

Analisi pluriennale della biodiversità bentonica e caratteristiche ecologiche dell'area centro-orientale della Sacca di Goro (progetto LIFE 13 NAT/IT/000115 Coastal lagoon long-term management)

MICHELE MISTRI, ANDREA SFRISO, VANESSA INFANTINI, CRISTINA MUNARI
Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche, Università di Ferrara. Via Fossato di Mortara 17, 44121 Ferrara
E-mail: michele.mistri@unife.it

ADRIANO SFRISO
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatiche e Statistiche, Università Ca' Foscari di Venezia. Via Torino 155, 30170 Mestre

UMBERTO TESSARI
Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università di Ferrara. Via Saragat 1, 44122 Ferrara

RIASSUNTO

La biodiversità bentonica della parte centro-orientale della Sacca di Goro è stata indagata per un periodo di 4 anni, da inizio 2015 a fine 2018. I sedimenti sono limo-argillosi, e si caratterizzano per l'esiguità dello spessore dello strato ossidato. Complessivamente sono stati identificati 88 taxa macrozoobentonici, ed è stata scoperta una nuova specie, *Streblospio eridani* Munari 2019 sp. nov. (Spionidae). Il 20,5% delle specie trovate è risultato non indigeno, proveniente cioè da zone biogeografiche differenti dal Mar Mediterraneo. Gli Annelida sono risultati il taxon con il maggior numero di specie non indigene, seguiti da Arthropoda e Mollusca. È stata identificata per la prima volta nel Mediterraneo *Grandidierella japonica*, un anfipode di origine indopacifica. Sono state identificate ben 22 specie di macroalghe, ma la specie dominante in assoluto per copertura è l'alga rossa non indigena *Gracilaria vermiculophylla*. I monitoraggi del 2018 suggeriscono un significativo miglioramento delle condizioni ambientali in quella parte della Sacca.

Parole chiave: Ecosistemi di transizione; Specie non-indigene; Macrobenthos; Macroalghe; Qualità ecologica

ABSTRACT

Long-term analysis of benthic biodiversity and ecological characteristics of the central-eastern area of the Sacca di Goro (LIFE 13 NAT / IT/000115 Coastal lagoon long-term management project)

The benthic biodiversity of the central-eastern part of Sacca di Goro has been investigated for a period of 4 years, from the beginning of 2015 to the end of 2018. The sediments are silty-clay, and are characterized by the reduced depth of the redox potential discontinuity layer. A total of 88 macrozoobenthic taxa were identified, and a new species was discovered, *Streblospio eridani* Munari 2019 sp. nov. (Spionidae). 20.5% of the species found were non-indigenous, i.e. from biogeographic areas different from the Mediterranean Sea. Annelida was the taxon with the largest number of non-native species, followed by Arthropoda and Mollusca. The amphipod *Grandidierella japonica*, of Indo-Pacific origin, was identified for the first time in the Mediterranean. As many as 22 species of macroalgae have been identified, but the absolute dominant species for cover is the non-native red alga *Gracilaria vermiculophylla*. The 2018 monitoring campaigns suggest a significant improvement in the environmental conditions in that part of the Sacca.

Keywords: Transition ecosystems; Non-indigenous species; Macrobenthos; Seaweeds; Ecological quality

INTRODUZIONE

Le comunità macrobentoniche della principale laguna ferrarese, la Sacca di Goro, hanno attirato l'interesse degli ecologi da tempo (si veda il lavoro pionieristico di CORAZZA *et al.* 1989). Le possibilità di effettuare monitoraggi estensivi per la valutazione della biodiversità macrobentonica degli ambienti acquatici di transizione sono tuttavia abbastanza rare. Per esempio, l'ultimo monitoraggio riguardante la fauna macrobentonica nella Sacca di Goro fu effettuato nel 2010, presso 3 siti (articolo sottomesso). La comunità risultò abbastanza banalizzata,

con dominanza numerica di specie opportuniste quali *Streblospio shrubsolei* (dal 32.6% al 75.2% dell'abbondanza totale), *Polydora ciliata* (2.4%-32.4%), *Capitella capitata* (0.04%-6.6%) e Oligocheti (0%-17.2%).

Grazie al progetto europeo LIFE 13 NAT/IT/000115 (Coastal lagoon long-term management - AGREE), è stato possibile effettuare una campagna di monitoraggio di medio periodo (4 anni) riguardante la fauna macrobentonica dell'area centro-orientale della Sacca di Goro. Quest'area è particolarmente importante per la stima della biodiversità bentonica della Sacca in quanto è l'unica nella Sacca nella quale non insistono con-



Fig. 1. Stazioni di campionamento presso la Sacca di Goro

cessioni per l'allevamento della vongola, e quindi le comunità biotiche possono svilupparsi senza il continuo effetto di disturbo legato all'attività di venericoltura (MISTRI *et al.*, 2004; SGRO *et al.*, 2005; MUNARI *et al.*, 2006). Quest'area è inoltre compresa nel SIC IT4060005 denominato "Sacca di Goro, Po di Goro, Valle Dindona, Foce del Po di Volano".

Questo lavoro riporta i risultati ottenuti tramite il LIFE 13 NAT/IT/000115 riguardanti: 1) la biodiversità bentonica della Sacca di Goro, 2) l'aggiornamento della lista faunistica riguardante il macrobenthos, 3) l'aggiornamento della lista floristica riguardante le macroalghe, 4) lo stato ecologico della parte centro-orientale della Sacca.

METODI

Il monitoraggio della fauna bentonica è stata effettuato presso 10 siti nella parte centro-orientale della Sacca (Fig. 1), nel Gennaio 2015 (T0), quindi nel Giugno 2017 (T1), Ottobre 2017 (T2), Gennaio 2018 (T3), Aprile 2018 (T4) e Settembre 2018 (T5). Ciascuna stazione è stata caratterizzata per le principali variabili abiotiche quali ossigeno disciolto, salinità e temperatura della colonna d'acqua. Della matrice sedimentaria è stato misurato lo spessore del RPD (Redox Potential Discontinuity Layer), indicativo dello spessore dello strato sedimentario in cui prevale il metabolismo aerobico. La macrofauna bentonica è stata campionata in triplicato mediante una benna di Van Veen volume o superficie?, setacciata a 0,5 mm, e fissata in etanolo. In laboratorio si è proceduto al riconoscimento tassonomico. Sui dati di abbondanza della comunità macrobentonica a ciascuna stazione sono stati calcolati gli indici descrittivi di struttura di comunità: numero di specie (S)

e indice di diversità di Shannon-Wiener (H'). Quest'ultimo calcola la diversità della comunità considerando sia la ricchezza specifica (il numero di taxa), sia l'evenness (come sono numericamente ripartiti i taxa nella comunità):

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

dove p_i rappresenta i/N , con i = il numero di individui appartenenti a ciascuna i -esima specie, e N = il numero totale di individui.

La qualità ecologica è stata valutata mediante l'applicazione alla matrice di specie/abbondanza della macrofauna dell'indice macrobentonico M-AMBI (MUXIKA *et al.*, 2007). L'indice M-AMBI consiste in un'analisi statistica multivariata in cui l'analisi fattoriale combina i valori di AMBI, con quelli di diversità di Shannon-Wiener (H') e numero di specie (S). Il software con cui viene calcolato è il medesimo di AMBI (www.azti.es) da applicarsi con l'ultimo aggiornamento già disponibile della lista delle specie.

La componente macroalgale è stata campionata presso ogni stazione. I campioni di macroalghe sono stati conservati in formaldeide 4% e determinati tassonomicamente in laboratorio. Un approfondimento riguardo le condizioni chimico-fisiche sedimentarie è stato effettuato mediante una campagna di monitoraggio di frequenza mensile, e per la durata di un intero anno (2018), presso 3 stazioni (P3, P5, C3) rappresentative di diverse condizioni nell'area oggetto di studio. Un carotatore manuale di plexiglass (\varnothing 10cm) è stato utilizzato per il campionamento dei sedimenti sui quali sono stati misurati pH ed Eh, quindi un campione è stato congelato e liofilizzato per la determinazione di C-N-S-P e sostanza organica. La sostanza organica è stata misurata quale perdita di peso in seguito a incenerimento del campione a 430°C per 2h. L'analisi di carbonio, azoto e zolfo è stata effettuata per mezzo di un analizza-

tore elementare CNS (vario-MICRO, Elementar) e il fosforo inorganico è stato misurato spettrofotometricamente con il metodo del blu di molibdeno (STRICKLAND & PARSONS, 1972). Per la determinazione del carbonio inorganico (e per differenza dal totale del carbonio organico) l'analisi elementare è stata preceduta da un incenerimento a 430°C per 2h mentre per la determinazione del fosforo totale (e del fosforo organico per differenza del fosforo inorganico dal totale) è stato effettuato un incenerimento a 550°C per 2h prima dell'estrazione acida.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Parametri abiotici

La Tab. 1 riporta il range dei valori misurati presso ciascuno dei 10 siti di monitoraggio nel periodo 2015-2018. La colonna d'acqua presenta notevoli variazioni di salinità e discreta ossigenazione. La Tab. 2 riporta la tessitura sedimentaria della 10 stazioni, mentre la Fig. 2 ne riporta il relativo diagramma di Shepard. Si nota come solo la stazione C3 si discosti dalle

Sito	Prof m	O ₂ mg/L	Sal PSU	RPDL mm
C1	1-1.7	5.4-7.1	18.4-24.7	0.1-0.5
C2	0.9-1.5	5.1-7.3	18.9-24.5	0.1-0.5
C3	1-1.5	4.2-7.5	14.9-24.6	0.1-0.5
C4	1.2-1.6	4.3-6.9	16.7-24.3	0.3-1
C5	0.7-1.4	4.1-7.1	11.9-24.3	0.1-0.5
P1	1.2-1.7	5-6.6	18.4-24.6	0.1-0.5
P2	0.9-1.3	4-7.9	15.5-24.6	0.4-1
P3	0.9-1.3	4.1-6.6	14.9-24.4	0.1-0.5
P4	0.8-1.3	4.8-7.3	14.2-24.3	0.4-1
P5	0.5-1	4.5-6.8	6.3-24.3	

Tab. 1. Range di profondità (Prof), ossigeno disciolto (O₂), salinità (Sal) della colonna d'acqua, e profondità dello strato ossidato del sedimento (RPDL) ai 10 siti di monitoraggio nel periodo 2015-2018.

Sito	Wentworth (%)		
	Sabbia	Silt	Argilla
C1	2.41	32.42	65.17
C2	24.83	40.89	34.28
C3	73.24	8.40	18.36
C4	1.20	36.27	62.53
C5	0.52	52.77	46.71
P1	2.03	29.73	68.24
P2	18.92	47.16	33.92
P3	7.90	35.87	56.23
P4	6.02	36.32	57.66
P5	7.46	38.52	54.02

Tab. 2. Analisi strutturale del sedimento.

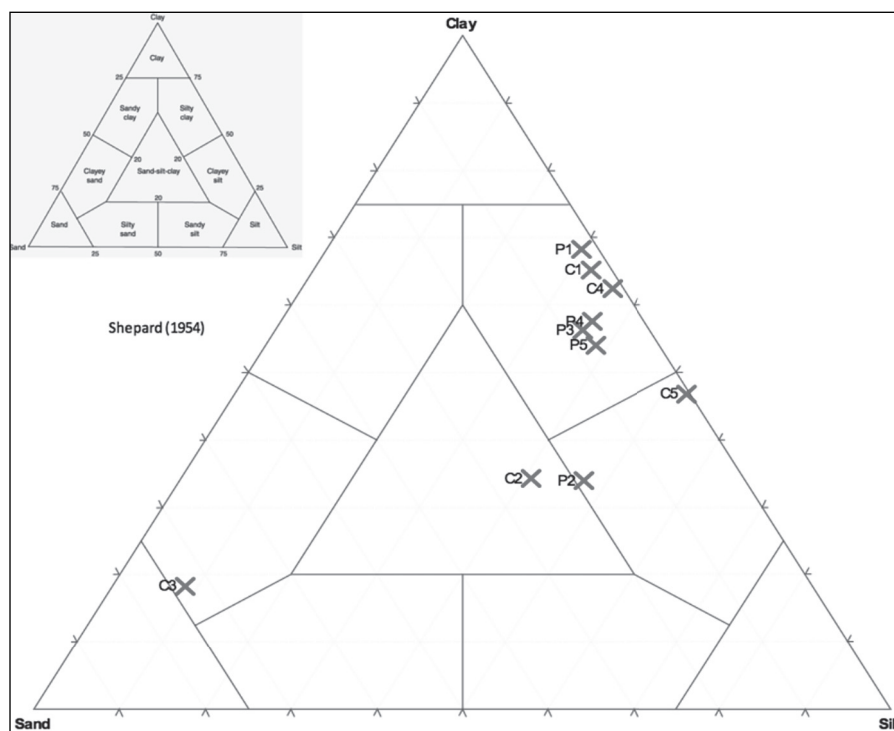


Fig. 2. Diagramma di Shepard per i 10 siti di monitoraggio.

altre come tessitura sedimentaria, risultando maggiormente sabbiosa. Questa stazione si trova infatti in un'area della Sacca che era stata soggetta ad un ripascimento con sabbie di scavo nel 2009. Tutte le altre stazioni ricadono nella classificazione "limo-argillose", con solamente la C2 classificata come "sabbia-limo-argillosa". Il sedimento si caratterizza sempre per l'esiguità dello spessore della strato ossidato (RPDL), che oscilla tra 0.1 e 1 mm.

La frazione della sostanza organica nel sedimento mostra valori elevati (Fig. 3). La composizione elementare del sedimento della Sacca di Goro è riassumibile nelle proporzioni C/S/N/P=57/26/2,3/1. I valori di N, C e P aumentano linearmente al crescere della frazione organica nel sedimento e le loro variazioni sono probabilmente ad essa legati. Lo zolfo invece diminuisce nell'arco dell'anno in tutte le stazioni e questo è potenzialmente riconducibile a eventi di ossidazione del sedimento in cui solfuri poco solubili sono convertiti in solfati solubili che lasciano il sedimento. Due eventi di ossidazione del sedimento sono rinvenibili nei valori dell'Eh in primavera e in autunno (Fig. 4) che possono aver favorito il traslocamento dello zolfo in acqua. I valori del pH (Fig. 5) mostrano una progressiva acidificazione dei sedimenti dall'inverno all'estate.

La comunità macrobentonica

La struttura della comunità macrobentonica ha mostrato variazioni spatio-temporali, come è da attendersi in un ambiente soggetto a notevoli variazioni spatio-temporali delle caratteristiche chimico-fisiche quale la Sacca di Goro. Il numero di specie (S) ha oscillato tra un minimo di 2 (sito P5, Ottobre 2017) ed un massimo di 28 (sito P3, Gennaio 2015), mentre la diversità (H') tra 0,16 (sito C1, Ottobre 2017) e 2,36 (sito P3, Gennaio 2015). La Fig. 6 mostra l'andamento temporale di S e H' (valori medi dei siti C e P) nel periodo T0-T5.

Complessivamente sono stati rinvenuti 88 taxa. La Fig. 7 mostra la distribuzione percentuale per phylum del macrobenthos di Goro. Il 20,5% delle specie trovate è risultato non indigeno, proveniente cioè da zone biogeografiche differenti dal Mar Mediterraneo. La Fig. 8 mostra la distribuzione complessiva delle specie non indigene tra i vari taxa. La Tab. 3 riporta la lista faunistica complessiva dei taxa rinvenuti (in grassetto le specie aliene) durante le 6 campagne di monitoraggio della fauna bentonica. Gli Annelida (10,3% di specie aliene), sono

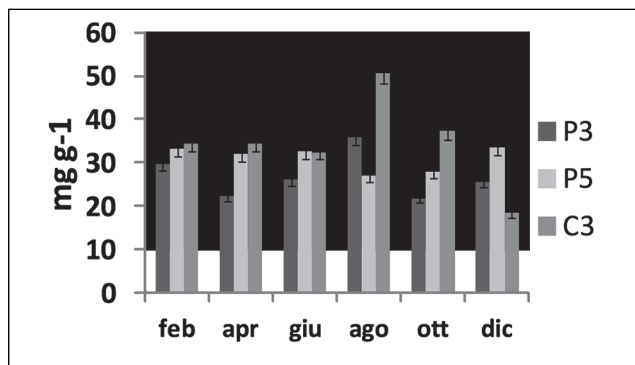


Fig. 3. Frazione della sostanza organica del sedimento.

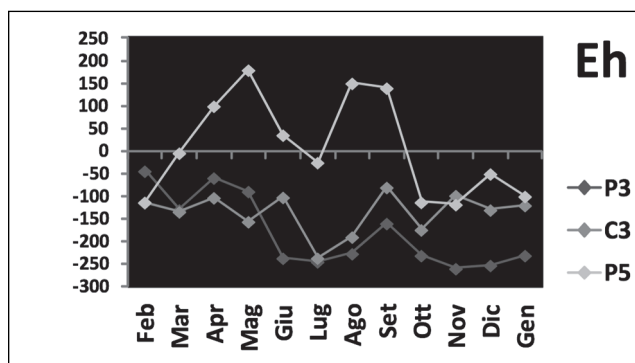


Fig. 4. Andamenti dei valori dell'Eh nel sedimento.

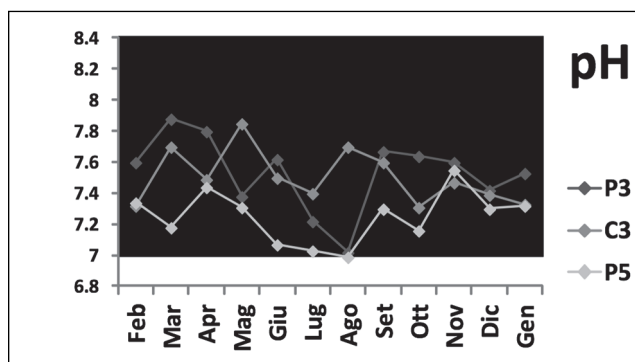


Fig. 5. Andamenti dei valori del pH nel sedimento.

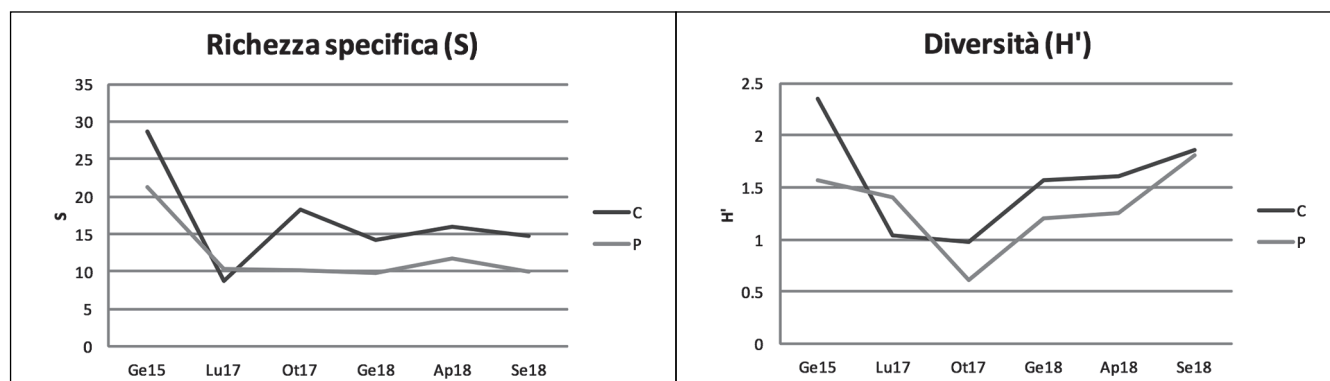


Fig. 6. Andamento temporale di ricchezza specifica (S) e diversità (H') (valori medi dei siti C e P) nel periodo T0-T5.

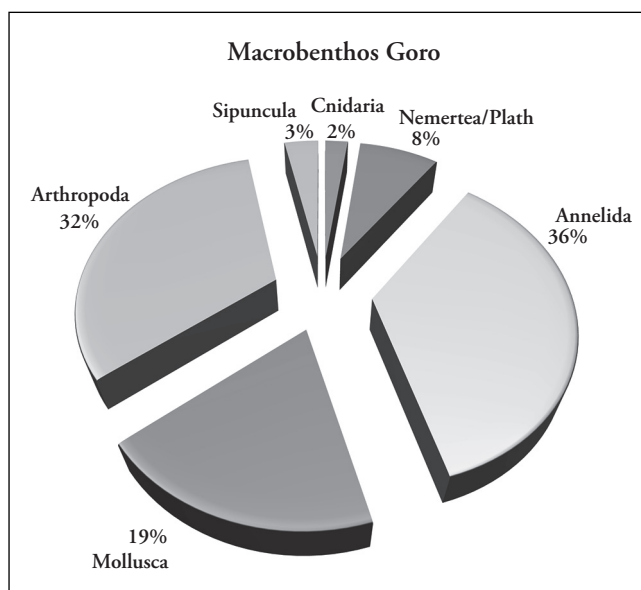


Fig. 7. Distribuzione percentuale per phylum del macrobenthos

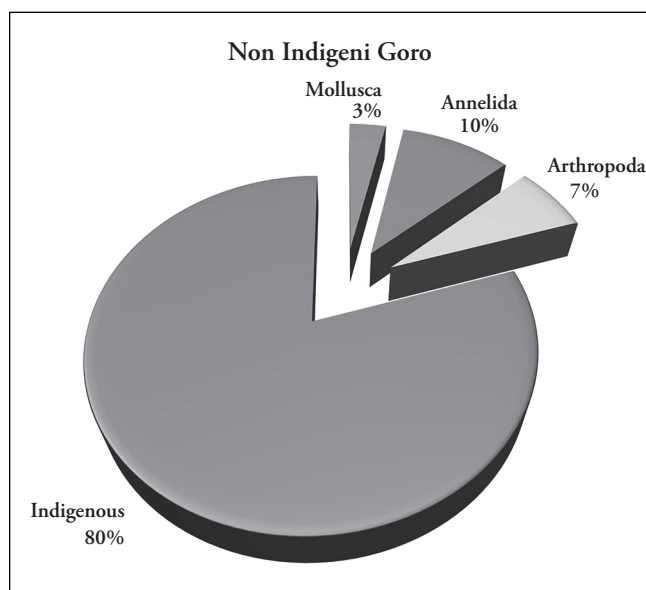


Fig. 8. Distribuzione complessiva delle specie non indigene tra i vari taxa.

risultati il taxon con il maggior numero di specie non indigene. A questi seguono gli Arthropoda (6,8% di specie aliene), ed i Mollusca (3,4% di specie aliene).

E' stata scoperta una nuova specie appartenente alla famiglia degli Spionidae, *Streblospio eridani* Munari, 2019 sp. nov. (MUNARI *et al.*, submitted).

E' stata identificata e segnalata la presenza, per la prima volta nel Mediterraneo, della specie non-indigena *Grandidierella japonica* (STEPHENSEN, 1938), un anfipode di origine indopacifica (MUNARI *et al.*, 2016). Il ritrovamento di una popolazione

riproduttiva della specie nel 2015, e la costante presenza di numerosi esemplari in tutti i campionamenti successivi, lascia intendere che *G. japonica* si sia affermata con successo nella Sacca di Goro.

Infine sono state trovate specie aliene non ancora segnalate per il Mediterraneo, appartenenti ai generi *Polydora* (BOSC, 1802), *Pseudopolydora* (CZERNIAVSKY, 1881), e *Prionospio* (MALMGREN, 1867). Di questi esemplari è in corso la conferma mediante analisi del DNA, per cui nella Tab. 3, il nome specifico non è indicato.

CNIDARIA	Actiniidae	<i>Actinia</i> sp.	Linnaeus, 1767
CNIDARIA	Edwardsiidae	<i>Sapphirina</i> sp.	Thompson J., 1829
PLATYHELMINT.		<i>Platyhelminthes</i> spp.	Minot, 1876
PLATYHELMINT.	Notoplanidae	<i>Notoplana</i> sp.	Laidlaw, 1903
NEMERTEA	Lineidae	<i>Lineus</i> sp.	Sowerby, 1806
NEMERTEA	Cephalothricidae	<i>Cephalothrix</i> sp.	Örsted, 1843
NEMERTEA	Lineidae	<i>Cerebratulus</i> sp.	Renier, 1804
NEMERTEA	Amphiporidae	<i>Amphiporidae</i> sp.	Oersted, 1844
NEMERTEA	Amphiporidae	<i>Amphiporus</i> sp.	Ehrenberg, 1831
NEMERTEA	Tetrastemmatidae	<i>Tetrastemma</i> sp.	Ehrenberg, 1831
ANNELIDA	Tubificidae	<i>Oligochaeta</i> spp.	Grube, 1850
ANNELIDA	Spionidae	<i>Polydora</i> sp.	Bosc, 1802
ANNELIDA	Spionidae	<i>Polydora ciliata</i>	(Johnston, 1838)
ANNELIDA	Spionidae	<i>Pseudopolydora</i> sp.	Czerniavsky, 1881
ANNELIDA	Spionidae	<i>Streblospio eridani</i> sp.nov.	Munari, 2019

Tab. 3 - Continua

ANNELIDA	Spionidae	<i>Streblospio shrubsolii</i>	(Buchanan, 1890)
ANNELIDA	Spionidae	<i>Prionospio cirrifera</i>	Wirén, 1883
ANNELIDA	Spionidae	<i>Prionospio multibranchiata</i>	Berkeley, 1927
ANNELIDA	Spionidae	<i>Prionospio</i> sp.	Malmgren, 1867
ANNELIDA	Spionidae	<i>Prionospio caspersi</i>	Laubier, 1962
ANNELIDA	Spionidae	<i>Spio decorata</i>	Bobretzky, 1870
ANNELIDA	Nereididae	<i>Alitta succinea</i>	(Leuckart, 1847)
ANNELIDA	Nephtyidae	<i>Nephtys hombergii</i>	Savigny in Lamarck, 1818
ANNELIDA	Hesionidae	<i>Nereimyra punctata</i>	(O.F. Müller, 1788)
ANNELIDA	Hesionidae	<i>Podarkeopsis arenicolus</i>	(La Greca, 1946)
ANNELIDA	Hesionidae	<i>Hesionidae</i> sp.	Grube, 1850
ANNELIDA	Nereididae	<i>Hediste diversicolor</i>	(O.F. Müller, 1776)
ANNELIDA	Phyllodocidae	<i>Phyllodoce mucosa</i>	Örsted, 1843
ANNELIDA	Phyllodocidae	<i>Myrtea picta</i>	(Quatrefages, 1866)
ANNELIDA	Nereididae	<i>Platynereis dumerilii</i>	(Audouin & Milne Edwards, 1833)
ANNELIDA	Syllidae	<i>Exogone</i> sp.	Oersted, 1845
ANNELIDA	Capitellidae	<i>Capitella capitata</i>	(Fabricius, 1780)
ANNELIDA	Capitellidae	<i>Heteromastus filiformis</i>	(Claparède, 1864)
ANNELIDA	Serpulidae	<i>Ficopomatus enigmaticus</i>	(Fauvel, 1923)
ANNELIDA	Serpulidae	<i>Hydroides dianthus</i>	(Verrill, 1873)
ANNELIDA	Serpulidae	<i>Hydroides elegans</i>	(Haswell, 1883)
ANNELIDA	Serpulidae	<i>Pileolaria berkeleyana</i>	(Rioja, 1942)
ANNELIDA	Sabellidae	<i>Desdemona ornata</i>	Banse, 1957
ANNELIDA	Opheliidae	<i>Polyophthalmus pictus</i>	(Dujardin, 1839)
ANNELIDA	Paraonidae	<i>Paradoneis ilvana</i>	Castelli, 1985
SIPUNCULA	Phascolionidae	<i>Onchnesoma steenstrupii steenstrupii</i>	Koren & Danielssen, 1876
SIPUNCULA	Golfingiidae	<i>Golfingia</i> sp.	Lankester, 1885
MOLLUSCA	Mytilidae	<i>Arcuatula senhousia</i>	(Benson, 1842)
MOLLUSCA	Cardiidae	<i>Cerastoderma glaucum</i>	(Bruguière, 1789)
MOLLUSCA	Mytilidae	<i>Gibbomodiolia adriatica</i>	(Lamarck, 1819)
MOLLUSCA	Semelidae	<i>Abra alba</i>	(W. Wood, 1802)
MOLLUSCA	Veneridae	<i>Ruditapes philippinarum</i>	(Adams & Reeve, 1850)
MOLLUSCA	Veneridae	<i>Timoclea ovata</i>	(Pennant, 1777)
MOLLUSCA	Corbulidae	<i>Lentidium mediterraneum</i>	(O. G. Costa, 1830)
MOLLUSCA	Arcidae	<i>Anadara transversa</i>	(Say, 1822)
MOLLUSCA	Hydrobiidae	<i>Ecrobia ventrosa</i>	(Montagu, 1803)
MOLLUSCA	Haminoeidae	<i>Haminoea navicula</i>	(da Costa, 1778)
MOLLUSCA	Nassariidae	<i>Tritia neritea</i>	(Linnaeus, 1758)
MOLLUSCA	Nassariidae	<i>Tritia nitida</i>	(Jeffreys, 1867)
MOLLUSCA		<i>Heterobranchia</i> sp.	Milne Edwards, 1848
MOLLUSCA	Mactridae	<i>Spisula subtruncata</i>	(da Costa, 1778)
MOLLUSCA	Mytilidae	<i>Modiolus barbatus</i>	(Linnaeus, 1758)
MOLLUSCA	Cardiidae	<i>Acanthocardia tuberculata</i>	(Linnaeus, 1758)

Tab. 3 - Continua

MOLLUSCA	Hydrobiidae	<i>Hydrobia acuta</i>	(Draparnaud, 1805)
ARTHROPODA	Corophiidae	<i>Monocorophium insidiosum</i>	(Crawford, 1937)
ARTHROPODA	Corophiidae	<i>Corophium orientale</i>	Schellenberg, 1928
ARTHROPODA	Corophiidae	<i>Monocorophium acherusicum</i>	(Costa, 1853)
ARTHROPODA	Gammaridae	<i>Gammarus aequicauda</i>	(Martynov, 1931)
ARTHROPODA	Aoridae	<i>Grandidierella japonica</i>	Stephensen, 1938
ARTHROPODA	Oedicerotidae	<i>Perioculodes aequimanus</i>	(Kossman, 1880)
ARTHROPODA	Oedicerotidae	<i>Pontocrates altamarinus</i>	(Spence Bate & Westwood, 1862)
ARTHROPODA	Ampeliscidae	<i>Ampelisca sarsi</i>	Chevreur, 1888
ARTHROPODA	Dexaminidae	<i>Dexamine spinosa</i>	(Montagu, 1813)
ARTHROPODA	Aoridae	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	Costa, 1853
ARTHROPODA	Aoridae	<i>Microdeutopus algalicola</i>	Della Valle, 1893
ARTHROPODA	Melitidae	<i>Melita palmata</i>	(Montagu, 1804)
ARTHROPODA	Caprellidae	<i>Caprella scaura</i>	Templeton, 1836
ARTHROPODA	Ischyroceridae	<i>Erichthonius brasiliensis</i>	(Dana, 1853)
ARTHROPODA	Anthuridae	<i>Cyathura carinata</i>	(Krøyer, 1847)
ARTHROPODA	Idoteidae	<i>Idotea balthica</i>	(Pallas, 1772)
ARTHROPODA	Sphaeromatidae	<i>Lekanesphaera hookeri</i>	(Leach, 1814)
ARTHROPODA	Panopeidae	<i>Dyspanoseus sayi</i>	(Smith, 1869)
ARTHROPODA	Mysidae	<i>Diamysis</i> sp.	Czerniavsky, 1882
ARTHROPODA	Upogebiidae	<i>Upogebia tipica</i>	(Nardo, 1869)
ARTHROPODA	Corophiidae	<i>Leptocheirus pilosus</i>	Zaddach, 1844
ARTHROPODA	Apseudidae	<i>Apseudopsis latreillii</i>	(Milne Edwards, 1828)
ARTHROPODA	Balanidae	<i>Balanus trigonus</i>	Darwin, 1854
ARTHROPODA	Balanidae	<i>Amphibalanus amphitrite</i>	(Darwin, 1854)
ARTHROPODA	Chironomidae	<i>Chironomus salinarius</i>	Kieffer, 1915
ARTHROPODA	Polybiidae	<i>Liocarcinus navigator</i>	(Herbst, 1794)
ARTHROPODA	Crangonidae	<i>Crangon crangon</i>	(Linnaeus, 1758)
ARTHROPODA	Panopeidae	<i>Rhithropanopeus harrisii</i>	(Gould, 1841)
ARTHROPODA	Portunidae	<i>Callinectes sapidus</i>	Rathbun, 1896

Tab. 3. Lista del macrobenthos rinvenuto (in grassetto le specie non indigene)

La comunità macroalgale

La copertura algale rilevata in campo (Fig. 9) ha mostrato valori decisamente bassi in febbraio e marzo con picchi di crescita in P3 e P5 tra aprile e luglio, si discosta invece C3 che non ha mostrato rilevanti coperture fino a luglio mantenendole poi sopra il 70% fino al mese di gennaio dell'anno successivo. La stazione C3 si discosta in maniera rilevante quanto a periodi di crescita ma guardando la media annuale è P5 a mostrare i valori medi più bassi con una copertura media del 36% contro il 50-53% rilevato in C3 e P3, fattore probabilmente dovuto alla bassa salinità. La specie dominante in assoluto per copertura in tutte le stazioni è l'alga rossa non indigena *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss. Quest'alga tollera ampie variazioni di salinità e viene rinvenuta in aree ad alto grado di confinamento, tollera inoltre efficacemente il seppellimento

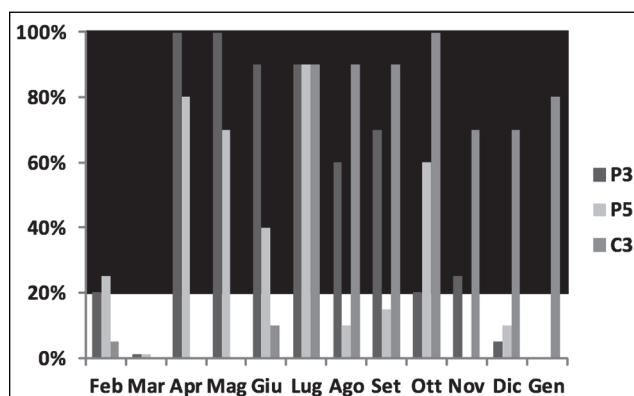


Fig. 9: Valori di copertura percentuale di macroalghe sul fondale.

(THOMSEN *et al.*, 2007), inoltre presenta un alto e bilanciato contenuto di ficobiliproteine (pigmenti antenna che ampliano lo spettro di assorbimento della clorofilla) che le consente di vivere in ambienti anche molto torbidi a differenza di alghe verdi come le Ulvacee. Questa alga non indigena, ove presente, pare abbia un ruolo strutturante sulla comunità bentonica differente rispetto alle Ulvacee (MUNARI *et al.*, 2015).

Nella Sacca di Goro sono state globalmente identificate 22

specie di macroalghe. La lista delle specie macroalgali (Tab. 4) evidenzia una prevalenza di specie tio-nitrofile opportuniste a rapido accrescimento e in P3 e P5 è stato rinvenuto il minor numero di specie, appena 13-14, contro le 19 specie rinvenute nella stazione C3. Si ritiene tuttavia importante sottolineare come il contributo in temine di biomassa di gran parte delle specie sia assolutamente trascurabile a fronte delle abbondanti biomasse di *G. vermiculophylla* rinvenute.

Lo stato di qualità ecologico

La qualità ecologica, valutata mediante l'applicazione dell'indice macrobentonico M-AMBI, ha mostrato ampie oscillazioni in tutti i siti nel corso del periodo di monitoraggio, tuttavia i risultati mostrano un graduale miglioramento a partire da T4 (Aprile 2018). La Fig. 10 riassume i giudizi di qualità ecologica a ciascuna stazione durante tutto il periodo di monitoraggio. La Tab. 5 mostra la composizione percentuale della comunità a ciascuna stazione per sensibilità ad inizio monitoraggio (T0): il gruppo ecologico I (EG-I) è quello degli organismi sensibili, l'EG-II degli indifferenti, gli EG-III dei tolleranti, gli EG-IV ed EG-V degli opportunisti di primo e secondo ordine. Chiaramente maggiore è la percentuale di EG-I (o minore la percentuale di EG-IV ed EG-V), migliore è la qualità ecologica. E' evidente come la comunità si caratterizzi per la dominanza di

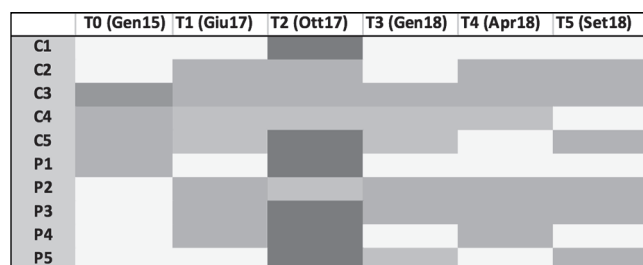


Fig. 10. Qualità ecologica tramite la macrofauna (indice M-AMBI) alle varie date di monitoraggio (■: cattivo; □: scarso; □: sufficiente; □: buono; □: elevato).

CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Aegagropila linnaei</i>	Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha ligustica</i>	(Kützing) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha gracilis</i>	Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha stricta</i>	Schiffner
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora albida</i>	(Nees) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora fracta</i>	(O.F. Müller ex Vahl) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora glomerata</i>	(Linnaeus) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora sericea</i>	(Hudson) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora vadorum</i>	(Areschoug) Kützing
CHLOROPHYTA	Cladophoraceae	<i>Cladophora vagabunda</i>	(Linnaeus) Hoek
CHLOROPHYTA	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix flacca</i>	(Dillwyn) Thuret in Le Jolis
CHLOROPHYTA	Ulotrichaceae	<i>Ulothrix implexa</i>	(Kützing) Kützing
CHLOROPHYTA	Ulvaceae	<i>Ulva laetevirens</i>	Areschoug
CHLOROPHYTA	Ulvaceae	<i>Ulva linza</i>	Linnaeus
CHLOROPHYTA	Ulvaceae	<i>Ulva polyclada</i>	Kraft
CHLOROPHYTA	Ulvaceae	<i>Ulva prolifera</i>	O.F. Müller
CHLOROPHYTA	Ulvaceae	<i>Ulva rigida</i>	C. Agardh
CHLOROPHYTA	Ulvellaceae	<i>Ulvella lens</i>	P. Crouan & H. Crouan
RHODOPHYTA	Gracilariaceae	<i>Gracilaria gracilis</i>	(Stackhouse) M. Steentoft, L.M. Irvine & W.F. Farnham
RHODOPHYTA	Gracilariaceae	<i>Gracilaria vermiculophylla</i>	(Ohmi) Papenfuss
RHODOPHYTA	Gracilariaceae	<i>Gracilariopsis longissima</i>	(S.G. Gmelin) M. Steentoft, L.M. Irvine & W.F. Farnham
RHODOPHYTA	Rhodomelaceae	<i>Polysiphonia sertularioides</i>	(Grateloup) J. Agardh

Tab. 4. Lista delle macroalghe rinvenute

Tempo					
T0	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)
P1	0.702	0.140	66.854	29.494	2.809
P2	0.363	0.282	93.183	5.930	0.242
P3	0.000	0.649	71.753	26.299	1.299
P4	0.053	0.694	92.445	6.647	0.160
P5	0.034	0.718	89.193	8.447	1.607
C1	0.910	0.228	49.716	46.985	2.162
C2	0.795	1.193	92.843	4.573	0.596
C3	5.581	1.767	87.163	4.837	0.651
C4	0.114	0.228	65.450	29.704	4.504
C5	0.328	1.221	84.301	14.060	0.089

Tab. 5. Composizione in gruppi ecologici (EG) della comunità al tempo T0.

taxa tolleranti (III) ed opportunisti (IV), con valori compresi tra 80 e 90% ad alcuni siti (C2, P2, P4), e con scarsissima presenza di taxa sensibili (praticamente solo in C3, con frequenze del 5%). Data tale composizione della comunità, ovviamente in questa fase la qualità ecologica è risultata insoddisfacente nella maggioranza dei siti. Il quadro che ne risulta è quello di un tipico ambiente lagunare, caratterizzato da frequenti stress (distrofie, ipossie, etc.) che selezionano una comunità bentonica dominata dagli organismi opportunisti. Differente il caso alla data T5 (Tab. 6), ove la comunità si è ampiamente ripresa dagli stress precedenti e mostra una composizione per gruppi ecologici differente, con ampia maggioranza di taxa tolleranti (III) ma, in tutti i siti P, aumenta la percentuale dei taxa delle classi più elevate (I e II). La conseguente diminuzione delle abbondanze dei taxa opportunisti innalza la qualità ecologica al livello di "Buono" nella maggioranza dei siti.

CONCLUSIONI

I risultati di questo studio della durata di 4 anni definiscono la Sacca di Goro come un ambiente intrinsecamente instabile e variabile dal punto di vista chimico-fisico, e particolarmente suscettibile alla introduzione di specie non indigene, prevalentemente di origine indopacifica. Attualmente il 20% della comunità macrobentonica della Sacca è costituito da specie aliene, e di queste la maggioranza sono policheti (Annelida). La comunità algale è caratterizzata dalla dominanza di una unica rodofita aliena, mentre le altre specie risultano presenti in maniera sporadica. L'introduzione volontaria/involontaria di specie non indigene legata alle attività acquicolturali ed il possibile inoculo legato alle acque di zavorra (la Sacca è indirettamente interessata dalle rotte commerciali verso i porti di Venezia e Trieste, e probabilmente risente della vicinanza del porto industriale di Ravenna) sembrano le modalità di introduzione più comuni. Nell'apporto di specie non indigene non è da escludersi anche un ruolo del Terminale GNL Adriatico,

Tempo					
T5	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)
C1	0	0	88.4	8.133	3.467
C2	5.754	0.081	88.898	4.133	1.135
C3	1.682	0.099	82.097	15.035	1.088
C4	0.852	0	74.432	23.011	1.705
C5	1.235	0	91.975	6.79	0
P1	1.824	0	67.33	7.629	23.217
P2	1.015	0	72.081	26.904	0
P3	2.723	0.151	38.275	58.548	0.303
P4	0	0.145	59.507	40.348	0
P5	1.515	0	81.818	15.758	0.909

Tab. 6. Composizione in gruppi ecologici (EG) della comunità al tempo T5.

un rigassificatore di metano liquido offshore ancorato a circa 7 miglia al largo di Porto Levante, ed interessato da un intenso traffico di navi gasiere provenienti per la maggior parte dai Paesi del Golfo Persico.

I monitoraggi dell'ultimo periodo suggeriscono un significativo miglioramento delle condizioni ambientali nella parte centro-orientale della Sacca.

RINGRAZIAMENTI

Questo articolo deriva dall'attività svolta nell'ambito del progetto LIFE 13 NAT/IT/000115 AGREE - Coastal lagoon long-term management. Siamo riconoscenti ad un anonimo revisore per i preziosi suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA

- CORAZZA C., MISTRI M. & CECCHERELLI V.U., 1989 - Osservazioni preliminari sulla dinamica spatio-temporale delle comunità macrobentoniche della Sacca di Goro (Delta del Po). *Oebalia*, Suppl. XV-I: 119-128.
- MISTRI M., CASON E., MUNARI C. & ROSSI R., 2004 - Disturbance of a soft-sediment meiobenthic community by clam hand raking. *Italian Journal of Zoology*, 71: 131-133.
- MUNARI C., BOCCHI N. & MISTRI M., 2016 - *Grandidierella japonica* (Amphipoda: Aoridae): a non-indigenous species in a Po delta lagoon of the northern Adriatic (Mediterranean Sea). *Marine Biodiversity Records*, 9: 12.
- MUNARI C., BOCCHI N. & MISTRI M., 2015 - Epifauna associated to the introduced *Gracilaria vermiculophylla* and comparison with the native *Ulva rigida* in an Adriatic lagoon. *Italian Journal of Zoology*, 82: 436-445.
- MUNARI C., BALASSO E., ROSSI R. & MISTRI M., 2006 - A comparison of the effect of different types of clam rakes on non-target, subtidal benthic fauna. *Italian Journal of Zoology*, 73: 75-82.

- MUNARI C., WOLFF M.A., INFANTINI V., MORO I., SFRISO A. & MISTRI M. - A new species of *Streblospio* (Polychaeta: Spionidae) from the Adriatic Sea (eastern Mediterranean Sea). *Zootaxa*, submitted.
- MUXIKA I., BORJA A. & BALD J., 2007 - Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 16-29.
- SGRO L., MISTRI M. & WIDDOWS J., 2005 - Impact of the infaunal Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, on sediment stability. *Hydrobiologia*, 550:175-182.
- STRICKLAND J.D.H. & PARSONS T.R., 1972 - A practical handbook of seawater analyses. Ottawa Fisheries Research Board. Canada. pp. 310.
- THOMSEN M.S., STAEHR P.A., NYBERG C.D., SCHWAERTER S., KRAUSE-JENSEN D. & SILLIMAN B.R., 2007 - *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss, 1967 (Rhodophyta, Gracilariaceae) in northern Europe, with emphasis on Danish conditions, and what to expect in the future. *Aquatic invasions*, 2: 83-94.
-