado di sfruttare congiuntamente i risultati dei dati di monitoraggio prodotti dai sistemi costruiti nell'ambito del progetto: in questo senso è risultato particolarmente prezioso l'intervento della Dott.ssa Spagnolo del CNR IRBIM di Ancona nell'ambito dei seminari organizzati all'interno del progetto.

ATTIVITÀ 2.

PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E MESSA A DIMORA DELLE ATTREZZATURE IN MARE

Introduzione

L'attività è stata caratterizzata prioritariamente dalla precisa messa a punto, nei termini di progettazione, dei sistemi di monitoraggio per molluschicoltura. Tali tecnologie sono in grado di misurare i vari parametri in profondità resistendo, in parallelo, all'azione dei marosi e permettendo, al contempo, un completo monitoraggio della situazione ambientale presente lungo la colonna d'acqua dove sono immersi i mitili al fine di fornire indicazioni utili, per esempio, sulla profondità ottimale alla quale collocare le reste prima, durante e dopo possibili ondate di caldo. In parallelo, risulta strategico correlare le parametrizzazioni ambientali con elementi descrittivi di benessere animale che, nell'ambito della molluschicoltura, possono essere forniti dalle misurazioni valvometriche in continuo sul campo così come dalle misurazioni in laboratorio di parametri immunitari su numeri rappresentativi di molluschi.

Materiali e metodi

Non esistendo al momento offerte di mercato di soluzioni già complete ed esaustive di sistemi di monitoraggio per molluschicoltura, si è pensato di contribuire alla loro progettazione affrontando anche il tema della minimizzazione della loro manutenzione. In questo senso, sono state ipotizzate specifiche boe composte da un pannello solare, un data logger, un sentinel modem, una sonda multiparametrica, un correntometro profilatore, come precedentemente descritto. Lungo le coste abruzzesi sono presenti 12 concessioni adibite alla mitilocoltura a vario stadio autorizzativo e produttivo: al fine di verificare le differenti condizioni ambientali presenti lungo la costa abruzzese, si è pianificato l'acquisto di n. 3 sistemi da collocarsi all'interno di un impianto di mitilocoltura a Nord della costa teramana (Adriatica Offshore srl), presso un altro impianto collocato lungo la costa della Provincia di Chieti a Sud (Silmar srl) dove opera l'Organizzazione dei Produttori "Acquacoltori della Costa dei Trabocchi" e, infine, davanti la costa di Francavilla (Mitilmare srl), affinché anche la parte centrale della costa abruzzese possa costituire oggetto di monitoraggio.

Risultati

Posizionamento dei sistemi di monitoraggio

I sistemi di monitoraggio per molluschicoltura sono stati acquistati presso un'Azienda Leader del settore (<https://watec.it>) e sono composti dai seguenti elementi: un sistema di rilevazione, comprendente una sonda multiparametrica e un correntometro, un sistema di gestione della corrente elettrica ed un datalogger, entrambi alimentati da pannelli solari e contenuti all'interno di cassette impermeabili, capaci di trasmettere le informazioni a terra ed una boa sul quale risulta montato il tutto. La pianificazione dei mezzi di fissazione dei sistemi è risultata particolarmente complicata vista la necessità di delegare la manutenzione delle sonde agli allevatori, rendendola la più semplificata possibile. Per tale fine, la scelta è ricaduta su una boa ed un sistema di ancoraggio appositamente pensati per lo scopo, da ancorare direttamente agli impianti di molluschicoltura, mediante il fissaggio in corrispondenza di tre punti di una campata dell'impianto produttivo; inoltre, ai lati del punto di fissaggio centrale, il cui ruolo è di far correre i cavi della sonda e del correntometro, si è pensato di appesantire il trave della campata con pezzi di catene specificatamente studiati nel loro peso e posizionamento. In questo modo e mantenendo il trave affondato, si è deciso di porre i sistemi di misurazione alla profondità di circa 12 metri. Risulta da sottolineare come gli allevatori abbiano deciso, al fine di un ottimale posizionamento degli strumenti, di sacrificare una intera campata dei loro allevamenti per l'allocazione dei sistemi di monitoraggio rinunciando, quindi, al potenziale volume produttivo da essa fornito.

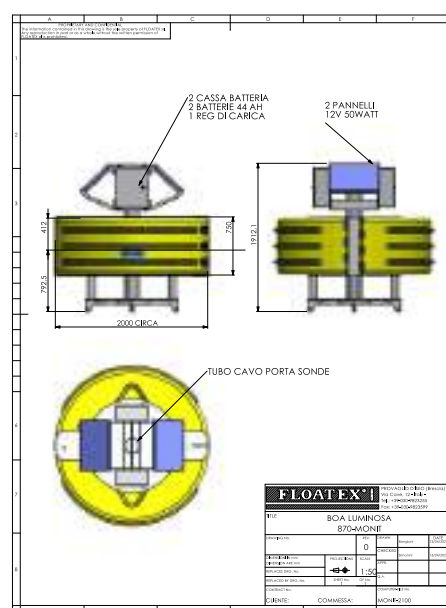


Figura 20- Disegno tecnico della boa di ancoraggio del sistema di monitoraggio

Il lungo confronto tra l'Università, i molluscoltori, la Ditta fornitrice del sistema e l'Azienda fornitrice dell'elemento boa, complicato dalle difficoltà di rifornimento internazionale legate all'evento pandemico, ha comportato la consegna dei sistemi il 27 luglio 2021, giorno durante il quale si è provveduto al deposito di due di essi presso l'Azienda SILMAR di Vasto (CH) e del terzo presso l'Azienda Adriatica Off-shore a Giulianova (TE). Al momento dello scarico tutte le attrezzature sono apparse perfettamente funzionanti.

Successivamente alla realizzazione di una giornata formativa finalizzata a spiegare il funzionamento e la gestione dei sistemi di monitoraggio, caratterizzata dal lavoro congiunto dei tecnici pervenuti dell'Azienda fornitrice (un tecnico, un commerciale e un ingegnere elettronico) assieme all'operatività dei produttori e con il coordinamento dell'Università di Teramo, si è pervenuti al montaggio di uno dei sistemi nella sede dell'impianto di molluscoltura di Vasto che, il giorno 28 luglio 2021, è stato quindi posto a mare presso la concessione della SILMAR. I sensori sono stati settati affinché tutti i valori registrati fossero rilevati ogni ora. Nello specifico, i dati oggetto di rilevazione impostati sono stati:

- Correntometro: Alarm, Abs speed, Direction, North, East, Heading, Tit X, Tilt Y, SP Std, Strenght, Ping count, Abs tilt, Max tilt, Std Tilt, Temperatura, Strenght X, Strenght Y, Strenght X Trd1, Strenght X Trd3, Strenght Y Trd2, Strenght Y Trd4;
- Data logger: GPS_Fix, GPS_Lat, GPS_Lon, GPS_Satn, Voltaggio;
- Sonda multiparametrica: Temp, SpCond, Sal, Depth, Battery, Chl, ODOsat, ODO, BGA-PE;



Figura 21- Sistemi collocati presso Vasto



Figura 22- Tecnici dell'Azienda fornitrice e molluschicoltori intenti all'attivazione di un sistema



Figura 23- Sistema elettrico e datalogger contenuti all'interno della scatola impermeabile



Figura 24- Correntometro fissato al tirante centrale.
Si scorge, a poca distanza, il connettore per la sonda e, sul fondo, gli altri due elementi di fissazione della boa.



Figura 25- Posizionamento a mare del sistema di monitoraggio presso Vasto



Figura 26- Trasporto del sistema di monitoraggio presso l'impianto di produzione a Vasto



Figura 27- Particolare del sistema di fissaggio della boa alla campata dell'impianto di produzione



Figura 28- Predisposizione della sonda multiparametrica da agganciarsi al sistema di monitoraggio



Figura 29- Predisposizione del correntometro da agganciarsi al sistema di monitoraggio e apposizione della crema con funzione antifouling.



Figura 30- Boa legata al trave della campata su tre punti con al centro il correntometro



Figura 31- Il sistema montato nell'ambito dell'Impianto di mitilocoltura SILMAR

Una volta riusciti ad attivare la comunicazione, ci si è accorti che uno dei sensori era incapace di produrre dati esatti, ragion per cui il giorno 11 agosto si è reso necessario un intervento di sollevamento della sonda posta in profondità per la sostituzione del sensore non funzionante. La produzione dei dati da parte della sonda multiparametrica è proceduta, senza alcun problema, fino al 9 ottobre, mentre la

registrazione operata dal correntometro si è interrotta già a partire dalla fine di agosto, evento questo, che ha richiesto un sopralluogo diagnostico da parte di due tecnici dell'Azienda fornitrice, a seguito del quale, il 18 ottobre 2021, si è deciso di smontare alcune componenti del data logger affinché potessero essere controllate a terra. Inoltre, si è optato per un ulteriore *setting* dello strumento correntometro mediante spedizione all'azienda produttrice norvegese. Il giorno 13 novembre si è, infine, deciso di smontare la boa di Vasto, provvedendo alla rimozione di tutti i sistemi di fissazione e al suo riposizionamento a terra a mezzo traino, allo scopo di modificarne la struttura in termini di galleggiabilità e di componenti elettroniche.

Il sistema di monitoraggio da porsi presso l'impianto di molluschicoltura Mitilmare (Francavilla, CH) è rimasto collocato a terra presso le officine SILMAR a Vasto, in attesa di ricevere le stesse modifiche previste per i sistemi già posizionati a mare. Con lettera del 14 dicembre 2021, SILMAR si è impegnata a collocare il sistema conservato a Vasto e destinato a porsi al largo di Francavilla, una volta approntato definitivamente dall'Azienda produttrice, come da progetto ma gratuitamente e senza costi aggiuntivi.

Relativamente al sistema da collocarsi presso la concessione Adriatica off-shore, davanti a Tortoreto (TE), il giorno 23 agosto 2021 si è provveduto al suo montaggio presso l'impianto, previa alcune modifiche alla boa consistenti, sostanzialmente, nel riempimento del suo spazio centrale (circa un metro cubo di volume) con schiuma poliuretanica, allo scopo di evitare l'accesso di detriti, fanghi e mitili che avrebbero potuto appesantirla, influenzandone negativamente la galleggiabilità, la quale, alla fine, è in ogni caso stata incrementata dall'apposizione del materiale di riempimento. Dopo il montaggio presso l'impianto, realizzatosi mediante il ricorso alle medesime tecniche di fissaggio messe a punto precedentemente a Vasto, al momento del collegamento non si è riusciti a far inviare i dati monitorati.

Il giorno 6 settembre 2021 si è tornati a mare per rimuovere la componente del data logger che è stato successivamente rispedito all'Azienda fornitrice, mentre il giorno 18 ottobre, operando direttamente a mare, si è provveduto ad attivare il sistema di registrazione dei dati interno alla sonda multiparametrica. Dopo differenti tentativi, il giorno 30 novembre 2021, la sonda è stata nuovamente posta a mare, per essere quindi ritirata il giorno 13 dicembre, permettendo, finalmente l'evidenziazione dei dati registrati.

Per quanto riguarda la presente attività, quindi, si è in attesa, in brevi tempi, dell'intervento risolutore dell'Azienda fornitrice sui tre sistemi di monitoraggio per la molluschicoltura affinché, ai fini del rispetto delle condizioni contrattuali, possano essere consegnati alla parte acquirente manufatti perfettamente funzionanti. In ogni caso, dall'esperienza vissuta, è emersa la necessità di una manutenzione strumentale a cadenza mensile, strutturata come segue: sollevamento del trave dalla profondità alla quale è posto, distacco della sonda dal trave e risciacquo della stessa allo scopo di rimuovere gli elementi di fouling eventualmente depositatisi. In questo senso dovrà maturarsi ulteriore esperienza al fine di calcolare con esattezza, durante tutto l'anno, gli interventi di manutenzione richiesti a fronte, comunque, della scelta di un prodotto contenente differenti soluzioni tecnologiche in grado di inibire il deposito di fouling, come lo swiper montato sulla sonda multiparametrica.



Figura 32- Sistema di monitoraggio allestito presso il proto di Giulianova. Si notano la sonda e il correntometro già predisposti.



Figura 33- Sistema di monitoraggio montato presso Adriatica Off-shore



Figura 34- Correntometro del sistema di monitoraggio presso Adriatica off-shore: si nota l'accumulo di fouling sul correntometro dopo due mesi di permanenza in mare

Monitoraggio mediante biosensori

Per quanto riguarda la predisposizione dei biosensori utili al monitoraggio dei movimenti valvari dei mitili, si è dapprima provveduto a sottoscrivere prontamente uno specifico contratto di locazione con il Royal Netherland Institute for Sea Research di Yerseke (Netherland): successivamente sono pervenuti presso l'Università di Teramo solo il giorno 1 giugno 2021, conseguentemente all'esecuzione delle modalità di lockdown inflitte dalla gestione della pandemia in Olanda (comunicazione pervenuta il 16 marzo 2021).

Appena pervenuti, comunque, si è da subito studiata la metodologia di fissaggio e gestione ottimale utilizzando alla fine staffe appositamente costruite con specifici supporti di plastica, da contenersi in recipienti cilindrici in rete di plastica rigida. Questi ultimi sono stati collocati all'interno delle calze di rete predisposte per l'allevamento dei mitili, da agganciarsi a loro volta al trave dell'impianto. Sono stati altresì posizionati all'interno di cassette di plastica quando posti nelle vasche di depurazione. L'adesione dei mitili alle staffe ha richiesto ricerche e accorgimenti particolari allo scopo di trovare la soluzione migliore, rappresentata infine, dall'impiego di una colla specifica per acquariologia, solitamente utilizzata per ancorare le piante acquatiche al fondo delle vasche.



Figura 35- Biosensore con staffa porta mitilo specificatamente costruita



Figura 36- Contenitore in plastica con all'interno il complesso staffa più biosensore contenuto in calza di rete per molluschicoltura



Figura 37- Particolare del magnete incollato al mitilo attaccato alla staffa con colla per acquariologia e posto nelle vicinanze del biosensore



Figura 38- Biosensore in funzionamento in acqua con il mitilo con le valve aperte



Figura 39- Contenitori con biosensori attaccati a mitili e posti come una resta sul trave dell'impianto Adriatica off-shore



Figura 40- Contenitori con biosensori attaccati a mitili e posti presso il centro di depurazione molluschi CIMAR

Calibrazione dei biosensori

Prima del loro utilizzo, e dopo averne appreso il funzionamento di base mediante apposito manuale, i biosensori sono stati sottoposti ad alcune di prove di laboratorio col fine di ottenere una calibrazione degli stessi. In particolare, una serie di magneti di spessore pari a 6 mm sono stati posti a diverse distanze dal rilevatore di segnale collocato sulla superficie inferiore della testa del sensore. In questo modo, è stato possibile, una volta importati i dati, graficare l'ampiezza del segnale in funzione della distanza. La valutazione ha avuto luogo secondo il seguente schema:

- Lettura in bianco: 30 minuti
- Apposizione del magnete alla distanza di 2 cm dal rilevatore: 30 minuti
- Lettura in bianco: 30 minuti
- Apposizione del magnete alla distanza di 3 cm dal rilevatore: 30 minuti
- Lettura in bianco: 30 minuti
- Apposizione del magnete alla distanza di 4 cm dal rilevatore: 30 minuti
- Lettura in bianco: 30 minuti
- Apposizione del magnete alla distanza di 5 cm dal rilevatore: 30 minuti
- Lettura in bianco: 30 minuti

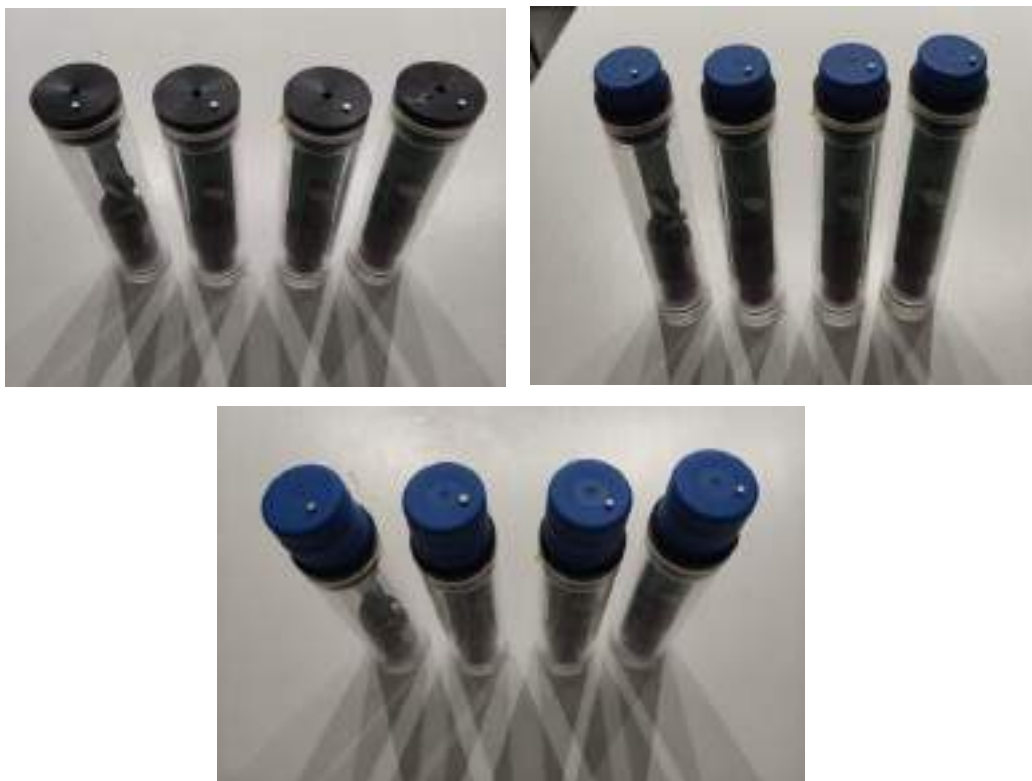


Figura 41- Apposizione del magnete a diverse distanze dal rilevatore

Vengono qui di seguito riportati, a titolo esemplificativo, i grafici più significativi relativi alla valutazione delle diverse distanze sensore-magnete.

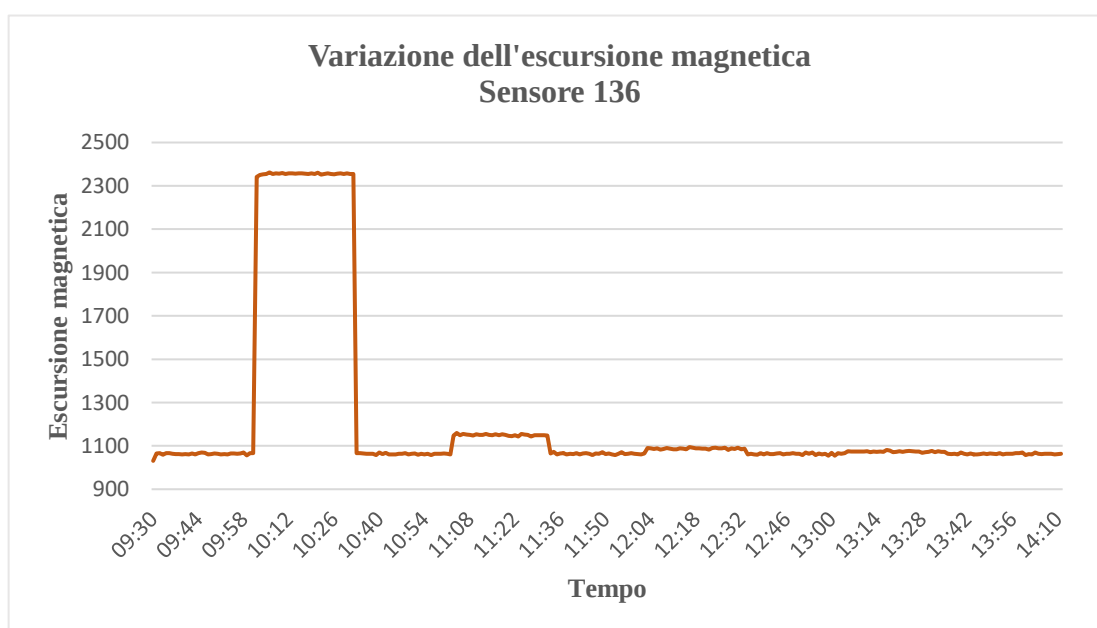


Grafico 1a: Ampiezza del segnale alle diverse distanze magnete-rilevatore valutate.

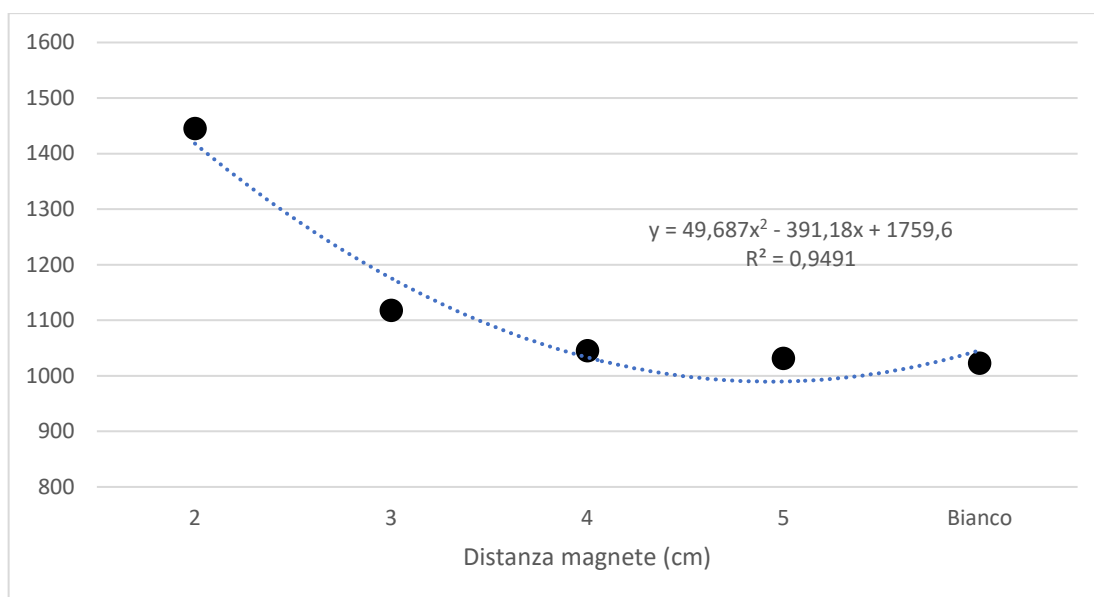


Grafico 1b: Curva di calibrazione dei biosensori

Le prove sono state eseguite su 4 biosensori, contrassegnati dai numeri 133, 136, 137 e 138 e sono state condotte in triplicato. A parità di condizioni ambientali, non sono state osservate differenze di misurazione tra i diversi strumenti. Fondamentale, invece, è risultato essere il posizionamento del magnete, da collocarsi perpendicolarmente rispetto al rilevatore di segnale. Come si nota dal grafico 1, maggiore è la vicinanza del magnete al sensore e più ampia è l'escursione del segnale; viceversa, più sono distanti magnete e rilevatore e meno percettibile è l'ampiezza del segnale, come dimostrano i rilievi a 4 e 5 cm.

Elementi descrittivi di benessere animale

I campionamenti di mitili sono stati condotti nel 2021 presso l'allevamento di tipo long-line Adriatica Offshore srl nei mesi di febbraio, aprile, giugno ed ottobre. Oltre 100 animali sono stati campionati nei singoli periodi indicati. I mitili sono stati quindi trasferiti in laboratorio, suddivisi in due gruppi e l'emolinfa è stata prelevata dal muscolo adduttore posteriore di 20 soggetti per gruppo. I due pool emolinfatici sono stati quindi standardizzati alla concentrazione di 10^6 cellule ml^{-1} e processati per valutare l'attività morfologica ed ossidativa dopo stimolazione con lieviti (*Saccharomyces cerevisiae*) impiegando un rapporto lieviti:emociti di 80 a 1.

L'attività morfologica è stata misurata mediante il parametro circolarità, quale espressione del livello di rotondità cellulare, calcolato mediante analizzatore cellulare (Vi-Cell, Beckman Coulter). L'attività ossidativa è stata misurata mediante saggio in chemiluminescenza, incubando preventivamente gli emociti con luminolo e procedendo successivamente con la stimolazione fagocitaria. L'intensità di luminescenza è stata registrata mediante lettore micropiastre (Sinergy H1, Biotek). Per ciascun periodo di campionamento i parametri sono stati riportati come media e deviazione standard dei due pool emolinfatici.

	Febbraio	Aprile	Giugno	Ottobre	Correlazione (Pearson) con circolarità emociti	Correlazione (Pearson) con produzione ROS emociti
Temperatura °C	10.9	13.4	27.1	21.7	0.49	-0.55
Ossigeno $\mu\text{mol/L}$	254	267	227	223	0.02	0.04
Salinità ppt	37.4	37.5	37.8	37.3	0.88	-0.91
Clorofilla $\mu\text{g/ml}$	1.05	0.66	0.17	0.4	-0.62	0.66

La tabella riporta la media dei parametri ambientali misurati giornalmente nei 15 giorni antecedenti ciascun campionamento e la loro correlazione (indice di Pearson) con i due parametri emocitari. Maggiori valori di temperatura e salinità, così come minori concentrazioni di clorofilla, risultavano correlati ad una minore risposta emocitaria, sia in termini di attivazione morfologica che di risposta ossidativa. Al contrario, le variazioni di ossigeno disciolto non sembrerebbero avere influenza significativa sul livello di risposta emocitaria nel monitoraggio condotto.

ATTIVITÀ 3.

PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E MESSA A DIMORA DELLE ATTREZZATURE A TERRA

Introduzione

Questa attività ha permesso il potenziamento delle operazioni di monitoraggio e biologico in continuo dei mitili destinati alla depurazione presso l'impianto "CIMAR srl" secondo un'ottica di filiera in continuità con un allevamento posto sul medesimo tratto costiero. Questa attività è realizzata mediante l'allocazione della strumentazione BioPhys-sensors nelle vasche di stabulazione. Il sistema è stato dapprima attivato e poi testato in loco nelle sue funzionalità. I dati sono stati archiviati e analizzati per migliorare la valutazione dello stato di benessere dei molluschi. Il fine è migliorare la qualità del prodotto, andando a stabilire nuovi parametri di benessere del mitilo durante il processo di depurazione.

Le attività si sono svolte mediante le seguenti fasi:

- Studio ed analisi della strumentazione per la rilevazione della apertura e chiusura delle valve dei molluschi;
- Collaudo della strumentazione presso l'impianto di depurazione.

Materiali e metodi

Tramite l'utilizzo di biosensori (Biophys sensors) e mediante la valutazione di specifici parametri immunologici (circolarità emocitaria e produzione di ROS) sono state allestite prove in grado di saggiare il benessere dei molluschi lungo la filiera produttiva comprendenti le fasi di allevamento in mare, le fasi di lavorazione in barca, lo stoccaggio, le fasi di depurazione presso lo stabilimento CIMAR e il mantenimento dei molluschi presso le vasche di depurazione dello stesso stabilimento ed in acquari presso la Facoltà di medicina veterinaria dell'Università degli studi di Teramo.

Relativamente all'attività condotta con i biosensori, sono state effettuate quattro sperimentazioni, distribuite lungo i mesi di luglio, agosto, settembre e ottobre. Ognuna di esse, è stata così caratterizzata:

- *Setting* dello strumento, con impostazione degli intervalli di rilevamento dei parametri ad 1 minuto

- Identificazione dei mitili oggetto di monitoraggio con apposite marcature di riconoscimento
- Apposizione, su una valva del mitilo, di un magnete di 6 mm di spessore mediante colla specifica
- Posizionamento dei mitili su strutture di supporto rappresentate da staffe opportunamente costruite per lo scopo e mantenimento *in situ* degli stessi mediante colla specifica
- Montaggio, mediante fascette, della staffa sul biosensore, effettuato in maniera tale da disegnare una linea retta virtuale perpendicolare al rilevatore di segnale posto sulla superficie inferiore della testa del biosensore (Fig. 42)



Figura 42- Struttura del biosensore e punto di collocamento corretto del magnete

-
- Collocazione dello strumento all'interno di contenitori reticolati di forma cilindrica e fissaggio mediante fascette
 - Posizionamento del biosensore in mare, in corrispondenza dell'impianto di mitilicoltura Adriatica Offshore srl, per un periodo di tempo di 5 giorni



Figura 43- Posizionamento a mare dei biosensori

- Prelievo del biosensore e sua collocazione presso l'impianto di depurazione CIMAR srl, per un periodo di due giorni



Figura 44- Posizionamento dei biosensori presso la CIMAR

Tutte le prove sono state condotte in triplicato e i dati ricavati sono stati sottoposti ad analisi statistica con il sistema ANOVA ad una via.

Per ciò che concerne la valutazione dei parametri immunologici, la sperimentazione è proseguita simulando una filiera commerciale e ponendo i restanti mitili campionati in vasca di depurazione per 24 ore. Successivamente un gruppo di animali è stato mantenuto in acqua per 24 ore a temperatura di refrigerazione mentre in parallelo un altro gruppo è stato mantenuto senza acqua per 24 ore alla medesima temperatura, simulando in questo ultimo caso la convenzionale fase di stoccaggio e commercializzazione.

L'emolinfa è stata prelevata al termine della depurazione ed al termine del mantenimento a temperature di refrigerazione, sia in presenza che in assenza di acqua. I parametri emocitari relativi la circolarità e la produzione di ROS in presenza di stimolazione fagocitaria sono stati misurati come descritto e riportati come media e deviazione standard.

L'analisi statistica è stata condotta mediante ANOVA ad 1 via e test post-hoc di Tukey per il confronto dei valori emocitari di circolarità e luminescenza tra mesi e fasi sperimentali differenti, mentre l'analisi di Pearson è stata impiegata per valutare potenziali correlazioni tra i parametri emocitari ed i fattori ambientali monitorati.

Risultati

Monitoraggio mediante biosensori presso CIMAR

Vengono qui di seguito riportati i risultati relativi tanto al monitoraggio condotto mediante biosensori presso l'impianto di depurazione CIMAR.

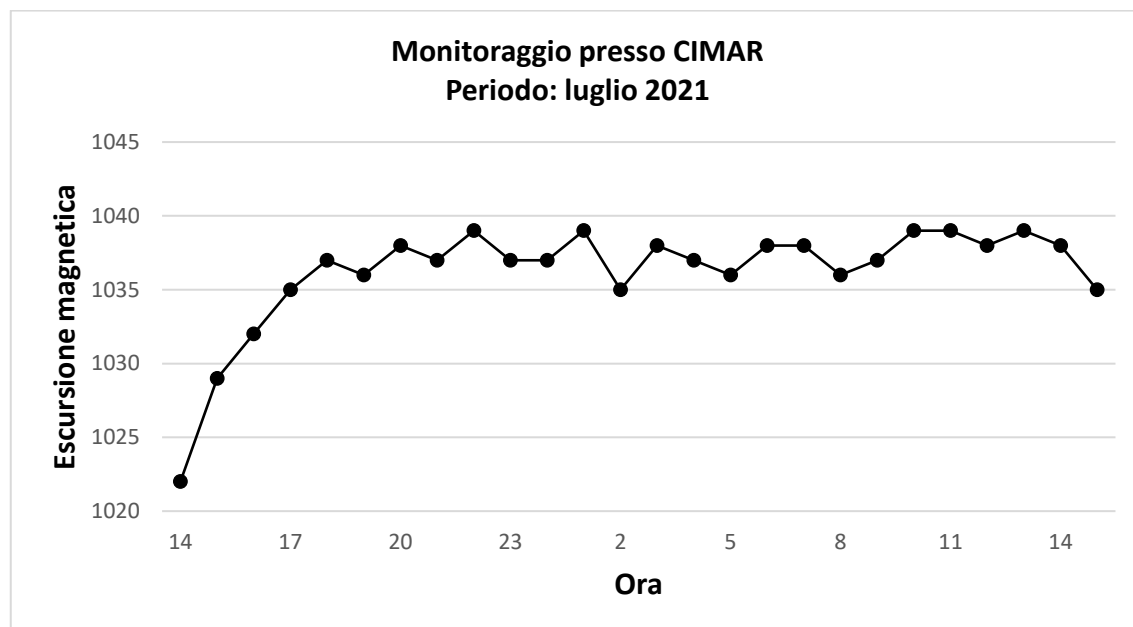


Grafico 3- Rappresentazione grafica del monitoraggio, mediante biosensori, dei mitili collocati nelle vasche del centro di depurazione CIMAR nel corso della sperimentazione di luglio 2021.

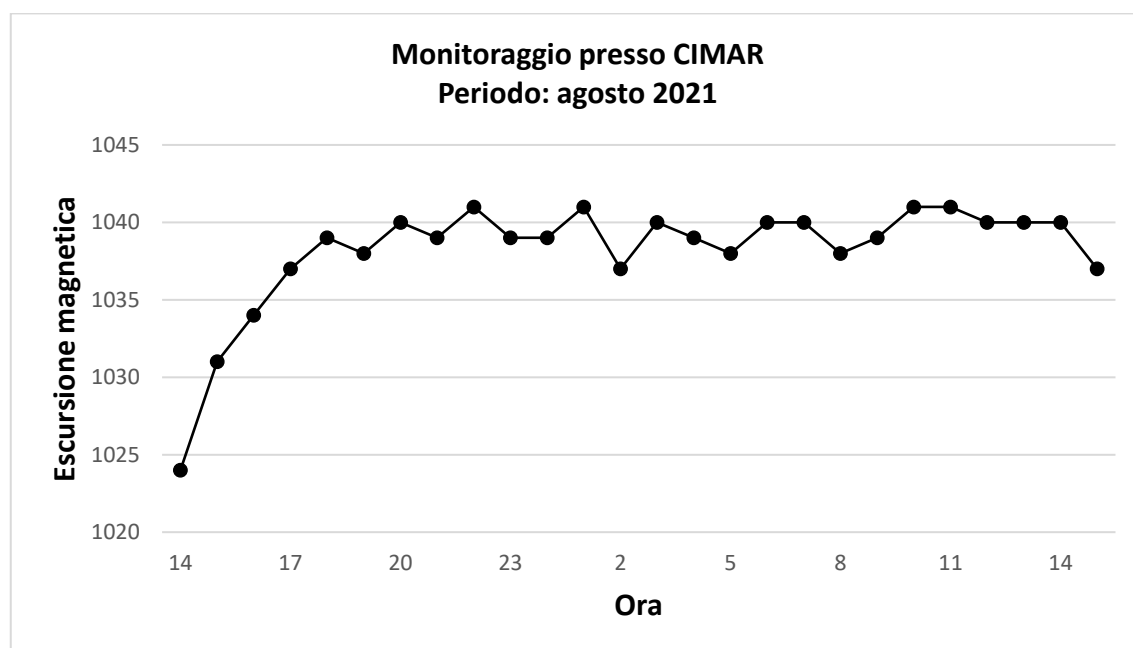


Grafico 4- Rappresentazione grafica del monitoraggio, mediante biosensori, dei mitili collocati nelle vasche del centro di depurazione CIMAR nel corso della sperimentazione di agosto 2021.

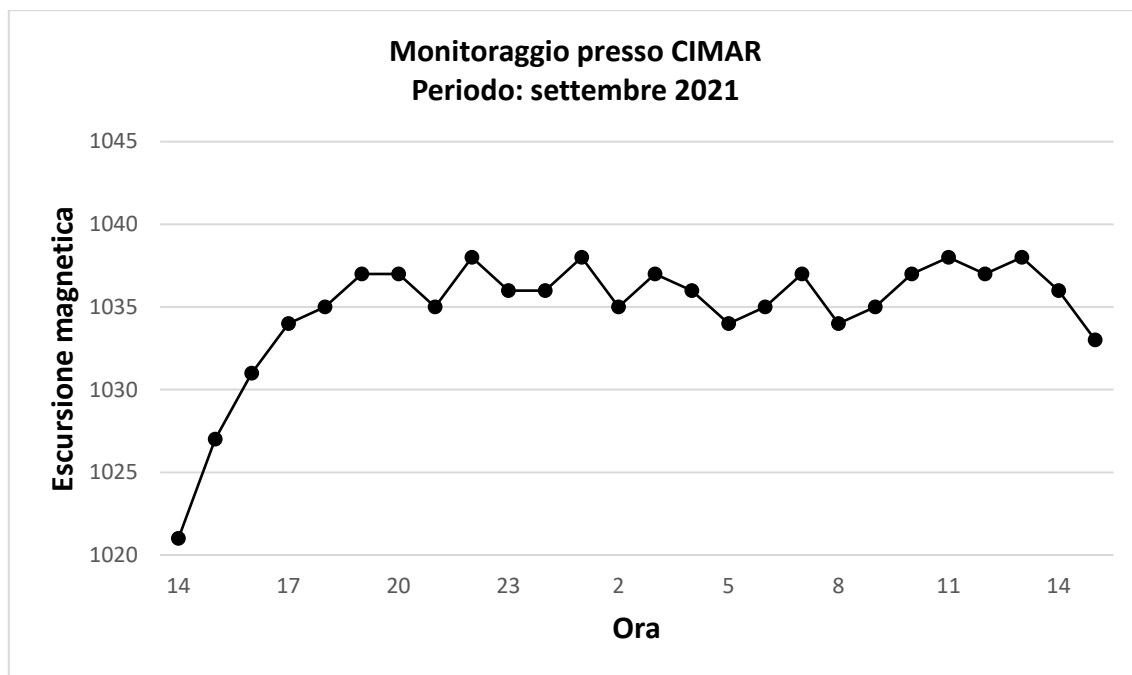


Grafico 5- Rappresentazione grafica del monitoraggio, mediante biosensori, dei mitili collocati nelle vasche del centro di depurazione CIMAR nel corso della sperimentazione di settembre 2021.

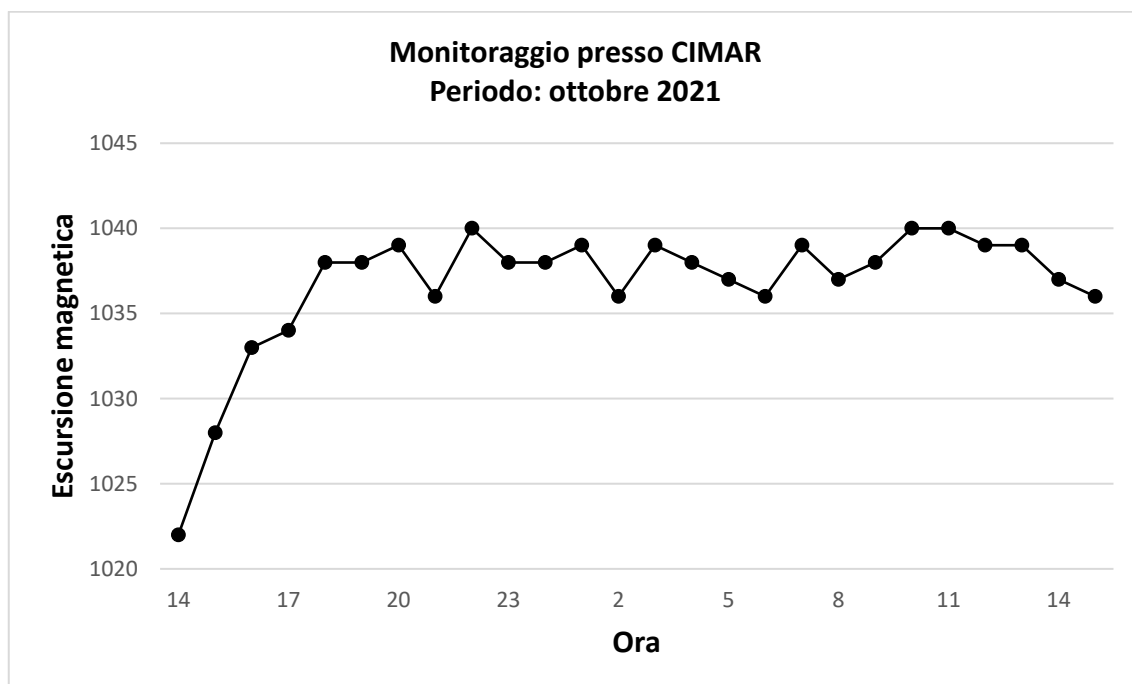
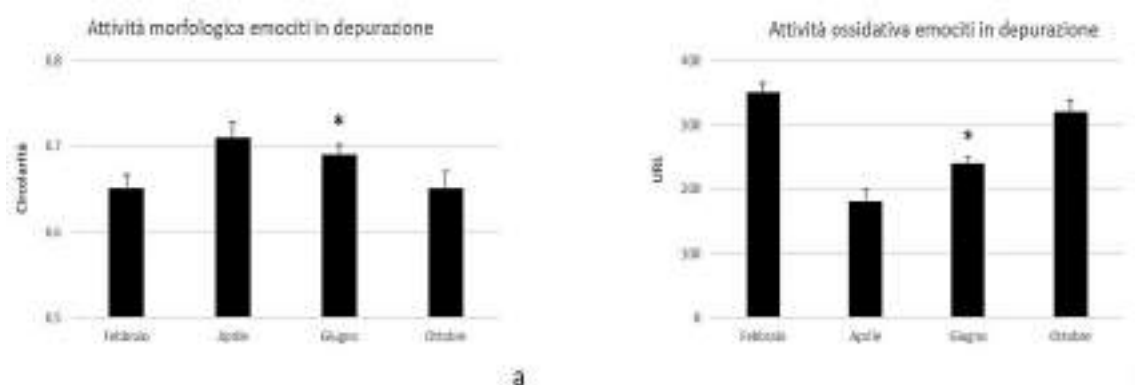


Grafico 6- Rappresentazione grafica del monitoraggio, mediante biosensori, dei mitili collocati nelle vasche del centro di depurazione CIMAR nel corso della sperimentazione di ottobre 2021.

Le prove sono state condotte in triplicato e, in ognuna di esse, si è proceduto alla valutazione del ritmo di apertura e chiusura valvare dei mitili collocati nelle vasche del centro di depurazione. Il periodo di monitoraggio è stato di due giorni per ciascuno dei 4 mesi presi in considerazione (luglio, agosto, settembre, ottobre).

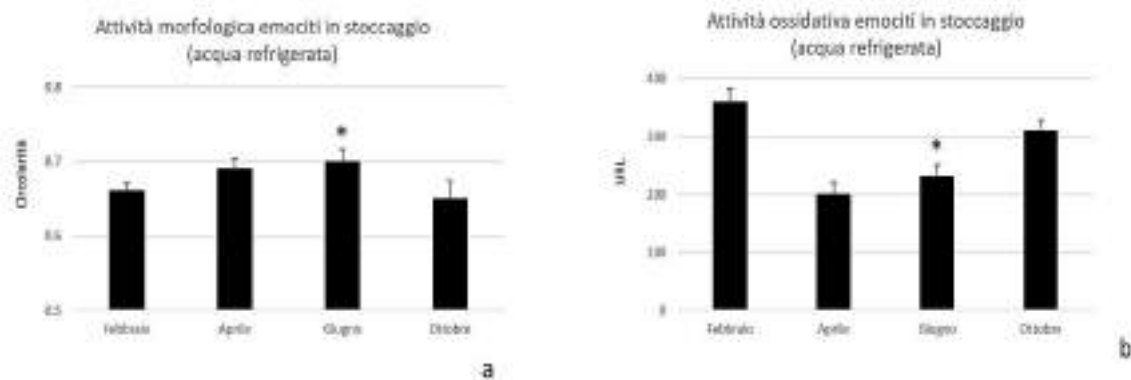
Presso l'impianto CIMAR è stata rispettata l'alternanza giorno-notte e, previo monitoraggio con apposita sonda multiparametrica, non sono state rilevate tracce di clorofilla nelle acque delle vasche. Inoltre non sono state osservate differenze statisticamente significative tra i vari mesi, ma saranno necessari ulteriori studi a conferma di quanto emerso, in ragione delle numerose variabili in gioco. L'omeostasi ambientale gioca un ruolo fondamentale nel benessere e nella crescita dei mitili ed eventuali differenze di comportamento riflettono cambiamenti più o meno importanti delle condizioni di allevamento. Un loro fine monitoraggio deve necessariamente tener conto anche delle variazioni e degli andamenti stagionali, per cui si rende necessaria un'estensione del periodo di valutazione ai fini dell'ottenimento di una visione d'insieme il più inclusiva e dettagliata possibile.

Per ciò che concerne la valutazione dei parametri immunologici, vengono qui di seguito riportati i relativi grafici.



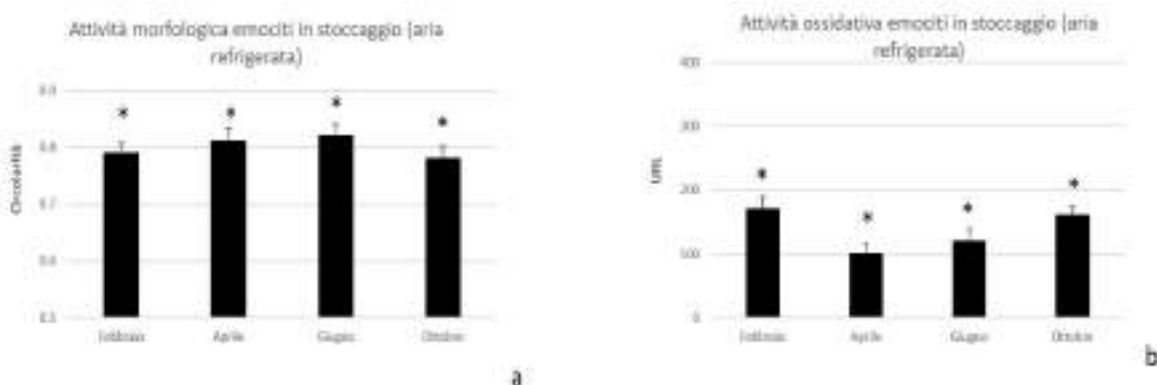
Grafici 7a e 7b- Attività morfologica ed ossidativa degli emociti di mitili posti in vasca di depurazione per 24 ore
***($p < 0,05$ vs valori di campo).**

Il mantenimento dei mitili nelle vasche di depurazione per 24 ore non ha significativamente alterato i parametri emocitari nei confronti dei valori di campo osservati nei mesi di Febbraio, Aprile ed Ottobre. Al contrario, nel mese di Giugno i parametri hanno evidenziato una maggiore attività morfologica ed ossidativa degli emociti rispetto ai valori di campo (Fig. 7a e 7b).



Grafici 8a e 8b- Attività morfologica ed ossidativa degli emociti di mitili mantenuti per 24 ore in acqua refrigerata (* $p < 0,05$ vs valori di campo).

Lo stoccaggio dei mitili in acqua a temperatura di refrigerazione non ha significativamente alterato i parametri emocitari nei confronti dei valori di campo e post-depurazione riscontrati nei mesi di Febbraio, Aprile ed Ottobre. Al contrario, nel mese di Giugno i parametri hanno mantenuto livelli comparabili alla fase post-depurativa, indicativi di una maggiore reattività morfologica ed ossidativa delle cellule rispetto ai valori di campo (Grafici 8a e 8b).



Grafici 9a e 9b- Attività morfologica ed ossidativa degli emociti di mitili mantenuti per 24 ore in aria refrigerata (* $p < 0,05$ vs valori riscontrati nelle precedenti fasi).

Infine, il mantenimento degli animali a temperatura di refrigerazione ed in assenza di acqua, quindi in condizioni di ipossia, ha determinato in tutte le rivelazioni mensili condotte un significativa riduzione delle proprietà ameboidi ed ossidative degli emociti, rispetto sia ai valori di campo che ai valori osservati nella depurazione e nel mantenimento in acqua a temperatura di refrigerazione (Grafici 9a e 9b).

ATTIVITÀ 4.

MONITORAGGIO DELLA FUNZIONALITÀ DELLE ATTREZZATURE A MARE E A TERRA

Introduzione

Una volta posizionate le attrezzature a mare, rappresentate dai sistemi di monitoraggio e dai sensori valvometrici, si è provveduto al loro controllo periodico, effettuato sia dai tecnici di impianto che dal personale scientifico, congiuntamente alle eventuali necessarie modifiche ai sistemi di rilevazione.

Al fine di associare i dati ambientali con le misurazioni del benessere animale manifestato dai mitili, sono collezionati i dati provenienti dai sensori BioPhys-sensors quando posizionati a mare assieme alle valutazioni dell'attività fagocitaria.

Nell'ambito della presente attività, si è inoltre provveduto all'elaborazione dei dati ambientali, monitorati tramite satellite, sia per un loro utilizzo da parte dei ricercatori, sia per promuovere la loro comunicazione costante agli allevatori, secondo cadenza settimanale.

Materiali e metodi

I dati ambientali sono stati monitorati sia in maniera diretta, utilizzando le sonde multiparametriche, sia in maniera indiretta, attraverso l'impiego dei dati satellitari. Le informazioni ottenute dai due sistemi sono state continuamente interpolate allo scopo di avere una migliore visione di insieme dell'ecosistema marino, tanto in superficie, quanto in profondità. I dati satellitari sono stati ricavati dalla piattaforma Copernicus, un programma di osservazione della Terra messo a disposizione dall'Unione Europea, coordinato e gestito dalla Commissione europea ed attuato grazie alla collaborazione con gli Stati membri, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA), l'Organizzazione Europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici (EUMETSAT), il Centro Europeo per le Previsioni Meteorologiche a Medio Termine (CEPMET), le agenzie dell'UE e Mercator Océan. Il programma utilizza enormi quantità di dati globali provenienti da satelliti e da sistemi di misurazione terrestri, aerei e marittimi per fornire informazioni che aiutino i prestatori di servizi, le autorità pubbliche e altre organizzazioni internazionali a migliorare la qualità della vita dei cittadini europei. I servizi di informazione forniti sono accessibili agli utenti del programma in modo libero e gratuito.

Il programma Copernicus si basa su una famiglia di satelliti dedicati, Sentinels, di proprietà dell'Unione europea, specificamente progettati per soddisfare le esigenze dei servizi di Copernicus e dei loro utenti. La piattaforma utilizza anche un gran numero di sistemi di misurazione *in situ* (sul luogo) messi a disposizione del programma da parte degli Stati membri dell'Unione europea. Si tratta di sensori posti sulle rive dei fiumi, sensori trasportati da palloni meteorologici, trainati da navi o galleggianti in mare. I dati *in situ* vengono utilizzati per calibrare, verificare e completare le informazioni fornite dai satelliti, azione essenziale al fine di fornire dati affidabili e costanti nel tempo. I servizi Copernicus trasformano questa ricchezza di dati, raccolti da satelliti e *in situ*, in informazioni a valore aggiunto: analizzandoli ed elaborandoli, integrando gli stessi con altre fonti e infine convalidando i risultati ottenuti.

Queste attività a valore aggiunto sono poi organizzate in sei servizi Copernicus:

-  Monitoraggio atmosferico
-  Monitoraggio dell'ambiente marino
-  Monitoraggio del territorio
-  Cambiamento climatico
-  Gestione delle emergenze
-  Sicurezza

Il servizio di monitoraggio dell'ambiente marino di Copernicus (CMEMS) fornisce informazioni di riferimento periodiche e sistematiche sullo stato fisico e biogeochimico, sulla variabilità e sulle dinamiche degli ecosistemi oceanici e marini per tutti gli oceani del mondo e i mari della regione europea.

Le osservazioni e previsioni prodotte dal servizio forniscono sostegno a tutte le applicazioni marine, tra cui sicurezza in mare, risorse marine, ambiente costiero e marino, meteo, previsioni stagionali e clima.

Il servizio contribuisce altresì alla protezione e alla gestione sostenibile delle risorse biologiche marine, in particolare per l'acquacoltura, la gestione sostenibile della pesca oppure il processo decisionale delle organizzazioni regionali di pesca. Le componenti fisiche e biogeochimiche marine sono utili per il monitoraggio della qualità dell'acqua e per il controllo dell'inquinamento. L'aumento della temperatura della superficie marina

ha conseguenze dirette sugli ecosistemi marini e sulla comparsa di cicloni tropicali. Di conseguenza, il servizio consente una vasta gamma di applicazioni ambientali marine e costiere. Nell'ambito del monitoraggio dell'ambiente marino, sono disponibili sulla piattaforma diverse tipologie di analisi, definite “ ocean products”, che differiscono tra loro per l'area di interesse (globale oppure locale) e per i parametri considerati (fisici o biogeochimici). All'interno di ogni scheda è poi possibile avere accesso a dati orari, giornalieri o mensili. Ai fini del presente monitoraggio sono stati utilizzati i seguenti due prodotti:

- “Mediterranean Sea Physics Analysis and Forecast updated Monthly”
- “Mediterranean Sea Biogeochemistry Analysis and Forecast updated Monthly”

Le schede informative relative ai dettagli dei due prodotti vengono qui di seguito riportate. Nella presente attività sono stati analizzati sia i dati delle annualità pregresse (da aprile 2019 a dicembre 2020) che quelli dell'annualità in corso (2021), opportunamente graficati e comunicati settimanalmente ai mitilicoltori. Inoltre, i parametri satellitari monitorati (temperatura, salinità, clorofilla, fitoplancton, ossigeno disciolto, nitrati e fosfati) sono stati oggetto di confronto con i dati relativi alla piovosità forniti dal Servizio Idrografico della Regione Abruzzo.

Product identifier

MEDSEA_ANALYSISFORECAST_BGC_006_014

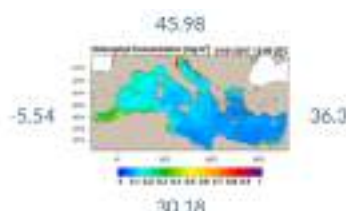
Overview

Short Description:

The biogeochemical analysis and forecasts for the Mediterranean Sea at $1/24^\circ$ of horizontal resolution (ca. 4 km) are produced by means of the MedBFM3 model system. MedBFM3, which is run by OGS (IT), includes the transport model OGSTM v4.1 coupled with the biogeochemical flux model BFM v5 and the variational data assimilation module 3DVAR-BIO v2.1. The biogeochemical MedBFM system, which is off-line coupled with the NEMO-OceanVar model (MEDSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_006_013 product run by CMCC), produces seven days of analysis (weekly on Tuesday) with the assimilation of surface chlorophyll (CMEMS-OCTAC NRT product) and of vertical profiles of chlorophyll and nitrate (BGC-Argo floats provided by CORIOLIS DAC). One day of hindcast and ten days of forecast are produced daily.

Variables

mass_concentration_of_chlorophyll_a_in_sea_water (CHL)
mole_concentration_of_phytoplankton_expressed_as_carbon_in_sea_water (PHYC)
mole_concentration_of_zooplankton_expressed_as_carbon_in_sea_water (ZOOC)
mole_concentration_of_dissolved_molecular_oxygen_in_sea_water (O2)
mole_concentration_of_nitrate_in_sea_water (NO3)
mole_concentration_of_phosphate_in_sea_water (PO4)
mole_concentration_of_silicate_in_sea_water (SI)
mole_concentration_of_ammonium_in_sea_water (NH4)
surface_partial_pressure_of_carbon_dioxide_in_sea_water (SPCO2)
sea_water_ph_reported_on_total_scale (PH)
surface_downward_mass_flux_of_carbon_dioxide_expressed_as_carbon (FGCO2)
sea_water_alkalinity_expressed_as_mole_equivalent (ALK)
mole_concentration_of_dissolved_inorganic_carbon_in_sea_water (DIC)
net_primary_production_of_biomass_expressed_as_carbon_per_unit_volume_in_sea_water (PP)
sea_floor_depth_below_geoid ()
cell_thickness ()
model_level_number_at_sea_floor ()



Observation / Models	numerical-model
Product type	forecast near-real-time
Processing level	L4
Data assimilation	Nutrients (O2 N P) Satellite Chlorophyll
Spatial resolution	$0.042^\circ \times 0.042^\circ$
Vertical coverage (Number of vertical level)	from -4153 to 0 (125 levels)
Coordinate reference system	WGS 84 (EPSG:4326)
Feature type	Grid
Temporal coverage	from 2019-05-04 to present
Temporal resolution	daily mean monthly mean
Update frequency	daily monthly (22:00; 20th of each month at 16UTC)
Production unit	MED-OGS-TRIESTE-IT
Original file format	NetCDF-4

Product identifier

MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013

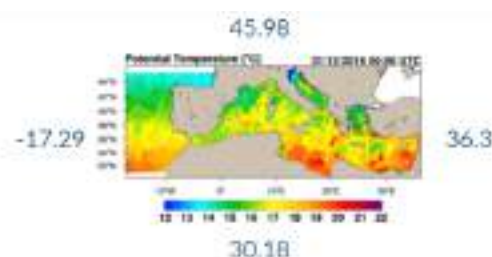
Overview**Short Description:**

The physical component of the Mediterranean Forecasting System (Med-Currents) is a coupled hydrodynamic-wave model implemented over the whole Mediterranean Basin including tides. The model horizontal grid resolution is $1/24^{\circ}$ (ca. 4 km) and has 141 unevenly spaced vertical levels. The hydrodynamics are supplied by the Nucleus for European Modelling of the Ocean (NEMO v3.6) while the wave component is provided by Wave Watch-III; the model solutions are corrected by a variational data assimilation scheme (3DVAR) of temperature and salinity vertical profiles and along track satellite Sea Level Anomaly observations.

DOI (product): https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_006_013_FAS6

Variables

sea_water_potential_temperature (T)
sea_water_potential_temperature_at_sea_floor (bottomT)
sea_surface_height_above_geoid (SSH)
northward_sea_water_velocity (UV)
eastward_sea_water_velocity (UV)
ocean_mixed_layer_thickness_defined_by_sigma_theta (MLD)
sea_surface_height_above_geoid_detided ()
cell_thickness ()
model_level_number_at_sea_floor ()
sea_floor_depth_below_geoid ()



Observation / Models	numerical-model
Product type	forecast near-real-time
Processing level	L4
Data assimilation	Sea Level In-Situ TS Profiles SST
Spatial resolution	$0.042^{\circ} \times 0.042^{\circ}$
Vertical coverage (Number of vertical level)	from -5500 to 0 (141 levels)
Coordinate reference system	WGS 84 (EPSG 4326)
Feature type	Grid
Temporal coverage	from 2019-05-04 to present
Temporal resolution	hourly mean daily mean monthly mean 15-minutes instantaneous
Update frequency	daily monthly (16:00; 20th of each month at 16UTC)

Risultati

Monitoraggi pregressi mediante dati satellitari

Vengono qui di seguito riportati i risultati relativi all'analisi dei dati satellitari della scorsa annualità, da gennaio a dicembre 2020.

Temperatura

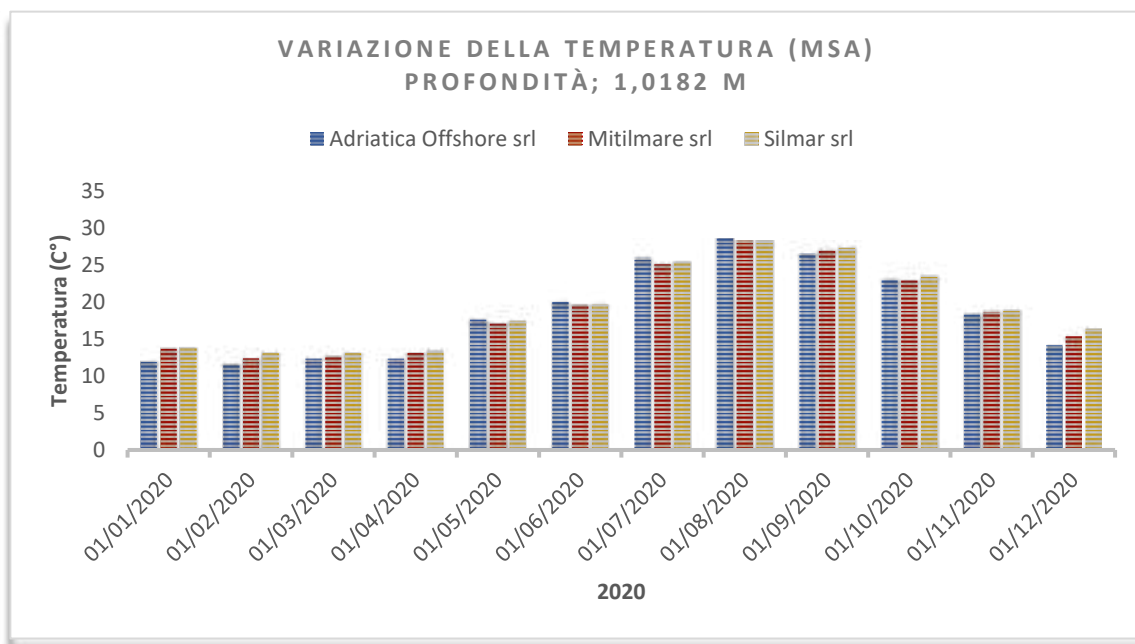


Grafico 10- Variazione stagionale della temperatura presso i 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Salinità

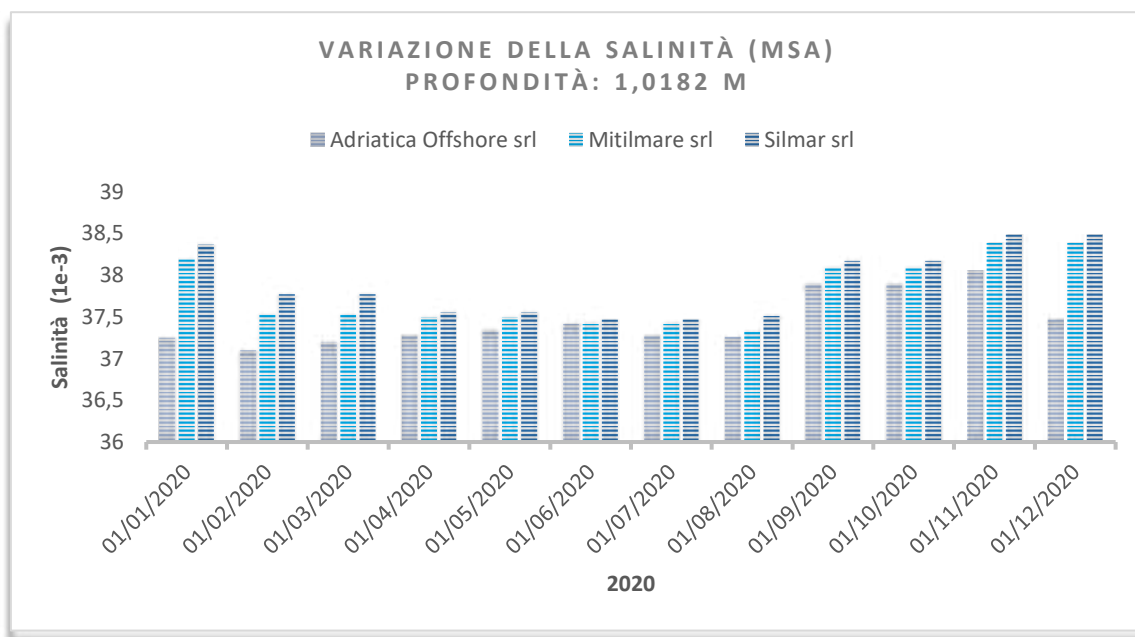


Grafico 11- Variazione stagionale della salinità nei 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Clorofilla

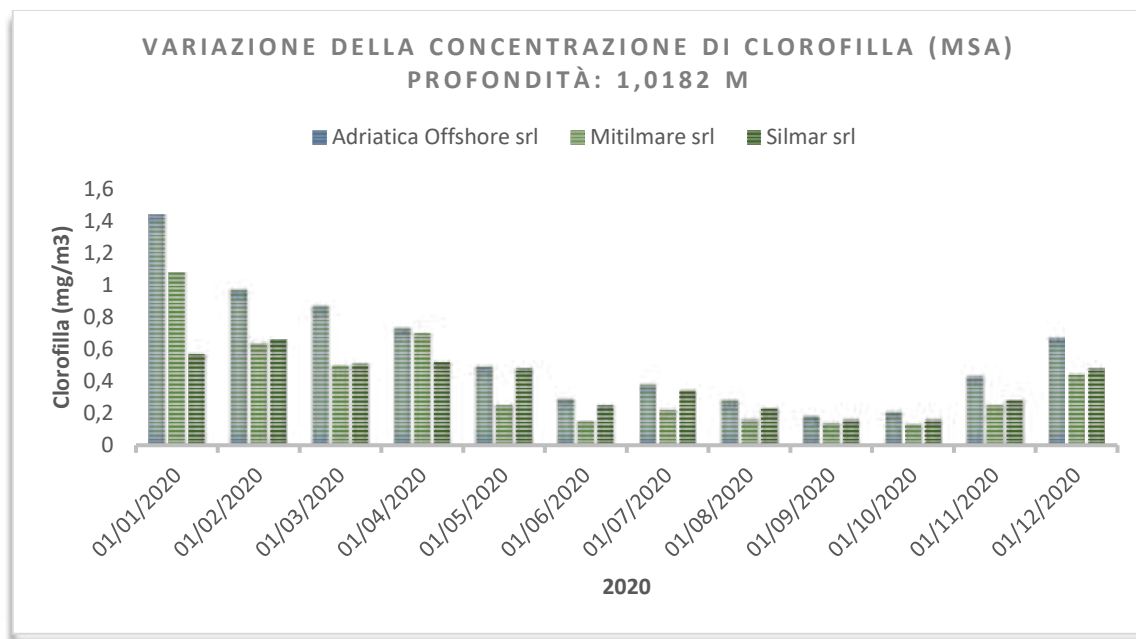


Grafico 12- Variazione della concentrazione di clorofilla nei 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Fitoplancton

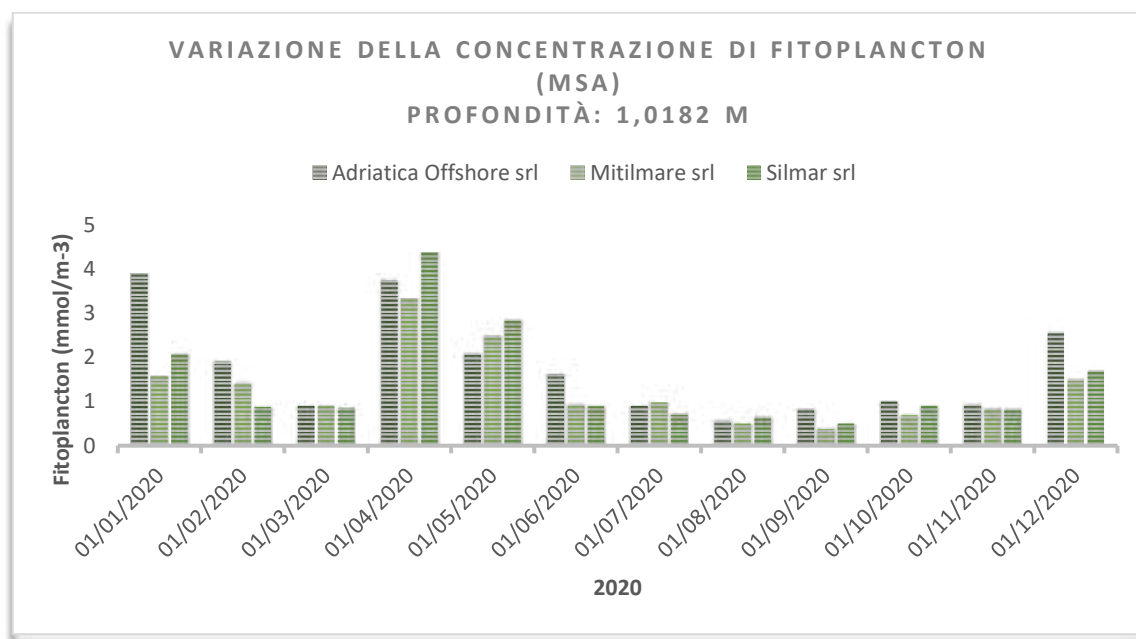


Grafico 13- Variazione della concentrazione di fitoplancton

Ossigeno disciolto

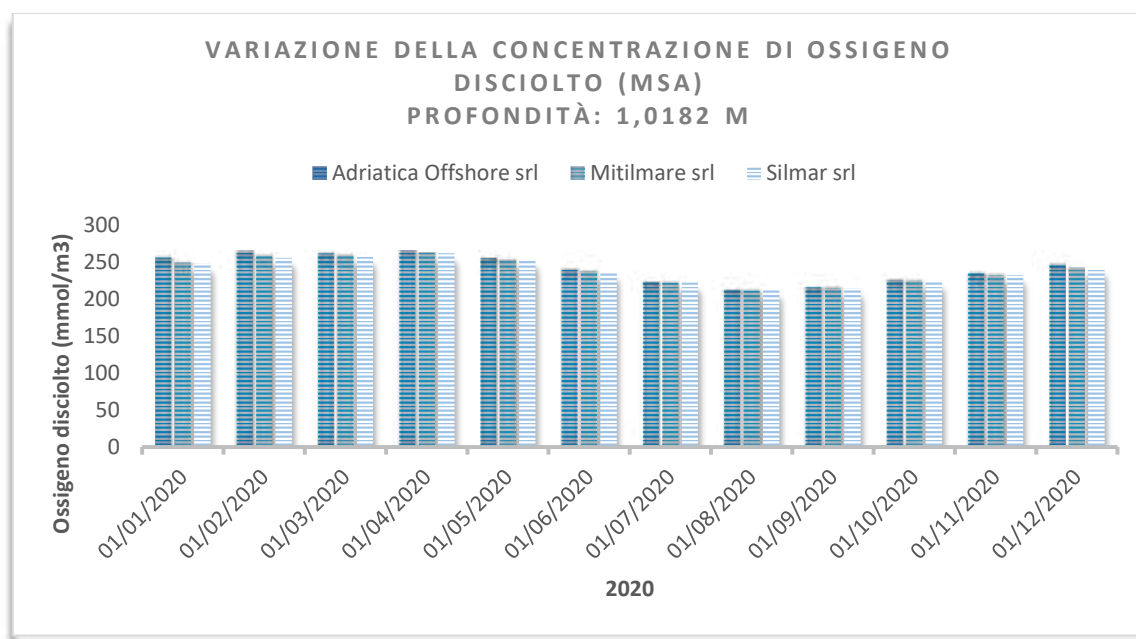


Grafico 14- Variazione della concentrazione di ossigeno disciolto nei 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Nitrati

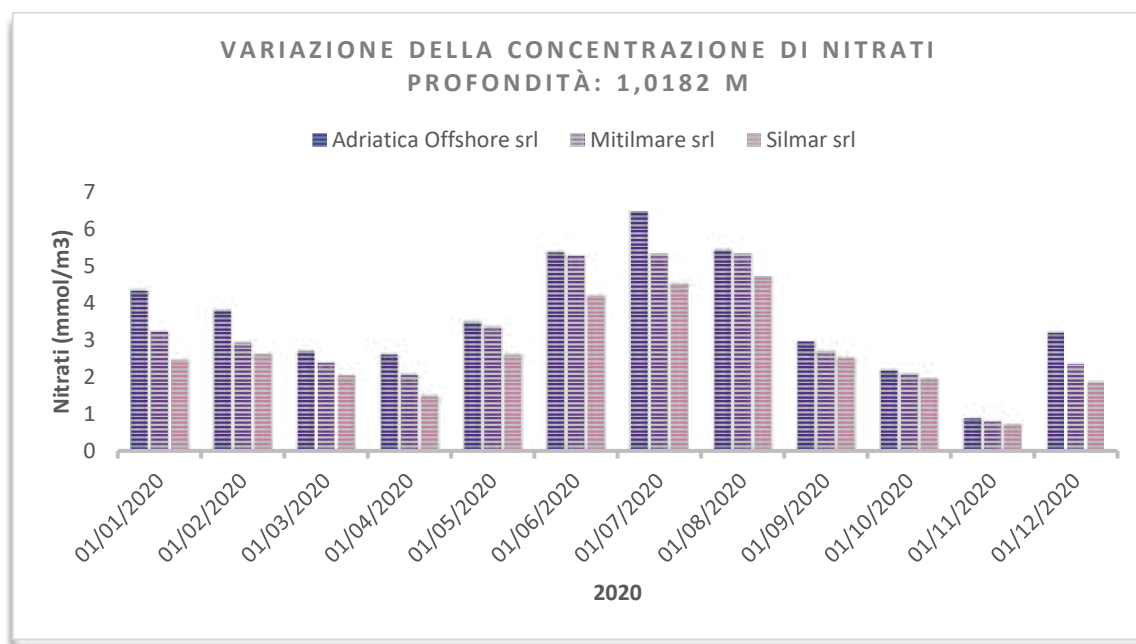


Grafico 15- Variazione della concentrazione di nitrati nei 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Fosfati

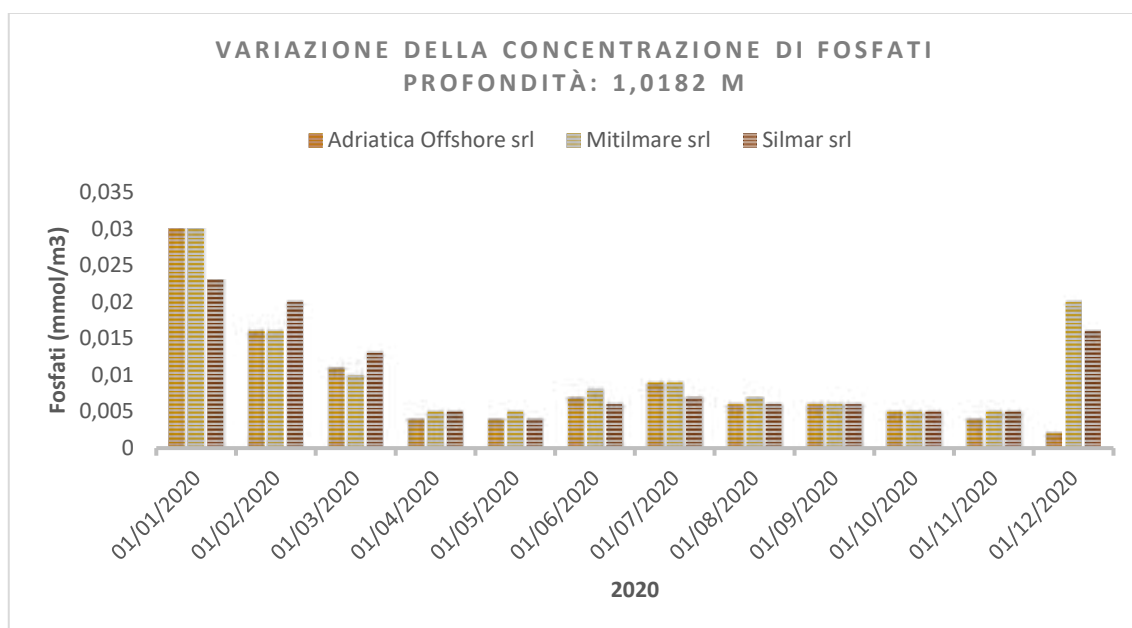


Grafico 16- Variazione della concentrazione dei fosfati nei 3 impianti oggetto di monitoraggio.

Monitoraggi attuali e attività di aggiornamento dei mitilicoltori

Vengono qui di seguito riportati i grafici relativi all'analisi dei dati satellitari dell'annualità 2021, i quali, nel corso della presente attività progettuale, sono stati comunicati, a cadenza settimanale a partire da marzo 2021, ai molluschicoltori proprietari degli impianti oggetto di monitoraggio. A titolo esemplificativo, si è scelto di rappresentare esclusivamente i grafici maggiormente significativi.

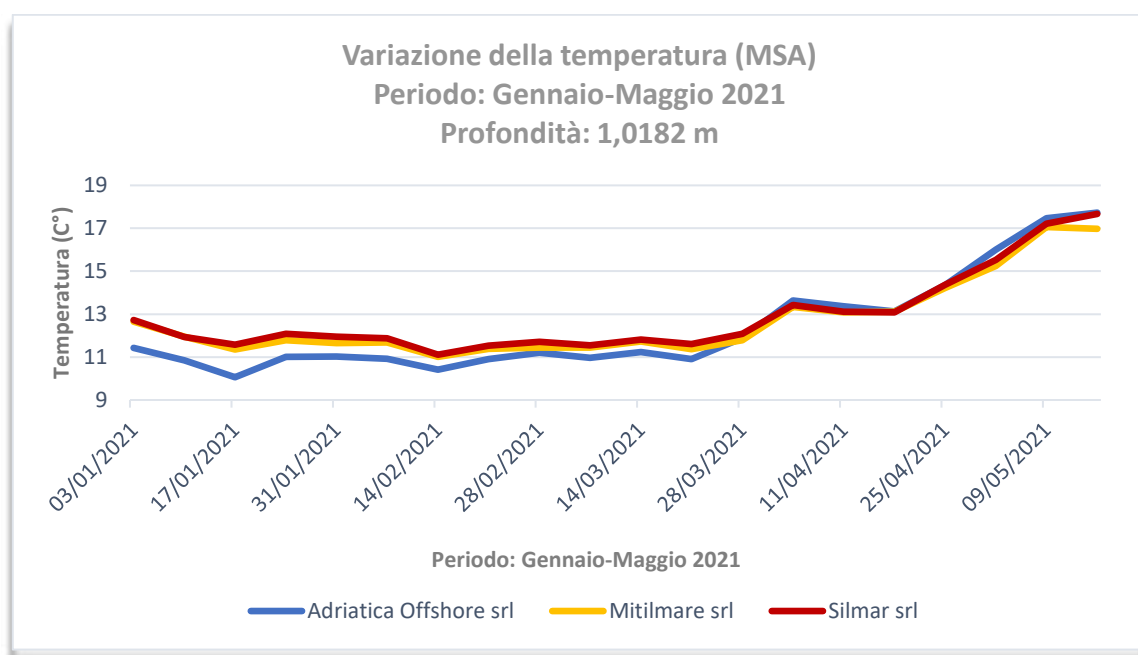


Grafico 17- Andamento della temperatura nel corso dei primi mesi di monitoraggio.

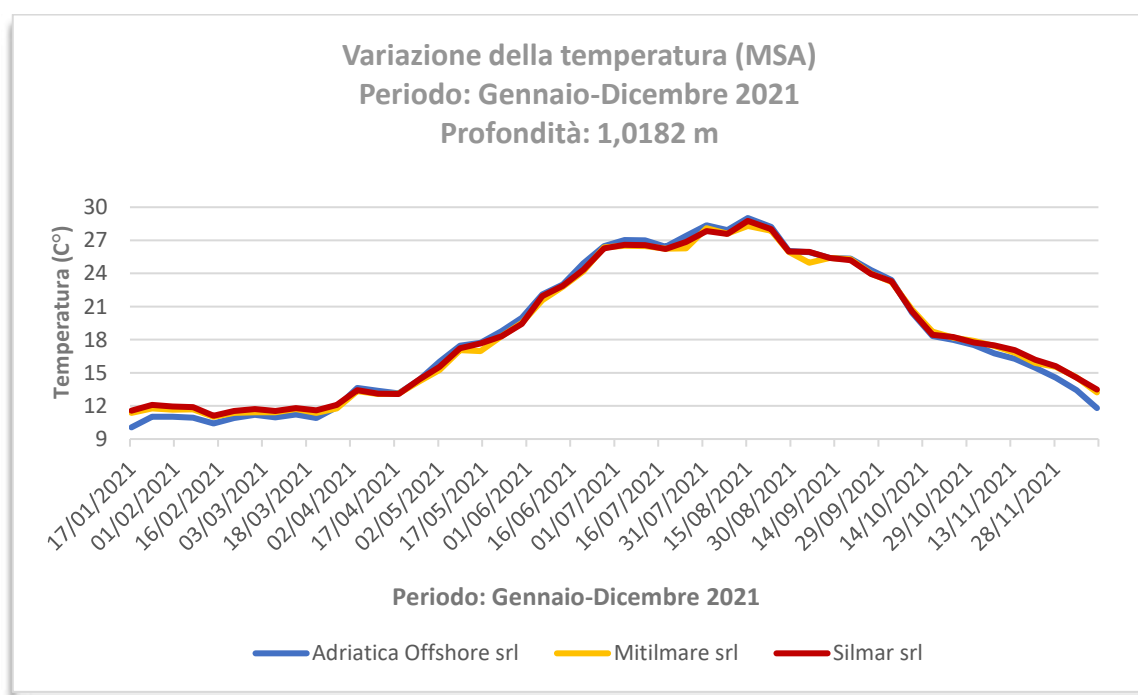


Grafico 18- Andamento della temperatura alla fine dell'annualità di monitoraggio.

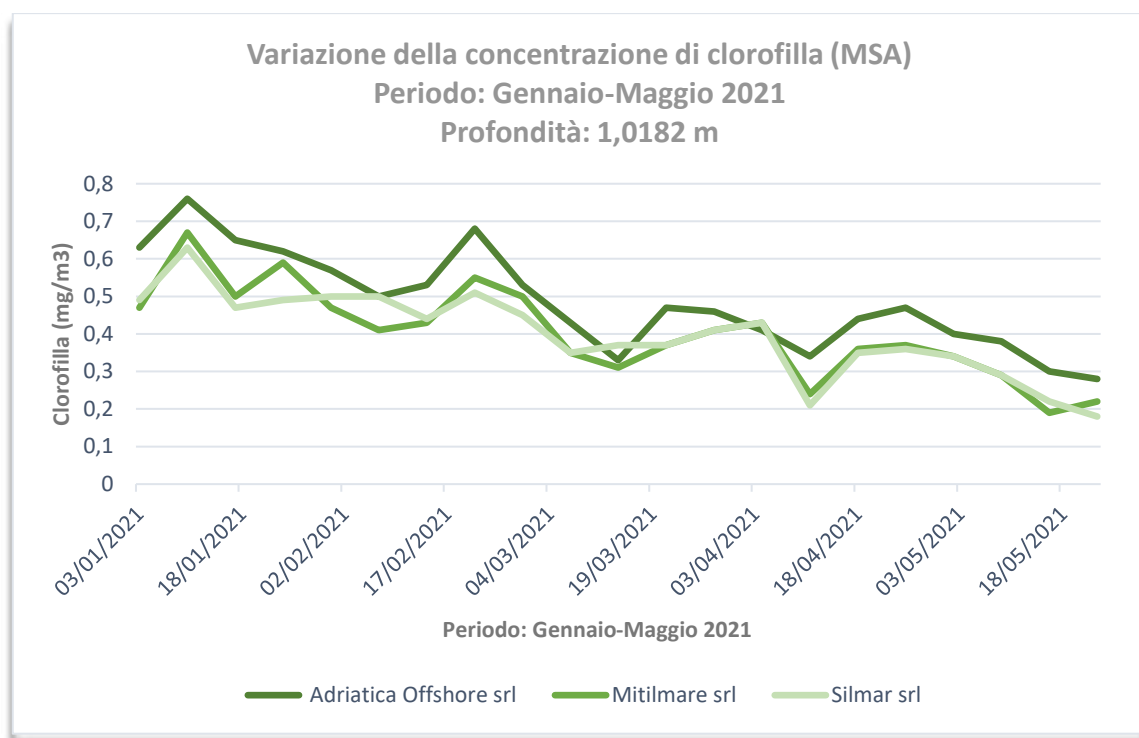


Grafico 19- Andamento della concentrazione di clorofilla nelle fasi iniziali di monitoraggio.

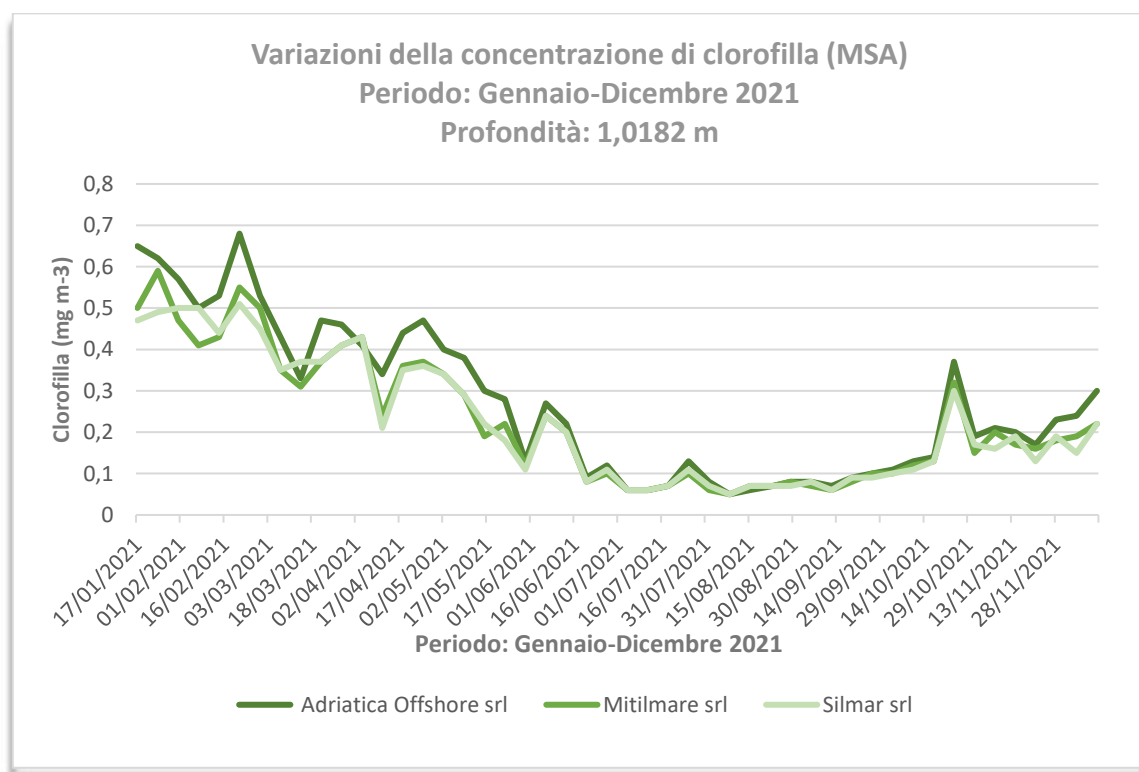
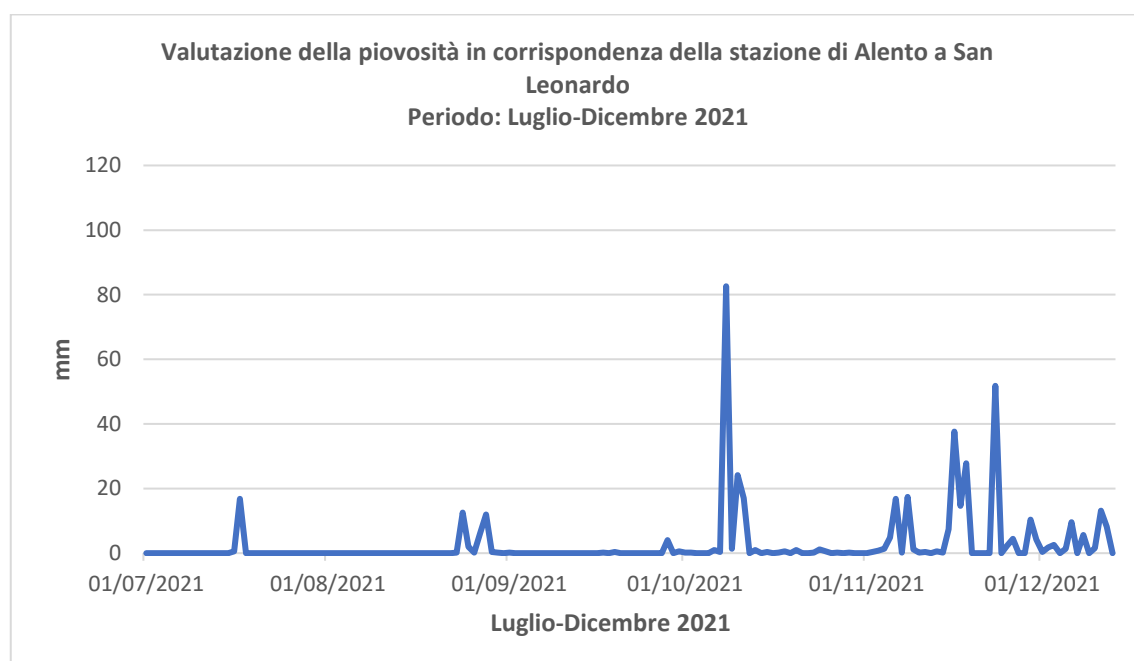


Grafico 20- Andamento della concentrazione di clorofilla alla fine dell'annualità di monitoraggio.

Dati forniti dal Servizio Idrografico della Regione

Vengono qui di seguito riportati i risultati relativi all'analisi dei dati di piovosità delle stazioni di rilevamento maggiormente influenzanti gli impianti oggetto di monitoraggio, così suddivise: stazioni di Giulianova, Cordesco e Salinello a cavatassi per Adriatica Offshore srl; stazioni di Alento a San Leonardo e Pescara ad Alanno per Mitilmare srl; stazione di Pollutri ed Osento a San Tommaso per Silmar srl. I dati considerati sono stati gentilmente forniti dal Servizio Idrografico della Regione, che si ringrazia, a seguito delle relazioni costruite nell'ambito dell'attività di progetto e sono relativi al periodo che va dal 1 luglio 2021 al 13 dicembre 2021.



Grafici 21 e 22- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Alento a San Leonardo e Pescara.





Grafico 23- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Giulianova.



Grafico 24- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Tordino a Cordesco.

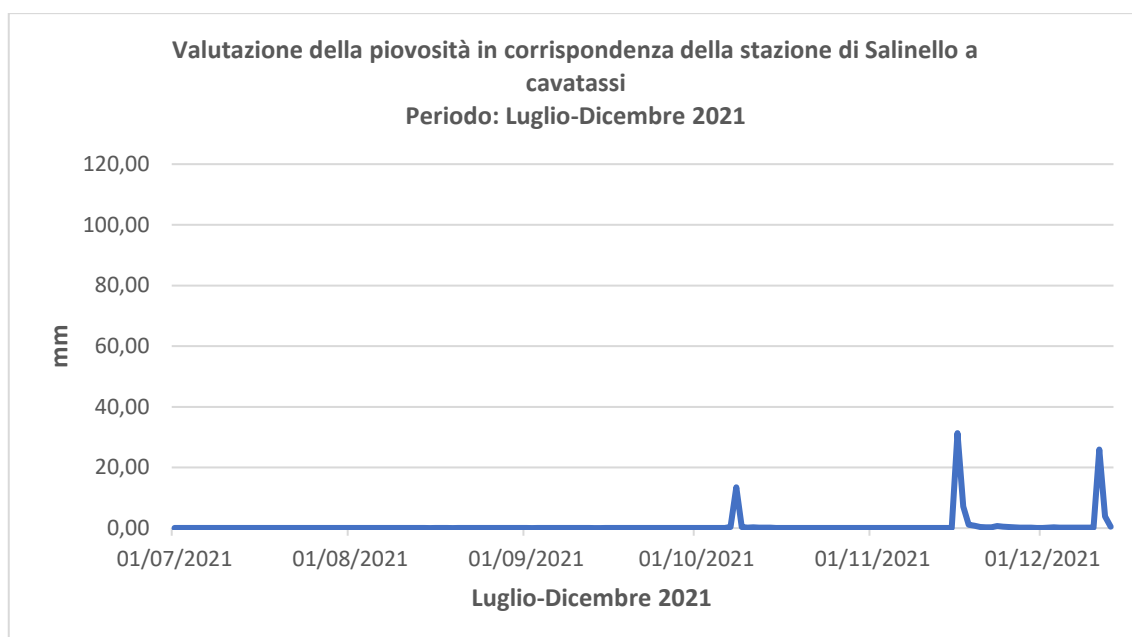


Grafico 25- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Salinello a cavatassi.



Grafico 26- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Pollutri.



Grafico 27- Valutazione della piovosità in corrispondenza della stazione di Oseno a San Tommaso.

Monitoraggio a mare mediante biosensori

Vengono qui di seguito riportati i grafici relativi all'attività di monitoraggio a mare mediante biosensori. La sperimentazione ha avuto luogo nel corso di 5 giornate per ogni mensilità di interesse (luglio, agosto, settembre, ottobre).

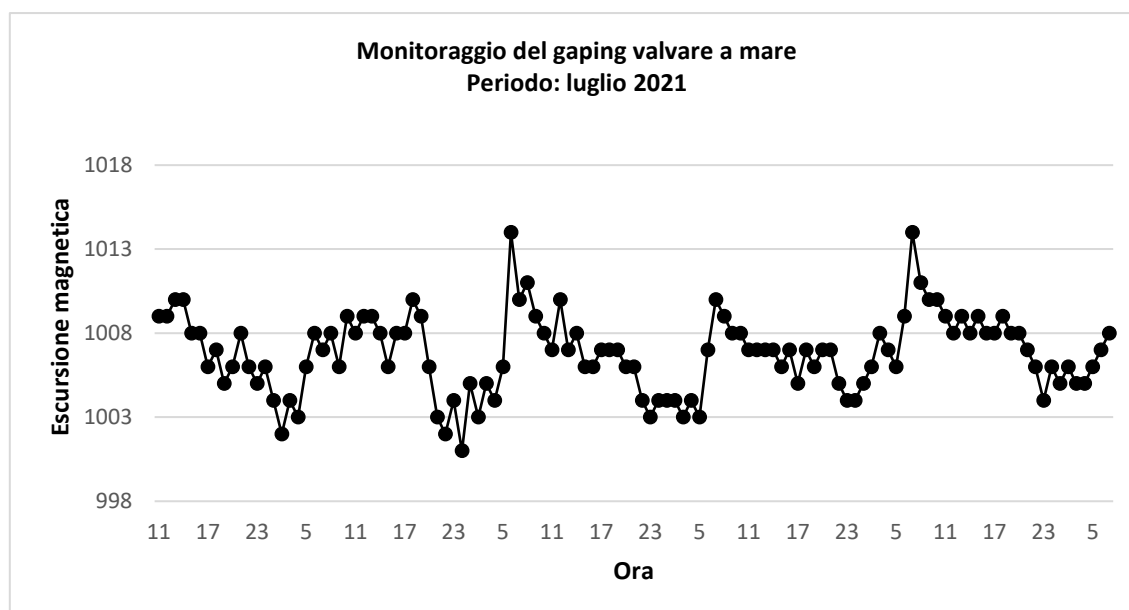


Grafico 28- Rappresentazione grafica del movimento di gaping valvare dei mitili nel corso delle 5 giornate di sperimentazione di luglio 2021.

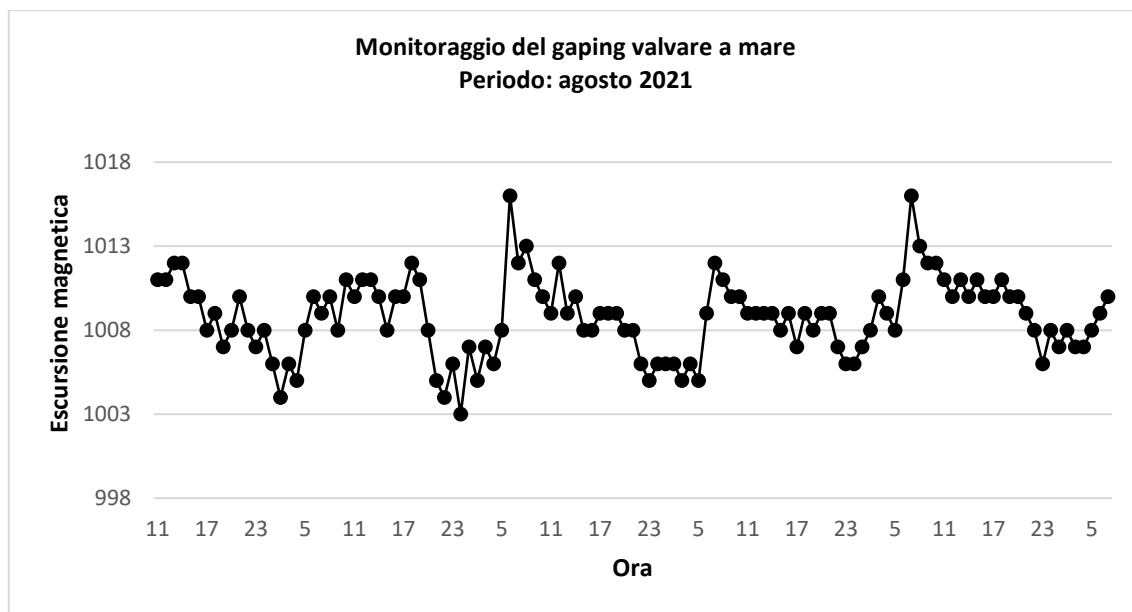


Grafico 29- Rappresentazione grafica del movimento di gaping valvare dei mitili nel corso delle 5 giornate di sperimentazione di agosto 2021.

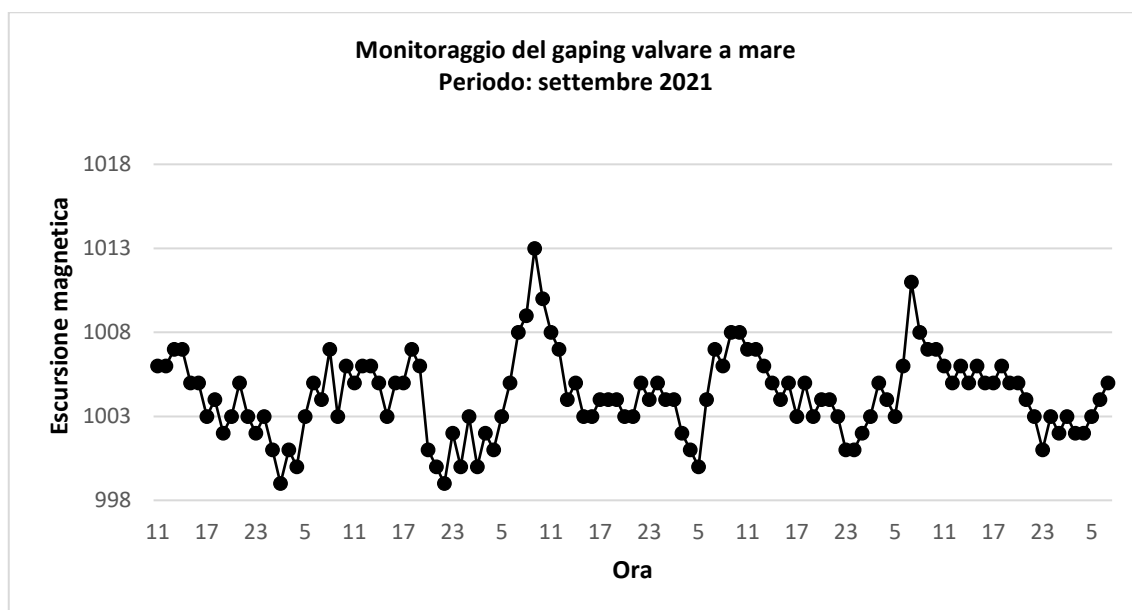


Grafico 30- Rappresentazione grafica del movimento di gaping valvare dei mitili nel corso delle 5 giornate di sperimentazione di settembre 2021.

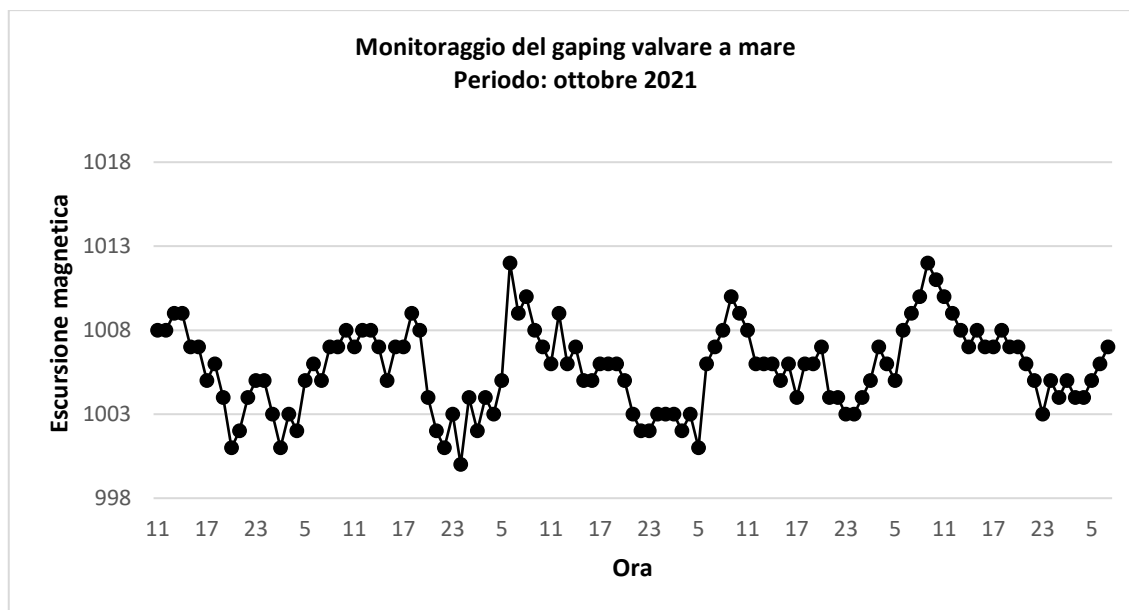


Grafico 31- *Rappresentazione grafica del movimento di gaping valvare dei mitili nel corso delle 5 giornate di sperimentazione di ottobre 2021.*

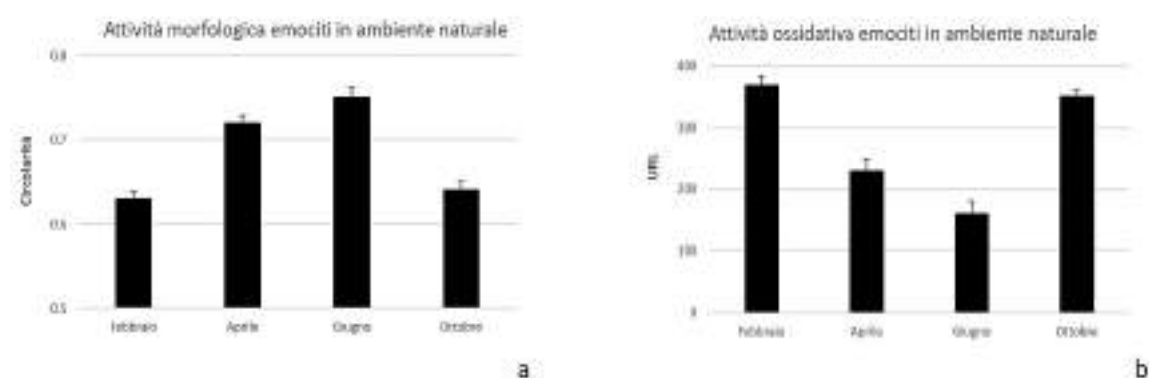
Osservando i grafici riportati, si nota che i movimenti di *gaping* valvare dei mitili oggetto di monitoraggio riflettono, in tutti i mesi di sperimentazione (luglio, agosto, settembre, ottobre), il ritmo circadiano di alternanza luce-buio. Come messo in evidenza dalle prove di calibrazione, le escursioni verso il basso indicano l'allontanamento del magnete collocato sulla valva dal rilevatore di segnale e descrivono dunque il movimento di chiusura valvare, mentre quelle verso l'alto fanno riferimento all'avvicinamento del magnete al rilevatore e rappresentano quindi l'apertura valvare. Col procedere delle stagioni, si modificano leggermente sia gli orari di apertura mattutina che quelli di chiusura serale.

Le temperature misurate dagli strumenti hanno mostrato un andamento costante nel corso di ogni sperimentazione, motivo per cui si è scelto di non riportare i relativi grafici. Vengono altresì indicati qui di seguito i valori medi in relazione ai mesi di interesse:

- Luglio: 25,9 C°
- Agosto: 26,4 C°
- Settembre: 24,7 C°
- Ottobre: 23,8 C°

Valutazione dei parametri immunologici a mare

In riferimento ai valori di campo dei parametri emocitari, una minore reattività delle cellule alla stimolazione fagocitaria è stata riscontrata nei mitili campionati nei mesi di aprile e giugno, come evidenziato da una maggiore circolarità e da una minore produzione di ROS. Al contrario, nei mitili campionati a febbraio ed ottobre è stata riscontrata la maggiore attività cellulare, sia in termini di riduzione del parametro circolarità, quale indicatore di attivazione morfologica, sia in termini di capacità ossidative legate alla produzione di ROS (Grafici 32a e 32b).



Grafici 32a e 32b- Attività morfologica ed ossidativa degli emociti di mitili in ambiente naturale nelle differenti mensilità di campionamento.

Rilevazioni della sonda multiparametrica di Vasto

Vengono qui di seguito riportati i grafici più significativi relativi alle misurazioni effettuate dalla sonda posizionata presso l'impianto Silmar srl, a Vasto.

I grafici mostrano gli andamenti dei parametri ambientali impostati sulla sonda multiparametrica per il periodo luglio-agosto 2021. A partire dalla fine di agosto i dati non sono continui, per cui i grafici risultano di difficile lettura e pertanto non vengono qui riportati. Le rilevazioni sono effettuate secondo una modalità oraria nell'arco delle 24 ore di ogni giornata. Per via di un problema di calibrazione del sensore, i dati della salinità sono stati rilevati a partire dalle 11 dell'11/08/2021.

Le informazioni ricavate dai grafici mostrano a considerare delle differenze se confrontati con i dati satellitari raccolti in superficie, ma sono necessari monitoraggi di lunga durata per poterne valutare tutti gli aspetti nella loro esaustività.

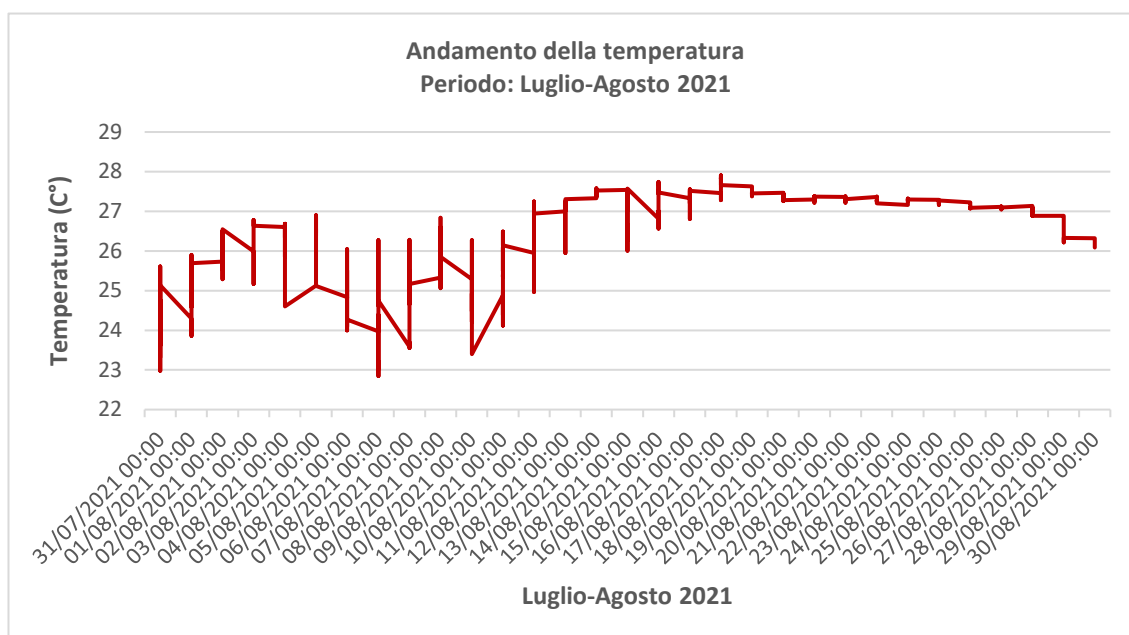


Grafico 33- Andamento della temperatura, presso l'impianto Silmar a Vasto, nei mesi di luglio e agosto 2021

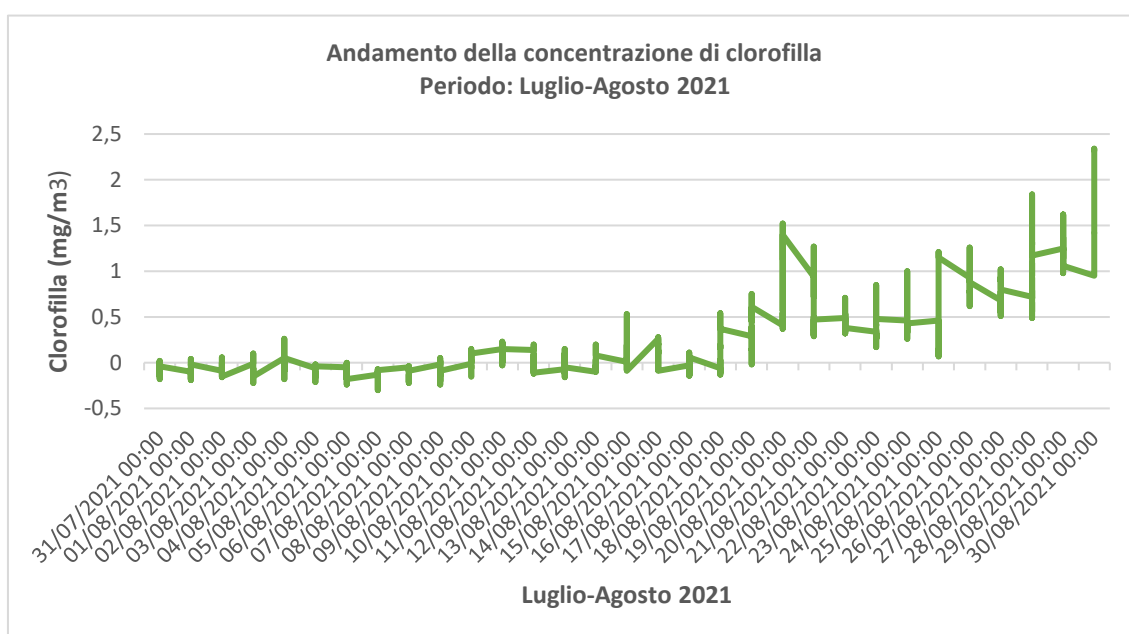


Grafico 34- Andamento della concentrazione di clorofilla, presso l'impianto Silmar a Vasto, nei mesi di luglio e agosto 2021

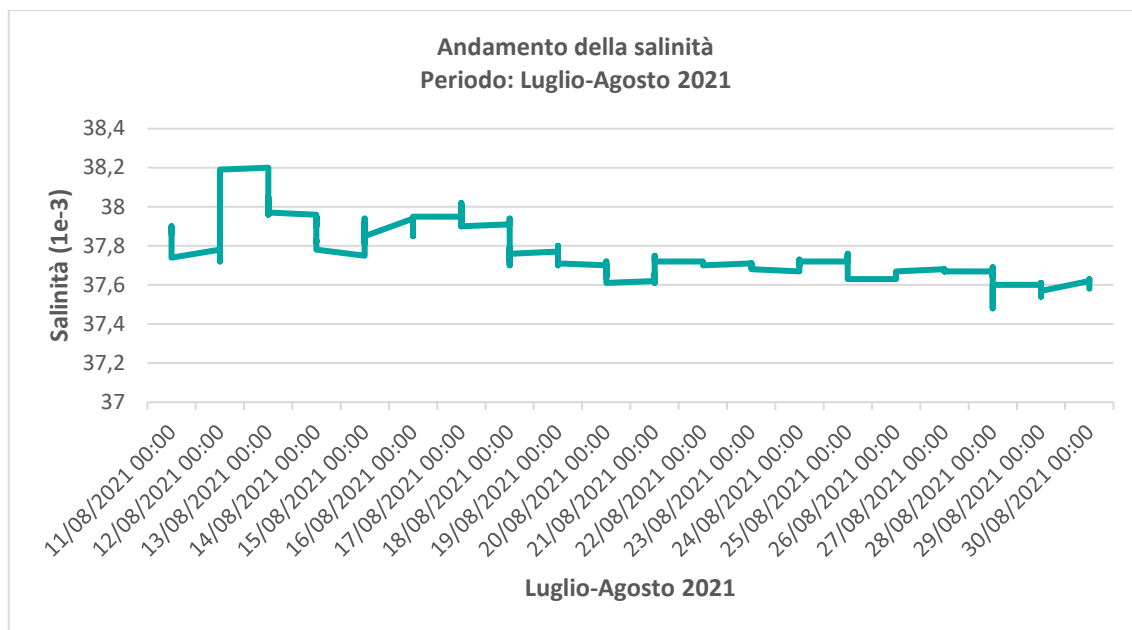


Grafico 35- Andamento della salinità, presso l'impianto Silmar a Vasto, nel mese di agosto 2021

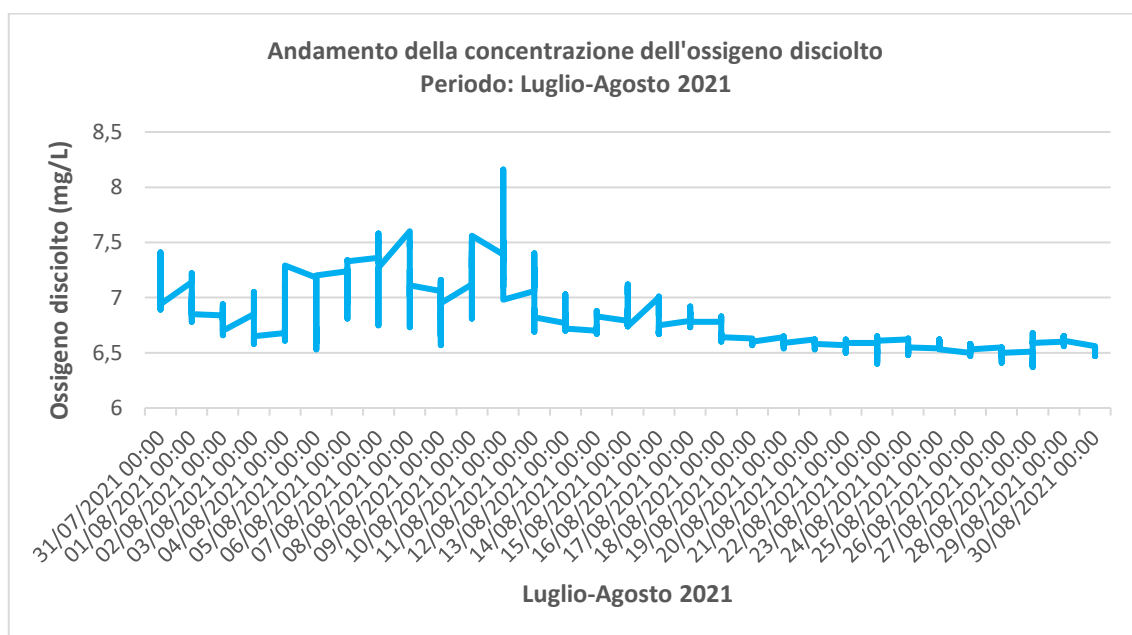


Grafico 36- Andamento della concentrazione di ossigeno disciolto, presso l'impianto Silmar a Vasto, nei mesi di luglio e agosto 2021

Misurazioni effettuate mediante correntometro

Vengono qui di seguito riportati, a titolo esemplificativo, i grafici più significativi relativi ai dati rilevati dal correntometro presso l'impianto di Vasto.

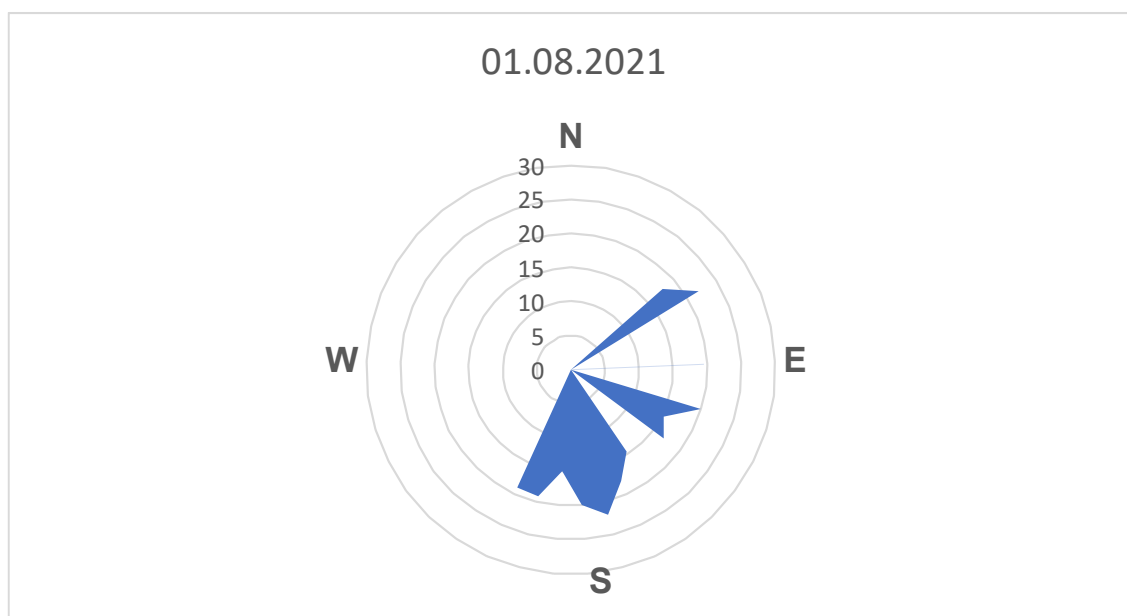


Grafico 37- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 1/08/2021

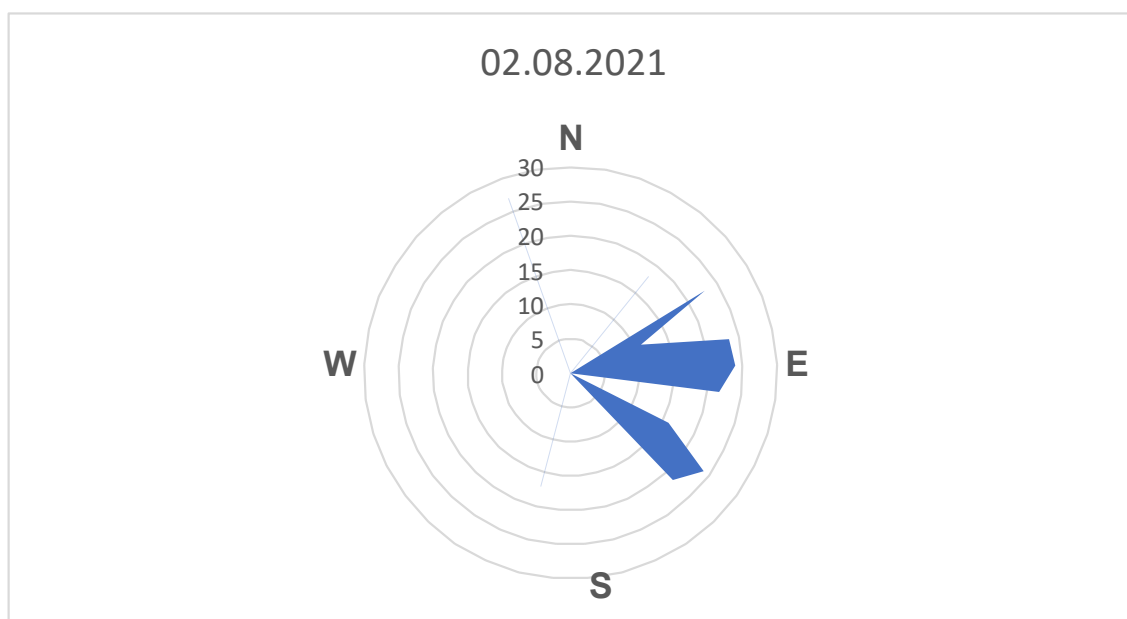


Grafico 38- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 2/08/2021

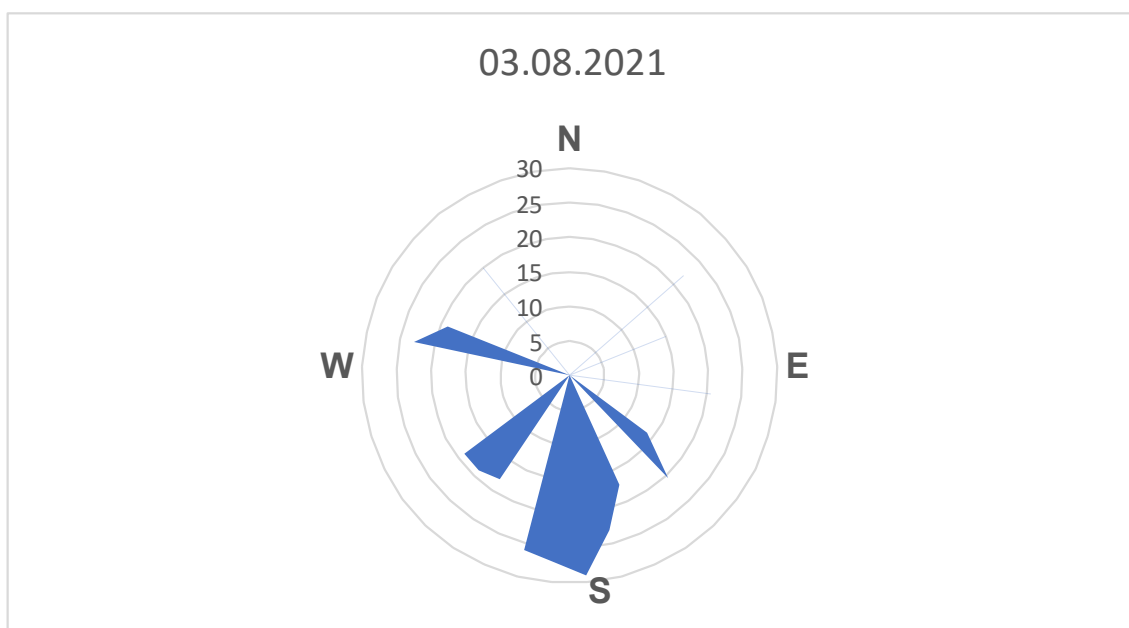


Grafico 39- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 3/08/2021

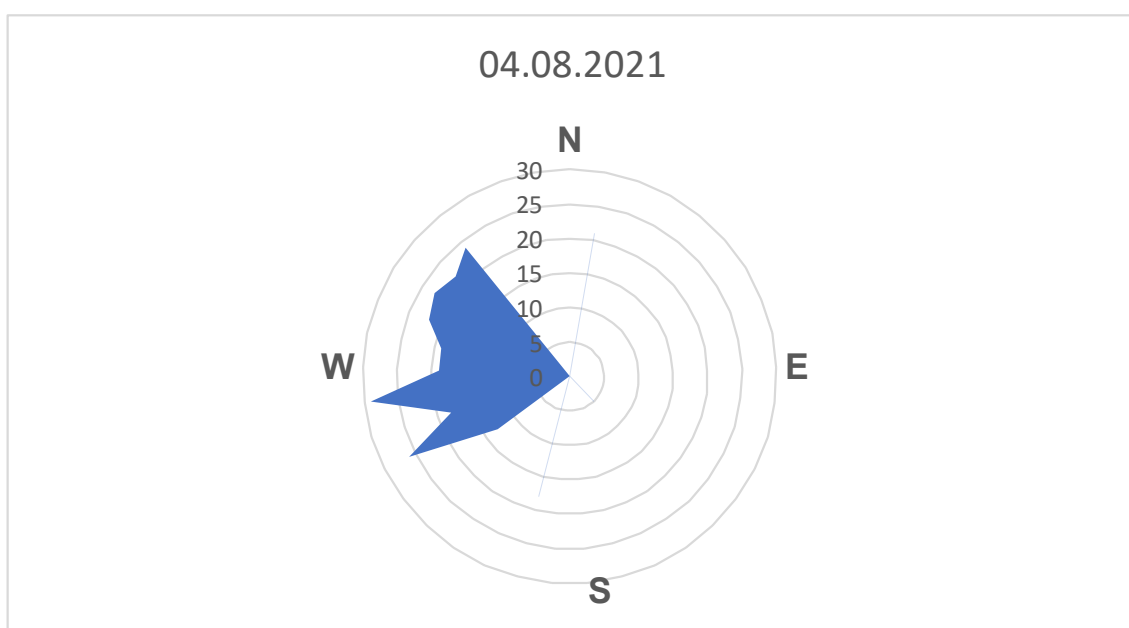


Grafico 40- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 4/08/2021

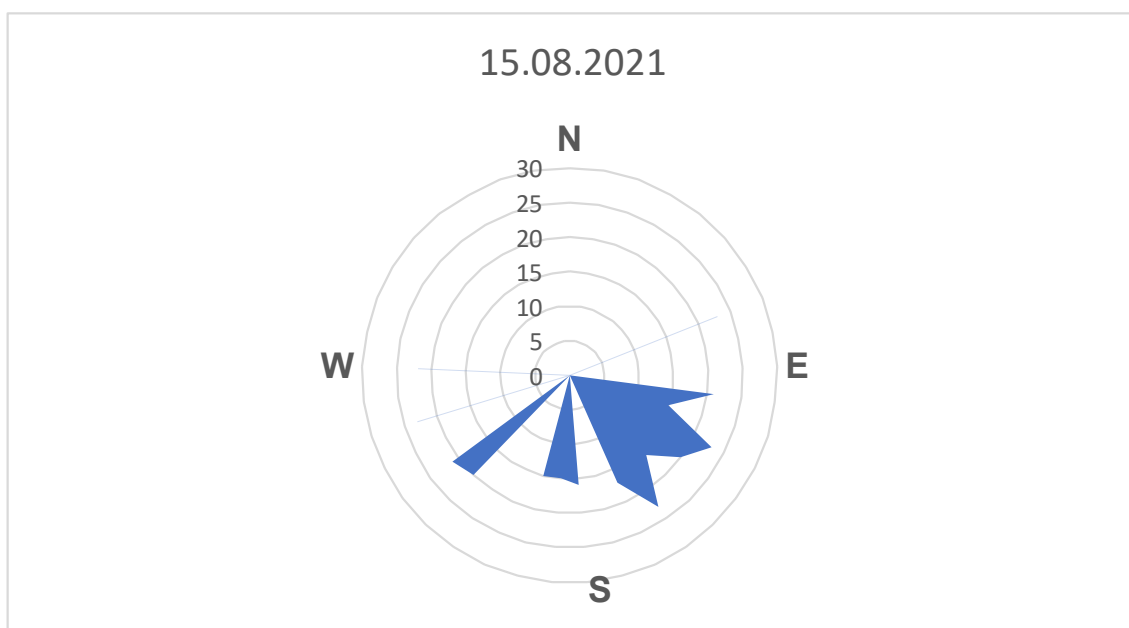


Grafico 41- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 15/08/2021



Grafico 42- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 16/08/2021

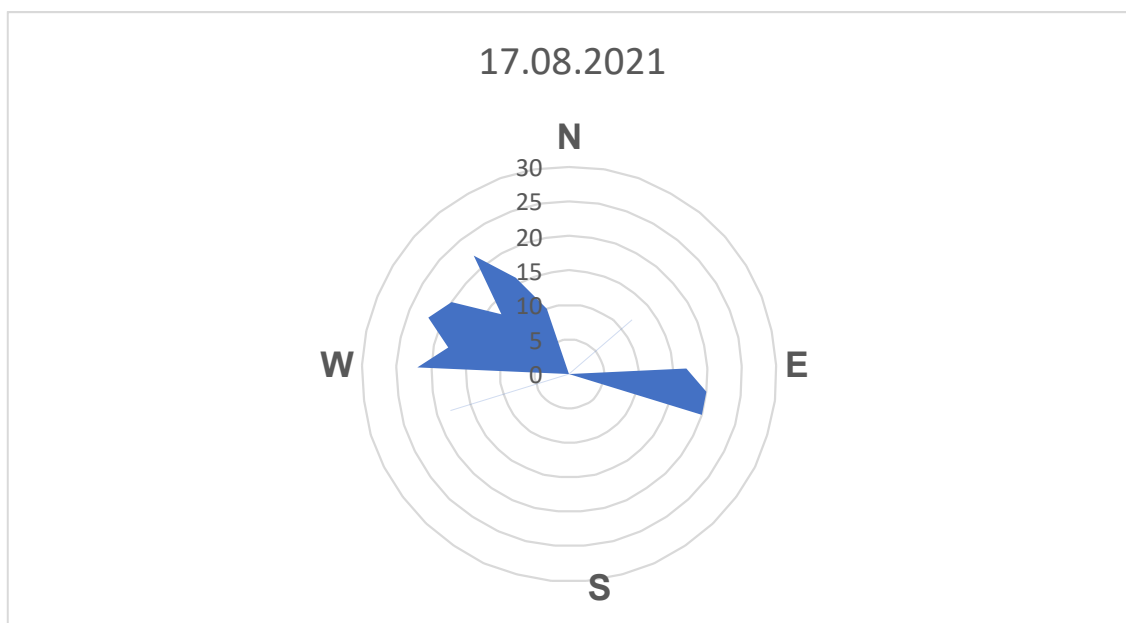


Grafico 43- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 17/08/2021

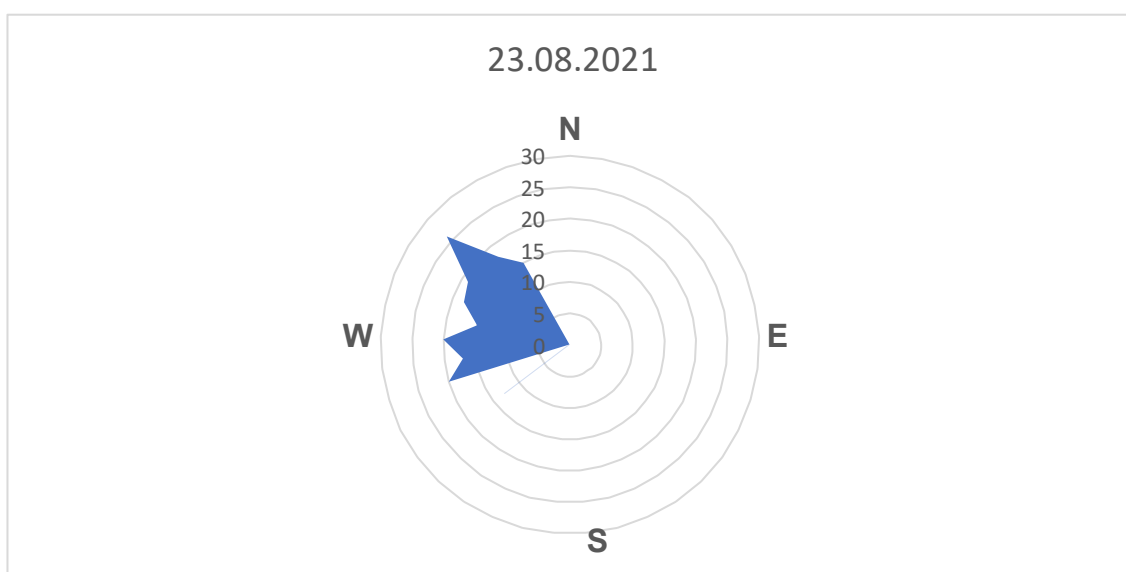


Grafico 44- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 23/08/2021

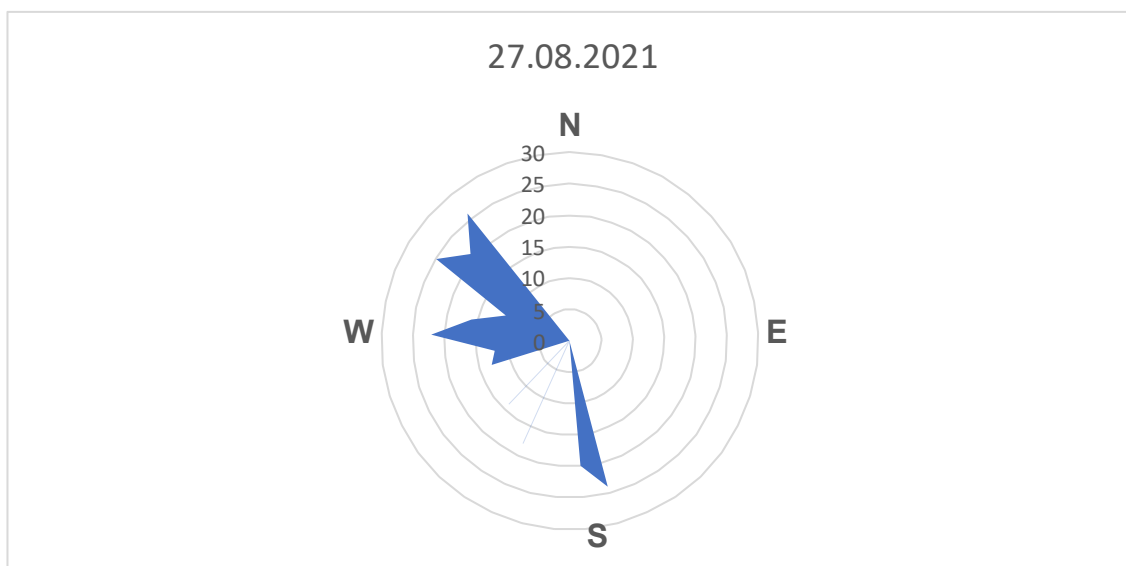


Grafico 45- Rappresentazione grafica dei dati misurati dal correntometro il 27/08/2021

Per quanto riguarda la direzione è possibile osservare una prevalenza di correnti nel secondo quadrante (tra E e S), intervallate da rapidi cambiamenti in direzione W. Tali cambiamenti si riscontrano in occasione delle abbondanti piogge rivelate nelle stazioni igrometriche (15-16-17 agosto) mentre nella piovosità che ha inizio il 23 agosto la corrente a W si riscontra solo il 23 ed il 27. Le correnti a W sono presenti anche nella prima decade di agosto (4-5-6-7-8 agosto) in assenza di piovosità, pertanto non si ritiene che questa variabile sia imputabile alle piogge delle stazioni monitorate. Infine, l'intensità della corrente risulta piuttosto costante durante tutto il periodo considerato.

Il confronto con i dati satellitari sarà possibile in futuro grazie ad un monitoraggio in continuo a lungo termine.

Rilevazioni della sonda multiparametrica di Giulianova

Vengono qui di seguito riportati i grafici relativi ai dati misurati dalla sonda multiparametrica presso l'impianto Adriatica Offshore, a Giulianova. Il periodo di monitoraggio va dal 1 dicembre 2021 al 13 dicembre 2021.

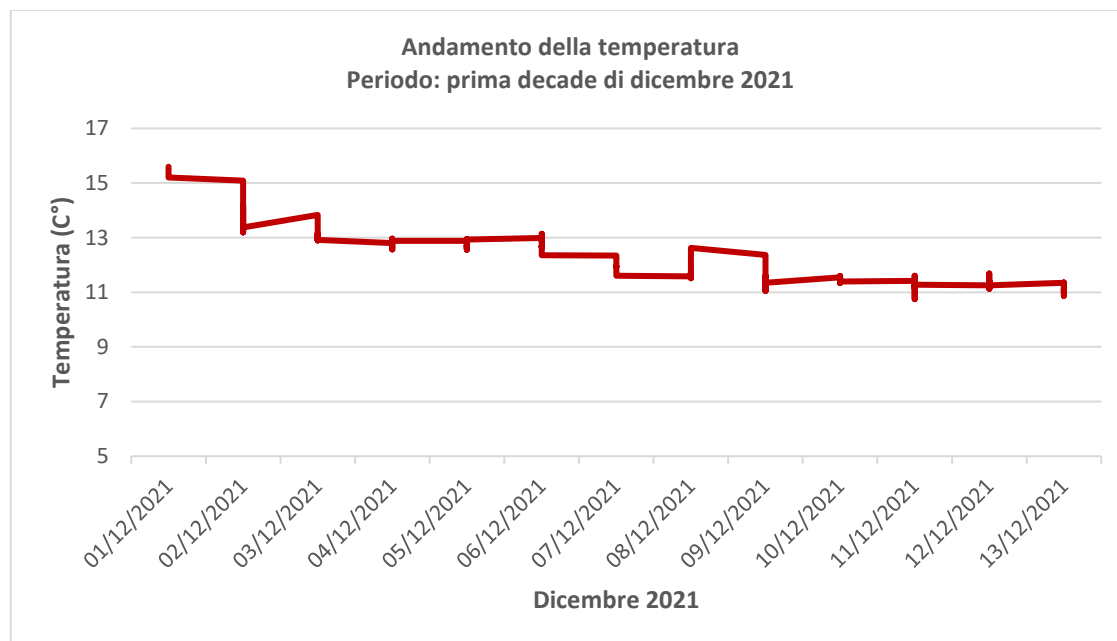


Grafico 46- Andamento della temperatura presso l'impianto Adriatica Offshore srl a Giulianova nella prima decade di dicembre 2021.

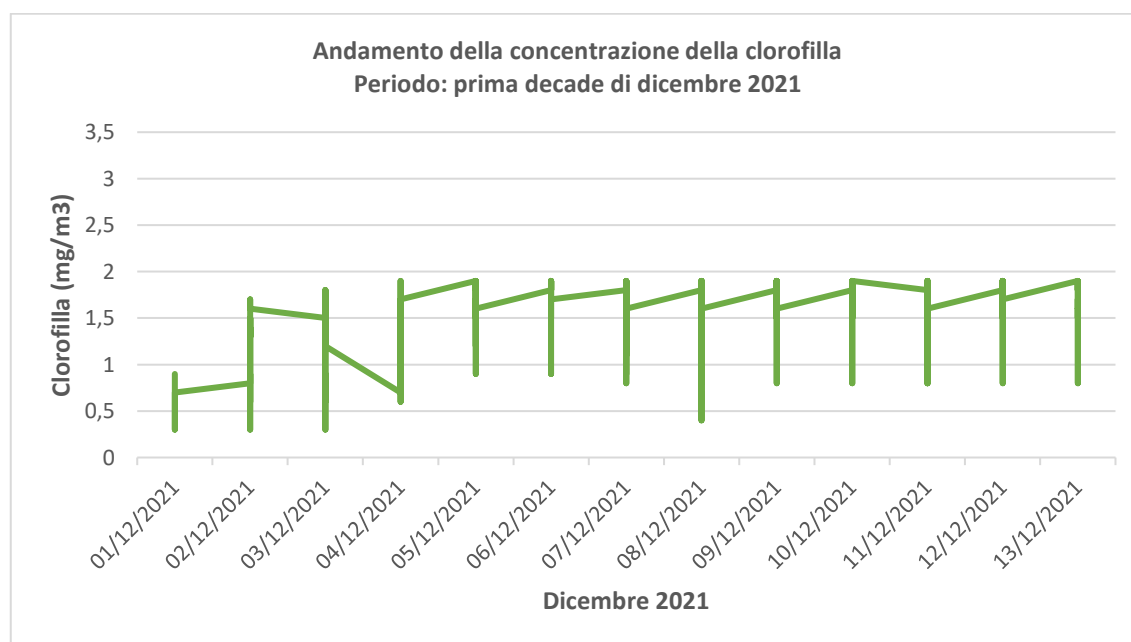


Grafico 47- Andamento della concentrazione di clorofilla presso l'impianto Adriatica Offshore srl a Giulianova nella prima decade di dicembre 2021

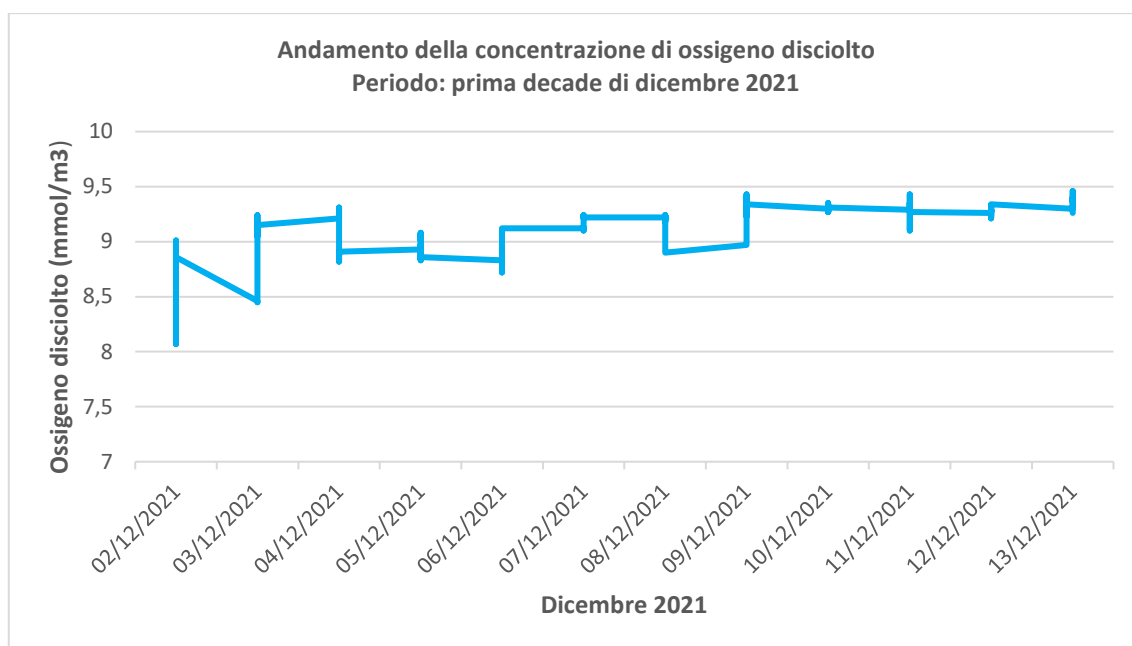


Grafico 48- Andamento della concentrazione di ossigeno disciolto presso l'impianto Adriatica Offshore srl a Giulianova nella prima decade di dicembre 2021

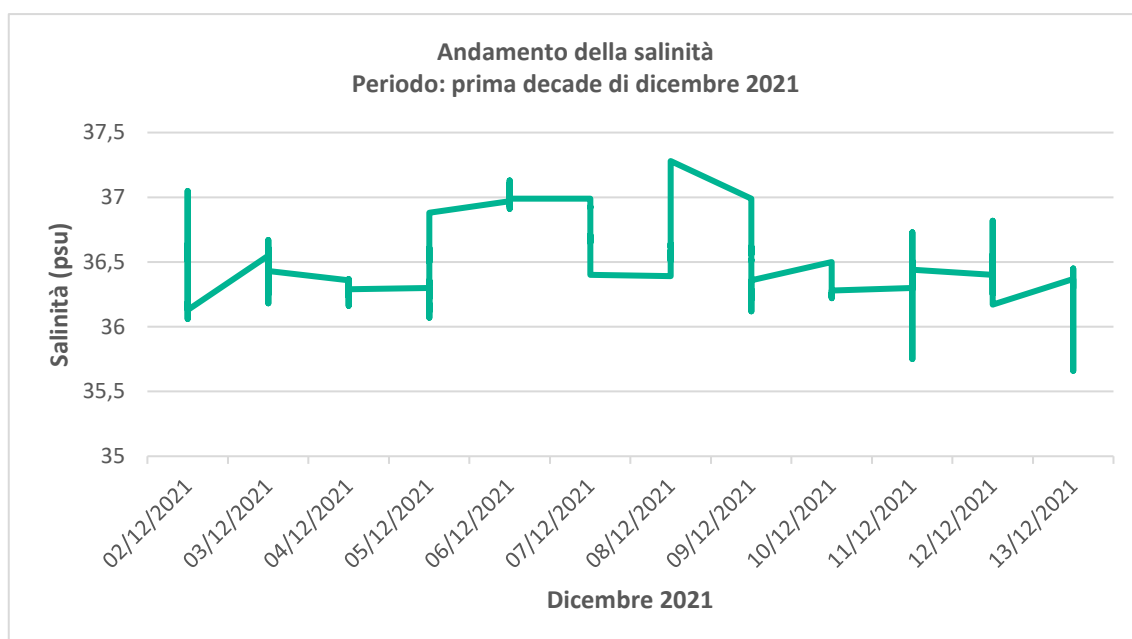


Grafico 49- Andamento della salinità presso l'impianto Adriatica Offshore srl a Giulianova nella prima decade di dicembre 2021

ATTIVITÀ 5.

AGGIORNAMENTO E RINFORZO DELLE COMPETENZE DEGLI OPERATORI END-USERS E MODALITÀ DI DIFFUSIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO

Introduzione

Tutte le azioni cofinanziate dalla Commissione europea devono essere pubblicizzate e la Commissione invita a porre particolare rilievo su questa azione per le iniziative riferite a progetti pilota che potrebbero essere oggetto di future azioni di capitalizzazione. L'azione di comunicazione è quindi da una parte obbligatoria, in quanto rende noto l'utilizzo di fondi pubblici, ma è parte allo stesso tempo di un'azione di diffusione dell'attività programmatoria delle risorse comunitarie. Nell'ambito di questo processo di sensibilizzazione dell'opinione pubblica, la comunicazione è essenziale al fine di:

- ◆ dare visibilità al progetto e al programma di riferimento sia a livello locale, ma anche a livello nazionale ed europeo
- ◆ comunicare ad un vasto pubblico gli obiettivi, le attività ed i risultati del progetto anche nell'ottica di una sua replicabilità e/o trasferimento dei risultati, trattandosi di un intervento pilota.

Materiali e metodi

All'attività di comunicazione e diffusione dei risultati è stata dedicata una intera fase progettuale, trasversale alla durata del progetto, coordinata dall'UNITE ma alla quale hanno contribuito in maniera significativa tutti gli organismi collaboratori. Nell'ambito del progetto è stato realizzato un percorso informativo volto a diffondere e rendere disponibili le innovazioni di gestione e le soluzioni tecnologiche sviluppate nell'ambito del progetto, sia agli operatori del settore che agli organi gestionali operanti nel comparto ittico soprattutto Abruzzese. In questo senso sono stati approntati mezzi divulgativi indirizzati a informare sul progetto, principalmente rappresentati da: logo del progetto, scheda del progetto, brochure di progetto, poster di progetto, videoconferenze, presentazioni di progetto presso manifestazioni locali, interviste e seminari

Risultati

Logo del progetto

Il logo è stato creato al fine di fornire un'immagine identificativa capace di divenire familiare e dunque facilmente ed immediatamente riconosciuta.



Logo del progetto Smart Mollusk Farm

Scheda del progetto

Breve testo capace di riassumere in meno di una pagina le principali caratteristiche delle attività al fine di comunicare con velocità tutti i messaggi inerenti le caratteristiche del progetto.

Brochure di progetto

Pieghevole cartaceo di 16 pagine da utilizzarsi per tutte le manifestazioni nell'ambito delle quali sia importante riconoscere velocemente il contesto operativo, i risultati attesi, i partecipanti al progetto al fine di informare gli interessati sia a carattere operativo che decisionale.





In questo scenario, il progetto Smart Mollusk Farm pone le fondamenta per la realizzazione dell'acquacoltura di precisione, un sistema di allevamento puntuale e "animal based" che riconosce nel monitoraggio ambientale uno strumento fondamentale di analisi per la definizione di elevati standard qualitativi a carattere non solo locale, ma anche nazionale ed internazionale.



"FORMA DI SVILUPPO CHE NON OSTACOLA O RIDUCE LE POSSIBILITÀ DI CRESCITA, MA PONE COME OBIETTIVO PRINCIPALE LA SOSTENIBILITÀ"

CRESCITA ECONOMICA SOSTENIBILE
Rispetto dei limiti ambientali

RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE
Sviluppo economico ed occupazionale

SOSTENIBILITÀ, ETICITÀ, QUALITÀ
Migliore valorizzazione del prodotto
finale

PROPOSTE COMMERCIALI MIRATE
Maggiore consapevolezza del
consumatore

CAMPAGNE DI MARKETING
Maggiore sensibilità del consumatore

NUOVE POSSIBILITÀ
Competitività sia su mercati tradizionali
che specializzati

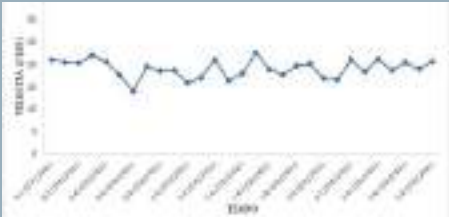


**IL BENESSERE E
L'ACCRESIMENTO DEGLI
ANIMALI DIPENDONO IN
MODO STRATEGICO
DALLE VARIABILI
AMBIENTALI.**





I sistemi di monitoraggio sono composti da tre elementi distinti: un sistema di rilevazione composto da una sonda multiparametrica e da un correntometro; un datalogger, contenuto all'interno di cassette impermeabili ed alimentato da pannelli solari, capace di trasmettere le informazioni a terra ed una boa, capace di supportare le precedenti attrezzature.

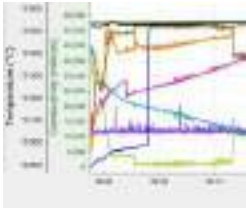
Esempio di grafico ottenuto dall'elaborazione di dati registrati dal correntometro

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO: LE SONDE

Il monitoraggio dell'ambiente marino fornisce informazioni di riferimento periodiche e sistematiche sullo stato fisico e biogeochimico, sulla variabilità e sulle dinamiche dell'ecosistema acquatico.



I dati ricavati sono il risultato dell'interpolazione puntuale e precisa di due tipologie di misurazioni: dirette, ottenute mediante l'impiego di specifiche sonde multiparametriche, e indirette, provenienti dall'analisi operata dai sistemi satellitari. I parametri monitorati, come temperatura, salinità, velocità delle correnti, clorofilla e ossigeno disciolto permettono di valutare e stimare, in maniera predittiva, l'influenza delle caratteristiche ambientali sui cicli produttivi dell'allevamento di mitili. Una volta elaborati, i dati vengono opportunamente graficati e le informazioni così ricavate vengono prontamente utilizzate, costituendo parte essenziale del processo decisionale dei molluschicoltori.



Esempio di elaborazione dati

L'AMBIENTE MARINO IN CUI SI REALIZZA L'ALLEVAMENTO INFLUENZA IN MANIERA DRASTICA LE FASI DEL CICLO PRODUTTIVO

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO



LA VALVOMETRIA NON INVASIVA

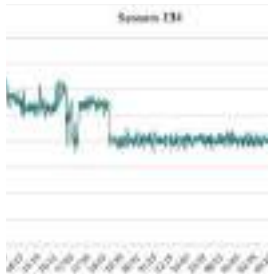
La valvometria non invasiva, con l'efficienza assicurata al monitoraggio del comportamento e dell'attività di apertura dei mitili, consente di fornire dati precisi e affidabili sull'attività fisiologica dei molluschi, utile allo studio del ciclo biologico e dell'ambiente.

Il sistema è costituito da un sensore di rilevamento non invasivo, che misura la distanza tra le valve, e da un sistema di acquisizione dati, che registra i dati e li trasmette al computer per l'elaborazione.




ASPETTI TECNICI

Gli elettrodi dei biosensori sono progettati per ridurre al minimo l'interferenza con il normale comportamento dei bivalvi e sono costituiti da due elettromagneti di 56 mg rivestiti di resina e attraversati da una corrente elettromagnetica che consente di misurare la distanza tra delle valve con un errore molto limitato. Essi sono collegati ad una scheda elettronica che gestisce la raccolta di informazioni successivamente acquisite da uno specifico software. I dati possono essere elaborati e analizzati ottenendo grafici utilizzabili per il controllo del benessere dei molluschi lungo la filiera produttiva costituita dalle fasi in mare e da quelle in impianto di depurazione (CIMAR s.r.l. IT 001 CDM CE).

Esempio di elaborazione dei dati registrati dal biosensore, corrispondenti alle aperture e chiusure valvari del mitile.

Immagine elaborata da: ECOSSEA SENS-ADRUZZO

ATTIVITÀ DI FORMAZIONE

L'azione di comunicazione e diffusione dei risultati si concretizza attraverso la realizzazione di percorsi informativi volti a diffondere e rendere disponibili le innovazioni e le soluzioni tecnologiche sviluppate nell'ambito del progetto sia ai produttori che agli organi gestionali, operatori del comparto ittico, etc.

Il coinvolgimento e la partecipazione dei diversi soggetti aderenti al progetto prevede sia l'organizzazione di seminari di approfondimento che la divulgazione settimanale, diretta ai ristoranti, dei piatti elaborati dai dati risultati riguardanti i prodotti ambientali locali e bi-impianti.

ACCORDAMENTO E RINFORZO DELLE COMPETENZE DEGLI OPERATORI END-USERS





PROSPETTIVE FUTURE




COSE CI ATTERGE?

Il progetto intende ottenere un innalzamento delle conoscenze e delle competenze relative al corretto utilizzo e preparazione di prodotti ittici, in particolare di cozze, attraverso attività di produzione e distribuzione di prodotti ittici che passano attraverso la filiera produttiva, dalla produzione alla distribuzione, fino alla preparazione e consumo dei prodotti ittici.

Il sistema di produzione ittica è sostenibile, economico e a basso impatto ambientale, grazie ad un continuo impegno e ad una gestione sostenibile capace di essere in linea con le normative ambientali, per la gestione e distribuzione di prodotti ittici, capaci di garantire la qualità e la sicurezza dei prodotti ittici, e di contribuire alla crescita e allo sviluppo del settore ittico e alla sostenibilità ambientale e sociale.



2/NA/15/AB

PO FSRMP 2014/2020

Regolamento (UE) n. 508/2014 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 10 maggio 2014 relativo al Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca

PRIORITA' 2

Promuovere un'acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa, competitiva e basata sulle conoscenze (21.3, capo 2 del Regolamento (UE) n. 508/2014)

AVVISO PUBBLICO

Misure 2.47

INNOVAZIONE

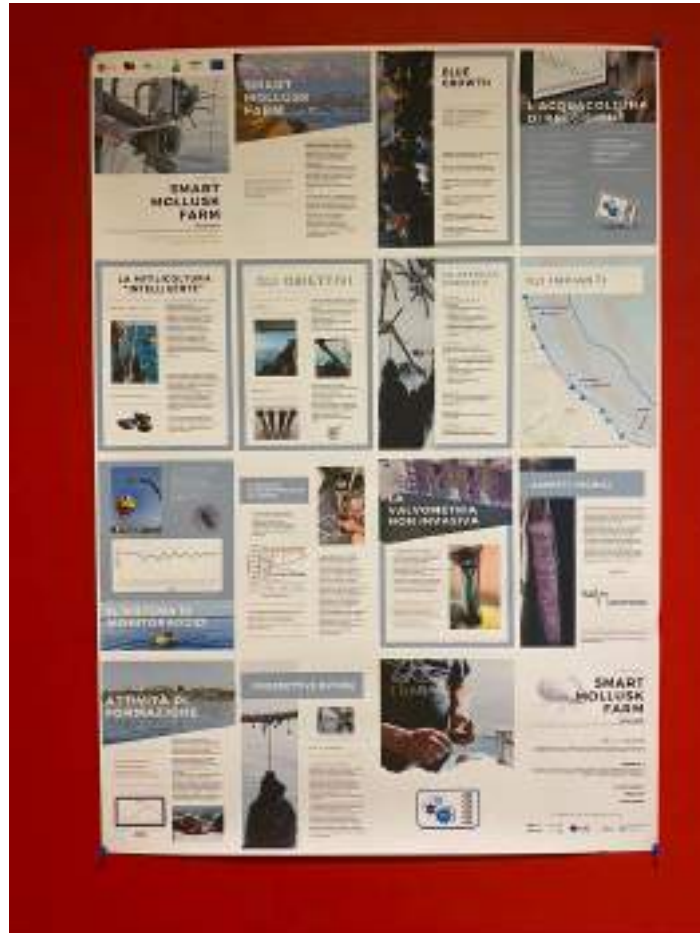
Coordinamento scientifico Prof. Maria Teresa Trasci
Fondazione per lo Sviluppo Sostenibile
Università degli Studi di Torino
Via Sommariva 14
10128 Torino
ITALY
www.unife.it

Si ringrazia per il contributo operativo e tecnico:



Poster di progetto

Assieme alla brochure, serve a comunicare in modo immediato nell'ambito di uno spazio fisico le peculiarità del progetto.



Poster del progetto

Comunicazione mediante videoconferenze, interviste e presentazioni di progetto

Questo risultato di progetto comprende:

- Comunicazione della implementazione del progetto nell’ambito della tavola rotonda finale presso la videoconferenza SIRAM (Società Italiana Ricerca Applicata Molluschicoltura) 2020 “La molluschicoltura in Italia tra sostenibilità e innovazione” del 7 novembre 2020
- Comunicazione sul valore aggiunto fornito dal progetto Smart Mollusk Farm relativamente alla qualificazione dei prodotti di acquacoltura abruzzesi nell’ambito della presentazione del progetto “Cozza dei trabocchi” presso la

manifestazione “Mediterranea Eccellenze d’Abruzzo” 20 settembre 2021,
Porto turistico Pescara



Porto turistico Pescara, 20 settembre 2021

- Interviste, presso la stampa locale e nell’ambito della giornata sviluppata presso la manifestazione Mediterranea, relativamente al supporto che Smart Mollusk Farm può fornire alla valorizzazione dei prodotti di maricoltura abruzzesi e del territorio costiero coinvolto. Traccia delle interviste è presente su <https://www.facebook.com/watch/?v=548550106413924> che rappresenta la pagina Facebook della Camera di Commercio di Pescara.



Intervista su pagina Facebook della Camera Commerciale di Pescara

Convegni

Organizzazione del Convegno “Il progetto Smart Mollusk Farm, la molluschicoltura abruzzese come modello di sviluppo sostenibile” il 24 settembre 2021 presso la sala consiliare del Comune di Vasto (CH); durante la manifestazione si sono succeduti gli interventi del Sindaco di Vasto, Dr. Menna; della Dott.ssa Di Silvestro della regione Abruzzo; del Dr. Cavallucci, a nome del FLAG Costa Blu; dei Sigg. Di Pietro e Pavone, in qualità di molluschiicoltori coinvolti nella progettazione; della Dott.ssa Porporato del Centro Marino Internazionale di Oristano; del Dr. Gennari dell’Associazione Mediterranea Acquacoltori (AMA) e del Prof. Tiscar dell’Università di Teramo che ha illustrato quanto prodotto dal progetto. Ha concluso i lavori il Dr. Di Filippo della regione Abruzzo ponendo in evidenza l’importanza di quanto scaturito dal progetto. La manifestazione, pubblicizzata da AMA nell’ambito dei suoi soci, ha permesso di ampliare su scala nazionale la conoscenza del progetto comportando la partecipazione a distanza mediante collegamento on line anche di molluschiicoltori non abruzzesi oltre che del pubblico presente.

Il progetto Smart Mollusk Farm
La molluschicoltura abruzzese come modello di sviluppo sostenibile
Vasto (CH) Sala consiliare del Comune di Vasto
24 settembre 2021 ore 15.00

Chairman: R. Cavallo, Slow Food Abruzzo

Saluti Istituzionali
D. Mastroioli, Rettore Università degli Studi di Teramo
S. Impudente, Regione Abruzzo
D. Di Filippo, Regione Abruzzo
F. Menna, Città del Vasto
F. Ricci, FLAG “Costa dei Trabocchi”

D. Di Silvestro, Regione Abruzzo
Lo sviluppo della molluschicoltura abruzzese e il P.O. FEAMP 2014-2020

V. Cavallucci, FLAG “Costa dei trabocchi”
La valorizzazione delle produzioni ittiche della Costa dei trabocchi

E. Porporato, Fondazione IMC ONLUS - Centro Marino Internazionale, Oristano
Dati ambientali e modelli a supporto della Crescita Blu

P.G. Tiscar, Università degli Studi di Teramo
Il progetto “Smart Mollusk Farm”

M. Di Pietro e C. Pavone, OP Acquacoltori della Costa dei Trabocchi S.C.
Perché una OP di Acquacoltori abruzzesi

G. Prioli, Associazione Mediterranea Acquacoltori
La molluschicoltura protagonista della crescita blu

Discussione e chiusura dei lavori

Disponibilità di collegamento on line:
<https://meet.google.com/oip-ikwc-qvg>
INFORMAZIONI: pgtiscar@unite.it

PO FEAMP 2014/2020
Regolamento UE n. 508/2014
Parlamento Europeo e del Consiglio 15/5/2014

Priorità 2
Favorire un'acquacoltura sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa, competitiva e basata sulle conoscenze

AVVISO PUBBLICO
Misura 2.47
INNOVAZIONE

UNITE

PATROCINIO
Comune di Vasto

EUROPEAN UNION

MIPAAF

Locandina del Convegno di Vasto del 24 settembre 2021

Videoconferenze

Presentazione di Poster e relativo riassunto in Atti della Videoconferenza SIRAM 2021 “La molluschicoltura al servizio della salute e dell’ambiente del 6 novembre 2021.

Durante il Convegno sono rimasti esposti alla visione dei partecipanti rappresentati da studiosi e produttori nazionali.



La molluschicoltura al servizio della salute e dell’ambiente



ABSTRACTS 6 novembre 2021

Smart Mollusk Farm

L. Landi, F. Mosca, T. Bouras, P.G. Tiscari

¹ Facoltà di Medicina Veterinaria, Università degli Studi di Teramo, Teramo, Italy
² Royal Netherlands Institute for Sea Research, Yerseke, The Netherlands

Keywords: Blue Growth, Mollusiculture

Introduzione
Lungo la costa adriatica, territori dalle peculiari caratteristiche ambientali, culturali e socio-economiche, sono in fase di qualificazione di un progetto organizzativo produttivo che rifletta la naturale complessità economica in presenza. Il mollusco, i sistemi produttivi oderni di acquacoltura devono tendere verso lo studio e validazione di nuovi modelli ecosistemici che consentano di ottenere una costante “Blue Growth”, ovvero una forma di sviluppo incentrata sulla sostenibilità, sull’adozione di nuove tecnologie, sulla ricerca di nuovi alternative finalizzate alla valorizzazione delle materie prime locali e sulla creazione di nuove possibilità di sviluppo economico e di occupazione. Il progetto Smart Mollusk Farm (PO FEMP 2014/1048), attraverso una serie di obiettivi prefissati, mira a creare un ecosistema produttivo che consenta di ottenere una costante “Blue Growth”, ovvero una forma di sviluppo incentrata sulla sostenibilità, sull’adozione di nuove tecnologie, sulla ricerca di nuovi alternative finalizzate alla valorizzazione delle materie prime locali e sulla creazione di nuove possibilità di sviluppo economico e di occupazione. Il progetto Smart Mollusk Farm (PO FEMP 2014/1048) pone le fondamenta per lo sviluppo della acquacoltura di precisione, basata sul monitoraggio in continuo dell’ambiente marino, nell’obiettivo di ottenere in parallelo a parallelismo elementi indispensabili per i livelli decisionali. In parallelo elementi indispensabili per i livelli decisionali. In parallelo elementi indispensabili per i livelli decisionali.

Summary
The Adriatic coast is characterized by several geomorphological, cultural and socio-economic features strictly related to the validation of mussel, a typical Mediterranean seafood that reflects the aquatic ecosystem complexity of the region. Currently, the negative environmental impacts of traditional aquaculture imply moving towards more sustainable production, in order to realize a “Blue Growth”, that is a long-term strategy to support sustainable growth in the marine and maritime sectors as a whole. Blue Growth consists in valuing new technologies by developing alternative methods for local raw material qualification with the aim of improving economic and employment opportunities. In this context, an innovative Smart-farming system, based on satellite-based linked to valve gate monitoring, could play a central role in the aquaculture technology monitoring process, providing appropriate tools for a smart precision farming. Indeed Smart Mollusk Farm (PO FEMP 2014/1048) project involves a continuous marine environment control of various parameters such as salinity, depth, dissolved oxygen (DO), temperature, safety, waterborne disease along with some immunological aspects used as mussel well-being and quality markers. This “vertical based” approach includes identification of specific reference standards that could represent real predictive models of intervention able to successfully respond to any animal pathological state. Project activities involve innovative systems sharing, marine and trawling equipment design, production and monitoring, enclosure operation skills consultation and dissemination of results obtained. The aim is to achieve an increasing knowledge and skill of the aquatic environment in a manner that it can contribute to the commercial validation of territorial aquaculture. Moreover, the project aims to develop a real research platform where researchers and operators from all over the world can carry out their own experiments. University of Teramo represents the beneficiary of the project and it is supported by other national institutes like the Royal Netherlands Institute for Sea Research, the Mediterranean Fish Farmers Association, the Molluscan Applied Research Italian Society, the Blue Coast FLAG, the Trapani Coast FLAG and the Trapani Coast Aquaculture Producers Organization.

Materiali e metodi

Nell’ambito dell’attività di monitoraggio ambientale degli impianti di molluschicoltura Adriatica Offshore s.r.l., Molluscare s.r.l. e Acquachara s.r.l., situati lungo la costa adriatica, vengono eseguiti una serie di campionamenti allo scopo di valutare la circolarità e la luminosità dell’emulenta prodotta dai mitili nel corso delle diverse fasi di bioazione e depurazione. Al fine di monitorare l’attività di gating di tali bivalvi, sono inoltre impiegati specifici biosensori capaci di registrare i movimenti di apertura e chiusura valvole mediante l’impiego di un magnetico sulla superficie del mitile. Nel contesto del progetto, si procede alla messa a dimora, presso i medesimi impianti, di tre stazioni bivalve dotate di una sonda multiparametrica, un correntometro a ultrasuoni e un sistema di monitoraggio ambientale. La sonda multiparametrica fornisce in tempo reale informazioni riguardo l’ambiente di vita dei bivalvi all’interno degli impianti e, attraverso un costante confronto con le misurazioni operate via satellite, consentono un’ampia analisi dei possibili stimoli capaci di influenzare il comportamento dei molluschi allevati. La continua operazione di aggiornamento dei molluschi relativamente alle diverse attività in essere, infine, permettono una costante comunicazione con i produttori del territorio adriatico, nell’ottica di una perfetta sinergia tra ricerca e produzione finalizzata a conseguire un miglioramento delle competenze in tale settore, con conseguente abbinazione di elementi utili alla valorizzazione commerciale dei prodotti di molluschicoltura.

Risultati e discussione

Le attività previste dal progetto sono attualmente in corso e si sta procedendo all’analisi dei risultati relativi a ciascuna di esse. Sulla base di quanto emerso fino ad ora, la circolarità e la luminosità dell’emulenta prodotta dai mitili nel corso delle diverse fasi di bioazione e depurazione. Al fine di monitorare l’attività di gating di tali bivalvi, sono inoltre impiegati specifici biosensori capaci di registrare i movimenti di apertura e chiusura valvole mediante l’impiego di un magnetico sulla superficie del mitile. Nel contesto del progetto, si procede alla messa a dimora, presso i medesimi impianti, di tre stazioni bivalve dotate di una sonda multiparametrica, un correntometro a ultrasuoni e un sistema di monitoraggio ambientale. La sonda multiparametrica fornisce in tempo reale informazioni riguardo l’ambiente di vita dei bivalvi all’interno degli impianti e, attraverso un costante confronto con le misurazioni operate via satellite, consentono un’ampia analisi dei possibili stimoli capaci di influenzare il comportamento dei molluschi allevati. La continua operazione di aggiornamento dei molluschi relativamente alle diverse attività in essere, infine, permettono una costante comunicazione con i produttori del territorio adriatico, nell’ottica di una perfetta sinergia tra ricerca e produzione finalizzata a conseguire un miglioramento delle competenze in tale settore, con conseguente abbinazione di elementi utili alla valorizzazione commerciale dei prodotti di molluschicoltura.



Introduzione

I sistemi produttivi oderni di acquacoltura devono tendere verso lo studio e validazione di nuovi modelli ecosistemici che consentano di ottenere una “Blue Growth”, ovvero una forma di sviluppo incentrata sulla sostenibilità, sull’adozione di nuove tecnologie, sulla ricerca di nuovi alternative finalizzate alla valorizzazione delle materie prime locali e sulla creazione di nuove possibilità di sviluppo economico e di occupazione. Il progetto Smart Mollusk Farm (PO FEMP 2014/1048) pone le fondamenta per lo sviluppo della acquacoltura di precisione, basata sul monitoraggio in continuo dell’ambiente marino, nell’obiettivo di ottenere in parallelo a parallelismo elementi indispensabili per i livelli decisionali.

Materiali & Metodi

Nell’ambito dell’attività di monitoraggio ambientale degli impianti di molluschicoltura Adriatica Offshore s.r.l., Molluscare s.r.l. e Acquachara s.r.l., situati lungo la costa adriatica, vengono eseguiti una serie di campionamenti allo scopo di valutare la circolarità e la luminosità dell’emulenta prodotta dai mitili nel corso delle diverse fasi di bioazione e depurazione. Al fine di monitorare l’attività di gating di tali bivalvi, sono inoltre impiegati specifici biosensori capaci di registrare i movimenti di apertura e chiusura valvole mediante l’impiego di un magnetico sulla superficie del mitile. Nel contesto del progetto, si procede alla messa a dimora, presso i medesimi impianti, di tre stazioni bivalve dotate di una sonda multiparametrica, un correntometro a ultrasuoni e un sistema di monitoraggio ambientale. La sonda multiparametrica fornisce in tempo reale informazioni riguardo l’ambiente di vita dei bivalvi all’interno degli impianti e, attraverso un costante confronto con le misurazioni operate via satellite, consentono un’ampia analisi dei possibili stimoli capaci di influenzare il comportamento dei molluschi allevati.

Risultati & Conclusioni

Le attività previste dal progetto sono attualmente in corso e si sta procedendo all’analisi dei risultati relativi a ciascuna di esse. Sulla base di quanto emerso fino ad ora, la circolarità e la luminosità dell’emulenta prodotta dai mitili nel corso delle diverse fasi di bioazione e depurazione. Al fine di monitorare l’attività di gating di tali bivalvi, sono inoltre impiegati specifici biosensori capaci di registrare i movimenti di apertura e chiusura valvole mediante l’impiego di un magnetico sulla superficie del mitile. Nel contesto del progetto, si procede alla messa a dimora, presso i medesimi impianti, di tre stazioni bivalve dotate di una sonda multiparametrica, un correntometro a ultrasuoni e un sistema di monitoraggio ambientale. La sonda multiparametrica fornisce in tempo reale informazioni riguardo l’ambiente di vita dei bivalvi all’interno degli impianti e, attraverso un costante confronto con le misurazioni operate via satellite, consentono un’ampia analisi dei possibili stimoli capaci di influenzare il comportamento dei molluschi allevati.

Rilevazioni satellitari comunicate settimanalmente ai molluscoltori



Seminari formativi per i molluscoltori



Sistema di monitoraggio per molluschicoltura con sonda multiparametrica e correntometro

2° Webinar SIRAM – Sabato 6 Novembre 2021 – 8.45-14.00

Atti di convegno e poster del progetto “Smart Mollusk Farm” presso la videoconferenza SIRAM 2021

Seminari

Organizzazione di un ciclo di seminari on line di 4 ore ciascuno su tematiche suggerite dai molluscocoltori:

- 22 ottobre 2021 Dr. V. Olivieri: Il controllo sanitario dei molluschi bivalvi
- 26 ottobre 2021 Dr. L. Gennari: Aggiornamento sulle tecniche di molluschicoltura
- 29 ottobre 2021 Dr. L. Pennisi: I marchi di qualità
- 5 novembre 2021 Dott.ssa Spagnolo: L'ambiente marino, aspetti biotici e abiotici

Le manifestazioni, aperte agli studenti dell'Università di Teramo e pubblicizzata da AMA nell'ambito dei propri soci ha prodotto la partecipazione di una media di 80 collegati facendo sviluppare discussioni di merito tra i molluschicoltori partecipanti e i relatori producendo interesse nell'ambito degli studenti e motivo di illustrazione a livello nazionale delle iniziative intraprese in Regione Abruzzo per la ricerca e valorizzazione dei prodotti di acquacoltura.



Locandina dei seminari organizzati per il progetto

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Smart Mollusk Farm è consistita in una progettazione mirata alla implementazione delle tecnologie presenti in un contesto produttivo, la molluscoltura abruzzese, ancora capace di potenziare le proprie aspirazioni imprenditoriali nei termini di qualità, quantità, tipicità e sostenibilità.

Considerando, poi, che la molluscoltura è già di per sé sostenibile visto che non impiega per l'allevamento fonti trofiche esterne ma utilizza quanto già disponibile nell'ambiente, si può affermare che questo settore produttivo tende verso la minimizzazione degli impatti ambientali cercando di limitare al massimo quanto, nell'ambito delle tecnologie presenti, può causare disturbo ambientale.

Le azioni tecniche di Smart Mollusk Farm condotte assieme ai livelli imprenditoriali, così come le azioni specificatamente rivolte verso il rinforzo delle competenze hanno teso inequivocabilmente verso un innalzamento delle esperienze rivolte ad assicurare una conoscenza maggiore per quanto riguarda l'elemento acquatico così come una coscienza imprenditoriale capace di ridurre gli impatti sull'ambiente. Un ulteriore obiettivo prioritario di progetto è consistito nel promuovere un innalzamento delle conoscenze relative alle tecnologie utilizzabili nel settore: cercando di porre sinergia tra tecnologie messe a punto in ambito internazionale e sfruttando reti formalizzate o semplicemente di conoscenza si è voluto indurre innovazione nel settore in modo da aumentare gli elementi di previsione imprenditoriale o di registrazione continuata degli eventi meteo marini a carattere negativo quali le ondate di calore o di oligotrofia cause di mortalità nei molluschi. Le parametrizzazioni ottenibili con i sistemi messi a punto permetteranno una più solida descrizione della realtà capace di permettere ambiti decisionali mirati relativi alla gestione pubblica del danno subito dagli imprenditori.

L'implementazione del progetto Smart Mollusk Farm ha manifestato durante il suo svolgimento differenti criticità. Innanzi tutto l'inizio del progetto ha subito le conseguenze dell'evento pandemico dal quale sono scaturite difficoltà soprattutto nelle nuove modalità di comunicazione che hanno impattato il normale fluire delle operatività sia nei termini di confronto con i differenti attori del progetto, sia con gli apparati amministrativi coinvolti. Un altro problema che si è sviluppato è stato rappresentato

dalle difficoltà che hanno colpito e continuano a danneggiare l'approvvigionamento delle filiere produttive internazionali producendo ulteriori ritardi.

Il progetto Smart Mollusk farm si è sviluppato secondo un approccio sperimentale fondamentalmente volto a mettere a punto dei prototipi in grado di produrre dati sperimentali descrittivi sia dell'ambiente marino che del comportamento fisiologico di animali ancora poco conosciuti quali i mitili. Il lavoro di prototipazione svolto per la messa a punto dei sistemi di monitoraggio, infatti, non trova esperienze precedenti nell'ambito continentale soprattutto se riferito alle condizioni nelle quali sono poste le mitilocolture adriatiche, normalmente poste al largo dalla costa e sottoposte alle condizioni estreme dettate dall'ambiente marino e non in ambito lagunare o intertidale come, praticamente, accade nel resto di Europa. In questo senso le variabili affrontate nel comporre in modo adeguato l'insieme formato dalla boa, dai sistemi elettronici di organizzazione dei dati e dai sensori modellando il tutto secondo una logica di minore difficoltà alla manutenzione hanno trovato un lungo lavoro mirato volta per volta a risolvere le singole criticità. La partecipazione dei produttori è risultata essere un successo del progetto: il loro profondo coinvolgimento ha permesso una continuità di interventi che direttamente o indirettamente andava a minare la continuità delle loro produzioni. Infatti, una ulteriore complicazione nella gestione degli inconvenienti a mare è derivata dalla difficoltà di conciliare le disponibilità dei tecnici con quella dei produttori assieme, ovviamente, alle limitazioni dettate dalle condizioni meteo-marine considerando che le operatività svolte sui sistemi di monitoraggio sono possibili esclusivamente con mare particolarmente calmo. Ad ogni modo la soluzione di montare i sistemi direttamente sui travi degli impianti permette il sollevamento delle sonde in modo abbastanza rapido come se si trattasse di una normale azione lavorativa all'interno dell'impianto. La soluzione alternativa di fissare il tutto sul fondo non avrebbe permesso quanto sopra poiché, nel caso, si sarebbe dovuto ricorrere costantemente all'utilizzo di un subacqueo tutte le volte che le attrezzature avessero avuto bisogno di intervento.

Relativamente all'utilizzo dei biosensori, capaci di monitorare l'apertura dei mitili in funzione delle loro caratteristiche di benessere utilizzando macchine assolutamente innovative, sono scaturiti dati di indubbio interesse relativamente all'ambito delle modalità di depurazione facendo ipotizzare l'utilizzo di queste parametrizzazioni per affinare l'efficacia del processo di depurazione. L'approccio di filiera, consistente nel

mettere a punto sistemi congiunti di misurazioni rilevati sia sull'ambiente che sul mitilo potrà, inoltre, porre le basi per una ottimale caratterizzazione di prodotto utile ad azioni di qualificazione del prodotto medesimo. Dalla concreta condivisione dei produttori è scaturito un vero interesse che è riuscito ad animare lo svolgimento dei seminari divulgativi attraverso i quali sono maturate possibili proposte imprenditoriali o analisi di strategie competitive nelle produzioni molluschicole. L'interesse degli allevatori è stato ulteriormente stimolato attraverso la somministrazione settimanale dei dati satellitari relativi ai tre impianti: la successione dei bollettini, infatti, ha fatto prendere consapevolezza delle variabili che regolano le produzioni marine così come ha fatto maturare progettualità a carattere produttivo maggiormente in sintonia con l'evolversi dei condizionamenti ambientali.

Un punto fondamentale del lavoro svolto, infatti, consiste nell'avere predisposto l'organizzazione della produzione dei dati che potranno ritrovare piena ricaduta pratica solo a distanza di tempo quando, avendo maturato esperienza pluriennale nell'interpolazione dei differenti dati provenienti da tutte le parametrizzazioni ambientali che i differenti Enti regionali producono costantemente, si potranno creare modelli matematici previsionali delle performances produttive delle molluschicoltura così come la lettura più semplificata della complessità degli scenari ambientali da gestirsi in un'epoca di cambiamento climatico. Per questo fine ultimo, gli elementi di produzione di reti di conoscenza che hanno caratterizzato i tempi del progetto hanno fino ad ora prodotto la stesura di un protocollo di intesa con l'Agenzia Regionale di Protezione Civile che ha il senso di contribuire alla messa a sistema delle stazioni di monitoraggio ambientale in un'ottica di comune programmazione e sfruttamento dei dati contando che in Regione Abruzzo, per esempio, il monitoraggio delle correnti marine risulta particolarmente carente. Alcuni esempi di modellazioni matematiche relativi alle prestazioni di allevamento di molluschi adriatici legate alle parametrizzazioni ambientali sono state già prodotti (Mosca F., Tiscar P.G., Hattab J., D'Antuono A.M., D'Onofrio D., Arcangeli G., Vetri A., Bertolini C., Pastres R. - 2021 - *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793) cultivation in southern Adriatic Sea (Italy): A one-year monitoring study of the oyster health. *Aquaculture Research* 52 (6) 2879-2890; Bertolini C., Brigolin D., Porporato E., Hattab J., Pastres R., Tiscar P.G. – 2021 - Testing a model of Pacific Oysters' (*Crassostrea gigas*) growth in the Adriatic Sea: Implications for aquaculture spatial planning. *Sustainability* 13 (6) 3309) evidenziando la necessità di

creare modellistiche quanto mai site specifiche: solo dopo diversi anni di osservazioni potranno essere messe a sistema le moli dei dati prodotti generando strumenti matematici affidabili. Il progetto ha inoltre fatto acquisire nuove conoscenze ed esperienze ai componenti dell'Università di Teramo il cui ruolo operativo dovrà essere mantenuto in asse successivamente alla fine del progetto in sintonia con la sostenibilità del progetto successivamente al suo termine.

L'interesse maturato nella comunità scientifica da quanto messo in atto è un altro elemento di positività del progetto: la rete che è scaturita dalle azioni di comunicazione e di contatti ha prodotto sinergie non ufficializzate ma foriere di futuri interscambi, soprattutto con il CNR IRPEM di Ancona che ritrova al suo interno esperti ricercatori biologi marini avvezzi alla analisi dei dati ambientali a fini di ricerca. Al fine di allargare la visibilità scientifica di quanto già predisposto sarebbe opportuno in un tempo prossimo attrezzare un portale atto alla comunicazione pubblica dei dati in grado di produrre attrazione anche a carattere internazionale al fine di produrre reti e possibili adesioni a proposizioni progettuali. L'adesione dei produttori è risultata fondamentale riuscendo a coniugare solide esperienze nell'ambito della logistica marina e meccanica con ampia disponibilità nei confronti degli imprevisti occorsi: lo sviluppo del progetto ha permesso lo sviluppo di competenze nuove legate alla gestione dei sistemi di monitoraggio maturate dall'interesse verso l'idea progettuale. L'attività dei produttori è poi strategica per i tempi futuri: la manutenzione dei sistemi da condursi almeno una volta al mese, consistente nel rialzo del trave, nella pulitura della sonda e nel controllo generale delle attrezzature prevede l'intervento dei molluscoltori; vi è poi da sottolineare il sacrificio produttivo di una campata degli impianti offerta per ospitare i sistemi di monitoraggio. Il problema relativo alla manutenzione dei sistemi così come la continuità nella elaborazione dei dati costituiscono le principali variabili che condizioneranno i tempi successivi al termine del progetto. In questo senso, dovrebbe essere organizzato un tavolo di programmazione istituzionale, riunendo i principali Enti regionali coinvolgibili, mirato a produrre continuità al progetto. A questo proposito, il ruolo dei molluscoltori ritrova un posizionamento assolutamente nuovo: se, da un lato, il progetto costituisce una base per la qualificazione dei loro prodotti, da un altro punto di vista essi presentano la potenzialità di divenire partecipi alla generazione di parametrizzazioni di interesse pubblico aumentando in questo modo la visibilità delle loro produzioni in un'ottica di ruolo sociale.

In conclusione, il progetto ha avuto l'ambizione di porre la molluschicoltura abruzzese come esempio a livello nazionale e internazionale di come una Regione relativamente piccola nei sensi produttivi possa essere indicata come tra le più innovative nei termini di sistema.

Quanto sopra potrà risultare rafforzato da un pieno legame con la promozione dei territori finalizzata a diffondere l'immagine, e la realtà, di una Regione capace di mettere a sistema le proprie ricchezze in una prospettiva di piena sostenibilità: ambientale, economica, sociale e culturale.