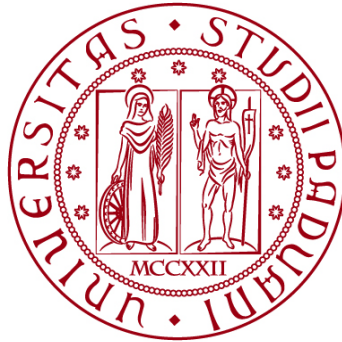


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

**Analisi della preferenza tra substrati del
granchio blu *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896
e del granchio verde *Carcinus aestuarii* Nardo,
1847 in relazione alla granulometria del
sedimento della Laguna di Venezia**

Tutor: Prof. Gil Guastoni Rosenthal
Dipartimento di Biologia

Co-tutor: Prof. Alberto Barausse
Dipartimento di Biologia

Co-tutor: Dott. Filippo Piccardi
Dipartimento di Biologia

Co-tutor: Dott.ssa Federica Poli
Dipartimento di Biologia

Laureando: Claudio Bortot

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

INDICE

1. <u>INTRODUZIONE</u>	1
1.1. <u>Invasioni biologiche e impatto delle specie aliene</u>	1
1.2. <u>Organismi di studio</u>	2
2. <u>OBIETTIVI</u>	5
3. <u>MATERIALI E METODI</u>	6
3.1. <u>I sedimenti utilizzati e granulometria</u>	6
3.2. <u>Struttura del set-up sperimentale</u>	8
3.3. <u>Analisi statistica: software utilizzati e analisi</u>	10
4. <u>RISULTATI</u>	11
4.1. <u>Analisi dei dati sulla posizione</u>	12
4.2. <u>Analisi dei dati sui comportamenti</u>	16
5. <u>DISCUSSIONE E CONCLUSIONI</u>	20
5.1. <u>Conclusioni</u>	21
6. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	23

1. INTRODUZIONE

1.1. Invasioni biologiche e impatto delle specie aliene

Le invasioni biologiche prevedono il movimento di organismi dalla loro area di origine all'interno di un nuovo ambiente e rivestono un ruolo nell'evoluzione della biodiversità (DeRivera et al., 2005). In seguito allo sviluppo dei mezzi di trasporto, la dispersione di nuovi organismi in aree diverse dal loro ambiente d'origine è diventata sempre più frequente: le specie introdotte nella nuova zona vengono definite aliene o alloctone (Zenetos et al., 2005). Le specie aliene possono diventare invasive nel caso in cui, una volta stabilizzate e raggiunte elevate densità, causino danni all'ambiente e alle attività antropiche (Keller et al., 2011): ad esempio lo ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 ha causato un'alterazione delle comunità pelagiche del Mar Nero, con conseguente collasso di stock ittici, quindi danni ai settori di pesca e acquacoltura (Bax et al., 2003).

La probabilità che una specie introdotta sopravviva e si diffonda all'interno di un'area dipende dall'interazione di due fattori nel nuovo ambiente: le condizioni ambientali e i fattori biotici (DeRivera et al., 2005). I parametri ambientali, come la temperatura e la salinità, sono fattori limitanti e possono avere effetti sul metabolismo degli animali, alterando i normali processi biologici, e perciò influenzando la crescita delle popolazioni (Leignel et al., 2014). Tuttavia, ci sono specie che possono tollerare consistenti variazioni di parametri ambientali e adattarsi a quelli del nuovo ambiente, risultando avvantaggiate nel processo invasivo: ad esempio, le specie euriterme ed eurialine, che possono vivere e tollerare ambienti caratterizzati da ampie variazioni di temperatura e salinità (Keller et al., 2011). Gli organismi nativi all'interno di un ambiente possono prevenire l'insediamento o limitare la diffusione di una specie aliena con fenomeni di competizione o predazione: ad esempio, l'interazione nelle coste orientali degli Stati Uniti d'America dei granchi *Carcinus maenas* Linnaeus, 1758, invasivo, con *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896, nativo, vede la specie nativa limitare la distribuzione del granchio alieno verso sud (DeRivera et al., 2005). Tuttavia, la competizione tra un organismo nativo e uno invasivo può anche volgere a favore di quello alloctono: nel Mar Mediterraneo, la competizione tra due organismi filtratori come l'ostrica nativa *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758 con la specie *Crassostrea gigas* Thunberg, 1793, originaria del Pacifico, ha causato una riduzione dell'abbondanza della specie autoctona (Keller et al., 2011).

Anche il Mar Mediterraneo infatti è soggetto ad invasioni biologiche, e varie azioni umane hanno influito su questo processo (Keller et al., 2011). Tra queste, la costruzione di nuovi canali che connettono bacini precedentemente separati tra loro, come il Canale di Suez, realizzato nel 1869, che collega il Mediterraneo al Mar Rosso, permette il passaggio di diversi organismi (Keller et al., 2011): un esempio è la stella di mare *Aquilonastra burtoni* Gray, 1840, la cui introduzione nelle coste israeliane ha causato la diminuzione degli esemplari della specie autoctona *Asterina*

gibbosa Pennant, 1777 (Galil, 2000). Un secondo meccanismo che influenza le introduzioni è l'acquacoltura, attraverso la quale le specie che vengono allevate possono invadere a causa dell'introduzione deliberata o della fuga accidentale dalle aree di allevamento (Keller et al., 2011). Un altro percorso di invasione è rappresentato dalle navi, che possono trasportare organismi tramite le acque di zavorra: esse servono per stabilizzare la nave durante la navigazione e vengono raccolte fuori dal porto di origine per poi essere rilasciate una volta giunti a destinazione, scaricando nelle acque portuali anche gli organismi raccolti nel porto di partenza (Keller et al., 2011). Sebbene le condizioni all'interno delle zavorre delle navi siano spesso avverse agli organismi, tali da impedirne l'arrivo nel porto di destinazione, alcuni possono sopportarle (Bax et al., 2003). In questo caso, la frequenza di immissione, la quantità degli organismi trasportati, la resistenza a vari parametri ambientali delle specie aliene e la competizione con quelle native sono fattori che possono influenzare la stabilizzazione di un organismo alloctono nel nuovo ambiente (Ruiz et al., 1997). Ad essere trasportati sulle navi possono essere sia organismi pelagici, che vivono nella colonna d'acqua, che bentonici, ossia che vivono sul fondale: le specie possono essere trasportate anche come uova o larve, e la quantità di organismi trasportati dipende dalla vicinanza della nave alla costa al momento della raccolta delle acque di zavorra (Ruiz et al., 1997). Anche gli scafi delle navi possono trasportare organismi: un esempio è il trasporto nei bacini europei del bivalve *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771, tipico del Mar Nero (Keller et al., 2011). Ciò che favorisce la colonizzazione da parte di specie non-indigene sono pressioni come l'inquinamento e i cambiamenti climatici, che indeboliscono le specie native riducendo il numero di possibili competitori e predatori delle specie aliene, favorendone l'invasione: spesso gli organismi alloctoni sono più tolleranti ai parametri ambientali alterati (Ruiz et al., 1997; Galil, 2000).

La Laguna di Venezia, situata nella zona settentrionale del Mar Adriatico, è un ambiente fortemente antropizzato, e le attività umane come acquacoltura, i trasporti navali e rilascio di sostanze inquinanti fanno di questo ambiente estuarino una zona esposta alle invasioni biologiche (Marchini et al., 2015).

1.2. Organismi di studio

Il granchio blu *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 è un crostaceo decapode appartenente alla famiglia Portunidae, originario delle coste atlantiche americane (Prado et al., 2020). Attualmente, *C. sapidus* è considerata una delle specie aliene più invasive nel Mediterraneo (Zenetos et al., 2005). È riuscito a colonizzare anche il Mar Adriatico; in particolare, si suppone che sia arrivato nella Laguna di Venezia già nel 1949, ma gli organismi non sono stati riconosciuti fino al 1993 (Mizzan, 1993). Il principale mezzo di introduzione del granchio sono le acque di zavorra delle navi (Marchini et al., 2015): la possibilità dell'organismo di tollerare ampi range di parametri ambientali e diffondersi in diversi ambienti è dovuta alle capacità

osmoregatorie ed euriterme sia degli stadi giovanili più avanzati che adulti (Hines, 2007).

L'accoppiamento dei granchi blu avviene durante l'estate, nelle aree interne agli estuari, dove si trovano gli organismi maschili (Hines, 2007). Lo sperma liberato durante l'accoppiamento viene raccolto nelle spermateche degli organismi femminili fino al rilascio delle uova in ambiente marino: questo causa una migrazione degli esemplari femminili verso il mare (Epifanio, 2019). Con temperature inferiori ai 10 °C i granchi interrompono la migrazione per rifugiarsi sul fondale, per poi riprendere gli spostamenti durante il periodo primaverile (Hines, 2007). Una volta raggiunte le aree costiere, avviene il rilascio e fecondazione delle uova, alle quali succedono 7 stadi larvali di zoea, il cui sviluppo si completa in 4 settimane, e uno stadio di megalopa, il cui obiettivo è entrare ed insediarsi nell'estuario: questo è possibile grazie alle capacità di movimento della larva, che sfrutta le correnti entranti profonde (Epifanio, 2019). Una volta nell'ambiente estuarino, le megalope vanno incontro a metamorfosi al primo stadio di granchio in seguito all'arrivo in habitat adatti alla protezione degli organismi giovanili, come i letti algali (van Montfrans et al., 2003).

Con il progressivo aumento delle dimensioni, i granchi abbandonano questi ambienti per spostarsi in aree in cui sono presenti più organismi di cui possono cibarsi, come molluschi bivalvi e gasteropodi, piccoli pesci ed altri crostacei, talvolta praticando anche cannibalismo (van Montfrans et al., 2003; Hines, 2007). Una componente fondamentale nella dieta di *C. sapidus* sono le alghe: in caso di necessità, in particolare negli stadi giovanili, i granchi possono ricavare nutrimento dalla digestione della componente vegetale (Hines, 2007). La dieta generalista di *C. sapidus* influenza la crescita delle comunità bentoniche e, come dimostrato dagli esperimenti di Prado et al. (2020), l'aumento della popolazione dei granchi blu nelle zone invase può minacciare l'allevamento e produzione di mitili nelle aree di acquacoltura.

Il granchio verde *Carcinus aestuarii* Nardo, 1847 è un crostaceo decapode appartenente alla famiglia Portunidae, tipico del Mar Mediterraneo (Leignel et al., 2014). La specie è autoctona della Laguna di Venezia, dove è considerata un alimento tipico nella fase di "moeca" o "moleca", lo stadio del granchio che viene selezionato dai pescatori poco tempo dopo il processo di ecdisi (Matozzo et al., 2013). Questa selezione avviene principalmente durante i periodi primaverili e autunnali, durante i quali gli organismi maschili di *C. aestuarii* vanno incontro alla muta: infatti, in base allo studio di Matozzo et al. (2013), questa avverrebbe nei mesi di marzo e aprile e tra ottobre e novembre.

Mentre gli esemplari maschili rimangono all'interno dell'estuario per tutto il ciclo vitale, quelli femminili vanno incontro a migrazioni verso il mare: queste seguono la riproduzione degli organismi dopo la muta degli esemplari femminili, che avviene nei primi mesi estivi (Matozzo et al., 2013). Alle uova segue un ciclo

larvale di 90 giorni che comprende 5 stadi planctonici: 4 stadi di larva zoea, che vive in ambiente pelagico, il cui sviluppo deve avvenire a livelli di salinità tipici delle acque marine, e uno stadio di megalopa, bentonico, alla fine del quale avviene la metamorfosi in granchio (Leignel et al., 2014).

C. aestuarii può sopportare lunghi periodi fuori dall'acqua ed è una specie euriterma ed eurialina: queste caratteristiche permettono al granchio di vivere in ambienti caratterizzati da considerevoli variazioni di salinità e temperatura, come gli ambienti estuarini (Yamada & Hauck, 2001). In base ai risultati ottenuti da Qyli et al. (2020), gli individui di *C. aestuarii* possono andare incontro a stress fisiologico solo in condizioni estreme: in caso di concentrazioni di rame fino a 3 volte quelle normali, in caso di ipossia e in caso di temperature sotto i 4 °C e sopra i 32 °C. Inoltre, il granchio verde viene utilizzato come modello eco-tossicologico per analizzare la presenza di agenti inquinanti nella laguna di Venezia: infatti l'organismo è sensibile all'inquinamento sia a causa della respirazione, tramite le branchie, che della relazione stretta che ha con animali filtratori (ad esempio, bivalvi), di cui si nutre (Ricciardi et al., 2010). Tuttavia il granchio è onnivoro e si può nutrire anche di anellidi, alghe e altri crostacei, talvolta della stessa specie (Leignel et al., 2014).

Nelle coste orientali del Nord America è stata studiata l'interazione tra la specie di granchio blu *C. sapidus* e il granchio verde *C. maenas*, specie nativa delle coste atlantiche europee: entrambe le specie presentano simili adattamenti (sono entrambe eurialine ed euriterme con dieta simile) e abitano gli stessi ambienti (baie ed estuari) (DeRivera et al., 2005). Questi studi hanno dimostrato che, oltre la temperatura, la predazione del granchio blu sul granchio verde permette di limitare l'espansione della specie invasiva verso sud (DeRivera et al., 2005). *C. maenas* compete per le medesime risorse alimentari con la specie nativa, ma presenta una maggiore capacità di ottenimento e consumo del nutrimento rispetto ai granchi autoctoni (MacDonald et al., 2007).

Queste sovrapposizioni di dieta, di ciclo vitale e di ambiente si riscontrano anche nelle specie oggetto dello studio *C. sapidus* e *C. aestuarii*: sono entrambe specie eurialine ed euriterme; hanno una dieta generalista; abitano ambienti estuarini; compiono una migrazione stagionale verso il mare per permettere lo sviluppo degli stadi larvali. Durante la vita dei granchi, che sono organismi bentonici, è rilevante l'utilizzo del materiale sedimentato, che permette agli esemplari di infossarsi, ad esempio per proteggersi da eventuali predatori (Young et al., 2008), o di predare varie specie di cui si nutrono, che possono trovarsi su tipi di substrati diversi. Studiare l'utilizzo del substrato e i comportamenti che vengono attuati dall'organismo autoctono *C. aestuarii* e da quello alloctono *C. sapidus* nella Laguna di Venezia è un modo per comprendere le possibili interazioni delle due specie all'interno dello stesso ambiente.

2. OBIETTIVI

I comportamenti degli organismi all'interno di un ambiente influiscono sia nella loro capacità di sopravvivenza (Young et al., 2008) che nell'interazione con gli altri organismi, influenzandone la crescita, lo sviluppo e la riproduzione (Belgrad & Griffen, 2016). Come già descritto, il granchio blu è un importante predatore nelle coste atlantiche americane, tanto che può limitare l'espansione del granchio verde *C. maenas* verso sud: l'interazione è causata dall'occupazione dello stesso habitat da parte dei due granchi, nonché l'utilizzo delle stesse risorse alimentari (DeRivera et al., 2005). Considerando l'arrivo di *C. sapidus* nella Laguna di Venezia e le sue interazioni con la specie *C. maenas* nel suo ambiente nativo, sono plausibili le interazioni tra *C. sapidus* e *C. aestuarii*: le larve di entrambi gli organismi di studio si sviluppano in mare, verso il quale gli adulti effettuano una migrazione stagionale (Leignel et al., 2014; Epifanio, 2019); le specie si cibano principalmente di bivalvi e piccoli crostacei (Hines, 2007; Leignel et al., 2014).

Tuttavia, la presenza di una o dell'altra specie potrebbe variare all'interno dello stesso ambiente, comportando una variazione nelle interazioni a causa della presenza di zone ecologicamente diverse all'interno della Laguna di Venezia, che presentano diversi parametri ambientali, come la temperatura, la salinità e la composizione dei sedimenti. La sedimentazione dei materiali nella colonna d'acqua è influenzata da fattori naturali come, ad esempio, il ricircolo dell'acqua, che cambia attraverso la laguna (Solidoro et al., 2004; Bernstein & Montobbio, 2011): l'ambiente è caratterizzato dalla presenza delle barene, tratti di terra sopraelevati di 20-40 cm sul livello del mare che, grazie ai cicli di marea e al flusso dell'acqua, vanno incontro a continui processi di emersione, e possono così ospitare diverse comunità (Tagliapietra et al., 2018). Tuttavia, i sedimenti possono anche essere modificati da interventi umani come i ripristini morfologici: nel ventesimo secolo si è verificata una alterazione della biodiversità lagunare a causa di fenomeni di erosione, e per recuperarla sono state attuate opere di ripristino come le barene artificiali, la cui costruzione è stata permessa dall'utilizzo del substrato proveniente, ad esempio, da vari siti di dragaggio dei canali nella laguna (Tagliapietra et al., 2018). Grazie a questa variabilità ambientale, si possono identificare diversi tipi di substrato che possono essere utilizzati più o meno preferenzialmente da entrambe le specie di granchi.

L'obiettivo di questo studio si concentra quindi sull'analisi, in base alla composizione granulometrica del sedimento, del substrato che occupano le specie di studio e dei comportamenti che vi attuano: in particolare, il confronto avviene in laboratorio tra gli organismi giovanili di granchio blu *C. sapidus*, alloctono, e gli organismi adulti di granchio verde *C. aestuarii*, nativo.

3. MATERIALI E METODI

3.1. I sedimenti utilizzati e granulometria

Per confrontare la preferenza degli organismi in base alla granulometria, in questo studio sono stati usati tre tipi di substrati differenti: la barena naturale, la barena artificiale e la sabbia. Il sedimento è stato raccolto nella laguna di Venezia alle seguenti coordinate: la barena naturale a 45° 13.470' Nord e 12° 13.174' Est; la barena artificiale a 45° 13.515' Nord e 12° 13.421' Est; la sabbia in una velma in prossimità della bocca di Porto di Chioggia a 45° 14.3942' Nord e 12° 17.2845' Est.

La granulometria dei 3 sedimenti è stata analizzata seguendo il metodo di Buchanan (Buchanan, 1984). Per l'analisi granulometrica è stato usato un becker di volume 1000 ml, in cui sono stati inseriti circa 25 g di substrato e lasciati ad essiccare a 62°C per circa 48-72 ore. Sono stati usati dei setacci per la filtrazione del substrato e pesata ogni frazione del sedimento utilizzando una bilancia di precisione (errore ± 0.001 g), fino a 63 μm : per la frazione inferiore a questo vuoto di maglia è stata usata dell'acqua per raccogliere il sedimento rimanente nelle pareti del becker, essiccato e pesato in modo da ottenere una migliore precisione nella misurazione di questo componente. Per la suddivisione delle classi dimensionali del sedimento è stata utilizzata la nomenclatura della scala Udden-Wentworth, con l'identificazione di 6 categorie principali (Wentworth, 1922):

- Se minori di 63 μm compongono la porzione di limo e argille;
- Da 125 μm a 63 μm è sabbia finissima;
- Da 0.5 mm a 125 μm è sabbia fine;
- Da 1 mm a 0.5 mm è sabbia grossolana;
- Da 2 mm a 1 mm è sabbia molto grossolana;
- Se maggiore di 2 mm è ghiaia.

Di seguito viene riportata la tabella con le composizioni in grammi ([Tabella 1](#)) e il grafico ([Figura 1](#)) che riporta la composizione al 100% del peso per ogni sedimento.

Tabella 1: La tabella rappresenta la frazione di sedimento con la nomenclatura e il peso in grammi di ogni una per ogni tipo di substrato considerato

Nomenclatura	Dimensioni (µm)	Barena naturale (g)	Barena artificiale (g)	Sabbia (g)
Limo e argille	<63	3.681	1.092	0.348
Sabbia finissima	63-125	4.077	2.935	0.224
Sabbia fine	125-500	13.500	16.478	20.368
Sabbia grossolana	500-1000	0.054	0.269	0.985
Sabbia molto grossolana	1000-2000	0.003	0.086	0.257
Ghiaia	>2000	0.000	0.077	0.119
	TOTALE	21.315	20.937	22.301

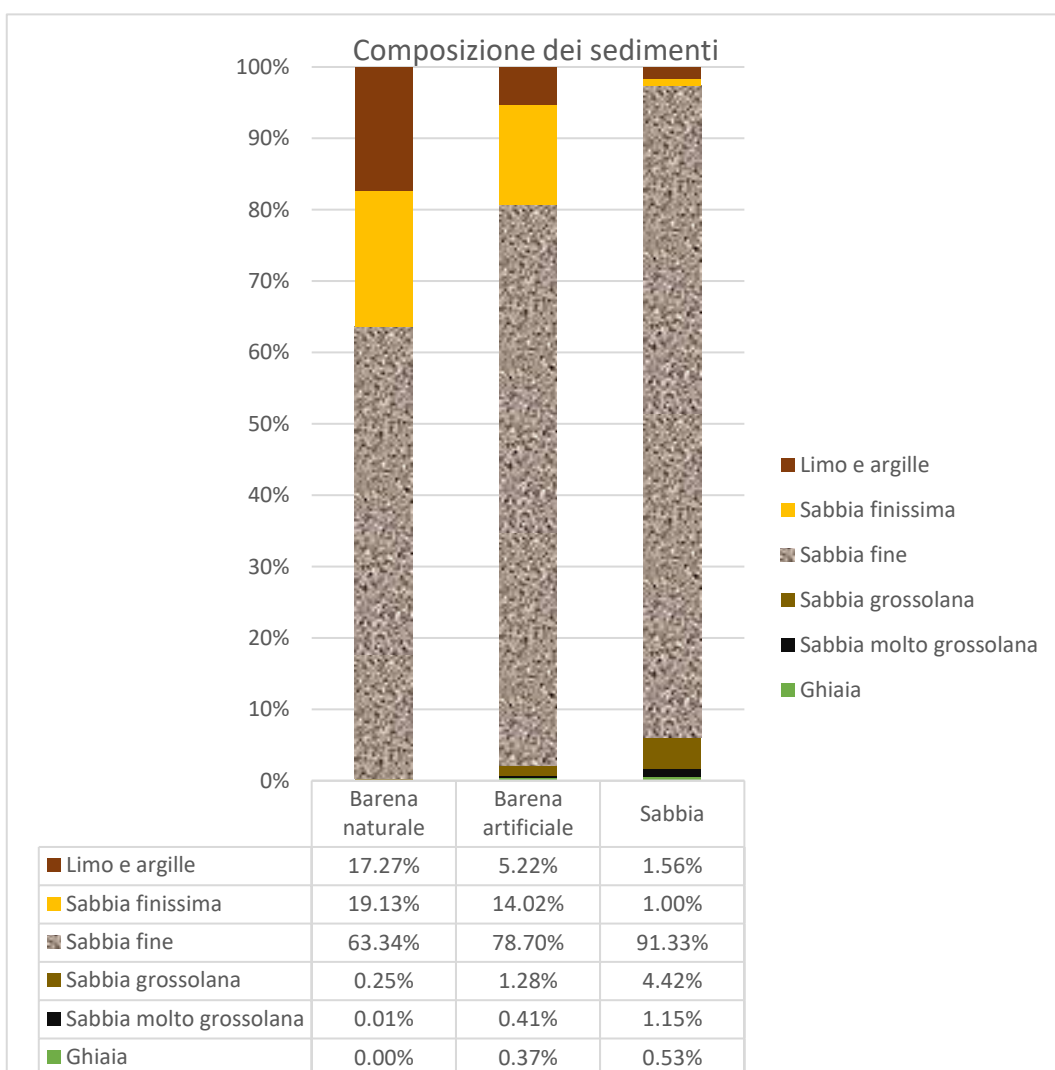


Figura 1: nel grafico viene rappresentata la composizione percentuale ottenuta dal peso delle varie frazioni di sedimento. La sabbia presenta una grande quantità di granuli di sabbia fine, mentre la barena naturale è un terreno più ricco di limo e argille. La barena artificiale invece si trova in una situazione intermedia

Come si può notare dal grafico ([Figura 1](#)), i sedimenti variano nella composizione granulometrica, con la barena naturale che presenta un 63.34% in peso della composizione totale in sabbia fine, con il resto delle componenti a granulometria inferiore, in particolare la composizione in limo e argille pari al 17.27%.

Il substrato sabbioso invece rappresenta la situazione opposta: ricco in granuli di medie dimensioni (91.33% di sabbia fine), presenta non solo porzioni minori di limo e argille e sabbia finissima (rispettivamente al 1.56% e 1.00%), ma anche una percentuale maggiore di granuli di dimensioni maggiori ai 500 μm .

La porzione di barena artificiale può essere posizionata in un contesto intermedio tra la barena naturale e la sabbia: la composizione di sabbia fine è intermedia tra gli altri due substrati, pari al 78.70%, e la porzione di limo e argille è minore rispetto alla barena naturale; tuttavia, aumenta lievemente il peso percentuale delle componenti con una maggiore dimensione dei granuli.

Le analisi vengono quindi divise in base alla granulometria dei substrati: in particolare nel menzionarli si fa riferimento alla sola componente della sabbia fine, cioè la maggioranza di granuli, con dimensioni comprese tra i 125 μm e i 500 μm , che aumenta dalla barena naturale, alla barena artificiale e infine alla sabbia. Da notare che i risultati sono egualmente interpretabili anche in base alla diminuzione del contenuto di limi e argille, legato all'aumento della porzione di sabbia fine, e quindi, presumibilmente, a una riduzione della sostanza organica nel substrato.

3.2. Struttura del setup sperimentale

I granchi oggetto dello studio sono stati raccolti da pescatori professionisti della zona meridionale della Laguna di Venezia, che presenta parametri ambientali diversi da quelli della laguna nord: ad esempio, la salinità è più influenzata dalla presenza del mare, invece la zona settentrionale presenta una salinità inferiore a causa della presenza della maggior parte degli affluenti fluviali (Solidoro et al., 2004). Gli organismi sono stati raccolti il 06/04/2022, il 20/04/2022, il 04/05/2022, il 25/05/2022 e il 20/06/2022. I granchi sono stati quindi portati nella Stazione Idrobiologica U. D'Ancona di Chioggia (VE). Gli esemplari sono stati lasciati nelle vasche di stabulazione dalle 48 alle 72 ore con i seguenti parametri ambientali: ossigeno disciolto al 74.8%, pH di 6.57, temperatura di 26.67 °C, salinità di 36.61 PSU. In seguito, gli esemplari sono stati sottoposti ai test. Il setup sperimentale prevede l'utilizzo di una vasca di dimensioni 35 x 35 x 35 cm. All'interno viene posta una vasca di Plexiglass di dimensioni 35 x 35 x 5 cm e divisa in 4 quadranti di uguale area di dimensioni 17.5 x 17.5 cm grazie a dei divisori in plexiglass. Vengono inseriti casualmente le diverse tipologie di sedimenti in tre dei quattro quadranti, mentre l'ultimo viene lasciato privo di substrato. Al centro della struttura viene posizionato verticalmente un cilindro in PVC di diametro 9 cm senza le basi

superiori e inferiori, e delle insenature verso il basso che ne permettono l'ancoraggio ai sedimenti e ai divisori.

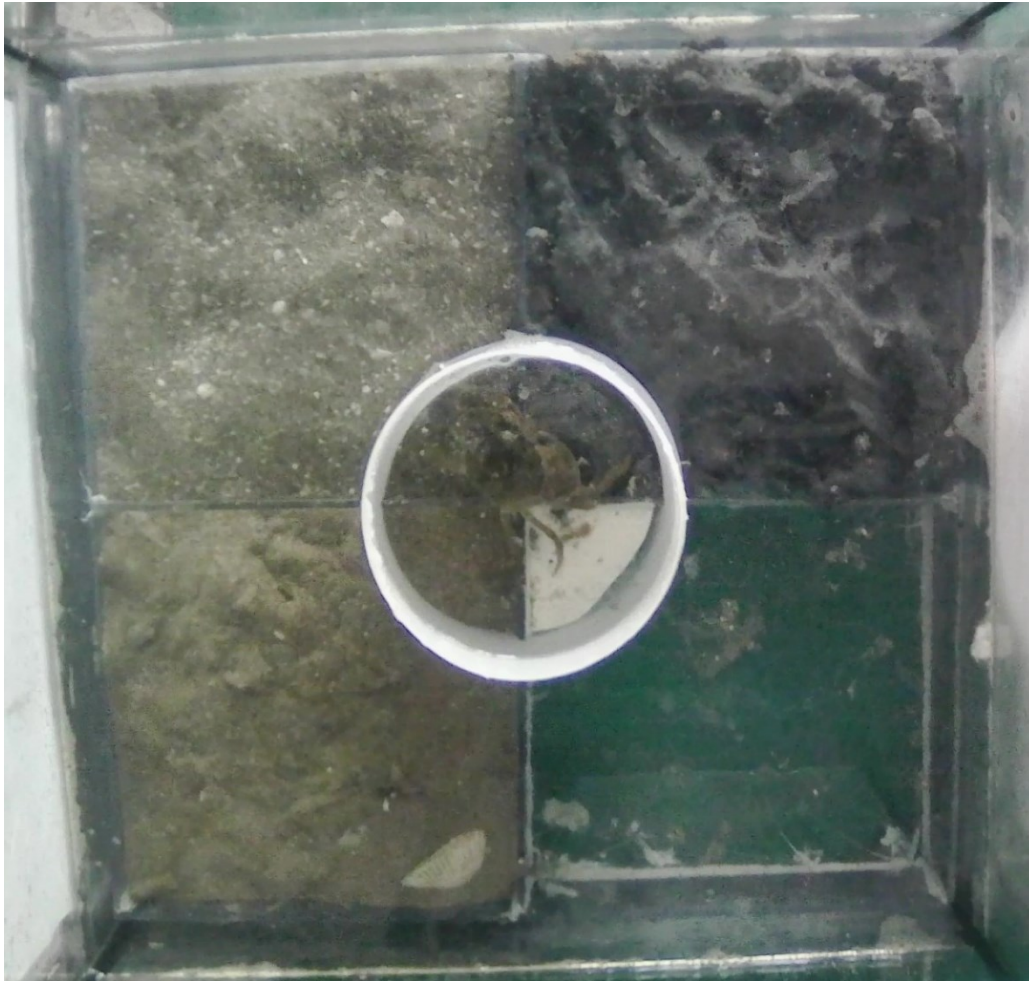


Figura 2: struttura della vasca con i sedimenti e granchio all'interno del cilindro centrale. In questo caso i sedimenti sono: sabbia in alto a sinistra, barena naturale in alto a destra, barena artificiale in basso a sinistra, senza sedimento in basso a destra. Il granchio (in questo caso, un esemplare di *C. aestuarii*) viene posto al centro, dopo 3 minuti viene rimosso il cilindro e l'organismo viene lasciato libero di spostarsi all'interno della vasca. Si può notare che già all'interno del cilindro si possono sperimentare tutti i diversi sedimenti.

La base del cilindro circoscrive un'area suddivisa in 4 settori uguali: 3 che contengono i sedimenti, ed uno in cui è presente un supporto in PVC, il cui scopo è impedire al granchio di eludere il test fuggendo dal cilindro, ma permettendogli comunque di percepire la differenza tra i substrati. La vasca viene quindi riempita fino a 12 cm di altezza dalla base con acqua salata, con gli stessi parametri delle vasche di stabulazione; infine, si attende 5 minuti che sedimenti il substrato eventualmente sollevato dal flusso d'acqua per ottenere una maggiore limpidezza del mezzo.

L'esperimento, registrato utilizzando una videocamera Nilox Mini Wifi 3 con una risoluzione di 4k 30 fps, si compone di 2 parti: la prima, in cui il granchio viene inserito all'interno del cilindro centrale per 3 minuti di ambientamento, in cui può percepire i 4 substrati a lui disponibili (vedi [Figura 2](#)); la seconda parte, che inizia da quando viene rimosso il cilindro centrale, in cui il granchio sarà libero di

muoversi all'interno della vasca per 10 minuti. Prima dell'inizio dell'esperimento viene segnata l'ora del test. Una volta fermata la registrazione, si procede estraendo il granchio dalla vasca e rilevando i suoi parametri anatomici: il peso, tramite una bilancia di precisione (errore ± 0.001 g); l'ampiezza del carapace, tramite un calibro (errore ± 0.05 mm); il sesso; eventuali deficit dell'organismo testato (ad esempio l'assenza di arti o la presenza di arti in ricrescita). In seguito, viene estratto il sedimento nella vasca e posto in un apposito contenitore, separato dal sedimento non ancora utilizzato; infine viene lavata la vasca che è così pronta per un nuovo test. I test sperimentali sono stati effettuati nei mesi di Aprile, Maggio e Giugno.

3.3. Analisi statistica: software utilizzati e analisi

Per la scelta casuale dei sedimenti e per la formazione di grafici e l'esportazione di tabelle utili per l'analisi dei dati è stato utilizzato Microsoft® Excel® per Microsoft Office 365, versione 2206. Utilizzando il software per l'analisi di video comportamentali BORIS (Behavioral Observation Research Interactive Software), versione 7.13.6 (<http://www.boris.unito.it/>), sono stati analizzati i seguenti comportamenti: movimento; infossamento parziale, ossia con carapace visibile sopra il sedimento; infossamento completo. Sono state analizzate le posizioni del granchio nei rispettivi sedimenti, quindi Barena Naturale, Barena Artificiale, Sabbia e la sezione vuota. Inoltre, sono stati controllati anche i casi in cui il granchio si fosse spostato sugli angoli. I test statistici sono stati effettuati utilizzando lo strumento "Kruskal-Wallis Test Calculator" (<https://www.socscistatistics.com/tests/kruskal/default.aspx>, primo utilizzo il 26/07/2022) per il test Kruskal-Wallis e "Mann-Whitney U Test Calculator" (<https://www.socscistatistics.com/tests/mannwhitney/>, primo utilizzo il 26/07/2022) per eseguire il test statistico Mann-Whitney, entrambi test non parametrici. Per i test statistici viene adottato un livello di significatività pari al 5%.

4. RISULTATI

Sono stati analizzati in totale 17 organismi di *C. aestuarii* tutti esemplari maschili, 3 dei quali riportavano ciascuno una chela in ricrescita, e 9 di *C. sapidus*, 6 maschili, sani, e 3 femminili, di cui uno privato della zampa anteriore destra. Tutti gli esemplari di *C. sapidus* analizzati sono giovanili, in quanto gli esemplari femminili raggiungono la maturità sessuale a 9.00 cm di larghezza del carapace e i maschili invece la raggiungono a 8.20 cm (Longmire et al., 2021). Invece, gli esemplari di granchi verde sono tutti adulti, con dimensioni maggiori a 4 cm (Mori, 1990). Le dimensioni dei granchi blu (CS nei grafici) si trovano tra gli 6.50 cm e i 8.30 cm, mentre le dimensioni degli esemplari di *C. aestuarii* (CA nei grafici) si trovano tra i 4.10 cm e i 5.50 cm (Figura 3). Il peso medio degli esemplari di *C. sapidus* è di 33.24 g e quello degli organismi di *C. aestuarii* è di 31.82 g (Figura 4). I grafici sottostanti riportano il confronto tra il peso delle due specie, che non differisce significativamente (Mann–Whitney $U=67$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.62414$, two-tailed); tuttavia gli individui di *C. sapidus* hanno dimensioni maggiori rispetto ai *C. aestuarii* esaminati (Mann–Whitney $U=0$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.00001$, two-tailed).

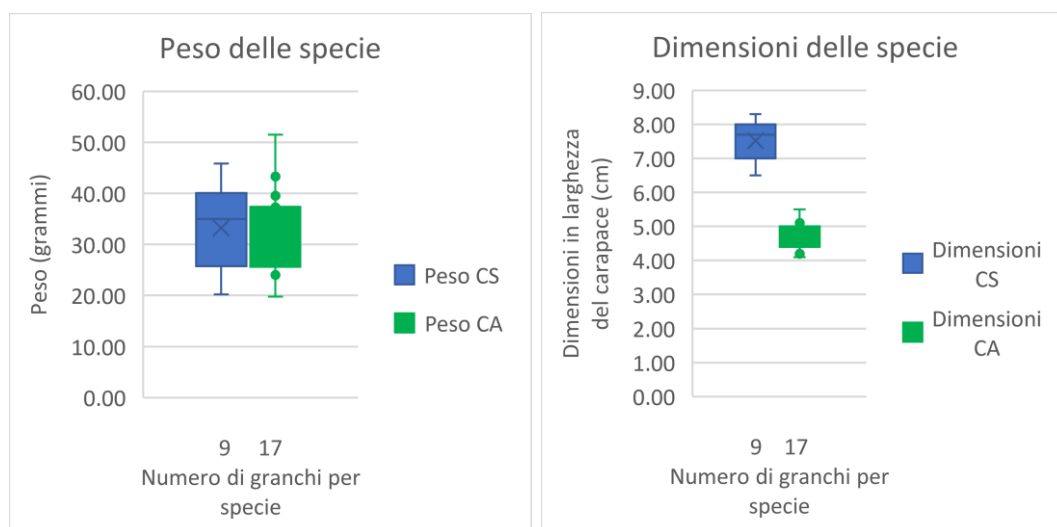


Figura 3: il grafico confronta il peso in grammi di *C. sapidus* (in blu) e *C. aestuarii* (in verde), che non presentano differenze significative di peso.

Figura 4: il grafico confronta le dimensioni in cm delle due specie in esame. Come si può notare, le dimensioni di *C. sapidus* (in blu) sono maggiori di quelle di *C. aestuarii* (in verde).

I risultati raccolti in seguito all'analisi con il programma BORIS sono stati divisi in due categorie: i dati che considerano la posizione dei granchi, in cui vengono confrontati i sedimenti su cui si trovano gli organismi, e quelli che considerano il comportamento, con i vari atteggiamenti vengono adottati dall'esemplare esaminato. I principali parametri analizzati sono:

- Comportamenti: movimento, infossamento parziale, infossamento totale
- Posizioni: Barena naturale, Barena artificiale, Sabbia, senza sedimento

I confronti saranno effettuati analizzando la percentuale del tempo sulla durata totale del video. I video durano mediamente 907.9719 secondi, con un massimo di 996.33 secondi e un minimo di 855.62 secondi. I grafici e le analisi tengono conto di tutti i granchi che sono stati analizzati.

4.1. Analisi dei dati sulla posizione

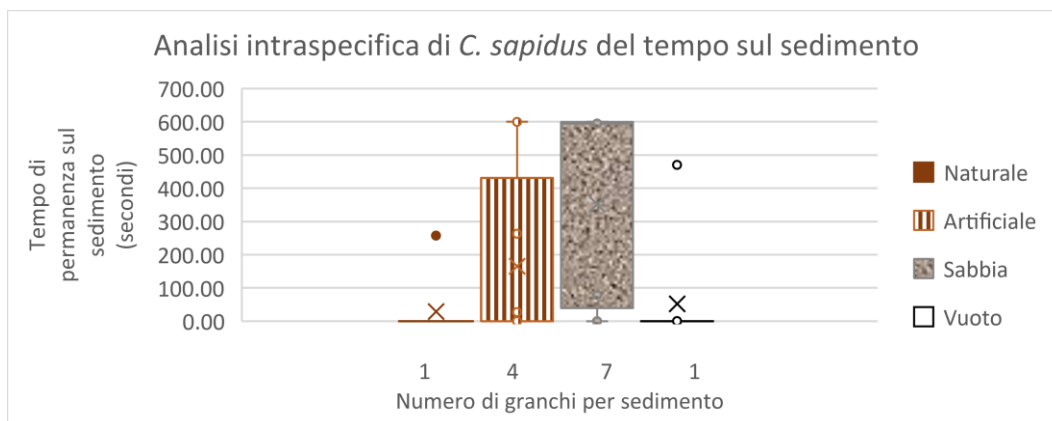


Figura 5: il grafico presenta il tempo medio di occupazione di ogni substrato da parte dei 9 granchi blu. Il numero di granchi che occupano i vari sedimenti è segnato in ascissa ed è: 1 granchio sulla barena naturale, 4 sulla barena artificiale, 7 per la sabbia e 1 sulla sezione vuota. In ordinata: il tempo in secondi. Come si può osservare, la maggior parte dei granchi si trova nella sabbia, e spendono una buona parte del loro tempo in quel sedimento.

Dalla [Figura 5](#) si può notare che gran parte degli individui di granchio blu spendono più tempo nella sabbia o nella barena artificiale, con la barena naturale e l'area senza sedimento che vengono scelte da solo un organismo. In seguito al test statistico, si può confermare che le differenze sono rilevanti (Kruskal-Wallis, $H=8.6937$, $n=36$, $P=0.03365$): eseguendo i test Mann-Whitney, la significatività risulta confermata per i confronti tra sabbia e substrato nullo (Mann-Whitney $U=12$, $n_1=n_2=9$, $P=0.01352$, two-tailed) e sabbia e barena naturale (Mann-Whitney $U=12$, $n_1=n_2=9$, $P=0.01352$, two-tailed); non possono essere confermati i confronti tra barena naturale e quadrante senza sedimento (Mann-Whitney $U=40$, $n_1=n_2=9$, $P=1$, two-tailed), né tra barena artificiale se paragonata al vuoto (Mann-Whitney $U=27$, $n_1=n_2=9$, $P=0.25014$, two-tailed), alla barena naturale (Mann-Whitney $U=26$, $n_1=n_2=9$, $P=0.21498$, two-tailed) o alla sabbia (Mann-Whitney $U=28$, $n_1=n_2=9$, $P=0.28914$, two-tailed). A confermare la significatività, la media dei vari tempi è più alta nella sabbia, in cui spendono mediamente 352.34 secondi, quindi nella barena artificiale, che viene occupata per 165.67 secondi, mentre nella barena naturale, 28.63 secondi, e nel quadrante vuoto, 52.25 secondi, i tempi medi sono minori.

La [Figura 6](#) riporta la porzione di tempo impiegata dagli organismi di *C. aestuarii* sui vari substrati, senza però presentare un substrato in cui spendono significativamente più tempo. In seguito ad un test statistico Kruskal-Wallis non si può affermare che siano significative (Kruskal-Wallis, $H=3.591$, $n=68$, $P=0.30909$).

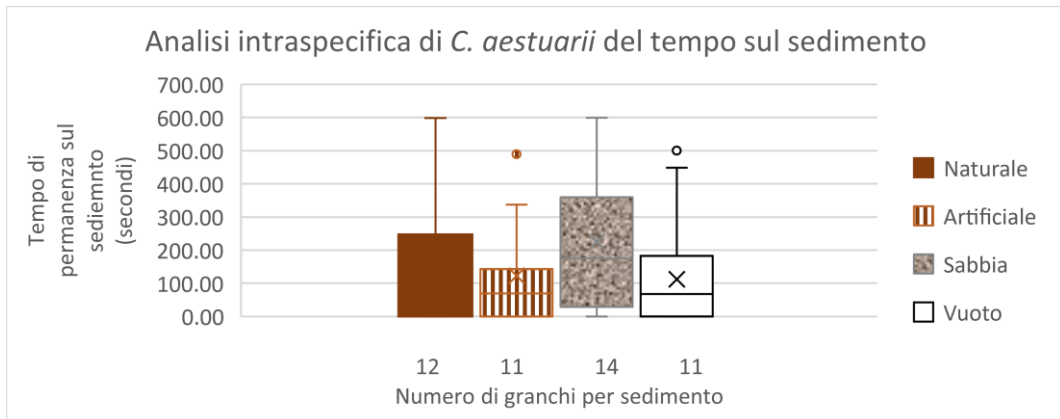


Figura 6: Il grafico presenta l'occupazione di ogni substrato da parte dei 17 granchi verdi. Il numero di granchi che occupano i vari sedimenti è segnato in ascissa ed è: 12 per la barena naturale, 11 per la barena artificiale, 14 per la sabbia e 11 per quello vuoto. In ordinata: il tempo in secondi. Il tempo che spendono i vari granchi non cambia molto tra i vari substrati

Nella [Figura 7](#) vengono comparate le due specie di studio tramite un istogramma costruito con i tempi medi che ogni specie passa su un substrato. Come possiamo vedere, i tempi medi confermano che il substrato su cui i granchi blu passano più tempo sia il sedimento sabbioso, mentre la divisione è più omogenea per quanto riguarda la distribuzione dei tempi sugli esemplari di *C. aestuarii*.

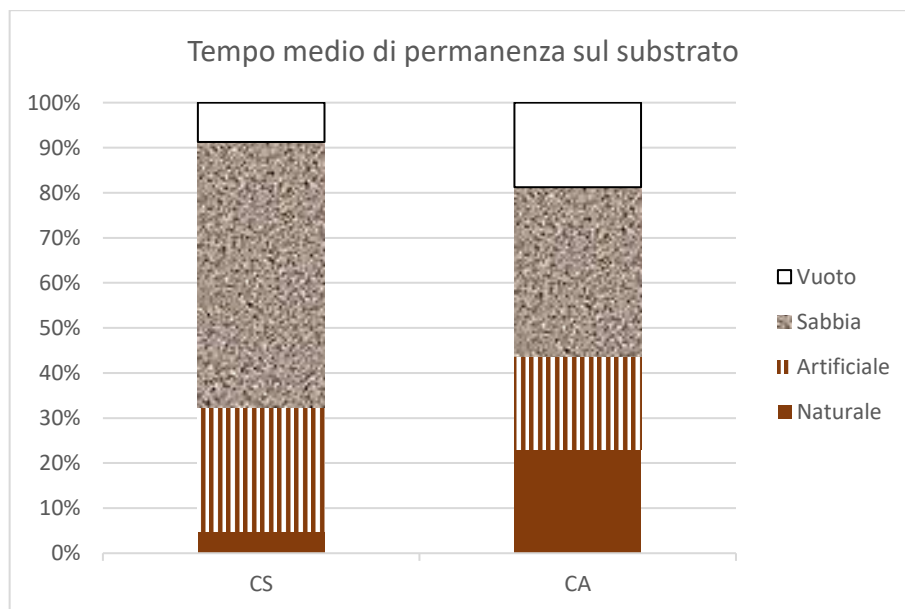


Figura 7: in questo grafico vengono rappresentati, in percentuale, i tempi medi di ciascuna delle due specie sui vari tipi di substrati. A sinistra abbiamo il grafico di *C. sapidus*, mentre a destra quello di *C. aestuarii*. Come si può osservare, in entrambe le specie prevale il substrato sabbioso; tuttavia, la distribuzione sui vari substrati di *C. aestuarii* è più omogenea rispetto a quella di *C. sapidus*.

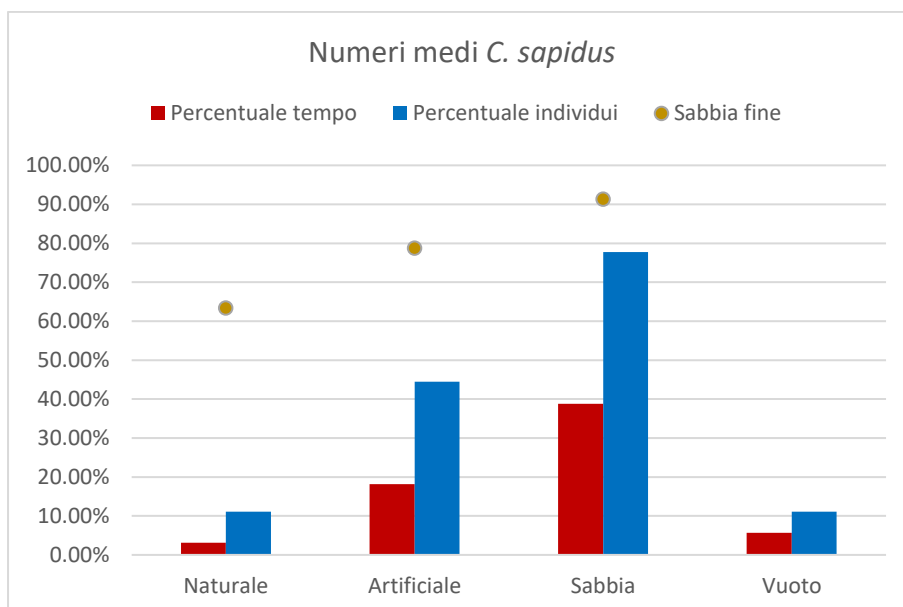


Figura 8: Il grafico presenta la percentuale del numero di individui (in blu) e tempo percentuale nei vari substrati (in rosso) e la percentuale della composizione granulometrica dei 3 terreni (in giallo) nei test di *C. sapidus*. Come si può osservare, la percentuale di tempo medio ed individui aumenta all'aumentare della percentuale della frazione di sabbia fine del sedimento.

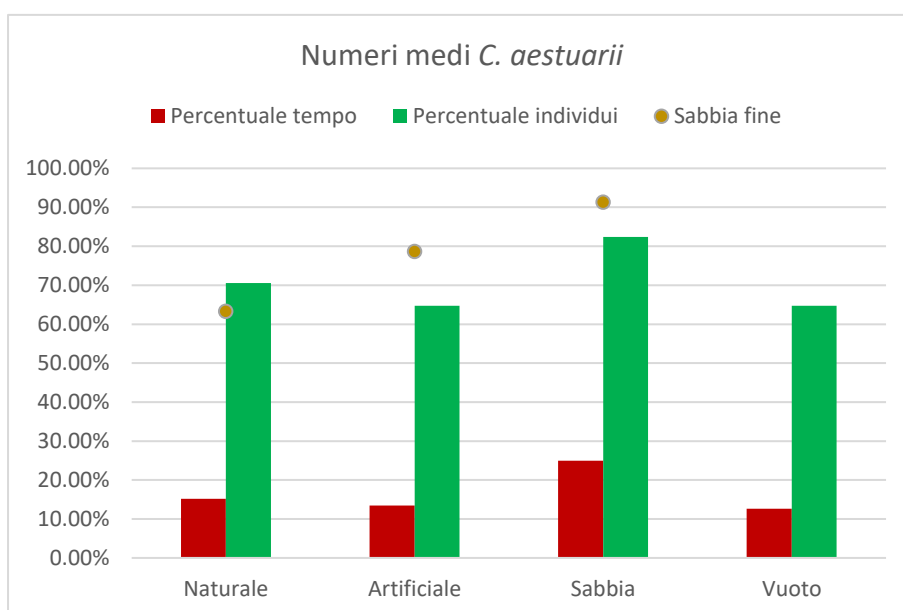


Figura 9: Il grafico presenta la percentuale del numero di individui (in verde) e tempo percentuale nei vari substrati (in rosso) e la percentuale della composizione granulometrica dei 3 terreni (in giallo) nei test di *C. aestuarii*. Come si può osservare, la percentuale di tempo medio e di individui non è correlata alla frazione di sabbia fine.

Le [Figure 8](#) e [9](#) mettono in relazione la percentuale di individui e il tempo medio di permanenza su un certo substrato (indipendentemente dal comportamento attuato) con la percentuale granulometrica del sedimento, in particolare quella della componente fine (dai 125 μm ai 500 μm), che è quella più abbondante, la cui differente quantità è un buon indice per caratterizzare i sedimenti utilizzati.

Le [Figure 10](#) e [11](#) presentano la porzione di tempo passata da *C. sapidus* e *C. aestuarii* sul substrato, in particolare nella sabbia e nella barena artificiale. Non

è possibile affermare che i granchi blu rimangano più tempo sul substrato rispetto a quelli verdi, sia nel caso della sabbia (Mann–Whitney $U=61$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.41794$, two-tailed) che nel caso della barena artificiale (Mann–Whitney $U=70$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.74896$, two-tailed). Invece, le [Figure 12](#) e [13](#) presentano la porzione di tempo passata dalle due specie rispettivamente sulla barena naturale e sul quadrante senza sedimento. In questo caso, le differenze che vengono mostrate nella [Figura 12](#) sono statisticamente significative, per cui si può affermare i granchi verdi passano più tempo sulla barena naturale rispetto ai blu (Mann–Whitney $U=33$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.02034$, two-tailed), e anche sul substrato vuoto ([Figura 12](#)) (Mann–Whitney $U=40$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.05238$, two-tailed).

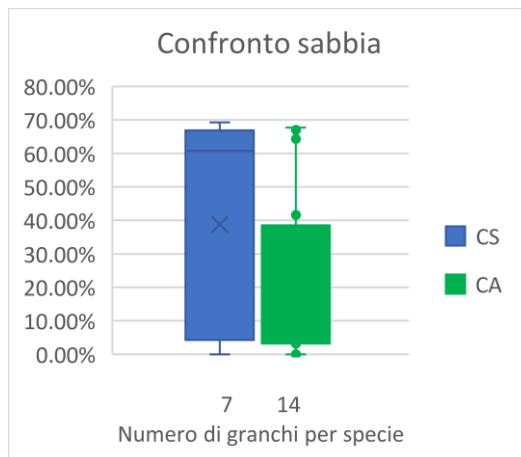


Figura 10: Questo grafico pone un confronto tra la percentuale di tempo sul substrato sabbioso da parte dei granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si spostano sulla sabbia. Le differenze non sono statisticamente significative

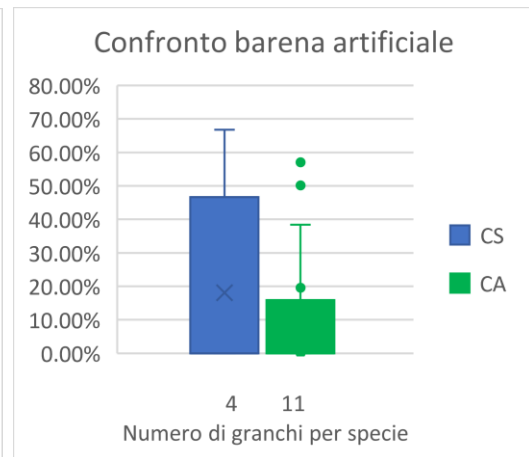


Figura 11: Questo grafico confronta la percentuale di tempo sul substrato di barena artificiale da parte dei granchi blu (in blu) e dei granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si spostano sulla barena artificiale. Le differenze non sono statisticamente significative

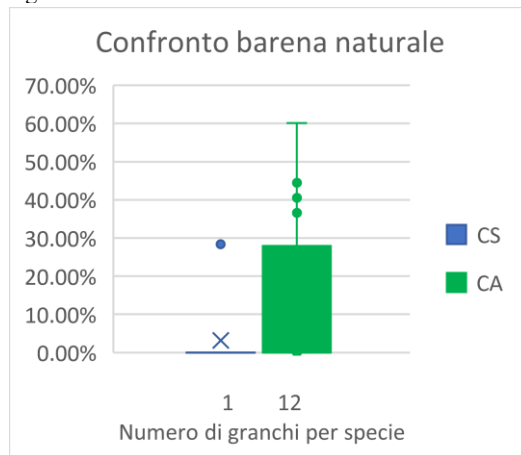


Figura 12: In questo grafico si confronta la percentuale di tempo sul substrato di barena naturale da parte dei granchi blu (in blu) e dei granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si sposta sulla barena naturale. Come si può osservare, i granchi verdi rimangono più tempo dei granchi blu su questo substrato

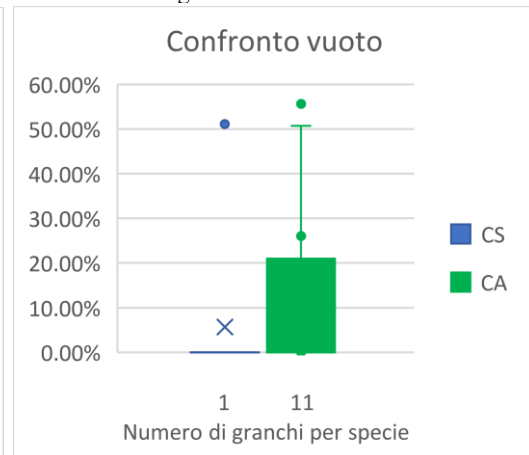


Figura 13: In questo grafico si confronta la percentuale di tempo sull'area vuota da parte dei granchi blu (in blu) e dei granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si sposta sul vuoto. Come si può osservare, i granchi verdi rimangono più tempo dei granchi blu su questo substrato.

4.2. Analisi dei dati sui comportamenti

Nella [Figura 14](#) viene presentata una analisi intraspecifica, che mostra che gli esemplari di *C. sapidus* tendono a spendere diverse porzioni di tempo nei 3 stati comportamentali (Kruskar-Wallis, $H=10.351$, $n=27$, $P=0.00565$). Infatti, passano più tempo in infossamento totale piuttosto che in infossamento parziale (Mann-Whitney $U=8.5$, $n_1=n_2=9$, $P=0.00544$) o in movimento (Mann-Whitney $U=10$, $n_1=n_2=9$, $P=0.00544$), ma non ci sono differenze significative tra il movimento e l'infossamento parziale (Mann-Whitney $U=39$, $n_1=n_2=9$, $P=0.92828$, two-tailed). Questo può essere osservato nel tempo medio dei vari comportamenti: 53.74 secondi in movimento, 20.46 secondi in infossamento parziale, mentre 398.94 secondi è il tempo in infossamento totale.

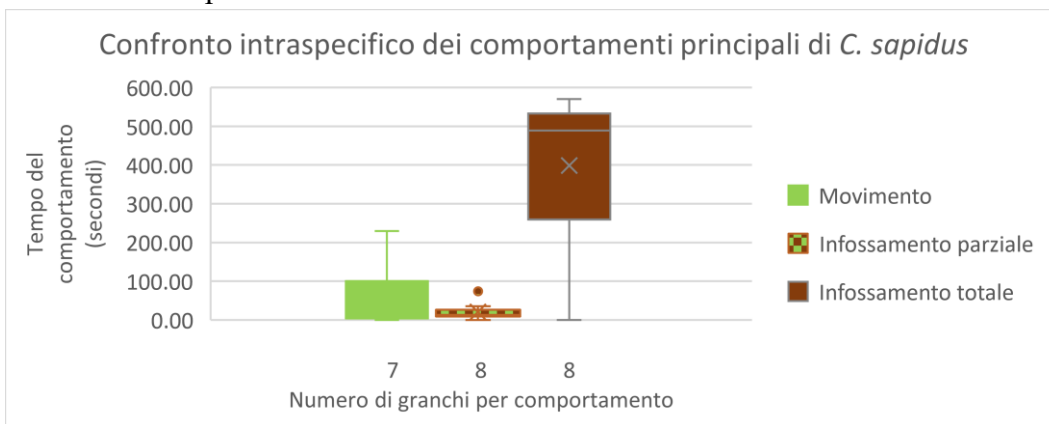


Figura 14: Il grafico presenta il tempo medio (in secondi) impiegato dai 9 esemplari di *C. sapidus* nei vari comportamenti. In verde il movimento, in verde e marrone l'infossamento parziale e in marrone l'infossamento totale. In ascissa, il numero di granchi che attuano quel comportamento: 7 il movimento, 8 l'infossamento parziale e 8 quello totale. Come si può osservare, la tendenza dei granchi blu sarebbe quella di rimanere infossato totalmente per più tempo rispetto agli altri due comportamenti.

Nella [Figura 15](#) invece viene svolta una analisi intraspecifica sui comportamenti di *C. aestuarii*, in cui la differenza è statisticamente significativa (Kruskar-Wallis, $H=13.070$, $n_1=51$, $P=0.00145$). Infatti, gli individui della specie autoctona occupano una buona parte del tempo in movimento rispetto all'infossamento parziale (Mann-Whitney $U=60$, $n_1=n_2=17$, $P=0.00386$, two-tailed) o all'infossamento totale (Mann-Whitney $U=52$, $n_1=n_2=17$, $P=0.00152$, two-tailed). Non ci sono differenze significative tra i due tipi di infossamento, parziale e totale (Mann-Whitney $U=116$, $n_1=n_2=17$, $P=0.33706$, two-tailed). A differenza dei granchi blu, il tempo medio nei vari comportamenti è di 233.90 secondi in movimento, 80.22 secondi in infossamento parziale e 72.43 secondi in infossamento totale.

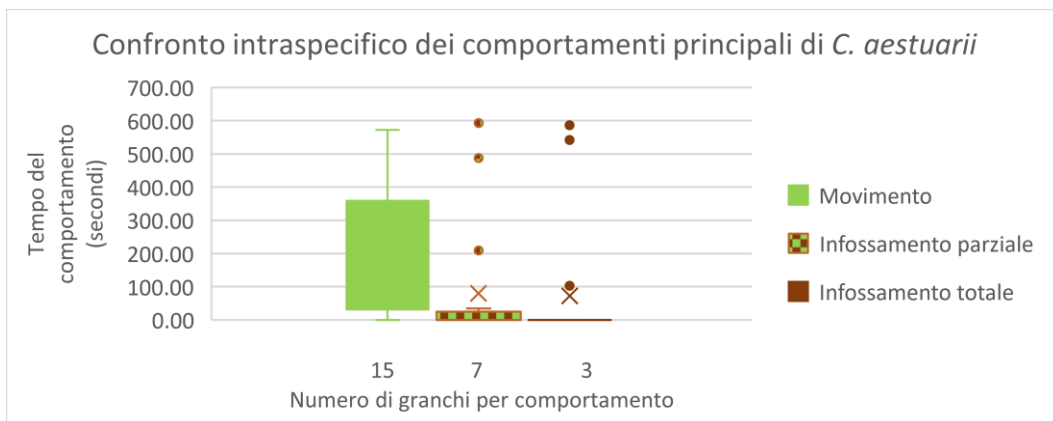


Figura 15: Il grafico presenta il tempo medio (in secondi) speso dagli esemplari di *C. aestuarii* nei vari comportamenti. In verde viene rappresentato il movimento, in verde e marrone l'infossamento parziale e in marrone l'infossamento totale. In ascissa, il numero di granchi che attuano un certo comportamento: 15 il movimento, 7 l'infossamento parziale, 3 il totale. Come si può osservare, la maggior parte dei granchi rimane in movimento per la maggior parte del tempo.

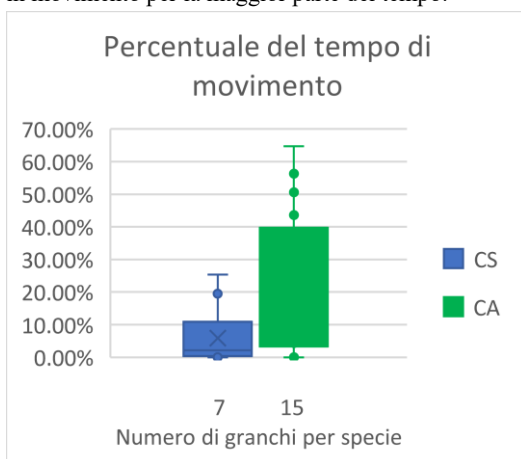


Figura 16: Questo grafico presenta un confronto sulla percentuale di tempo di movimento tra i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi che si muove. Come si può osservare, i granchi verdi passano una maggiore porzione del video in movimento rispetto ai granchi blu.

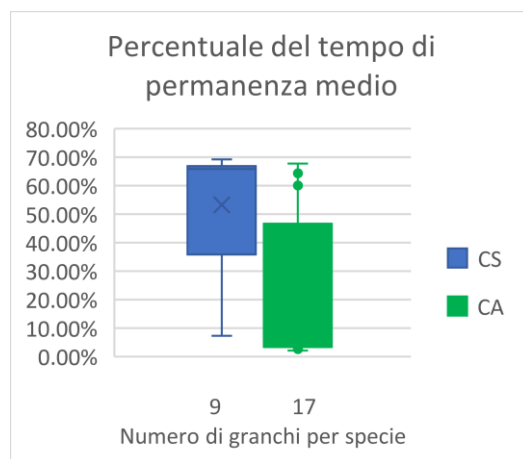


Figura 17: Questo grafico presenta un confronto sulla percentuale di tempo di permanenza medio su un qualsiasi sedimento tra i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde). Come si evince dal grafico, i granchi blu rimangono più tempo in un substrato rispetto ai granchi verdi.

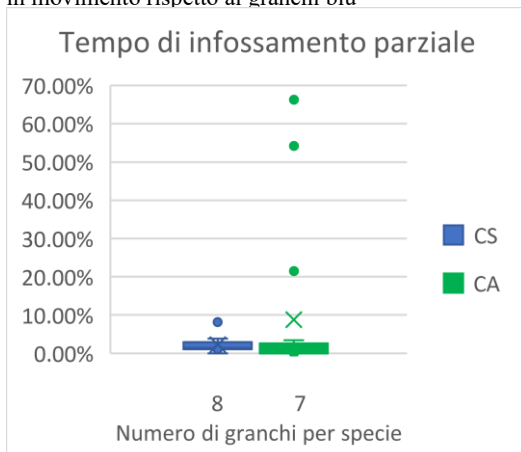


Figura 18: il grafico mostra un confronto sulla porzione di tempo di infossamento parziale tra i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si infossano parzialmente. Come si può notare, le due specie non occupano porzioni troppo differenti.

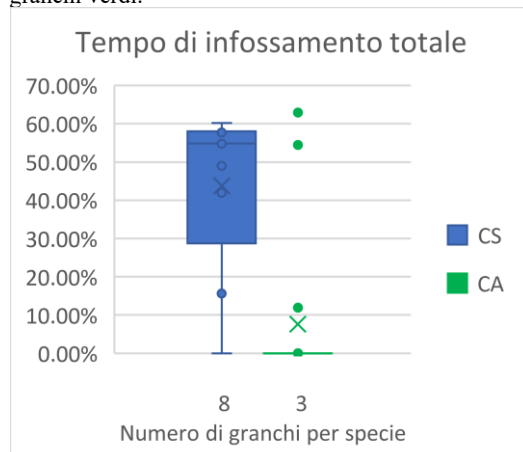


Figura 19: il grafico mostra un confronto sulla porzione di tempo di infossamento totale tra i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde). In ascissa, il numero di granchi per specie che si infossano totalmente. Come si può osservare, i granchi blu impiegano più tempo in infossamento totale rispetto ai granchi verdi.

Nella [Figura 16](#) viene mostrato il tempo che i granchi alloctoni e quelli autoctoni passano nello stato di movimento: dalle analisi statistiche è possibile affermare che i granchi verdi passano più tempo in movimento rispetto ai granchi blu (Mann–Whitney $U=30$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.01314$, two-tailed). Nella [Figura 17](#) invece viene analizzata la porzione di tempo media di permanenza in un qualsiasi sedimento: le differenze tra le due specie sono statisticamente significative (Mann–Whitney $U=27$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.00830$, two-tailed), con i granchi invasivi che hanno un tempo di permanenza medio più alto.

Sono stati analizzati anche i comportamenti di infossamento, sia totale che parziale: dalla [Figura 18](#) non emergono differenze significative nello stato di infossamento parziale (Mann–Whitney $U=53$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.21498$, two-tailed); tuttavia, nel confronto dell'infossamento totale ([Figura 19](#)), si può affermare che gli esemplari di *C. sapidus* rimangono infossati più a lungo rispetto a *C. aestuarii* (Mann–Whitney $U=25$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.00596$, two-tailed).

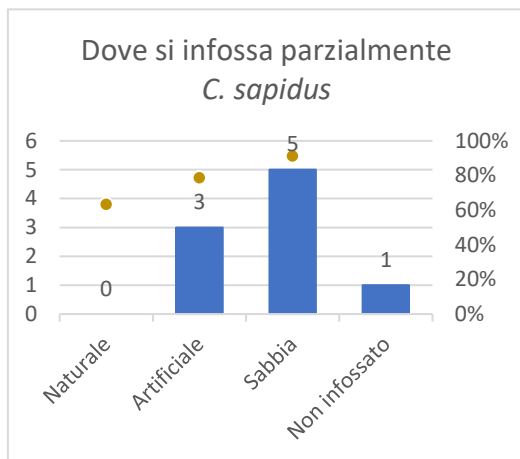


Figura 20: Il grafico presenta il numero di granchi blu che si sono infossati in ogni substrato e quelli che non si sono infossati (in colonne) e la percentuale della composizione di sabbia fine per ogni sedimento (in giallo). Si nota una correlazione tra la percentuale di sabbia fine e il numero di individui infossati, che aumentano all'aumentare della percentuale di questa componente

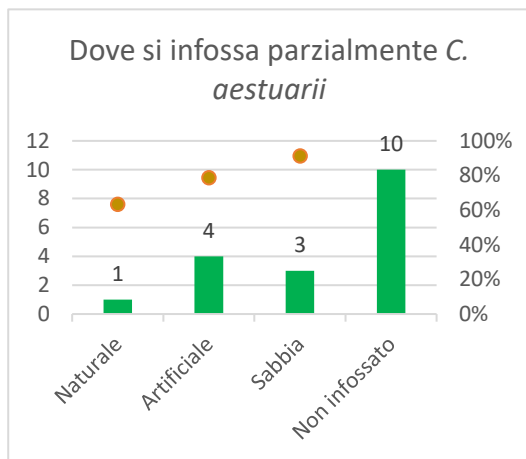


Figura 21: Il grafico presenta il numero di granchi verdi che si sono infossati in ogni substrato e quelli che non si sono infossati (in colonne) e la percentuale della composizione di sabbia fine per ogni sedimento (in giallo). In questo caso non c'è nessuna correlazione tra il numero di individui infossati e la percentuale granulometrica, tanto che la maggior parte dei granchi non si infossa.

Nelle [Figure 20](#) e [21](#) vengono mostrati i siti di infossamento parziale delle due specie in esame e il numero di organismi che li occupa: l'infossamento parziale tiene conto anche degli eventuali organismi che si infossano completamente. Dai grafici si apprende che i granchi verdi, se si infossano, prediligono la barena artificiale, mentre i blu prediligono la sabbia.

Nel caso dei granchi verdi, gli infossamenti sono 18 perché un granchio verde si è infossato 2 volte. Gli altri granchi, di entrambe le specie, hanno effettuato l'infossamento una volta soltanto. Per quanto riguarda gli organismi danneggiati,

l'unico *C. sapidus* non infossato è quello privato della prima zampa destra, mentre dei 3 esemplari di *C. aestuarii* che riportano chele in ricrescita solo 1 si è infossato.

Sono stati analizzati anche i comportamenti che coinvolgono gli angoli: la [Figura 22](#) presenta il numero di volte che gli organismi entrano nei 4 angoli al bordo della vasca, e si può osservare che i granchi verdi utilizzano gli angoli significativamente di più rispetto ai granchi blu, che invece li frequentano meno (Mann–Whitney $U=25$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.00596$, two-tailed); questa influenza anche il tempo medio speso negli angoli ([Figura 23](#)) che, seppur basso per entrambe le specie (mediamente meno del 5% della durata dei video), è significativamente più alto negli esemplari di *C. aestuarii* rispetto ai *C. sapidus* (Mann–Whitney $U=37$, $n_1=9$ $n_2=17$, $P=0.03572$, two-tailed).

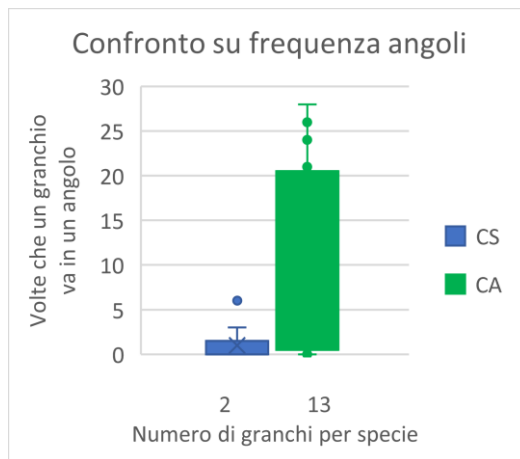


Figura 22: in questo grafico viene messo a confronto il numero di volte che i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde) si avvicinano agli angoli. In ascissa, il numero di granchi per specie che vanno negli angoli. In particolare, possiamo vedere che i granchi verdi si spostano più frequentemente verso gli angoli rispetto ai granchi blu

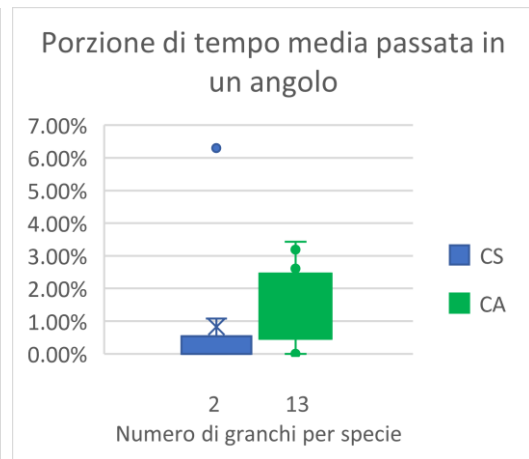


Figura 23: in questo grafico viene messa a confronto la porzione di tempo media che passano i granchi blu (in blu) e i granchi verdi (in verde) sugli angoli, indipendentemente dal substrato che presentano. In ascissa, il numero di granchi per specie che vanno negli angoli. Si può osservare che i granchi verdi passano più tempo sugli angoli rispetto ai granchi blu.

5. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Come si è potuto osservare dai risultati, alcuni comportamenti così come la permanenza sui substrati cambiano tra gli esemplari di *C. aestuarii* e *C. sapidus* testati. In particolare, dalla significatività dei test intraspecifici si può affermare che i granchi blu prediligono la posizione della sabbia alla barena naturale (Figura 5). La maggior parte degli individui di *C. sapidus* si fermano sul substrato sabbioso e il tempo medio di permanenza in quel sedimento è maggiore rispetto alla barena naturale e al terreno senza sedimento: la tendenza, mostrata nella Figura 8, è che sia la quantità di granchi blu che il tempo medio di stanziamento aumentino all'aumentare della percentuale della sabbia fine dalla barena naturale, alla barena artificiale, infine alla sabbia. Non si può affermare lo stesso invece per *C. aestuarii*, in cui non sembra esserci una significativa differenza nei tempi di permanenza nei vari sedimenti (Figura 6), né una correlazione con la granulometria (Figura 9). Confrontando tra le due specie il tempo di permanenza sui vari sedimenti, *C. aestuarii* risulta spendere significativamente più tempo rispetto a *C. sapidus* per quanto riguarda la barena naturale (Figura 12) e il substrato vuoto (Figura 13). Si può ipotizzare che questo possa essere dovuto al fatto che gli esemplari maschili adulti di *C. aestuarii* riconoscono con maggiore efficacia il loro habitat rispetto ai giovanili della specie invasiva, essendo adattati alla sua variabilità a causa di una permanenza negli ambienti interni (Matozzo et al., 2013). Un'altra ipotesi è che i *C. sapidus* analizzati preferiscano elementi sabbiosi: le zone in prossimità del mare nella baia di Chesapeake sono maggiormente abitate da organismi giovanili (Hines, 2007), e il substrato in queste zone degli estuari può essere influenzato dai sedimenti marini e dalle correnti, che limitano il deposito dei granuli di dimensioni minori. Le recenti opere di dragaggio dei canali e l'alterazione dell'idrodinamica nella Laguna di Venezia hanno causato una perdita della componente fine del sedimento dalla laguna verso il mare (D'Alpaos, 2010), con conseguente aumento del peso percentuale della componente sabbiosa, che potrebbe favorire uno spostamento del substrato ideale per gli organismi giovanili della specie invasiva all'interno della laguna.

L'occupazione di questi sedimenti potrebbe essere dovuta non solo alla percezione sensoriale del sedimento da parte dei granchi, ma anche ad una ricezione di segnali chimici provenienti dalla componente organica: ad esempio, è stato visto che nel caso dei granchi blu, sia allo stadio di megalopa prima che gli stadi giovanili poi, colonizzano fondali differenti probabilmente in base a molecole odorose che vengono rilasciate dagli organismi già presenti in quelle aree (JM et al., 1997; van Montfrans et al., 2003). In questa tesi, la componente organica non è stata rimossa dal sedimento prima degli esperimenti per mantenere inalterato il tipo di substrato ed evitare possibili perdite delle componenti granulometriche più piccole. Tuttavia, il contenuto di materia organica potrebbe diminuire al decrescere della componente di limo e argille e, in base ai risultati di questo studio, possiamo osservare che la

scelta del substrato non è correlata positivamente alla presenza di granuli di limo e argille all'interno del substrato.

Indipendentemente dalle posizioni che occupano, i granchi blu esibiscono l'infossamento significativamente per più tempo rispetto ai granchi verdi ([Figura 19](#)). Questo tipo di comportamento dei granchi blu è già conosciuto, tanto che è stato utilizzato anche per confrontare in laboratorio *C. sapidus* allevati in cattività e selvatici da Young et al. (2008): di quelli catturati (e dopo un paio di esposizioni, anche quelli allevati) si sono infossati più di metà esemplari testati. In questo studio, la quasi totalità di organismi di *C. sapidus* si infossa ([Figura 20](#)), mentre non è così per *C. aestuarii* ([Figura 21](#)). Se vengono posti a confronto il numero di esemplari di *C. sapidus* che si infossano con la percentuale di sabbia fine nei grafici sopra citati, si può osservare come ci sia una proporzionalità diretta tra i due parametri considerati. La composizione del terreno invece sembra non influenzare la preferenza del substrato degli esemplari di *C. aestuarii*, che presentano un comportamento in comune con gli organismi di *C. sapidus*: gli esemplari di entrambe le specie non si sono quasi mai infossati nella barena naturale. È possibile che la composizione granulometrica, che influisce sulla porosità e sulla coesione del terreno, possa condizionare la capacità di infossamento dell'organismo, in particolare a causa della presenza di una percentuale non trascurabile di componenti a granulometria minore di 125 μm , come limo e argille, di tipo coesivo e quindi difficili da rompere. L'infossamento nella sabbia potrebbe essere invece favorito dalla presenza di granuli di maggiori dimensioni nel substrato, che limitano le forze coesive e che potrebbero favorire la creazione rapida di un riparo.

Per una maggiore completezza, i dati ottenuti da questo studio possono essere confrontati con una analisi di campo sulla distribuzione invernale di *C. sapidus* giovanili e adulti nella baia di Chesapeake di Schaffner & Diaz (1988). I dati ottenuti dalle due analisi sono differenti: infatti, dai dati raccolti dal campionamento di varie zone della baia a diversa granulometria, i granchi si trovavano in zone con percentuali intermedie di sabbia. In particolare, gli esemplari sono stati trovati in maggiore quantità in aree con la componente sabbiosa tra il 40% e l'80% e diminuiscono a percentuali superiori all'80% e inferiori al 40%; in questo studio è risultato significativo che i granchi blu nella Laguna di Venezia preferiscano substrati con una percentuale in peso di sabbia fine pari a 91.33%. Il fatto che questo tipo di composizione non corrisponda può essere causato da una differente scala dei due studi (di campo e di laboratorio) o comunque di riferimento per l'analisi granulometrica che viene adottata nei due studi. Infatti, secondo la scala Udden-Wentworth, la divisione delle granulometrie prevede che quella che in questo studio viene definita sabbia fine (125 μm – 500 μm) debba essere divisa in realtà in due: la sabbia fine propriamente detta, con dimensioni da 125 μm a 250 μm , e la sabbia media, con granuli di dimensioni tra i 250 μm e i 500 μm . Sia in questa tesi che nello studio riportato, risulta che i granchi non preferiscano rimanere in aree caratterizzate da basse percentuali di componente sabbiosa.

Lo spostamento degli individui influisce sulle zone della vasca occupate: ne consegue che gli organismi di *C. aestuarii*, spendendo mediamente più tempo in movimento (Figura 15), si troveranno negli angoli più frequentemente rispetto ai granchi invasivi (Figura 22). Gli esemplari di *C. sapidus* passano gran parte del tempo infossati (Figura 14), si spostano meno dei granchi verdi (Figura 16) e non si avvicinano agli angoli così frequentemente (Figura 22).

5.1 Conclusioni

Questo studio ha permesso di stimare quali sedimenti potrebbero preferire gli esemplari di *C. sapidus*, in condizioni come quelle del laboratorio: substrati con una componente sabbiosa consistente, e con scarsità di componenti come argilla e limo, che caratterizzano le zone lagunari naturali. Inoltre, le analisi effettuate in questo studio possono essere utili per prevedere quali substrati, e quindi aree, di un ambiente estuarino possono essere colonizzate dai giovanili di *C. sapidus* per cercare di limitarne l'eventuale invasione. Da notare l'effetto della percentuale della componente sabbiosa sugli organismi di *C. sapidus*: non solo i granchi invasivi spendono molto tempo su substrati contenenti alte percentuali di granuli di sabbia fine, ma anche riescono ad infossarsi completamente e con successo, suggerendo che proprio i substrati siano preferiti rispetto alla barena naturale (ricca di limo e argille) o zone in cui non è possibile infossarsi, rimanendo esposti (la zona senza sedimento). In condizioni non controllate, fuori dal laboratorio, ci possono essere esiti differenti, che possono variare in base alle condizioni ambientali (come temperatura e salinità) e alle interazioni con altri organismi, tra cui *C. aestuarii*, influenzando sulla distribuzione del granchio nell'ambiente, quindi sui substrati. I dati raccolti, così come i risultati ottenuti da questo studio, sono limitati da una bassa numerosità; quindi, rimangono da confermare i confronti non significativi tra le due specie, anche in relazione alle loro possibili interazioni.

La competizione tra le due specie *C. sapidus* e *C. aestuarii* in diverse aree sono possibili a causa delle sovrapposizioni di dieta e ciclo vitale, inoltre entrambe le specie presentano tratti da specie invasive: sono entrambe euriterme ed eurialine, e possono tollerare diverse condizioni ambientali. Anche *C. aestuarii* è un organismo invasivo in altre zone, in particolare nelle coste giapponesi (Yamada & Hauck, 2001). Negli ultimi anni, i cambiamenti climatici avvenuti nella Laguna di Venezia e alterazione dei fondali causati da erosioni e ristrutturazioni, con conseguente sospensione del substrato e perdita delle componenti più fini (D'Alpaos, 2010; Marchini et al., 2015; Tagliapietra et al., 2018), hanno favorito l'invasione della specie di granchio blu atlantico all'interno della laguna. In particolare, la popolazione di *C. sapidus* può minacciare le attività di pesca e acquacoltura (Prado et al., 2020) e questo potrebbe condurre ad una diminuzione del pescato della specie nativa nella Laguna di Venezia, danneggiando l'economia delle moeche, importante risorsa economica da molti anni (Matozzo et al., 2013).

Tuttavia, come viene identificato da questo studio, le due specie di granchi presentano diverse preferenze di substrati colonizzati, e la differente granulometria dei sedimenti potrebbe limitare gli eventi competitivi tra le due specie. Se *C. sapidus* e *C. aestuarii* non dovessero andare in competizione per l'occupazione delle aree con la medesima granulometria, come potenzialmente ipotizzabile sulla base di questa tesi, si può supporre, vista la variabilità di strutture che offre la laguna, che negli anni si possano creare popolazioni delle due specie di granchio; tuttavia, rimangono fondamentali le condizioni di temperatura, salinità, produttività e predazione, che potrebbero determinare il sopravvento di una o dell'altra specie, come successo nelle coste americane tra *C. sapidus* e *C. meanas* (DeRivera et al., 2005).

Per poter avere maggiore certezza riguardo le competizioni tra le due specie si potrebbe eseguire un esperimento simile a quello svolto in questa tesi utilizzando il medesimo setup sperimentale, inserendo 2 cilindri con 1 granchio ciascuno (uno di *C. sapidus* e uno di *C. aestuarii*) in modo che, una volta liberati gli organismi possano interagire tra loro e si possano osservare le interazioni, quindi l'occupazione dei substrati delle due specie e l'eventuale infossamento. Altrimenti, si potrebbe effettuare una analisi tramite pesche sperimentali della distribuzione delle due specie nella laguna di Venezia in base alla granulometria del substrato occupato, possibilmente in stagioni diverse per poter osservare gli effetti delle variazioni climatiche stagionali sulla distribuzione di esemplari sia giovanili che adulti del granchio invasivo.

6. BIBLIOGRAFIA

- Bax, N., Williamson, A., Aguero, M., Gonzalez, E., & Geeves, W. (2003). Marine invasive alien species: A threat to global biodiversity. *Marine Policy*, 27(4), 313–323.
- Belgrad, B. A., & Griffen, B. D. (2016). Predator–prey interactions mediated by prey personality and predator hunting mode. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1828), 20160408.
- Bernstein, A., & Montobbio, L. (2011). *La gestione dei sedimenti in laguna di Venezia. Sintesi dei principali risultati acquisiti da studi e indagini di base.*
- Buchanan, J.B. (1984). Sediment analysis. In: Holme NA and Mc Intyre AD (eds.). *Methods for the study of marine benthos*. Blackwell, Oxford. London IBP Hand Book 16:41-65
- D'Alpaos, L. (2010). Fatti e misfatti di idraulica lagunare. *La Laguna Di Venezia Dalla Deviazione Dei Fiumi Alle Nuove Opere Delle Bocche Di Porto*, 329.
- DeRivera, C. E., Ruiz, G. M., Hines, A. H., & Jivoff, P. (2005). Biotic resistance to invasion: Native predator limits abundance and distribution of an introduced crab. *Ecology*, 86(12), 3364–3376.
- Epifanio, C. E. (2019). Early Life History of the Blue Crab *Callinectes sapidus*: A Review. *Journal of Shellfish Research*, 38(1), 1–22.
- Galil, B. S. (2000). A Sea Under Siege – Alien Species in the Mediterranean. *Biological Invasions*, 2(2), 177–186.
- Hines, A. H. (2007). Ecology of juvenile and adult blue crabs. In *The Blue Crab: Callinectes sapidus* (pp. 565–654).
- JM, W., Rittschof, D., & TM, B. (1997). Effects of chemical cues on settlement behavior of blue crab *Callinectes sapidus* postlarvae. *Marine Ecology Progress Series*, 154, 143–153.
- Keller, R. P., Geist, J., Jeschke, J. M., & Kühn, L. (2011). Invasive species in Europe: Ecology, status, and policy. In *Environmental Sciences Europe* (Vol. 23, Issue 1).
- Leignel, V., Stillman, J. H., Baringou, S., Thabet, R., & Metais, I. (2014). Overview on the European green crab *Carcinus* spp. (Portunidae, Decapoda), one of the most famous marine invaders and ecotoxicological models. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(15), 9129–9144.
- Longmire, K. S., Seitz, R. D., Smith, A., & Lipcius, R. N. (2021). Saved by the shell: Oyster reefs can shield juvenile blue crabs *Callinectes sapidus*. *Marine Ecology Progress Series*, 672, 163–173.
- MacDonald, J. A., Roudez, R., Glover, T., & Weis, J. S. (2007). The invasive green crab and Japanese shore crab: Behavioral interactions with a native crab species, the blue crab. *Biological Invasions*, 9(7), 837–848.
- Marchini, A., Ferrario, J., Sfriso, A., & Occhipinti-Ambrogi, A. (2015). Current

- status and trends of biological invasions in the Lagoon of Venice, a hotspot of marine NIS introductions in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, 17(10), 2943–2962.
- Matozzo, V., Boscolo, A., & Marin, M. G. (2013). Seasonal and gender-related differences in morphometric features and cellular and biochemical parameters of *Carcinus aestuarii* from the Lagoon of Venice. *Marine Environmental Research*, 89, 21–28.
- Mizzan, L. (1993). Presence of swimming crabs of the genus *Callinectes* (Stimpson)(Decapoda, Portunidae) in the Venice Lagoon (North Adriatic Sea-Italy): first record of *Callinectes danae* Smith in European waters. *Bollettino Del Museo Civico Di Storia Naturale Di Venezia*, 42, 31–43.
- Mori, M. (1990). Notes on the reproductive biology of *Carcinus aestuarii* Nardo (Crustacea, Decapoda) from the Lagoon of San Teodora (Island of Sardinia, Italy). *Rivista Di Idrobiologia*, 29, 763–774.
- Prado, P., Peñas, A., Ibáñez, C., Cabanes, P., Jornet, L., Álvarez, N., & Caiola, N. (2020). Prey size and species preferences in the invasive blue crab, *Callinectes sapidus*: Potential effects in marine and freshwater ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245.
- Qyli, M., Aliko, V., & Faggio, C. (2020). Physiological and biochemical responses of Mediterranean green crab, *Carcinus aestuarii*, to different environmental stressors: Evaluation of hemocyte toxicity and its possible effects on immune response. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 231, 108739.
- Ricciardi, F., Matozzo, V., Binelli, A., & Marin, M. G. (2010). Biomarker responses and contamination levels in crabs (*Carcinus aestuarii*) from the Lagoon of Venice: An integrated approach in biomonitoring estuarine environments. *Water Research*, 44(6), 1725–1736.
- Ruiz, G. M., Carlton, J. T., Grpsholz, E. D., & Hines, A. H. (1997). Global Invasions of Marine and Estuarine Habitats by Non-Indigenous Species: Mechanisms, Extent, and Consequences1. *American Zoologist*, 37(6), 621–632.
- Schaffner, L. C., & Diaz, R. J. (1988). Distribution and abundance of overwintering blue crabs, *Callinectes sapidus*, in the lower Chesapeake Bay. *Estuaries*, 11(1), 68–72.
- Solidoro, C., Melaku Canu, D., Cucco, A., & Umgiesser, G. (2004). A partition of the Venice Lagoon based on physical properties and analysis of general circulation. *Journal of Marine Systems*, 51(1), 147–160.
- Tagliapietra, D., Baldan, D., Barausse, A., Buosi, A., Curiel, D., Guarneri, I., Pessa, G., Rismondo, A., Sfriso, A., Smania, D., & others. (2018). Protecting and restoring the salt marshes and seagrasses in the lagoon of Venice. *Management and Restoration of Mediterranean Coastal Lagoons in Europe. Included in the Project "LIFE Pletera (LIFE13 NAT/ES/001001)*, 39–65.
- van Montfrans, J., Ryer, C. H., & Orth, R. J. (2003). Substrate selection by blue

crab *Callinectes sapidus megalopae* and first juvenile instars. *Marine Ecology Progress Series*, 260, 209–217.

Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392.

Yamada, S. B., & Hauck, L. (2001). Field identification of the European Green crab species: *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) and *Carcinus aestuarii* (Nardo, 1847). *Journal of Shellfish Research*.

Young, A. C., Johnson, E. G., Davis, J. L. D., Hines, A. H., Zmora, O., & Zohar, Y. (2008). Do Hatchery-Reared Blue Crabs Differ from Wild Crabs, and Does it Matter? *Reviews in Fisheries Science*, 16(1–3), 254–261.

Zenetos, A., Çinar, M. E., Pancucci-Papadopoulou, M. A., Harmelin, J. G., Furnari, G., Andaloro, F., Bellou, N., Streftaris, N., & Rowius, H. Z. (2005). Annotated list of marine alien species in the Mediterranean with records of the worst invasive species. *Mediterranean Marine Science*, 6(2), 63–118.