

RELAZIONE SCIENTIFICA del PROGETTO

“INDAGINE SCIENTIFICA SULLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELL’IMPIANTO DI MARICOLTURA OFF-SHORE DI CAPRAIA: UN APPROCCIO INTEGRATO PER IL MONITORAGGIO DELLE COMPONENTI BIOTICHE E ABIOTICHE”

STRATEGIA DI SVILUPPO LOCALE DEL
FLAG GOLFO DEGLI ETRUSCHI
*Priorità n. 2 - Favorire un’acquacoltura
sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente
in termini di risorse, innovativa, competitiva e
basata sulle conoscenze*

Misura 2.49
Servizi di gestione, di sostituzione e di
consulenza per le imprese acquicole
Art. 49. par. 1. lett. a) del Reg. (UE) n. 508/2014

22 Luglio 2023

Responsabile Scientifico del Progetto per il CREA

Fabrizio CAPOCCIONI

Gruppo di Lavoro:

BUZZICHELLI Saverio, Biologo (Consulente esterno)

CAPOCCIONI Fabrizio, Ricercatore

DI GIOVANNI Sabrina, Tecnologo

MARTINI Arianna, Assegnista di ricerca

MARTINOLI Marco, Tecnologo

NAPOLITANO Riccardo, Assegnista di ricerca

PULCINI Domitilla, Ricercatore

ROSSI Emanuela, Collaboratore tecnico

TONACHELLA Nicolò, Tecnologo

Come citare:

CREA, 2023. Relazione finale progetto FEAMP-FLAG Misura 2.49: “INDAGINE SCIENTIFICA SULLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELL’IMPIANTO DI MARICOLTURA OFF-SHORE DI CAPRAIA: UN APPROCCIO INTEGRATO PER IL MONITORAGGIO DELLE COMPONENTI BIOTICHE E ABIOTICHE”. pp. 34.

SOMMARIO

1 – Sintesi del progetto	4
2.1 - Ubicazione dell'impianto di allevamento	5
2.2 - Piano di Monitoraggio	5
2.3 - Metodi di campionamento	8
2.3.1 Parametri fisici.....	8
2.3.2 Parametri chimici della colonna d'acqua.....	8
2.3.3 Fitoplancton.....	8
2.3.4 Comunità macrozoobentonica.....	9
2.4 – Protocolli e metodologie di analisi	10
2.4.1 Colonna d'acqua.....	10
2.4.2 Comunità fitoplanctonica.....	10
2.4.3 Comunità macrozoobentonica.....	10
3 - Risultati	11
3.1 – Colonna d'acqua	11
3.1.1 Analisi chimico-fisiche: azoto totale, fosforo totale, ammoniaca, nitriti, nitrati, fosfati..	11
3.1.2 Analisi della comunità fitoplanctonica.....	18
3.1.3 Analisi del popolamento macrozoobentonico nei sedimenti.....	21
4 – Approfondimento tecnico-scientifico sulla stima dell'influenza delle emissioni della maricoltura nell'ambiente circostante	24
4.1 – Profilazione della direzione e dell'intensità delle correnti marine locali	24
4.2 – Mappe di dispersione delle emissioni dell'impianto nell'area circostante	26
4.3 – Bilanciamento di massa e modelli di accrescimento specie e sito specifici	28
5 - Conclusioni	31
6 - Riferimenti bibliografici	32

1 – Sintesi del progetto

Il progetto ha avuto lo scopo di effettuare un'indagine scientifica approfondita dello stato ambientale dell'area marino-costiera a largo dell'Isola di Capraia (LI) in cui insiste l'allevamento ittico off-shore "Cooperativa Maricoltura e Ricerca" (Coop. Ma.Ri.), attivo da quasi 20 anni nella produzione di spigole e orate.

Durante le stagioni primaverile ed estiva dell'anno 2023 sono state indagate le componenti abiotiche e biotiche in 10 siti di campionamento all'interno (n = 2 stazioni) e all'esterno (n = 8 stazioni) dell'impianto di allevamento al fine di valutare il possibile impatto delle attività produttive sull'ecosistema marino e sulla qualità dell'acqua.

Obiettivo dello studio è stato anche quello di aumentare i punti di campionamento rispetto alla precedente analisi dello stato ambientale e di effettuare l'indagine in 2 stagioni dell'anno, al fine di disporre di un dataset più completo rispetto a quello derivante dal monitoraggio abitualmente svolto da Coop. Ma.Ri. e di acquisire, di conseguenza, una maggiore conoscenza degli impatti delle attività di allevamento.

Rispetto ai monitoraggi precedenti, inoltre, è stata effettuata l'analisi dei flussi dei composti azotati e fosfati derivanti dalle attività di acquacoltura (sorgente), con particolare riferimento alla loro concentrazione, distribuzione e alle dinamiche chimiche (processi di trasformazione) nell'area oggetto di indagine. L'analisi dei flussi dei composti azotati e fosfati, finora mai condotta nel sito in oggetto, fornisce fondamentali indicazioni relativamente ai fenomeni di eutrofizzazione nell'area.

Studi condotti negli ultimi anni nella zona e controlli routinari effettuati in autocontrollo dall'azienda ittica non hanno per il momento evidenziato particolari effetti delle attività di allevamento sull'ambiente marino-costiero. Tuttavia, è necessario effettuare controlli nel tempo e approfondimenti scientifici specifici per verificare eventuali cambiamenti nei parametri ambientali rilevanti, poiché l'aumento, seppur limitato, delle biomasse prodotte nelle gabbie potrebbe avere effetti sull'ambiente, talvolta improvvisi e non facilmente prevedibili.

L'indagine scientifica ha previsto: (i) attività di campo, (ii) analisi dei campioni, (iii) elaborazione statistica dei dati e (iv) stesura della relazione finale. Le attività sono state svolte dal Centro "Zootecnia e Acquacoltura" del CREA, con il quale il Comune di Capraia ha stipulato un accordo di collaborazione Ex ART. 15 Legge 241/90.

I risultati della presente indagine scientifica saranno condivisi con l'azienda ittica Coop. Ma.Ri., con la quale si è svolto un lavoro di coordinamento per le attività all'interno dell'impianto, e con l'Ente del Parco Nazionale Arcipelago Toscano, sotto la cui tutela ricade l'area in cui è posizionato l'allevamento. In particolare, l'azienda ittica potrà beneficiare dei risultati ed utilizzarli per modulare e ottimizzare le attività di allevamento, qualora si evidenziassero delle particolari criticità. Inoltre, la stima della distribuzione spaziale (sia verticale che orizzontale) del particolato solido e disciolto proveniente dalle gabbie di allevamento sarà di grande importanza per calibrare in maniera mirata i prossimi monitoraggi, ottimizzando il numero e la distribuzione dei punti di campionamento e razionalizzando le risorse aziendali al fine di garantire un sempre maggiore controllo dello stato ambientale all'interno e nei dintorni dell'impianto di allevamento.

I risultati dell'indagine scientifica saranno particolarmente utili anche in vista della prossima

emanazione del decreto ministeriale per l'attuazione dell'art. 111 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152, attualmente in via di definizione, che dovrà individuare i criteri relativi al contenimento dell'impatto sull'ambiente derivante dalle attività di acquacoltura.

2 – Descrizione delle attività

2.1 - Ubicazione dell'impianto di allevamento

La concessione per l'allevamento dell'azienda ittica Coop. Ma.Ri. si trova nel quadrante nord-est dell'Isola di Capraia (LI), a circa 1 km in linea d'aria dal porto dell'isola, tra Punta del Vecchiaione a nord e Punta di Porto Vecchio a sud (Fig. 1). L'impianto dista dalla costa circa 300 m.

Attualmente, sono presenti otto gabbie galleggianti (diametro ~ 22 m e profondità 20 m), destinate all'allevamento ordinario di spigole ($n = 3$ gabbie) ed orate ($n = 5$ gabbie), e tre ulteriori gabbie di dimensioni inferiori (12 m di diametro e 8 m di profondità), installate a ottobre 2020 con il fine di condurre attività sperimentali in collaborazione con il Centro "Zootecnia e Acquacoltura" del CREA, nell'ambito di una convenzione pluriennale siglata nel 2020. Di queste, solo due sono operative al momento della stesura di questa relazione.

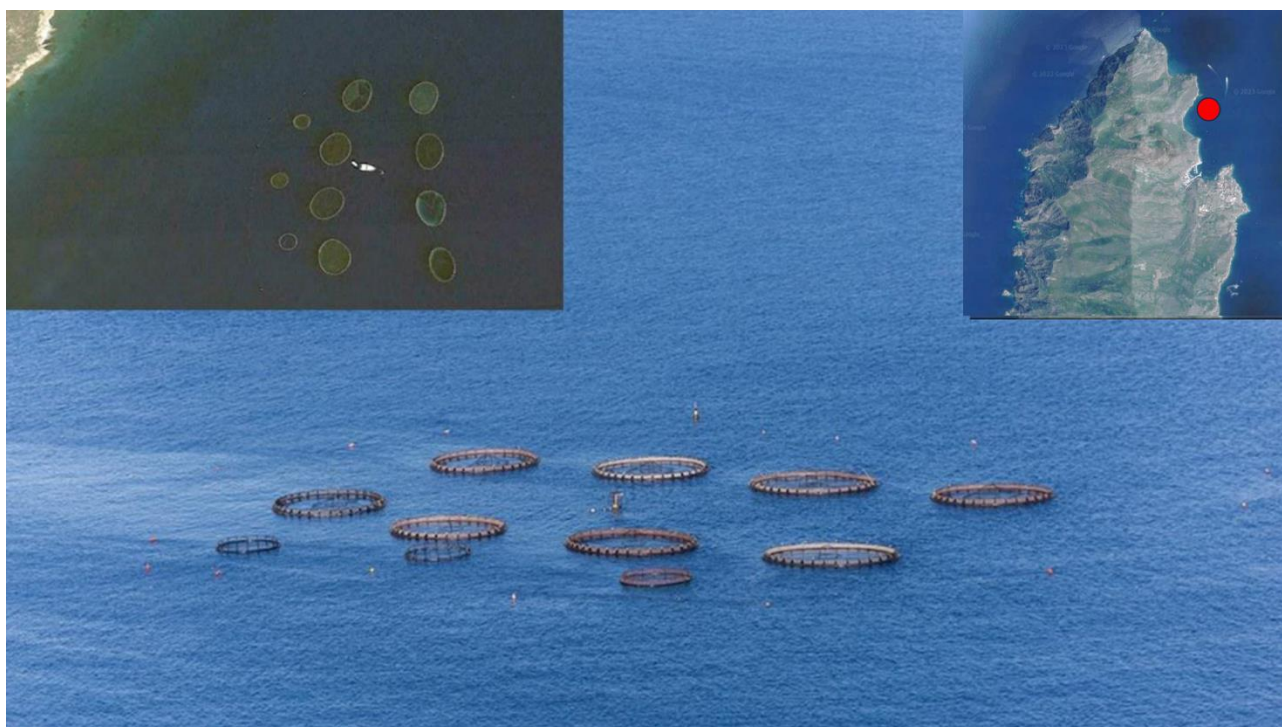


Fig. 1 – Localizzazione dell'area demaniale data in concessione per l'impianto di maricoltura off-shore di Capraia e foto aerea delle gabbie di allevamento.

2.2 - Piano di Monitoraggio

Per l'analisi dei parametri chimico fisici dell'acqua e del sedimento sono state identificate 10 stazioni di campionamento (Fig. 2), sulla base di quelle utilizzate nelle precedenti attività di monitoraggio, con l'aggiunta di due ulteriori stazioni all'interno dell'area di allevamento (punti 1 e 9), così da caratterizzare meglio l'area potenzialmente maggiormente soggetta agli impatti derivanti alle attività produttive. Il punto di campionamento di controllo (4bis) è stato individuato a circa 1 km a nord dall'impianto per disporre di un sito di controllo teoricamente non influenzato dall'impianto di allevamento, ma che al contempo fosse rappresentativo delle caratteristiche tipiche dell'ambiente marino di Capraia. Si ritiene, infatti, che a tale distanza dal sito produttivo l'influenza dell'impianto sulle caratteristiche dell'acqua e del fondale sia pressoché nulla. Non è stato possibile individuare un punto di controllo a sud perché troppo prossimo al porto di Capraia e quindi potenzialmente impattato da altre attività antropiche.



Fig. 2 – Mappa delle stazioni di campionamento. Il riquadro rosso indica la posizione della concessione della Coop. Ma.Ri.

Tab. 1 – Stazioni di campionamento e analisi effettuate sui campioni di acqua (2 stagioni) e di sedimento (1 stagione).

Stazione		Coordinate
1 Sup. -15m	All'interno dell'area di produzione	43° 3'37,75"N 9°50'22,93"E
9 Sup. -15m	All'interno dell'area di produzione	43° 3'33,44"N 9°50'23,24"E
2 Sup. -15m	300 m SUD	43° 3'23,75"N 9°50'21,30"E
3 Sup. -15m	300 m NORD	43° 3'48,63"N 9°50'19,13"E
4 Sup. -15m	800 m NORD	43° 4'2,42"N 9°50'4,83"E
4 bis Sup. -15m	1000 m NORD	43° 4'14,74"N 9°49'54,38"E
5 Sup. -15m	150 m OVEST	43° 3'34,51"N 9°50'13,41"E
6 Sup. -15m	150 m SUD	43° 3'28,28"N 9°50'21,85"E
7 Sup. -15m	150 m EST	43° 3'37,03"N 9°50'28,21"E
8 Sup. -15m	150 m NORD	43° 3'43,75"N 9°50'20,54"E

2.3 - Metodi di campionamento

Le analisi su campioni di acqua effettuate per le 2 stagioni hanno preso in considerazione i seguenti parametri: salinità, temperatura, pH, azoto totale, fosforo totale, ammoniaca, nitriti, nitrati, fosfati. Le analisi sul sedimento sono state effettuate per 1 stagione: quantificazione della biomassa e classificazione del fitoplancton eseguita per generi e classi, caratterizzazione del macrozoobenthos per famiglie e genere.

2.3.1 Parametri fisici

I seguenti parametri fisici sono stati rilevati tramite l'impiego di una sonda multiparametrica: temperatura, salinità, pH e ossigeno disciolto (Fig. 3).

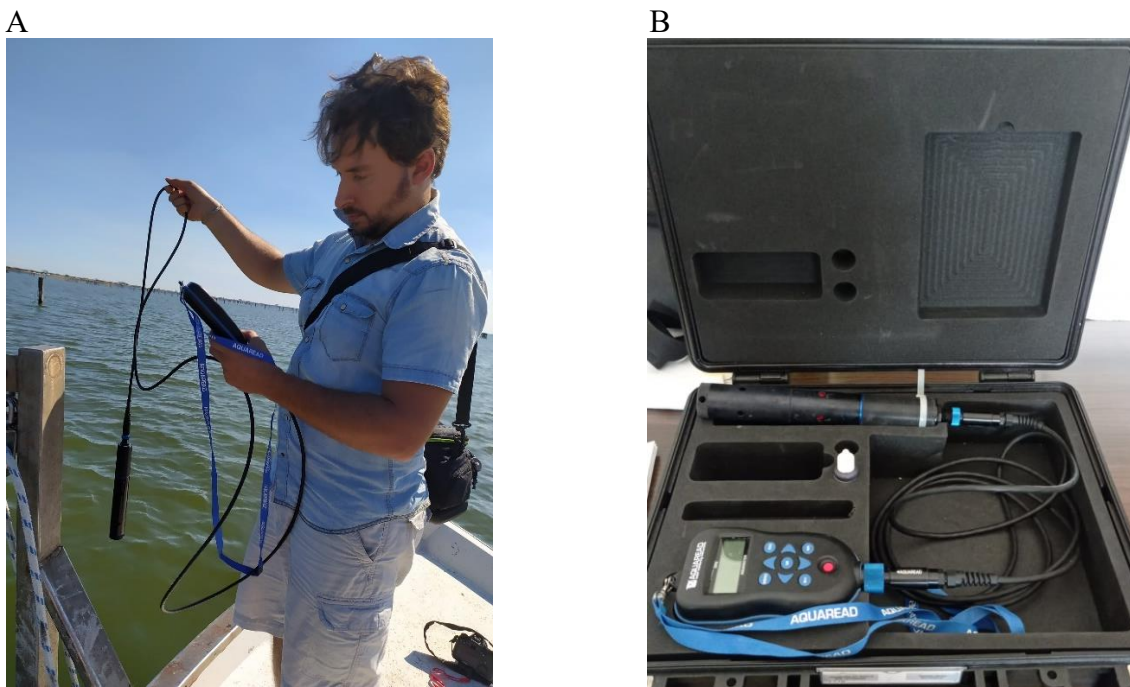


Fig. 3 – (A) Prelievo dei parametri fisico-chimici dell'acqua con sonda multiparametrica; (B) sonda multiparametrica.

2.3.2 Parametri chimici della colonna d'acqua

I campioni per le analisi di azoto totale, fosforo totale, ammoniaca, nitriti, nitrati e fosfati sono stati prelevati a due profondità nella colonna d'acqua: in superficie a ~0,5 m e a ~15 m, utilizzando una bottiglia Niskin.

2.3.3 Fitoplancton

I campioni di acqua sono stati prelevati in superficie, in 10 stazioni, per valutare l'incidenza delle emissioni dell'impianto sul popolamento fitoplanctonico e sulla biomassa presente. I campioni sono

stati immediatamente posti in bottiglie di plastica da 100 ml e conservati in formalina stabilizzata al 3% (Fig. 4).

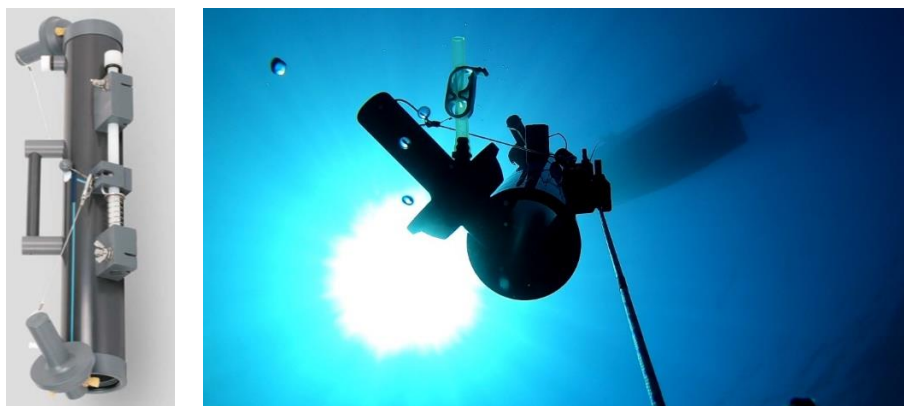


Fig. 4 – Bottiglia Niskin per il campionamento d'acqua.

2.3.4 Comunità macrozoobentonica

Per il prelievo di sedimento marino sono stati identificati 7 siti: i siti 1 e 9, localizzati sulla verticale delle gabbie; due siti intermedi, siti 5 e 7, a circa 150 m dalle gabbie rispettivamente a Est e Ovest, due siti a Nord delle gabbie posti a 300 m (sito 3) e 800 m (sito 4). Un'ultima stazione a 1000 m (sito 4 bis) dalle gabbie, dove si presuppone non ci sia alcun effetto ambientale dovuto alla presenza delle gabbie, è stata usata come controllo.

Il campionamento di sedimento marino è stato effettuato con una benna Van Veen (Fig. 5A) e, dove non possibile, tramite l'ausilio di operatori subacquei. Il volume prelevato è stato mantenuto il più possibile costante, al fine di ottenere una valutazione comparabile tra i siti. Il materiale è stato passato a setaccio con maglia 1 mm e 0,5 mm (Fig. 5B) e i campioni sono stati successivamente fissati in soluzione di etanolo al 90% per il *sorting* in laboratorio.

A



B

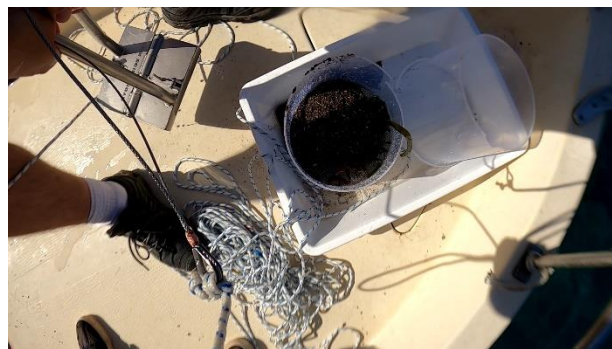


Fig. 5 – Strumentazione per il campionamento del sedimento e analisi della comunità macrozoobentonica. A: benna Van Veen; B: setacci a maglie differenti.

2.4 – Protocolli e metodologie di analisi

2.4.1 Colonna d'acqua

Le analisi dell'acqua sono state effettuate sia sul campo che presso i laboratori del CREA Zootecnia e Acquacoltura di Monterotondo (RM). I risultati delle analisi sulle acque sono espressi in µg/l o µM.

In tutti i siti di campionamento sono stati prelevati campioni di acqua per le analisi chimiche di fosforo totale, azoto totale, nitriti, nitrati, ammoniaca e fosfati. I prelievi sono stati effettuati in superficie (-0,5 m) e ad una profondità intermedia rispetto al fondale di circa 15 metri. I campioni destinati all'analisi dei nutrienti di azoto e fosforo sono stati processati sul posto tramite un laboratorio portatile di analisi noleggiato per la durata del progetto (µMac Smart, SYSTE A S.p.A.), mentre quelli per azoto e fosforo totali sono stati congelati e successivamente trasferiti nei laboratori del CREA Zootecnia e Acquacoltura per essere analizzati tramite i protocolli elencati in Tab. 2.

Tab. 2 – Metodi per le analisi condotte sui campioni di acqua.

Analita	Metodo
Azoto Totale	APAT IRSA-CNR Metodi analitici per le acque - Metodo 4060 - Manuale e Linee Guida 29/2003
Fosforo Totale	APAT IRSA-CNR Metodi analitici per le acque - Metodo 4060 - Manuale e Linee Guida 29/2003
Nitriti	ICRAM Acqua - scheda 5 2001/2003
Nitrati	ICRAM Acqua - scheda 6 2001/2003
Fosfati	ICRAM Acqua - scheda 4 2001/2003
Ammoniaca	ICRAM Acqua - scheda 7 2001/2003

2.4.2 Comunità fitoplanctonica

Le analisi di laboratorio sono state effettuate al microscopio ottico con ingrandimento 400x, seguendo il metodo di Utermohl con la sedimentazione in camera. Per ciascun campione si è provveduto alla conta e alla classificazione fino al livello di genere.

2.4.3 Comunità macrozoobentonica

L'identificazione tassonomica degli organismi bentonici rinvenuti nei campioni di sedimento è stata condotta ove possibile a livello di genere, e, dove non possibile, a livello di famiglia. Sono state utilizzate tavole dicotomiche e manuali di identificazione dei principali taxa. I campioni sono stati contati per ottenere le stime di abbondanza.

Per un confronto tra le stazioni di campionamento è stata utilizzata la tecnica di statistica multivariata non parametrica del Multidimensional Scaling Non-metrico (nMDS), con distanza di Bray-Curtis, di comune utilizzo in questo genere di studi. Per le analisi statistiche è stato utilizzato il software Past.

3 - Risultati

3.1 – Colonna d'acqua

3.1.1 Analisi chimico-fisiche: azoto totale, fosforo totale, ammoniacale, nitriti, nitrati, fosfati

I risultati delle singole analisi sui campioni di acqua, suddivisi per stazione e profondità, sono riportati nelle tabelle 3 e 4, per la campagna primaverile ed estiva, rispettivamente. I valori medi dei parametri chimico-fisici considerati (temperatura, salinità, pH e ossigeno disciolto) non mostrano differenze significative fra siti e stagioni.

Per una maggiore comprensione dei risultati dei nutrienti i valori dei parametri analizzati sono stati aggregati per gruppi: siti all'interno dell'impianto (n = 2), siti distanti 150 m (n = 4), 300 m (n = 2), 800 m e 1000 m (n = 2) (Fig. 6 e 7). Gli istogrammi mostrano come i valori di concentrazione non presentino differenze evidenti, oltre che per profondità e stagione, anche fra siti all'interno dell'impianto e siti all'esterno, a diverse distanze.

Qualche piccola differenza, in linea con quanto atteso, si può osservare, a livello di profondità (con valori medi leggermente superiori a profondità di 15 m) e tra stagioni, con valori primaverili più elevati di quelli estivi.

Infine, per confrontare la concentrazione di nitriti, nitrati, azoto ammoniacale, azoto totale, fosfati e fosforo totale analizzati nella colonna d'acqua della zona di studio con altri valori registrati per gli stessi parametri in diverse zone marino costiere in Italia, sono stati calcolati i valori mediani per entrambe le stagioni e in tutti i siti di campionamento a Capraia e confrontati con le tabelle dei valori rilevati per la classificazione dello stato ecologico in diverse regioni nel 2018 (ISPRA, 2022; Elaborazione ISPRA su dati SINTAI ARPA). Nella Figura 8 i valori mediani e in percentile (1, 25, 75 e 99 esimo e relativi outliers) sono raffigurati con box-plots che permettono di evidenziare come i valori rilevati a Capraia siano tra i più bassi e in ogni caso inferiori ai parametri critici di riferimento dell'ISPRA (Marino et al., 2020).

Tab. 3 - Risultati delle analisi delle acque per il campionamento primaverile.

Stazione	Posizione	Profondità	T °C	pH	DO (mg/l)	DO (% Sat)	SAL (ppt)	P tot (µg/l)	N tot (µg/l)	N-NH ₃ (µg/l)	N-NO ₂ (µg/l)	N-NO ₃ (µg/l)	P-PO ₄ (µg/l)
1	Impianto	Superficie	16,20	8,21	7,92	92,7	33,5	8,5	59,6	30,1	0,6	6,7	4,1
		-15 m	16,90	8,26	8,54	98,3	33,4	5,7	72,2	38,3	0,5	6,5	2,8
2	300 m sud	Superficie	16,60	8,23	8,14	95,7	33,7	4,7	40,5	19,4	0,8	5,2	3
		-15 m	17,08	8,30	8,31	96,4	33,2	9,3	83,8	44,9	0,6	7,1	4,1
3	300 m nord	Superficie	16,00	8,89	8,02	93,5	33,9	5,2	27,7	10	0,2	7,2	2,5
		-15 m	16,70	9,00	8,28	94,9	33,7	6,3	257,8	149	1,2	11,6	5,4
4	800 m nord	Superficie	16,20	9,17	7,97	93,2	34,1	1,1	44,0	18,7	0,8	8,1	2,8
		-15 m	16,80	9,17	8,03	92,6	34,0	2,2	47,5	10,7	1,2	17,9	3,9
4 bis	1000 m nord	Superficie	16,30	8,29	8,18	94,8	33,5	11,0	34,9	16	0,6	5,3	3,3
		-15 m	16,55	8,36	8,22	94,6	32,9	4,2	375,4	213,3	1,5	20,8	7,8
5	150 m ovest	Superficie	16,10	8,21	8,03	93,5	33,6	5,7	65,8	20,1	0,5	20,7	2,2
		-15 m	16,65	8,27	8,06	92,4	33,3	8,0	24,4	7,7	1,3	6,3	2,6
6	150 m sud	Superficie	16,30	8,22	8,05	95	33,7	0	26,9	12,7	0,9	3,3	3,3
		-15 m	17,30	8,30	8,14	93,9	33,3	0,2	66,0	10,7	0,9	29,8	3,9
7	150 m est	Superficie	16,63	8,24	8,04	93,9	33,6	1,6	19,3	6	0,4	5,7	3,3
		-15 m	16,80	8,27	7,92	91,9	33,2	3,0	53,1	26,7	0,6	6	3,3
8	150 m nord	Superficie	16,45	8,25	8,04	94,1	33,4	3,3	47,8	23,4	0,7	5,9	3,1
		-15 m	16,90	8,32	8,8	101,8	33,2	11,7	97,0	48,1	1,1	11,7	3,4
9	Impianto	Superficie	16,40	8,22	8,05	94,1	33,5	0	43,5	18,1	0,6	8,6	2,2
		-15 m	16,90	8,28	8,19	94,6	33,1	2,1	267,2	147,7	1,1	18,9	10,1

Tab. 4 - Risultati delle analisi delle acque per il campionamento estivo.

Stazione	Posizione	Profondità	T °C	pH	DO (mg/l)	DO (% Sat)	SAL (ppt)	P tot (µg/l)	N tot (µg/l)	N-NH ₃ (µg/l)	N-NO ₂ (µg/l)	N-NO ₃ (µg/l)	P-PO ₄ (µg/l)
1	Impianto	Superficie	24,9	8,25	7,72	110,2	33,6	4,7	26,1	12,8	1,2	2,4	3,1
		-15 m	25	8,25	8,37	119,3	33,5	3,7	129,2	69,9	0,4	10,8	2,3
2	300 m sud	Superficie	25,1	8,25	7,59	108,6	33,8	6,3	20,4	10,2	1	1,6	2,3
		-15 m	25,2	8,23	7,64	109,4	33,3	9,3	88,4	47	0,7	7,8	5,3
3	300 m nord	Superficie	24,5	8,25	7,72	109,3	34	7,4	16,4	6,6	3,7	0	2,8
		-15 m	24,1	8,25	7,86	110,1	33,8	7,6	61,3	31,6	0,5	6,4	2,3
4	800 m nord	Superficie	25	8,24	7,56	107,8	34,2	11,6	41,9	24	0,5	1,8	1,3
		-15 m	24,9	8,24	8,01	114	34,1	5,6	47,0	24,5	0,5	4,5	3,6
4 bis	1000 m nord	Superficie	24,73	8,24	7,91	110,1	33,6	4,0	68,7	33,7	1,2	8,2	1,4
		-15 m	24,8	8,23	8,4	117,2	33	11,7	213,0	112,9	0,9	19,9	11
5	150 m ovest	Superficie	24,9	8,25	7,72	110,1	33,7	0,0	37,6	17,9	0,6	5,1	3,8
		-15 m	24,78	8,25	8,11	115,2	33,4	0,2	152,0	86,8	0,7	7,9	4,1
6	150 m sud	Superficie	24,85	8,26	7,78	110,9	33,8	2,7	22,5	11,7	0,4	2	1,8
		-15 m	24,88	8,24	7,69	109,4	33,4	0,0	132,7	70,4	1,8	11,1	6,8
7	150 m est	Superficie	24,9	8,24	7,65	109	33,7	0,0	80,8	37,3	2,4	11	3,9
		-15 m	25	8,24	7,91	112,7	33,3	7,4	199,5	106,2	0,5	18,5	4,1
8	150 m nord	Superficie	25	8,24	7,67	109,6	33,5	6,4	20,2	8,7	0,9	3,1	2,1
		-15 m	24,98	8,24	8,38	119,3	33,3	11,1	61,2	14,7	0,9	22,8	4,4
9	Impianto	Superficie	25,1	8,23	7,35	105,1	33,6	0,5	142,8	66,3	0,7	22,6	6,5
		-15 m	24,9	8,25	7,72	110,2	33,2	4,7	26,1	12,8	1,2	2,4	3,1

Fig. 6 – Valori medi dei parametri relativi ai composti azotati (nitriti, nitrati, ammoniaca) e azoto totale nelle due stagioni e alle due profondità indagate SUP (-0,5 m) e -15 m., I siti all'interno (1 e 9), a 150 m (siti 5-8), a 300 m (siti 2-3) e 800 e 1000 m (siti 4 e 4bis) sono stati aggregati.

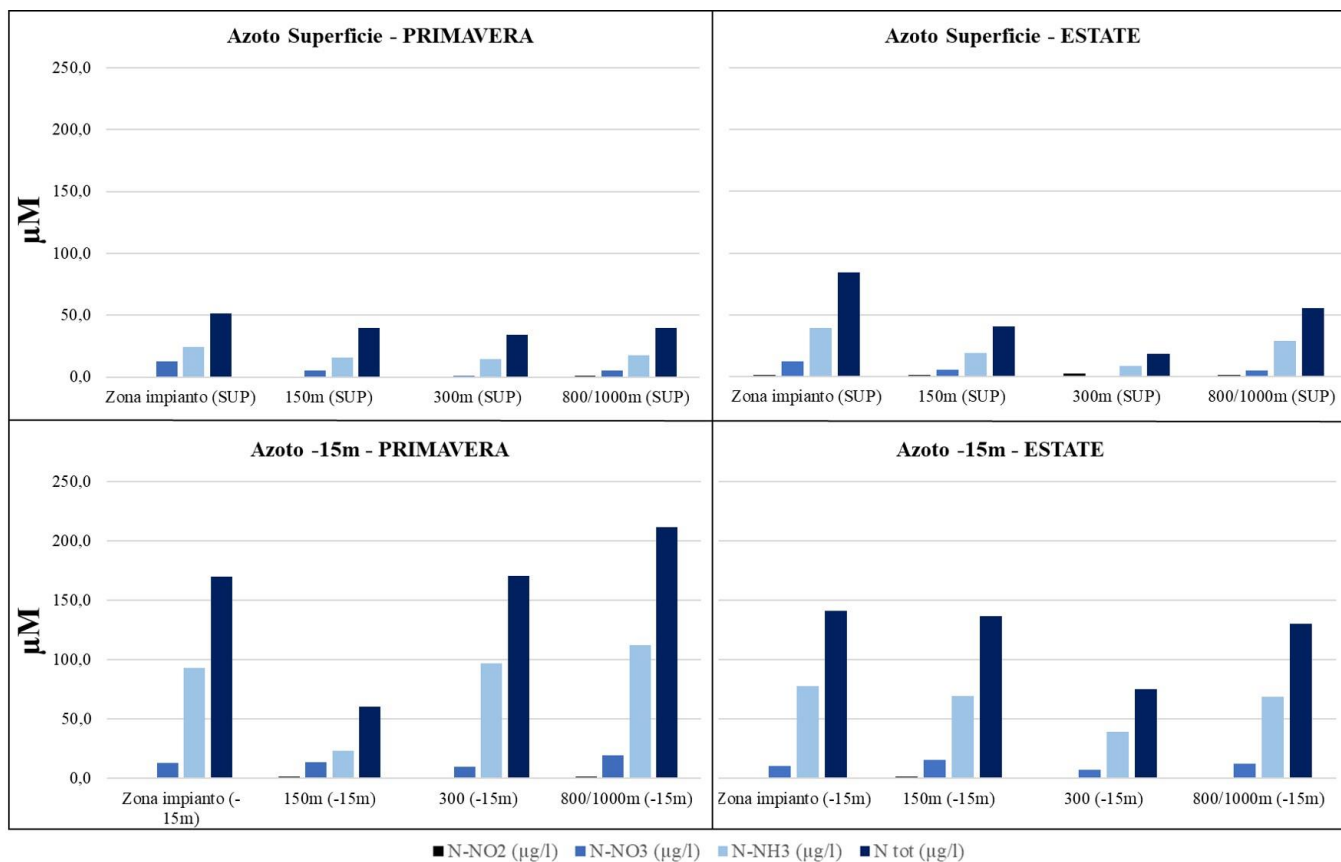


Fig. 7 – Valori medi dei parametri relativi a ortofosfati e fosforo totale nelle due stagioni e alle due profondità indagate SUP (-0,5 m) e -15 m, aggregati sulla base della localizzazione: siti all'interno dell'impianto (sito 1 e 9), siti distanti 150 m (siti 5, 6, 7, 8), 300 m (siti 2 e 3), 800 m e 1000 m (siti 4 e 4bis).

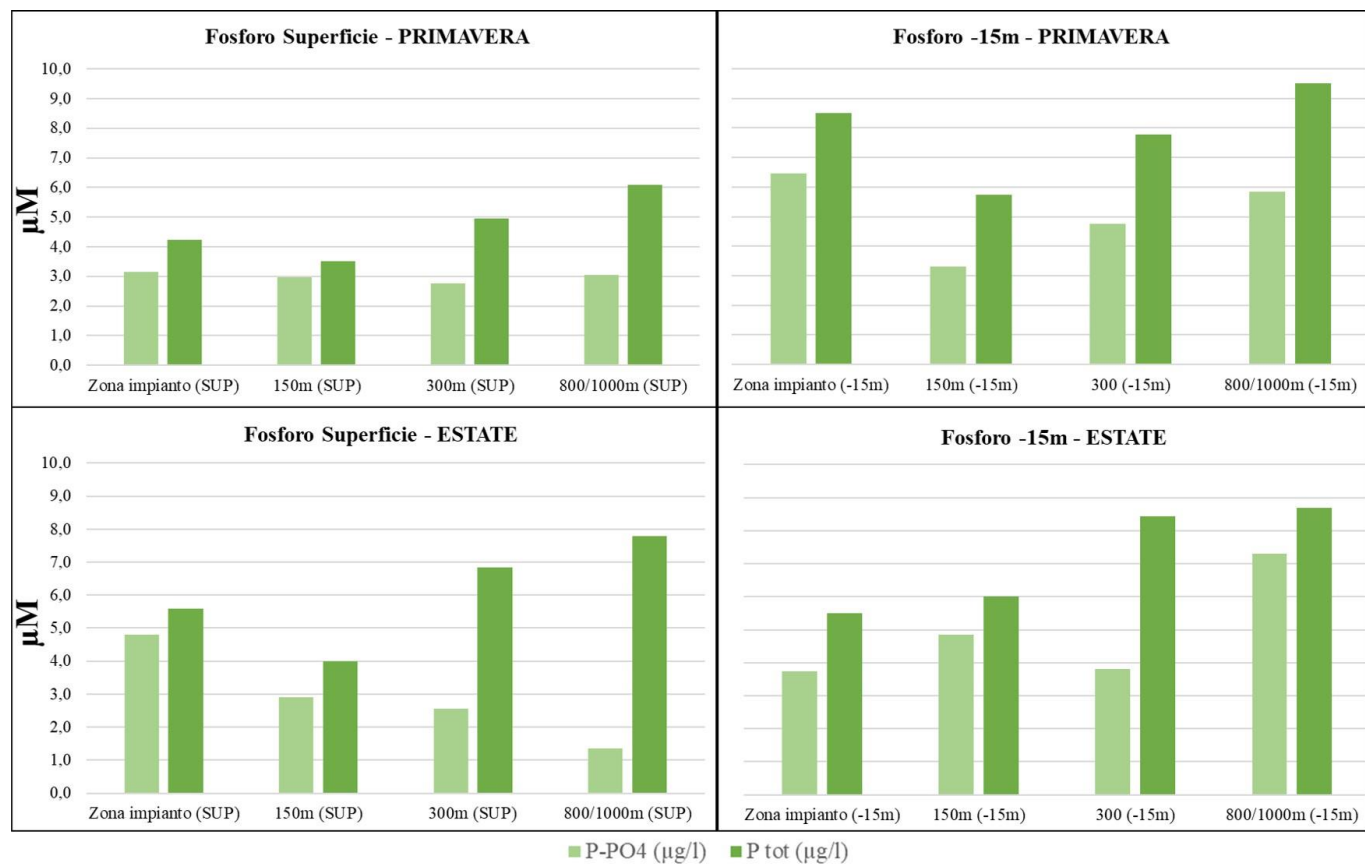
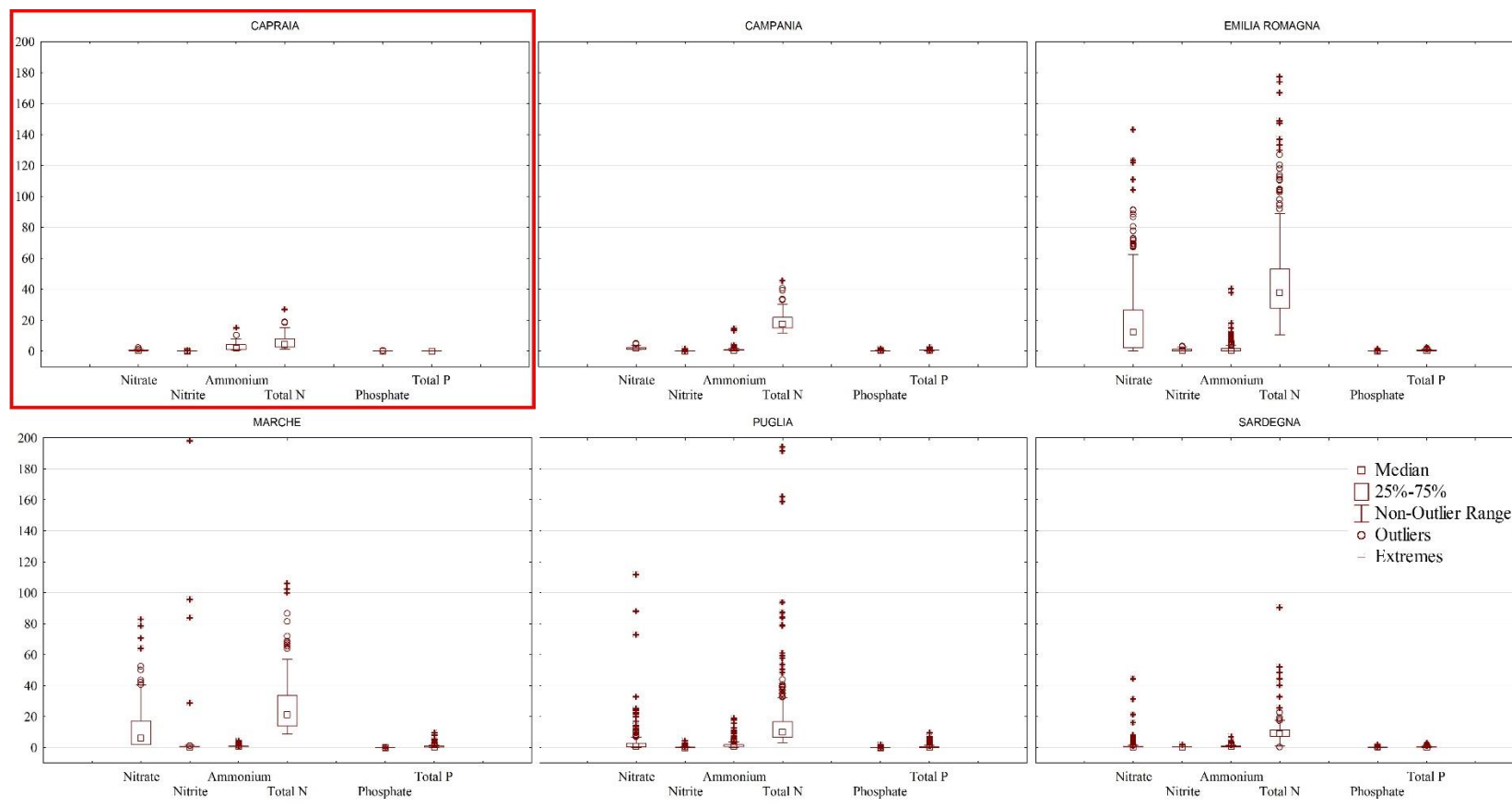
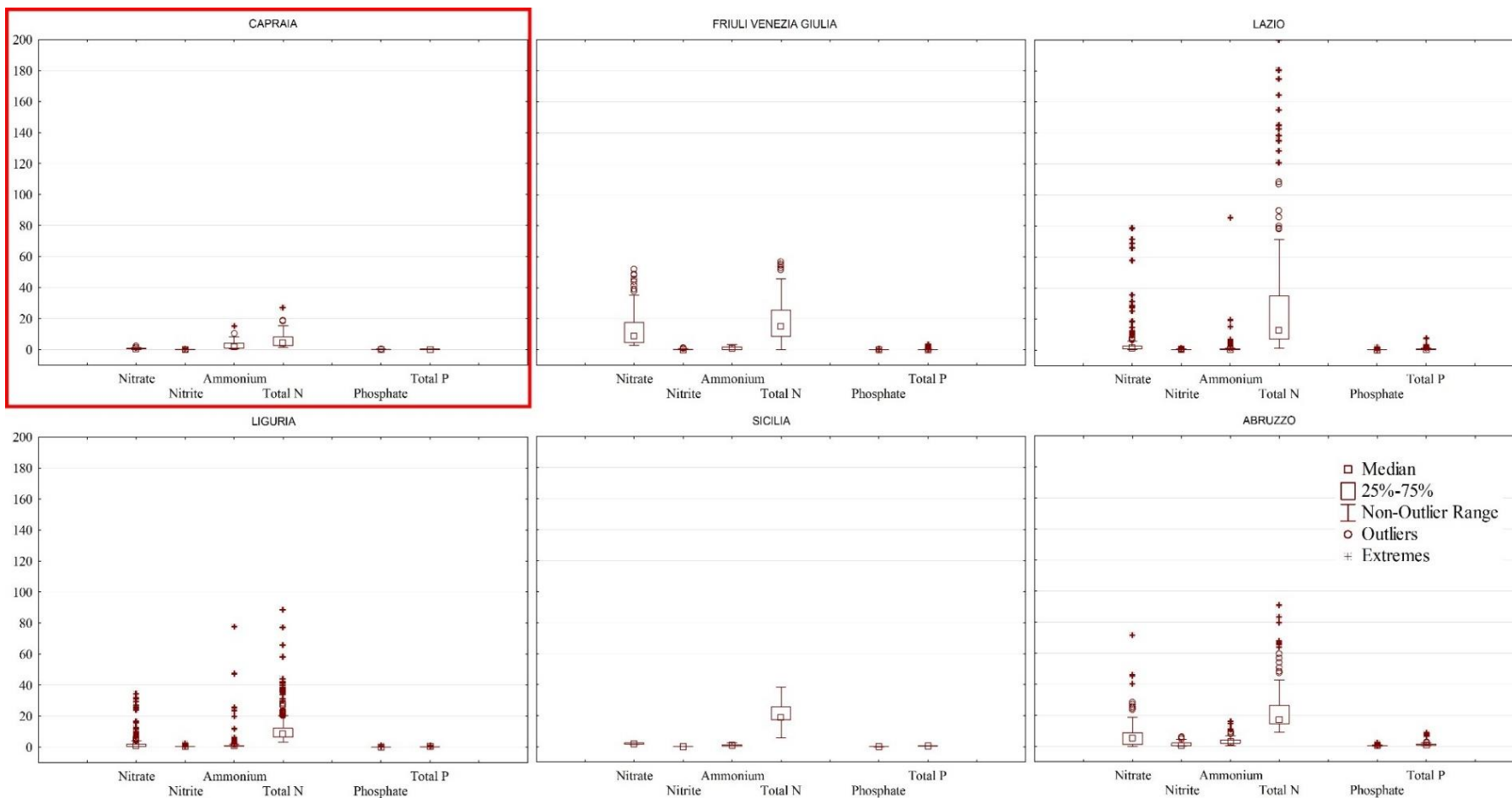


Fig. 8 – Box-plot per il confronto dei valori medi e percentili della concentrazione dei nutrienti della colonna d'acqua analizzati a Capraia e in diverse zone marine costiere in Italia nel 2018 (Elaborazione ISPRA su dati SINTAI ARPA).



SEGU



3.1.2 Analisi della comunità fitoplanctonica

In Tab. 5 sono riportate le concentrazioni di fitoplancton per ogni campione e la suddivisione nelle relative classi rilevate.

Tab. 5 – Numero di individui nelle diverse stazioni di campionamento ripartiti nelle classi identificate.

Stazione	Bacillarioficee	Dinoficee	Prasinoficee	Cryptoficee	Tot cell
1	5.698	8.547	11.396	8.547	34.188
2	0	14.245	8.547	2.849	25.641
3	5.698	28.490	5.698	2.849	42.735
4	2.849	14.245	2.849	2.849	22.792
4bis	0	22.792	0	0	22.792
5	2.849	8.547	0	0	11.396
6	2.849	2.849	0	2.849	8.547
7	2.849	8.547	0	5.698	17.094
8	2.849	19.943	2.849	2.849	28.490
9	0	11.396	2.849	5.698	19.943

La stazione con la maggior concentrazione di fitoplancton risulta essere la 3, a 300 m a NORD dell'impianto, mentre le stazioni 5 e 6 hanno mostrato la concentrazione di microalghe più bassa, localizzate nell'area circostante il perimetro dell'allevamento. Le restanti stazioni mostrano concentrazioni piuttosto simili tra loro nonostante il periodo primaverile caratteristico di eventuali fioriture algali (Fig. 9). Le concentrazioni, in generale, non sono particolarmente elevate e si evidenzia come la stazione 9, all'interno dell'impianto, teoricamente la più influenzata da apporti organici e quindi con maggiore possibilità di sviluppare fioriture, abbia concentrazioni più basse rispetto al campione di controllo a distanza di 1000 m a NORD (4bis). L'altra stazione interna all'impianto, la n. 1, sebbene poco distante dalla n.9, registra valori quasi doppi. Tali risultati mostrano come le biomasse fitoplanctoniche, in base alle correnti e alla loro stratificazione possono presentare valori molto variabili in termini di concentrazione e tipologia.

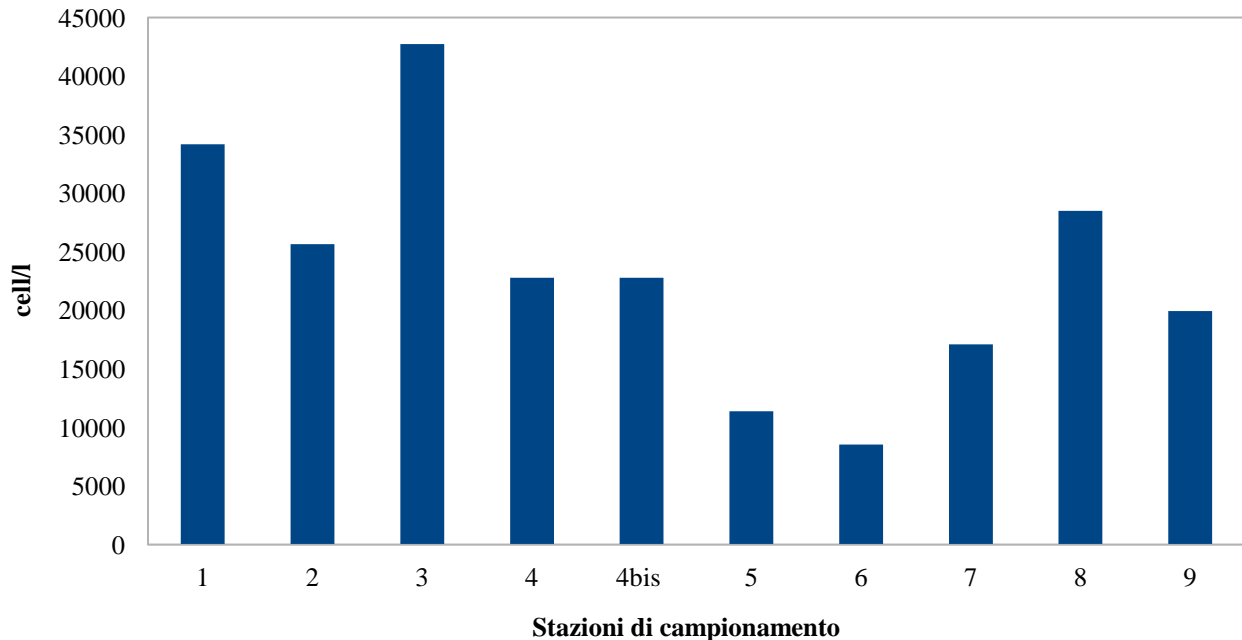


Fig. 9 – Biomassa fitoplanctonica (n° cellule/l) nelle diverse stazioni di campionamento.

Analisi del popolamento

L'analisi del popolamento fitoplanctonico (Fig. 10) rileva una costante presenza di specie del gruppo delle Dinofitee (Fig. 11), caratteristiche del periodo primaverile. Le specie rilevate sono principalmente appartenenti al genere *Gymnodinium* e, solo in qualche caso, come nella stazione 8, si sono osservati soggetti appartenenti al genere *Peridinium* e *Ceratium*.

In tutti i campioni sono risultate costantemente presenti anche specie appartenenti al nanoplancton, come le Prasinofitee e le Cryptofitee, a cui appartengono generi normalmente presenti in mare aperto.

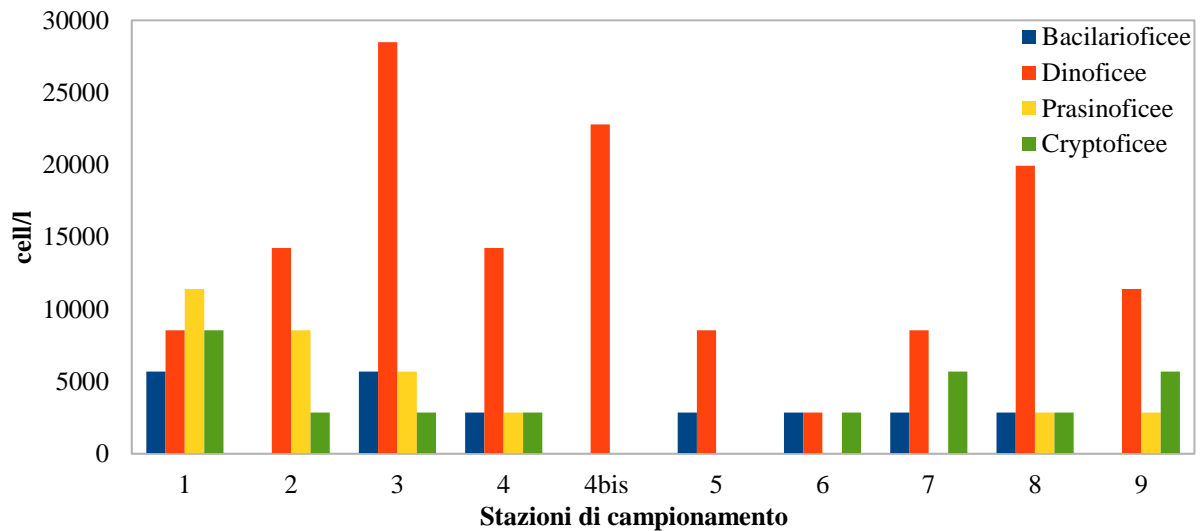


Fig. 10 – Popolazione fitoplanctonica suddivisa per classi.

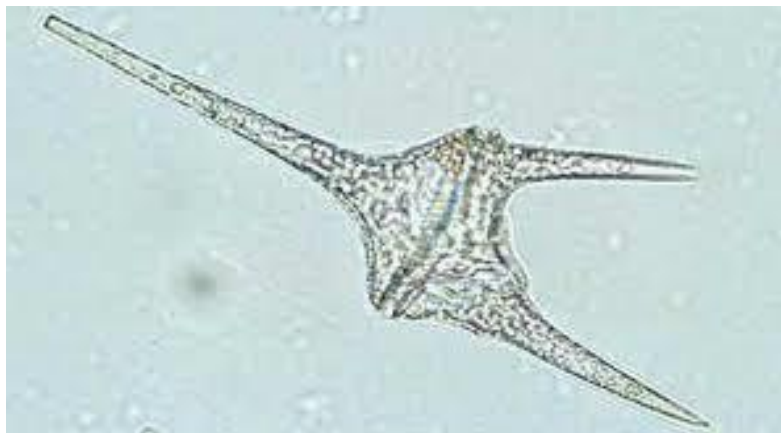


Fig. 11 – Dinofitea del genere *Cerathium*.

Non si osserva, invece, una consistente presenza di Bacillariofitee, le quali probabilmente hanno terminato il loro ciclo di sviluppo proprio del periodo invernale, lasciando il posto a specie più caratteristiche delle fioriture primaverili.

Le stazioni al centro dell'impianto (1 e 9) mostrano una maggiore variabilità di generi dovuta probabilmente alla maggiore disponibilità di sostanze nutritive costantemente presenti, nonostante le correnti marine che tendono a diffondere rapidamente i composti organici prodotti dall'impianto.

La presenza di fitoplancton nell'area non appare molto consistente, sia dentro che fuori l'impianto, con concentrazioni tra loro simili, anche confrontando zone interne o prossime all'impianto con quelle

di controllo anche molto distanti. Probabilmente le correnti nell'area sono tali che i nutrienti vengono rapidamente rimossi e diffusi, tanto da non permettere consistenti fioriture algali.

Il popolamento rispecchia quello di un ambiente sano, pelagico, con presenza di generi appartenenti a classi primaverili (Dinoficee) o appartenenti a classi pelagiche proprie di ambienti di alto mare, molto piccole e non coloniali, come le piccole flagellate delle classi Prasinoficee e Cryptoficee.

3.1.3 Analisi del popolamento macrozoobentonico nei sedimenti

Nei campioni analizzati sono stati raccolti un totale di 54 individui, appartenenti a 38 generi diversi (Tab. 6). Data l'eterogeneità dell'ambiente nel quale è situato l'impianto di maricoltura, le stazioni selezionate presentano tipologie di fondali differenti, con una predominanza di fondale a *Posidonia oceanica* e sabbia fine (stazione 4bis), coralligeno (1, 9 e 5) e misto *P. oceanica*/coralligeno/sabbia fine (7). Le stazioni 3 e 4 sono risultate, invece, a dominanza di lapillo vulcanico.

Tab. 6 – Elenco dei generi identificati

<i>Anapagurus</i> sp,	<i>Gouldia</i> sp,
<i>Anodontia</i> sp,	<i>Hyalinoecia</i> sp,
<i>Anthura</i> sp,	<i>Leptochelia</i> sp,
<i>Aponuphis</i> sp,	<i>Lysidice</i> sp,
<i>Aphrodite</i> sp,	Nematoda
<i>Arabella</i> sp,	<i>Nothria</i> sp,
<i>Capitella</i> sp,	<i>Ophiuroidea</i>
<i>Caprella</i> sp,	<i>Paradoneis</i> sp,
<i>Cerithiopsis</i> sp,	<i>Paralacydonia</i> sp,
<i>Chamalea galina</i>	<i>Perinereis</i> sp,
<i>Chiton</i> sp,	<i>Perioculodes</i> sp,
<i>Dentalium</i> sp,	<i>Phyllodoce</i> sp,
<i>Dischides politus</i>	<i>Pisione</i> sp,
<i>Echinocyamus</i> sp,	<i>Spiophanes</i> sp,
<i>Episiphon rubescens</i>	<i>Tellina</i> sp,
<i>Exogone</i> sp,	<i>Williamia gussonii</i>
<i>Galatowenia</i> sp,	

I popolamenti di macroinvertebrati del fondale delle stazioni di campionamento sono discretamente omogenei (Fig. 12), senza significative differenze: tutte le stazioni, infatti, si collocano all'interno dell'ellissi di confidenza del 95% del grafico. I gruppi tassonomici rinvenuti nelle stazioni 1 e 9, collocate all'interno dell'impianto di acquacoltura, mostrano similarità con la stazione di controllo

4bis, specialmente per la presenza del genere *Paradoneis* spp. La stazione 5 si differenzia maggiormente dalle altre per la presenza di generi esclusivi, tra cui *Arabella* spp. Da notare la presenza di specie non campionate precedentemente (es., *Cerithiopsis* spp., ed *Episiphon rubescens*) e specie poco comuni, come *Williamia gussonii*.

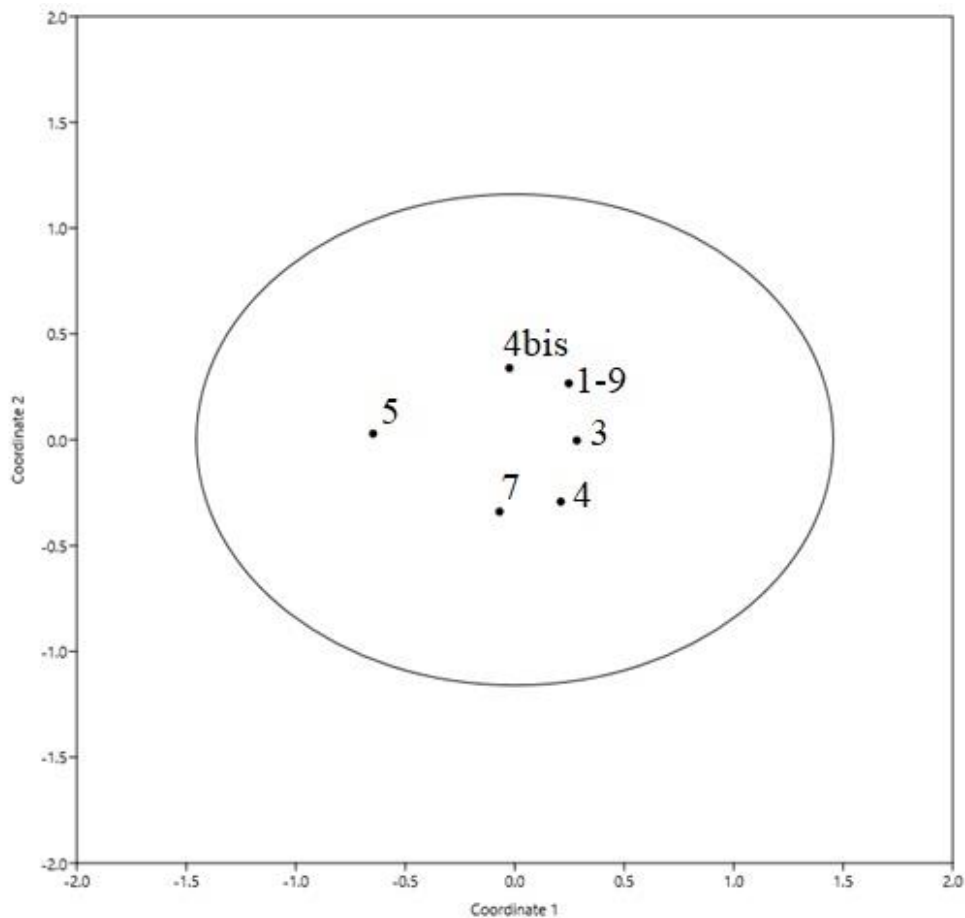


Fig. 12 – Ordinamento nMDS relativo alla matrice di abbondanza (generi X stazioni), 1 e 9 = Impianto; 3 = 300 m Nord; 7 = 150 m Est; 5 = 150 m Ovest; 4 = 800 m Nord, 4bis = 1000 m Nord, Stress = 0,11.

Le analisi hanno permesso di collocare tutte le stazioni al di sopra della soglia minima accettabile secondo i parametri di riferimento dell'ISPRA (< 0,15 valore critico; per approfondimenti “Assegnazione di zone marine per l’acquacoltura – Guida tecnica”) (Tab. 7).

Tab. 7 – Risultati della struttura dei popolamenti nei diversi siti.

Stazioni	Equitabilità di Pielou	Diversità di Shannon-Weaver
3	1,000	2,807
4	0,861	2,226
4bis	1,000	2,322
5	1,000	2,000
7	0,832	1,664
1+9	0,935	3,461

In generale, i risultati delle analisi dei campionamenti primaverile ed estivo del 2023 hanno mostrato un buono stato generale dei popolamenti macrozoobentonici dei fondali sia all'interno che nei pressi dell'impianto di acquacoltura, simili alle zone di controllo distanti dalle attività produttive.

Non si evidenzia un impatto significativo della presenza dell'impianto di maricoltura sulla struttura e sull'abbondanza del popolamento di macrozoobenthos delle aree limitrofe, seppure con rinvenimenti di specie non campionate precedentemente e poco comuni. L'elevata diversificazione delle biocenosi di fondale conferma il buono stato di salute dell'ecosistema nell'area interessata.

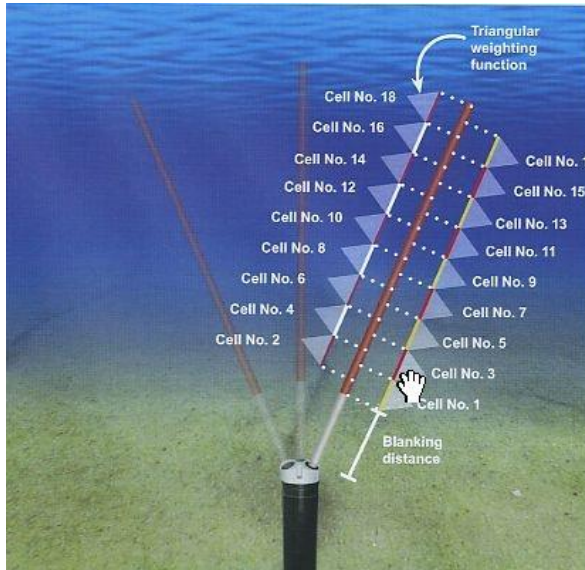
4 – Approfondimento tecnico-scientifico sulla stima dell'influenza delle emissioni della maricoltura nell'ambiente circostante

4.1 – Profilazione della direzione e dell'intensità delle correnti marine locali

Al fine di caratterizzare direzione e intensità dei movimenti della massa d'acqua nell'area interessata dall'impianto, è stato noleggiato un profilatore di corrente ad ultrasuoni Doppler (ADCP), Nortek (Aquadrop 600 MHz), che è stato posizionato sul fondale marino in corrispondenza del centro dell'impianto ad una profondità di circa 38 m (Fig. 13) per il periodo da maggio a luglio. Lo strumento ha permesso di calcolare le tre componenti direzionali e l'intensità dello spostamento dell'acqua nell'area con una risoluzione spaziale nell'ordine dei metri e con una frequenza di 6 ore, fornendo dati ad una risoluzione molto maggiore del satellite.

I valori medi giornalieri ottenuti nei mesi di maggio, giugno e luglio sono stati mediati per mese al fine di produrre delle mappe deposizionali dell'area influenzata dalle emissioni delle gabbie della maricoltura (sostanze particolate derivanti dall'eventuale mangime non consumato dai pesci e deiezioni) (Fig. 14). Il monitoraggio e l'elaborazione in continuo dei parametri sopra descritti hanno consentito di mappare la dispersione nell'ambiente delle emissioni dell'allevamento. Quest'ultime sono state stimate con la metodologia descritta nel paragrafo successivo.

A



B





Fig. 13 –Modalità di funzionamento del correntometro (A); Profiler ancorato al corpo morto prima della messa in opera (B); Posizionamento dello strumento correntometrico sul fondale (C).

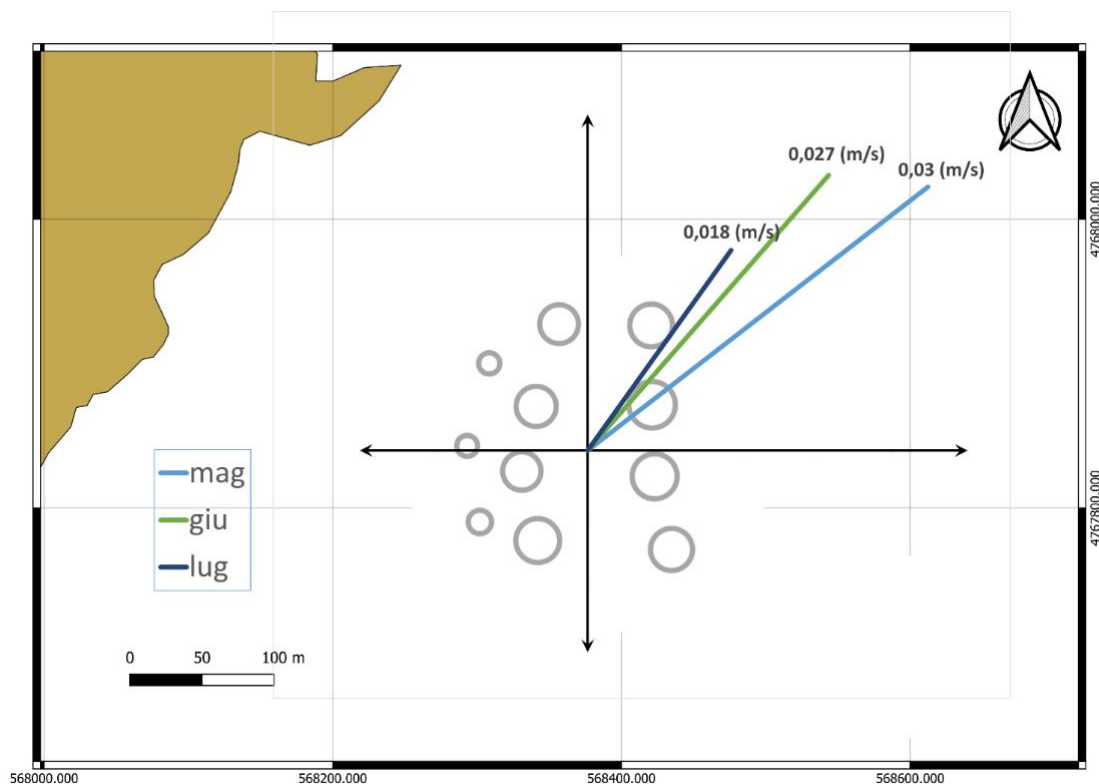


Fig. 14 - Grafico della direzione ed intensità media delle correnti tra -20 metri e il fondale nei 3 mesi indagati.

4.2 – Mappe di dispersione delle emissioni dell'impianto nell'area circostante

Il modello di dispersione, unito ai dati ottenuti dal profilatore di correnti posizionato sul fondale in corrispondenza del centro della concessione, ha permesso di elaborare delle mappe deposizionali che presentano una stima dell'intensità di deposizione del particolato durante i tre mesi di indagine suddiviso in mangime non consumato (Fig. 15) e deiezioni (Fig. 16), considerando le due specie allevate, le diverse taglie presenti in allevamento e la tipologia di mangime nel periodo considerato. Dalle figure si evince come il particolato derivante dal mangime non consumato abbia un'area di impatto sui sedimenti limitata, se paragonata a quella stimata per le deiezioni. Tali risultati saranno di particolare interesse per la definizione di futuri piani di monitoraggio. Sarà possibile, infatti, estendere la raccolta dei dati a tutto l'anno, ottimizzando la frequenza dei campionamenti per il monitoraggio, circoscrivendo i siti di prelievo per le analisi dei sedimenti alle aree con maggior intensità di sedimentazione.

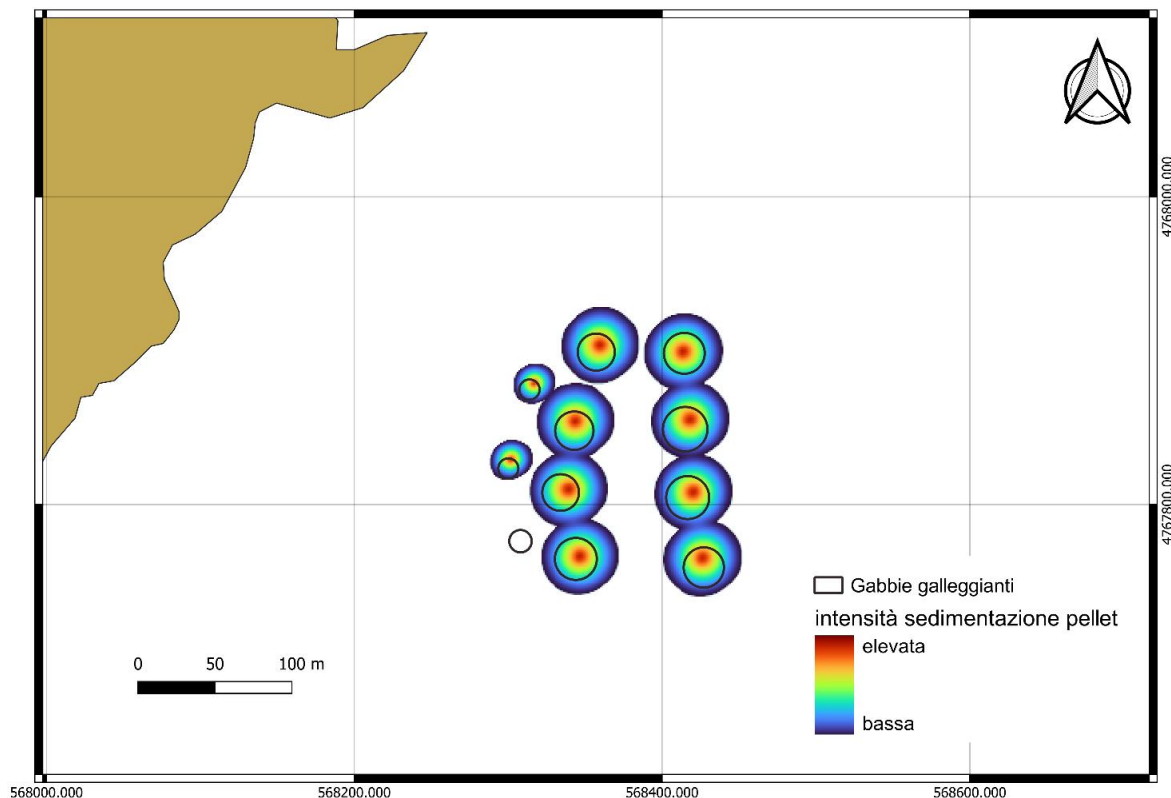


Fig. 15 - Mappa di sedimentazione del mangime non consumato, considerando le correnti misurate nei mesi di maggio, giugno e luglio.

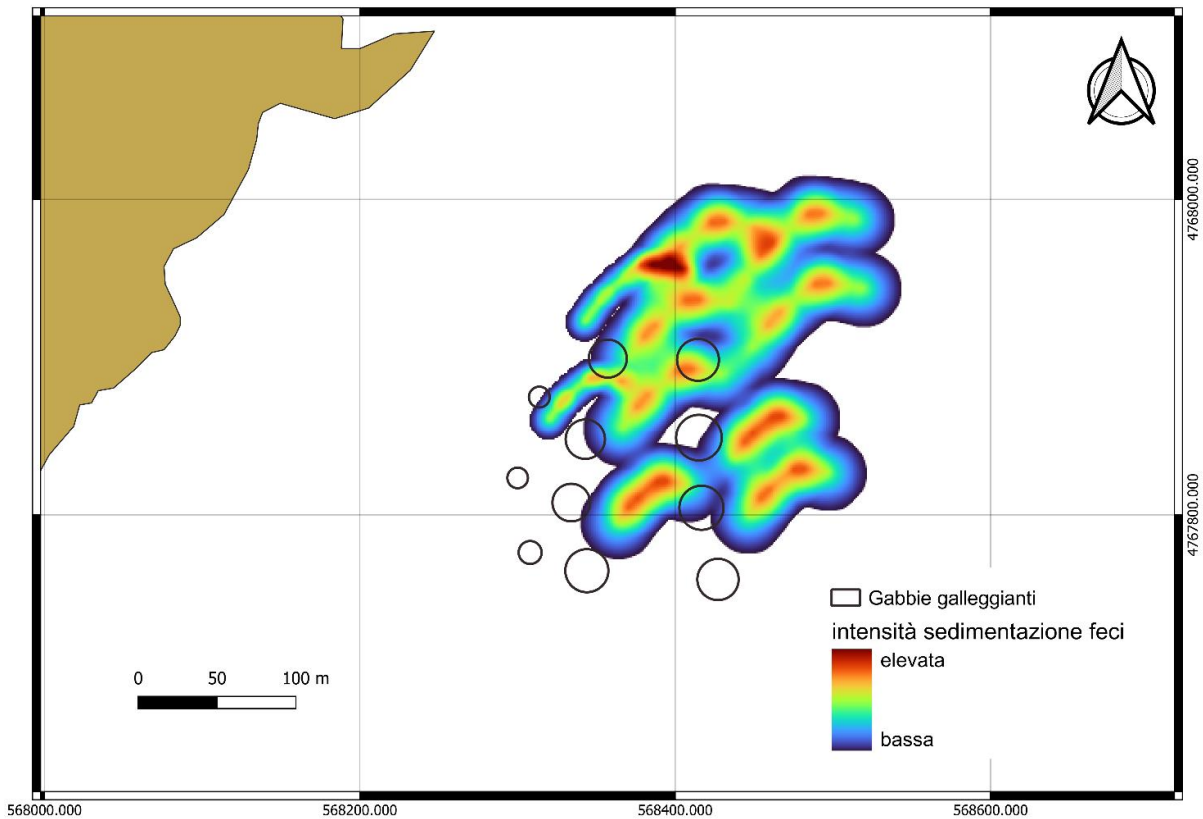


Fig. 16 - Mappa di sedimentazione delle deiezioni, considerando le correnti misurate nei mesi di maggio, giugno e luglio.

4.3 – Bilanciamento di massa e modelli di accrescimento specie e sito specifici

Il contributo dell'impianto d'allevamento in termini di azoto, fosforo e carbonio è stato stimato utilizzando un approccio sito e caso specifico. La stima è stata realizzata tramite un modello basato su un bilanciamento di massa (Fig. 17), per cui la materia organica ingerita dai pesci allevati viene in parte utilizzata per la crescita in biomassa degli animali e in parte dispersa nell'ambiente circostante sottoforma di feci o prodotti dell'escrezione (Wang et al., 2012), secondo la formula:

$$I = A + F = (G + E + F)$$

Dove "I" corrisponde al cibo ingerito, che è uguale al cibo somministrato al netto di una percentuale non consumata dai pesci, "A" è la percentuale di cibo assimilato, "F" corrisponde al quantitativo di feci, "G" all'aumento di biomassa ed "E" al prodotto delle escrezioni.

Le escrezioni (E) e le feci (F) sono calcolate secondo le seguenti equazioni (N, C e P = azoto, carbonio e fosforo):

$$F = I * (1 - AE_{N;C;P})_{\text{branc}}$$

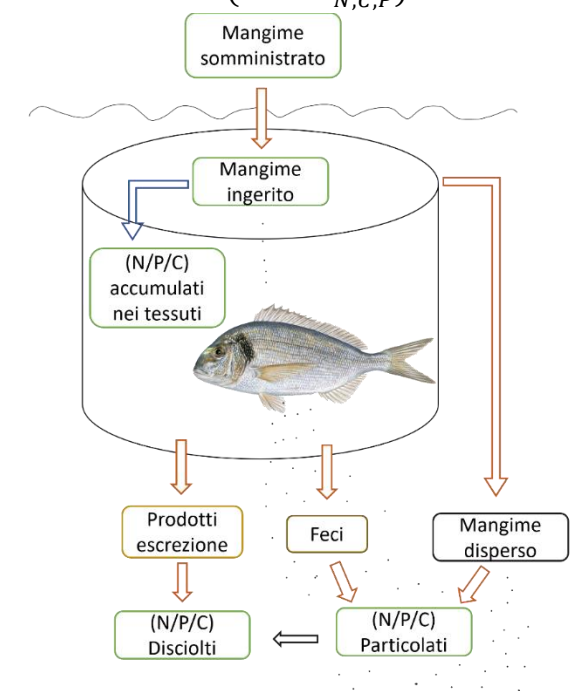


Fig. 17 - Schema del bilanciamento di massa.

In questo modo è stato possibile stimare il quantitativo di nutrienti rilasciati nell'ambiente nella loro forma particolata e disciolta con cadenza giornaliera e per l'intero ciclo produttivo. Per ricavare il quantitativo di particolato e materia disciolta sono state usate le seguenti equazioni:

$$PO_{C;N;P} = F_{C;N;P} + L_{C;N;P}$$

$$DO_{C;N;P} = PO_{C;N;P} * SF$$

In cui “L” rappresenta il quantitativo di cibo non consumato e quindi disperso nell’ambiente e “SF” rappresenta la frazione solubile di azoto, carbonio e fosforo.

Dove possibile, i dati utilizzati per la messa a punto del modello, come il contenuto di azoto, fosforo e carbonio contenuto nei filetti del pesce allevato (sia per spigola che per orata), il mangime somministrato, il valore medio di FCR (Feed Conversion Ratio) e la densità di allevamento, sono stati ottenuti o con analisi condotte nei laboratori del CREA o forniti direttamente dall’allevatore. Nel caso di dati non reperibili o calcolabili direttamente, sono stati presi come riferimento quelli pubblicati in letteratura (Ballester-Moltó et al., 2017a; 2017b).

Come valore di cibo non consumato è stato scelto un valore di riferimento bibliografico del 3% sul cibo somministrato e, nel caso specifico dell’orata, è stato aggiunto un ulteriore fattore (Ballester-Moltó et al., 2016) dovuto al comportamento tipico della specie che mastica ed espelle ripetutamente il cibo prima di ingerirlo definitivamente. Per quanto riguarda la digeribilità (AE = efficienza di assimilazione) dei diversi nutrienti e del mangime sono stati considerati i seguenti valori ricavati dalla letteratura (Tab. 8).

Tab. 8 – Valori di digeribilità delle componenti del mangime,

	Orata (<i>S. aurata</i>)	Spigola (<i>D. labrax</i>)
Aedm (% digerib. sost. secca)	84	80
AE – N (% assimilazione azoto)	95	95
AE – C (% assim. Carbonio)	88,3	88,3
AE – P (% assim. Fosforo)	51,7	51,7

I valori % dei tre elementi (N/P/C) sia nella dieta, per tre diverse granulometrie di mangime, che nei pesci (l’intero corpo compreso di tutti i tessuti) sono stati determinati in laboratorio. I risultati sono riportati in Tab. 9.

Tab. 9 - Contenuto di N, C, P percentuale nei mangimi somministrati nelle specie allevate. I valori di % N indicano rispettivamente il contenuto di azoto nel mangime estruso di diversa dimensione ("a": 2,5 mm, "b": 4 mm, "c": 6 mm).

	Orata (<i>S. aurata</i>)	Spigola (<i>D. labrax</i>)
% N mangime	8,63 ^a ; 7,3 ^b ; 6,79 ^c	8,63 ^a ; 7,3 ^b ; 6,79 ^c

% C mangime	50	50
% P mangime	0,8	0,8
% N pesce	2,43	3,0
% C pesce	16,5	16,5
% P pesce	0,4	0,4

Per simulare l'accrescimento giornaliero dei pesci, è stato utilizzato un modello di accrescimento specifico per le specie allevate, utilizzando come dati di input i valori reali delle temperature dell'acqua nella zona dell'impianto rilevati tramite satellite (Mayer et al., 2012) (Fig. 18). Il modello di accrescimento è composto dalle seguenti equazioni, specifiche per taglia.

$$W_f(t) = \left(W_0^{\frac{1}{3}} + TGC_1 * ST(t_0, t) \right)^3 \quad \text{se } W_f(t) < 117 \text{ g}$$

$$W_f(t) = \left(W_0^{\frac{2}{3}} + TGC_2 * ST(t_0, t) \right)^{3/2} \quad \text{se } W_f(t) > 117 \text{ g}$$

dove i valori delle costanti TGC_1 e TGC_2 sono rispettivamente 0,001646 e 0,016095.

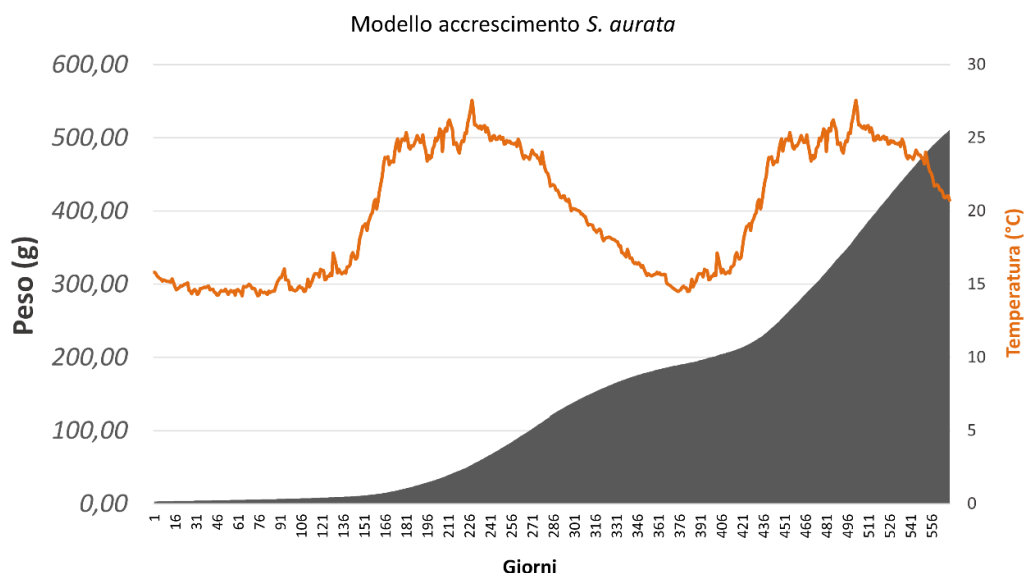


Fig. 18 – Curva di accrescimento di orata in funzione della temperatura.

4.4 – Stima del rilascio potenziale di azoto, fosforo e carbonio dell'impianto

I risultati ottenuti riportati in Tab. 10 fanno riferimento al quantitativo di nutrienti rilasciati nell'ambiente nelle forme di materiale disciolto e particolato (escrezione, deiezioni e mangime non consumato), durante un ciclo produttivo completo per entrambe le specie allevate nell'impianto.

Tab. 10 - Nutrienti rilasciati nell'ambiente durante un ciclo produttivo, divisi per specie.

	Orata (<i>S. aurata</i>)	Spigola (<i>D. labrax</i>)	Unità
N-Particolato	9,5	9,5	kg/t pesce
N-Disciolto	71,9	56,0	kg/t pesce
N - Totale	81,4	65,6	kg/t pesce
P-Particolato	4,0	6,5	kg/t pesce
P-Disciolto	4,0	4,4	kg/t pesce
P - Totale	8,1	10,8	kg/t pesce
C-Particolato	117,1	116,2	kg/t pesce
C-Disciolto	508,6	422,8	kg/t pesce
C - Totale	625,7	539,1	kg/t pesce

I valori ottenuti sono stati confrontati con quelli derivati da altri modelli applicati in altri casi di studio (ISPRA, 2022).

5 - Conclusioni

Dalle attività di monitoraggio delle componenti biotiche e abiotiche effettuate sia nella colonna d'acqua che nei sedimenti durante il presente progetto emerge un quadro ambientale caratterizzato da valori fisico-chimici e biologici in linea con quanto atteso. La concentrazione dei nutrienti risulta non solo paragonabile con quanto rilevato nelle attività di monitoraggio degli anni precedenti, ma anche con valori particolarmente contenuti se paragonati a quelli registrati dalle Agenzie Regionali in diverse aree marino-costiere in Italia. Inoltre, è possibile notare come per tutti i parametri considerati, compresi quelli della caratterizzazione della biomassa fitoplanctonica e macrozoobentonica, i valori e la composizione in specie intorno alle gabbie sono molto simili a quelli dei siti di controllo, posti a distanza di 1000 m dall'impianto. Va sottolineato che, in questo progetto, rispetto al passato, sono aumentati da 1 a 2 i siti all'interno dell'impianto, così da caratterizzare in maniera più completa l'area sottostante le gabbie di allevamento.

Con molta probabilità, a garantire un'adeguata dispersione della sostanza organica prodotta dall'impianto (in termini di deiezioni e mangime non consumato) nella colonna d'acqua e sul fondale circostante, è l'azione combinata delle correnti marine e dell'elevata profondità del sito (tra i 35 e i 40 m).

Si ritengono inoltre di rilevante interesse i risultati ottenuti dall'approfondimento tecnico-scientifico condotto durante questo progetto (Sezione 4). La profilazione della direzione e dell'intensità delle correnti marine locali, stratificate nelle diverse profondità (20 strati da 2 m ciascuno) ha permesso di tracciare, sebbene con solo 3 mesi di dati rilevati, delle mappe di dispersione delle emissioni dell'impianto nell'area circostante. Tale risultato sarà di fondamentale importanza per la messa a punto dei futuri programmi di monitoraggio ambientale, poiché permetterà di selezionare i siti di prelievo dei campioni di acqua e di sedimento nelle zone di effettiva influenza dell'impianto. L'azienda potrà pertanto ottimizzare tempo e risorse conducendo le prossime le attività di monitoraggio in modo più efficace.

Per quanto riguarda la stima del rilascio potenziale di azoto, fosforo e carbonio dell'impianto (il cosiddetto bilanciamento di massa), la messa a punto di modelli di accrescimento delle due specie allevate (spigola e orata) con dati non di bibliografia ma misurati *in situ* e specifici dell'impianto di Capraia ha permesso per la prima volta di caratterizzare ancora meglio l'attività di allevamento e il suo impatto potenziale sull'ecosistema.

L'insieme dei risultati ottenuti in questo progetto, fortemente voluto dall'Amministrazione comunale dell'Isola di Capraia e condotto dai ricercatori del Centro Zootecnia e Acquacoltura del CREA, ha contribuito a fornire un quadro di conoscenze delle attività di piscicoltura della zona e della loro integrazione con l'ambiente marino-costiero circostante, fra i più completi nel panorama dell'acquacoltura italiana. Tali informazioni saranno di estrema utilità non solo per l'azienda "Cooperativa Maricoltura e Ricerca" (Coop. Ma.Ri.), ma anche per l'Ente del Parco Nazionale Arcipelago Toscano che da anni osserva con attenzione la sinergia fra produzione ittica sostenibile e protezione ambientale.

6 - Riferimenti bibliografici

Aplysia Soc. Coop. (2007). Progetto pilota per la realizzazione di un impianto di maricoltura offshore all'Isola di Capraia: sperimentazione di gabbie sommerse di nuova progettazione e di specie alternative in rapporto con gli orientamenti di gestione delle risorse previsti dall'ordinamento comunitario. ARSIA-Regione Toscana, progetto ACBM 19, Relazione Finale.

Arpat (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Toscana) (2002). Valutazione dell'impatto sull'ambiente marino di gabbie di allevamento off-shore nel mare toscano, Regione Toscana, Relazione Finale.

Ballester-Moltó, M., Follana-Berná, G., Sanchez-Jerez, P., & Aguado-Giménez, F. (2017a). Total nitrogen, carbon and phosphorus digestibility in gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed with conventional and organic commercial feeds: implications for particulate waste production, *Aquaculture Research*, 48(7), 3450–3463, <https://doi.org/10.1111/are.13171>

- Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., Cerezo-Valverde, J., & Aguado-Giménez, F. (2017b). Particulate waste outflow from fish-farming cages, How much is uneaten feed? *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 23–30, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.004>
- Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., García-García, B., García-García, J., Cerezo-Valverde, J., & Aguado-Giménez, F. (2016). Controlling feed losses by chewing in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on-growing may improve the fish farming environmental sustainability. *Aquaculture*, 464, 111–116, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.018>
- CIBM (2011). Impianto di maricoltura off-shore di Capraia: posizionamento nuove strutture produttive e sperimentali, Descrizione del piano sperimentale e ricadute in termini di produzione ed occupazione; caratteristiche tecniche delle strutture; cronogramma dei lavori di installazione; regime produttivo e mangimistico; valutazione degli effetti sull'ambiente marino delle nuove strutture. Relazione tecnico-scientifica per conto di Coop. Ma.Ri., Capraia Isola.
- ISPRA, (2022). Banca dati degli indicatori ambientali. Acque marino costiere - parametri chimico fisici e nutrienti. www.indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/988
- ISPRA, (2022). Banca dati degli indicatori ambientali. Bilancio di azoto e fosforo da impianti di acquacoltura in ambiente marino. www.indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/382
- Magill, S. H., Thetmeyer, H., & Cromey, C.J. (2006). Settling velocity of faecal pellets of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) and sensitivity analysis using measured data in a deposition model. *Aquaculture*, 251(2–4), 295–305, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.005>
- Marino G., Petoichi T., Cardia F. (2020). "Assegnazione di Zone Marine per l'Acquacoltura (AZA). Guida Tecnica", 214 p., Documenti Tecnici ISPRA 2020.
- Mayer, P., Estruch, V, D., & Jover, M. (2012). A two-stage growth model for gilthead sea bream (*Sparus aurata*) based on the thermal growth coefficient, *Aquaculture*, 358–359, 6–13, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.06.016>
- Pérez, O, M., Telfer, T, C., Beveridge, M.C.M. & Ross, L.G. (2002). Geographical Information Systems (GIS) as a simple tool to aid modelling of particulate waste distribution at marine fish cage sites. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(4), 761–768, <https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0870>
- Sartor, P. (2010). Valutazione dell'impatto ambientale di impianti di maricoltura offshore presenti in Toscana (VIAMART), ARSIA-Regione Toscana, Relazione Finale.

Vassallo, P., Doglioli, A.M., Rinaldi, F., & Beiso, I. (2006). Determination of physical behaviour of feed pellets in Mediterranean water. *Aquaculture Research*, 37(2), 119–126, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01403.x>

Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: Environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture, In *Aquaculture Environment Interactions* (Vol. 2, Issue 3, pp. 267–283), <https://doi.org/10.3354/aei00044>