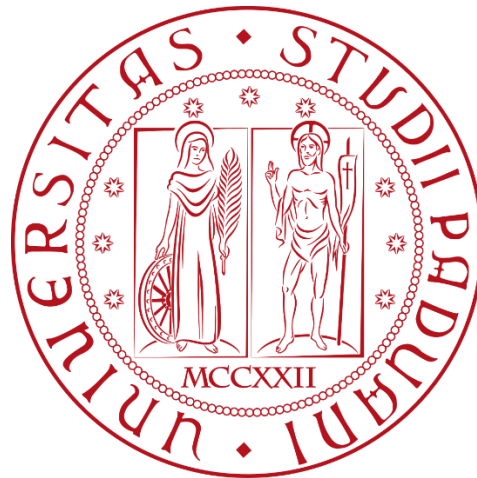


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea in Biologia



ELABORATO DI LAUREA

**Analisi morfologiche del granchio blu,
Callinectes sapidus (Portunidae)**

Tutor: Prof.ssa Carlotta Mazzoldi

Dipartimento di Biologia

Co-tutor: Dott. Filippo Piccardi

Dipartimento di Biologia

Laureanda: Eleonora Zuccollo

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE | 4 |
| 1.1 Morfometria..... | 4 |
| 1.2 Caso di studio..... | 5 |
| 2. OBIETTIVI | 7 |
| 3. MATERIALI E METODI | 8 |
| 3.1 Area di studio..... | 8 |
| 3.2 Raccolta dei dati..... | 8 |
| 3.3 Analisi dei dati..... | 10 |
| 4. RISULTATI | 12 |
| 4.1 Carapace..... | 12 |
| 4.2 Relazione caratteri morfologici..... | 14 |
| 4.3 Differenze fra i sessi..... | 15 |
| 5. DISCUSSIONE | 17 |
| 6. CONCLUSIONE | 18 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 19 |
| 8. SITOGRAFIA | 22 |

1.INTRODUZIONE

1.1 MORFOMETRIA

La tecnica della morfometria geometrica consente di analizzare la variazione delle forme di un oggetto, esaminando le relazioni geometriche che sussistono tra le varie parti, a prescindere dalle dimensioni (Zelditch et al., 2004). Ciò è possibile identificando in tutte le strutture analizzate dei punti omologhi sullo stesso piano, chiamati *landmarks*, che uniti riconducono ad una forma e descrivono adeguatamente la morfologia.

Le misure della taglia (size) dell'oggetto sono riassunte in un valore chiamato "*centroid size*", che corrisponde alla radice quadrata della somma dei quadrati delle distanze tra baricentro e ciascun *landmark*. Successivamente, è necessario effettuare una serie di trasformazioni matematiche di traslazione, scalatura e rotazione, per poter sovrapporre le configurazioni, chiamate nell'insieme Analisi Generalizzata di Procuste (GPA) (Zelditch et al., 2000).

La morfometria geometrica è uno dei metodi più promettenti e utilizzati per lo studio delle variazioni morfologiche nel campo biologico in quanto consente di visualizzare le differenze di forma mantenendo l'integrità biologica delle parti esaminate. Grazie a questa tecnica si possono confrontare le configurazioni assunte da un organismo in vari stadi di vita, determinare quali parti subiscono modifiche più significative rispetto ad altre ed infine determinare se ci sono o meno differenze di forma tra i sessi (Klingerberg, 1998). È inoltre possibile confrontare le forme anche fra diverse specie.

Il seguente studio in particolare si concentra sull'analisi della morfologia del granchio reale blu, *Callinectes sapidus*, con il fine di contribuire all'ottenimento di informazioni sempre più precise e dettagliate sulle strutture anatomiche e sulle variazioni di forma della specie.

L'analisi si è basata su studi precedenti di morfometria effettuati su granchi della famiglia dei Portunidae, i quali si sono focalizzati sulle variazioni di

forma e dimensione che si verificano a livello del carapace, dell'addome e delle chele.

Uno degli studi ai quali mi sono riferita ha investigato la morfometria e il rapporto lunghezza-peso nel granchio dentellato, *Portunus pelagicus* (Linnaeus 1758) pescato lungo le coste di Mandapam in India. I risultati mostrano una crescita allometrica e l'esistenza di una differenza significativa tra i sessi rispetto alla larghezza del carapace (Josileen, 2011).

Un altro studio sul granchio nuotatore blu africano, *Portunus segnis*, ha messo in evidenza il rapporto tra i sessi rispetto al carapace e il fatto che vi è allometria durante la crescita anche in questa specie (Hosseini, 2014).

Studi successivi hanno poi utilizzato la morfometria per indagare l'importanza della forma del carapace nella capacità invasiva di *Dyspanopeus sayi* e *Callinectes sapidus*. È stato osservato come carapaci particolarmente allungati fungerebbero da adattamento difensivo contro i predatori, e una forma ampia nelle femmine contribuirebbe all'efficienza riproduttiva e ad alti valori di fecondità (Farré et al. 2020).

1.2 CASO DI STUDIO: Il granchio reale blu, *Callinectes sapidus*

Il granchio reale blu *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 è un crostaceo decapode della famiglia dei Portunidae, autoctono delle coste atlantiche del continente americano (Prado et al., 2020). Introdotta in Europa nel 1900 attraverso le acque di zavorra delle navi, la specie si è diffusa velocemente in tutto il Mar Mediterraneo diventando una delle specie aliene più invasive (Nehring, 2011; Cilenti et al., 2015; González-Wangüemert and Pujol, 2016). In particolare, la prima segnalazione nella Laguna di Venezia è del 1949 (Giordani-Soika, 1951).

Ai fini dello studio è importante descriverne la morfologia, presentata dettagliatamente da Williams (1974). Il carapace ha forma ellittica, con larghezza maggiore della lunghezza (Fig. 1.2.1).

Il margine frontale del carapace è caratterizzato da due denti orbitali e uno centrale, mentre il margine antero-laterale presenta nove denti, l'ultimo dei quali è molto più sviluppato e chiamato spina.



Figura 1.2.1 Fotografia dorsale di *Callinectes sapidus*

Il sesso è identificato esternamente dalla forma dell'addome, che nel maschio ha una tipica forma a T, mentre nella femmina è inizialmente triangolare e diventa semi-circolare raggiunta la maturità (Fig.1.2.2). Le chele presentano un tipico colore blu con punta rossa nei maschi e arancione con punta viola nelle femmine (Perry et al., 1986). La capacità invasiva del granchio blu deriva dagli ultimi arti posteriori, chiamati *paddle*, che sono appiattiti e adatti al nuoto anche a lunga distanza, e permettono all'animale di diffondersi rapidamente al di fuori del suo areale di introduzione (Carr et al., 2004).



Figura 1.2.2 Fotografie ventrali di *Callinectes sapidus* raffiguranti un individuo maschile (a sinistra) e uno femminile (a destra).

L'habitat varia a seconda della taglia, del sesso e dello stadio di muta (Hines, 2007). I maschi si trovano nelle aree interne degli estuari, mentre gli esemplari femminili migrano verso il mare per il rilascio delle uova. Il ciclo vitale prevede 7 stadi di zoea e uno stadio di megalopa (Epifanio, 2019). A questo stadio, la larva si insedia nell'ambiente estuarino, a livello di letti algali che forniscono rifugio dalla predazione e risorse alimentari (Hines, 2007). Gli adulti preferiscono principalmente fondali fangosi e sabbiosi fino ai 90 m, dove predano un'ampia varietà di specie, tra cui molluschi, pesci e crostacei (Millikin et al. 1984, Mizerek et al. 2011)

2. OBIETTIVI

L'obiettivo di questo studio è quello di migliorare la conoscenza della biologia della specie, verificando se ci siano variazioni morfologiche durante la crescita e se siano presenti caratteri secondari sessualmente dimorfici. Particolare attenzione è stata posta alle strutture corporee maggiormente soggette a modifiche in seguito allo sviluppo dell'individuo e cioè carapace, addome, chele e *paddle*.

3. MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio

La Laguna di Venezia si estende lungo le coste centro-settentrionali e meridionali del Veneto, su una superficie di circa 550 km² (Fig 3.1). Il territorio è l'ecosistema lagunare più esteso del bacino del Mediterraneo ed è stato riconosciuto patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO nel 1987 (<https://whc.unesco.org/en/list/394>). La Laguna è collegata al Mar Adriatico da tre bocche di porto che permettono lo scambio di acqua con il mare: bocca di porto di Lido, bocca di porto di Malamocco e, infine, bocca di porto di Chioggia (Brambati et al., 2003).

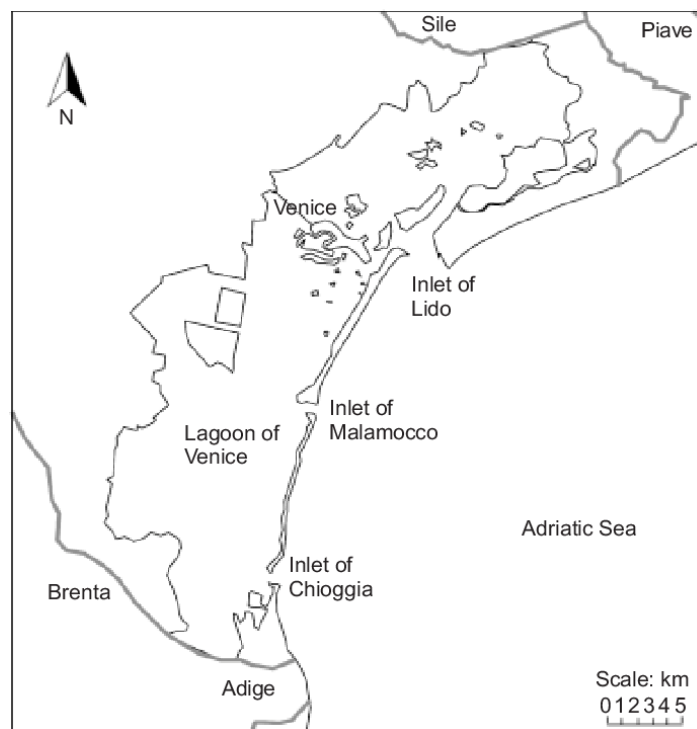


Figura 3.1 Laguna di Venezia (Ponzoni et al., 2014)

3.2 Raccolta dei dati

Per questo studio un totale di 150 granchi è stato catturato da pescatori professionisti in Laguna di Venezia e in Nord Adriatico. Successivamente, i granchi sono stati portati alla Stazione Idrobiologica di Chioggia del Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Padova e posti in congelatore (-20°C) in sacchetti di plastica etichettati con data e luogo di

recupero, al fine di preservare al meglio gli animali in attesa di essere processati.

In seguito allo scongelamento in acqua calda, per ogni singolo esemplare sono stati raccolti i seguenti dati: sesso, peso (tramite l'uso di una bilancia di precisione Radwag modello PS 4500/C/1 con errore ± 0.01 g) e stadio del ciclo vitale (giovanile o adulto). Si può definire adulto un granchio la cui larghezza del carapace superi i 10 cm (Van Engel, 1958).

Ogni esemplare è stato poi posizionato su sfondo neutro con arti allungati e chele aperte e fotografato, ponendo di fianco un riferimento metrico. Per ogni esemplare sono state scattate un minimo di tre foto, nello specifico una dorsale del carapace, una ventrale dell'addome e una degli arti (Fig 3.2.1). Successivamente le foto sono state utilizzate per la digitalizzazione dei *landmarks* e per le misurazioni lineari sulla base di studi simili precedenti (Josileen, 2011). Tramite il software TpsDig232 sono stati dunque misurati la larghezza del carapace (CW), la lunghezza del carapace (CL), la larghezza dell'addome (Abw), la lunghezza dell'addome (AbL), la lunghezza della chela (ChL), l'altezza della chela (ChH), la lunghezza (PL) e l'altezza del *paddle* (PH), con errore ± 0.01 cm. Quando possibile, se non mancanti o danneggiate, per le chele e i *paddle* sono stati misurati sia il destro che il sinistro. La raccolta dati è stata effettuata selezionando gli individui che presentavano almeno una delle chele e un *paddle* e che non fossero molto danneggiati a livello delle spine laterali del carapace. In totale il campione comprende 134 individui, 78 maschi e 56 femmine.



Figura 3.2.1 Esempio di fotografia dorsale, ventrale e degli arti di *Callinectes sapidus*

3.3 Analisi dei dati

Per lo studio mediante morfometria geometrica sono stati scelti 24 *landmarks* sul carapace, in modo da descriverne al meglio la morfologia (Tabella 3.3.1; Figura 3.3.1) basandosi sulla letteratura disponibile (Rufino et al., 2006; Hopkins and Thurman, 2010; Sanchez et al., 2013; Idzskin et al., 2013; Alencar et al., 2014; Duarte et al., 2014; Torres et al., 2014; Silva et al., 2014). La digitalizzazione dei *landmarks* e le misurazioni lineari sono stati ottenuti grazie al software TpsDig232. I *landmarks* per ogni animale sono stati presi una seconda volta a distanza di un mese in modo tale da ridurre l'errore dato dalla soggettività del posizionamento dei punti di riferimento.

I file generati per i *landmarks* sono stati infine trasferiti nel programma MorphoJ, ottenendo la rappresentazione grafica della distribuzione di tutti i *landmarks* analizzati. Per fare ciò è stata effettuata la trasformazione di Procrustes, così che le configurazioni avessero un baricentro comune e venissero ruotate, eliminando le differenze non collegate alla forma geometrica, e riscalate, per eliminare differenze dimensionali (Zelditch et al., 2000). Successivamente, è stata eseguita l'Analisi delle Componenti Principali (PCA), quindi una regressione multivariata delle coordinate di Procrustes con lo scopo di determinare le traiettorie di crescita e identificare i cambiamenti morfologici rispetto al logaritmo del centroide e dunque alle dimensioni.

Sono state inoltre calcolate, attraverso excel, le medie delle misurazioni di ciascun elemento per poter confrontare le differenze esistenti tra adulti e giovanili e tra maschi e femmine. Inoltre, le relazioni fra le diverse misure sono state analizzate calcolando i valori del coefficiente di correlazione (r).

Infine, l'analisi della varianza (ANOVA) ha permesso di confrontare le differenze morfologiche sulla base del sesso, calcolandone la variabilità interna al singolo gruppo e la variabilità tra i due gruppi.

Tabella 3.3.1. Descrizione dei landmark usati per caratterizzare la forma del carapace dei granchi analizzati (Rufino et al., 2006; Hopkins and Thurman, 2010; Sanchez et al., 2013; Idazskin et al., 2013; Alencar et al., 2014; Duarte et al., 2014; Torres et al., 2014; Silva et al., 2014)

| POINT | DEFINITION |
|-------|--|
| 1 | Middle point of the outer frontal margin of the carapace |
| 2 | Tip of the anterior tooth of the left side of the carapace |
| 3 | Tip of the first anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 4 | Tip of the second anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 5 | Tip of the third anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 6 | Tip of the fourth anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 7 | Tip of the fifth anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 8 | Tip of the sixth anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 9 | Tip of the seventh anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 10 | Tip of the eight anterolateral tooth of the left side of the carapace |
| 11 | Tip of the last anterolateral spine of the left side of the carapace, indicating the maximum width of the carapace along with landmark 15 |
| 12 | Maximum curvature of the posterior margin of the left side of the carapace |
| 13 | Middle point of the outer posterior margin of the carapace |
| 14 | Maximum curvature of the posterior margin of the right side of the carapace |
| 15 | Tip of the last anterolateral spine of the right side of the carapace, indicating the maximum width of the carapace along with landmark 11 |
| 16 | Tip of the eight anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 17 | Tip of the seventh anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 18 | Tip of the sixth anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 19 | Tip of the fifth anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 20 | Tip of the fourth anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 21 | Tip of the third anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 22 | Tip of the second anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 23 | Tip of the first anterolateral tooth of the right side of the carapace |
| 24 | Tip of the anterior tooth of the right side of the carapace |



Figura 3.3.1. La foto mostra il posizionamento dei 24 landmarks (punti rossi) sul carapace.

4. RISULTATI

4.1 CARAPACE

La seguente figura mostra la variazione della posizione dei 24 *landmarks* sui carapaci dopo la trasformazione di Procruste (Fig. 4.1.1).

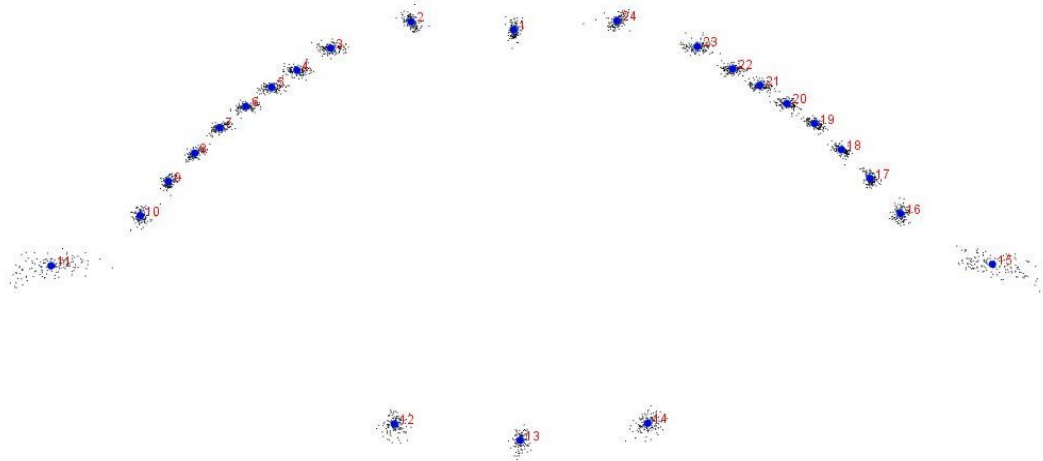


Figura 4.1.1. Variazione della posizione dei 24 *landmarks* sui carapaci dopo la trasformazione di Procruste. La nuvola di punti rappresenta le posizioni dei *landmarks* dei singoli individui, mentre il punto più grande rappresenta la posizione media dei *landmarks*, numerati in senso antiorario

L'analisi delle componenti principali (PCA) evidenzia come la prima componente principale (PC1) da sola spieghi il 62.72 % della varianza, mentre lungo l'asse della seconda componente principale (PC2) si ha una variazione di forma dell'8.47% (Fig. 4.1.2).

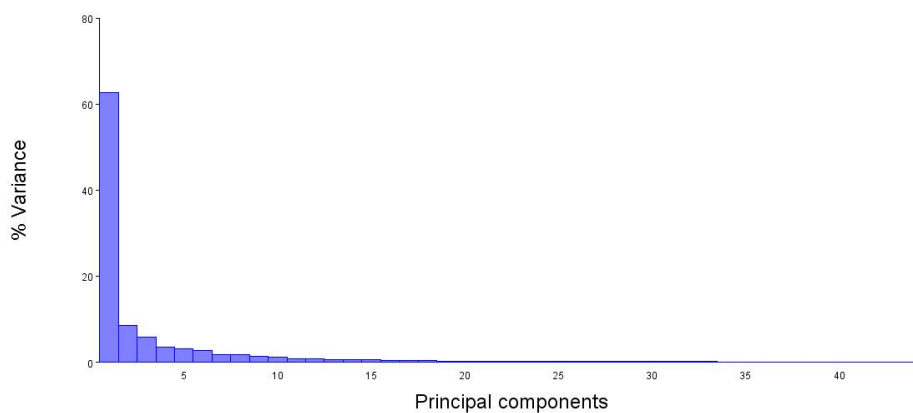


Figura 4.1.2 Grafico della varianza del campione dei carapaci spiegata dai diversi assi della PCA.

Dallo *score plot* ottenuto in seguito all'analisi delle componenti principali (Fig. 4.1.3) è possibile osservare la distribuzione dei campioni rispetto alla PC1 e alla PC2.

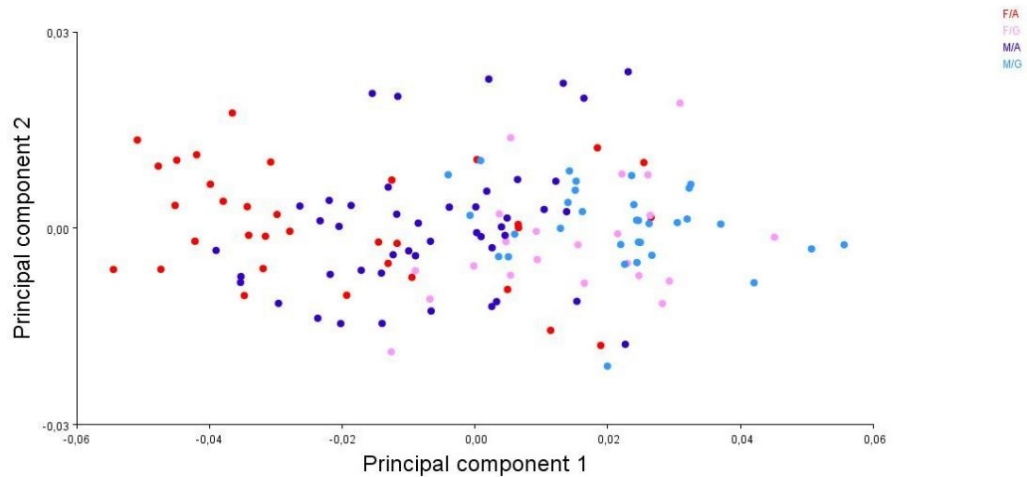


Figura 4.1.3 Grafico delle componenti principali. I colori sono associati al sesso (F/M) e allo stadio di sviluppo (G/A).

I risultati dell'ANOVA di Procrustes calcolata in base al sesso e allo stadio di sviluppo mostrano come il centroide sia significativamente diverso solo per lo stadio di sviluppo e non per il sesso, mentre la forma risulta significativamente diversa per entrambi i fattori (Tab. 4.1).

Tabella 4.1 Risultati della Procrustes ANOVA con sesso e stadio di sviluppo usati come classificatori.

| EFFECT CENTROID SIZE | Somma quadratica | Media quadratica | Gradi di libertà | F | P |
|----------------------|------------------|------------------|------------------|--------|--------|
| SESSO | 3.363 | 3.363 | 1 | 0.28 | 0.597 |
| STADIO | 2117.911 | 2117.911 | 1 | 177.29 | <.0001 |
| INDIVIDUAL | 1564.92 | 11.946 | 131 | | |

| EFFECT SHAPE, PROCUSTES ANOVA | Somma quadratica | Media quadratica | Gradi di libertà | F | P | Pillai trace | P |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------|--------|--------------|--------|
| SESSO | 0.006 | 0.001 | 44 | 8.54 | <.0001 | 0.62 | <.0001 |
| STADIO | 0.032 | 0.001 | 44 | 49.96 | <.0001 | 0.76 | <.0001 |
| INDIVIDUAL | 0.085 | 0 | 5764 | | | | |

Il seguente grafico (Fig. 4.1.4) mostra, infine, la regressione che si ottiene tra il logaritmo del *centroid size* e il *regression score*, che descrive la variazione di forma.

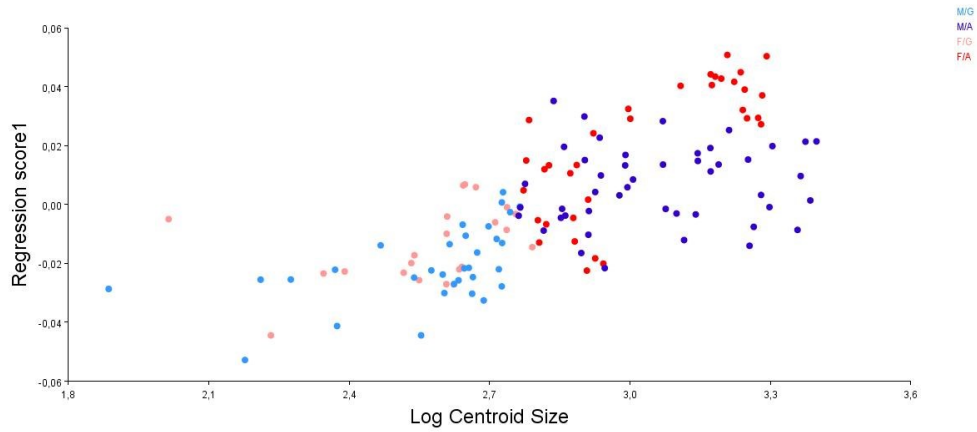
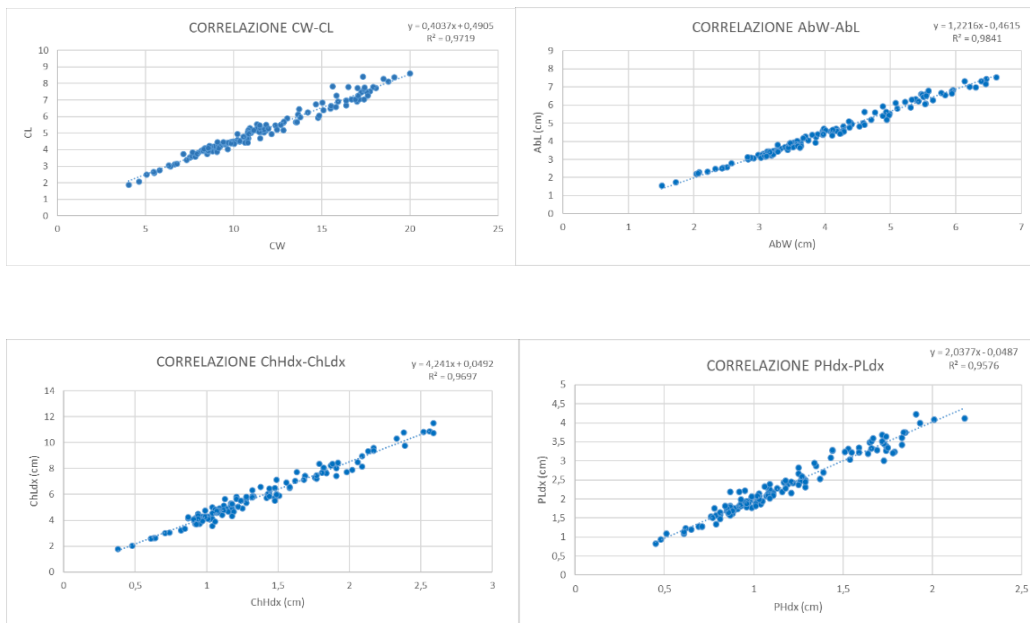


Figura 4.1.5 Grafico della regressione tra logaritmo del centroid size e il regression score. I colori sono associati al sesso (F/M) e allo stadio di sviluppo (G/A).

4.2 RELAZIONE CARATTERI MORFOLOGICI

Sono stati calcolati i coefficienti di correlazione (r) tra diversi caratteri morfologici. I risultati mostrano un andamento lineare con correlazione positiva (Figura 4.2.1).



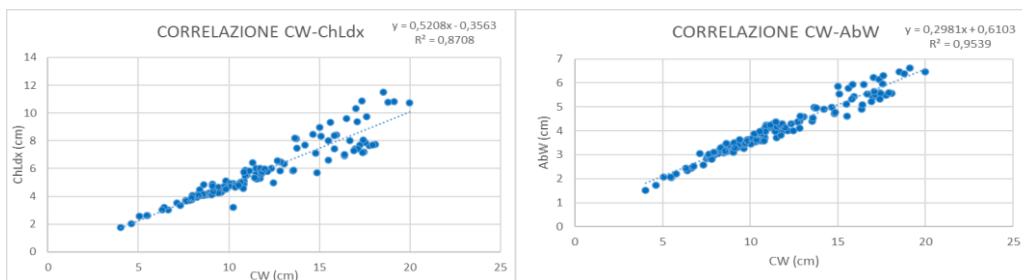


Figura 4.2.1 Relazioni tra diversi caratteri morfologici: larghezza (CW) e lunghezza (CL) del carapace; larghezza (AbW) e lunghezza (AbL) dell'addome; altezza (ChHdx) e lunghezza (ChLdx) della chela destra; altezza (PHdx) e lunghezza (PLdx) del paddle destro; larghezza del carapace (CW) e lunghezza della chela (ChLdx); larghezza del carapace (CW) e larghezza dell'addome (AbW).

Sono stati poi calcolate le relazioni tra la larghezza e la lunghezza del carapace e tra la larghezza del carapace e la lunghezza media delle chele. I risultati mostrano una leggera allometria negativa nel primo caso e allometria positiva nel secondo (Fig. 4.2.2).

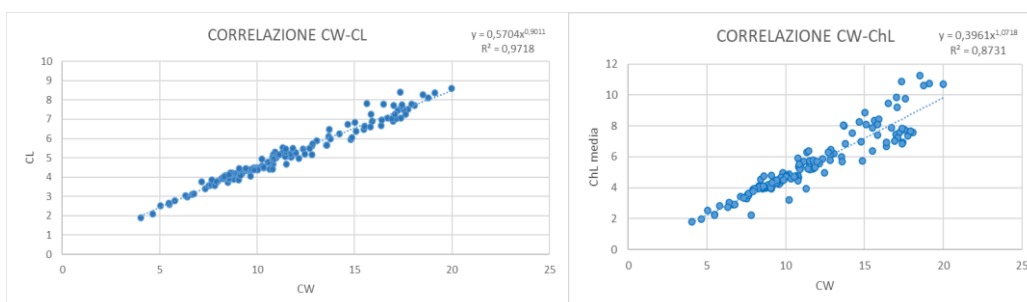


Figura 4.2.2 Relazione allometrica tra caratteri morfologici: larghezza (CW) e lunghezza del carapace (CL); larghezza del carapace (CW) e lunghezza della chela media (ChL).

4.3 DIFFERENZE FRA I SESSI

Nella seguente tabella sono riportate le medie delle misurazioni lineari più significative per poter confrontare le differenze esistenti tra sessi (Tab 4.3.1).

Tabella 4.3.1 Medie e deviazioni standard delle misurazioni di peso, larghezza del carapace, larghezza dell'addome, lunghezza della chela destra e sinistra e lunghezza del paddle, divise per sesso (M/F) e fase dello sviluppo (G/A)

| SESSO | Media di peso (g) | Media di CW (cm) | Media di AbW (cm) | Media di ChLdx (cm) | Media di ChLsx (cm) | Media di PLdx (cm) |
|--------|-------------------|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| F | 90.65 ±68.86 | 11.62 ± 3.72 | 3.97 ±1.01 | 5.34 ±1.48 | 4.89 ±1.54 | 2.26 ±0.71 |
| A | 126.86 ±65.92 | 13.81 ±3.02 | 4.59 ±0.74 | 6.15 ±1.71 | 5.77 ±1.16 | 2.66 ±0.59 |
| G | 34.69 ±13.63 | 8.22 ±1.41 | 3.02 ±0.48 | 3.93 ±0.70 | 3.55 ±0.99 | 1.61 ±0.26 |
| M | 110.78 ±96.88 | 11.51 ±3.66 | 4.12 ±1.19 | 6.07 ±2.34 | 5.59 ±2.15 | 2.38 ±0.82 |
| A | 162.09 ±96.67 | 13.88 ±2.72 | 4.86 ±0.93 | 7.43 ±2.01 | 6.96 ±1.77 | 2.88 ±0.68 |
| G | 37.03 ±14.99 | 8.11 ±1.48 | 3.05 ±0.52 | 4.01 ±0.78 | 3.74 ±0.81 | 1.66 ±0.33 |
| Totale | 102.37 ±86.57 | 11.56 ±3.67 | 4.06 ±1.12 | 5.77 ±2.05 | 5.29 ±1.95 | 2.33 ±0.77 |

Infine, è riportata l'ANOVA calcolata per il sesso, che mostra le variazioni di alcune misurazioni all'interno del gruppo (M o F) e tra i due gruppi. Nel calcolo sono stati presi in considerazione solamente gli individui adulti (Tab. 4.3.2) e si può osservare come non siano emerse differenze significative nella larghezza del carapace e dell'addome o nella lunghezza del *paddle*, mentre vi è differenza nella lunghezza delle chele.

Tabella 4.3.2 Analisi della varianza ANOVA per verificare differenze fra i sessi. Le variabili considerate sono, in ordine, larghezza del carapace (CW), larghezza dell'addome (AbW), lunghezza della chela destra (ChLdx), lunghezza della chela sinistra (ChLsx) e lunghezza del paddle (PL).

| ANALISI VARIANZA CW | SQ | GdL | MQ | F | P | F crit |
|---------------------|---------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Tra gruppi | 0.089 | 1 | 0.089 | 0.011 | 0.917 | 3.963 |
| In gruppi | 632.604 | 78 | 8.11 | | | |
| Totale | 632.693 | 79 | | | | |

| ANALISI VARIANZA AbW | SQ | GdL | MQ | F | P | F crit |
|----------------------|--------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Tra gruppi | 1.463 | 1 | 1.463 | 1.983 | 0.163 | 3.963 |
| In gruppi | 57.561 | 78 | 0.738 | | | |
| Totale | 59.025 | 79 | | | | |

| ANALISI VARIANZA ChLdx | SQ | GdL | MQ | F | P | F crit |
|------------------------|---------|-----|--------|--------|-------|--------|
| Tra gruppi | 30.888 | 1 | 30.888 | 10.728 | 0.001 | 3.968 |
| In gruppi | 215.943 | 75 | 2.879 | | | |
| Totale | 246.832 | 76 | | | | |

| ANALISI VARIANZA ChLsx | SQ | GdL | MQ | F | P | F crit |
|------------------------|---------|-----|--------|--------|-------|--------|
| Tra gruppi | 25.606 | 1 | 25.606 | 10.776 | 0.001 | 3.973 |
| In gruppi | 171.092 | 72 | 2.376 | | | |
| Totale | 196.698 | 73 | | | | |

| ANALISI VARIANZA PLdx | SQ | GdL | MQ | F | P | F crit |
|-----------------------|--------|-----|-------|-------|-------|--------|
| Tra gruppi | 0.926 | 1 | 0.926 | 2.273 | 0.136 | 3.965 |
| In gruppi | 31.368 | 77 | 0.407 | | | |
| Totale | 32.294 | 78 | | | | |

5. DISCUSSIONE

Dai risultati delle analisi morfometriche eseguite sui 134 individui raccolti, è possibile evidenziare interessanti osservazioni per quanto riguarda le variazioni morfologiche durante la crescita e il dimorfismo sessuale.

Le analisi delle componenti principali (Fig. 4.1.2) indicano che le variazioni maggiori si hanno a livello delle spine, ossia nella larghezza del carapace, seguite poi da una variazione nella lunghezza del carapace stesso.

La percentuale della varianza totale che esse descrivono è molto elevata (62.72%). Tutto ciò evidenzia una crescita allometrica della struttura del carapace: i giovanili sono più larghi in proporzione rispetto agli adulti (CW), mentre gli adulti sono caratterizzati da un carapace più lungo (CL).

Dallo *score plot* (Fig 4.1.3) emerge ancora una volta che il carapace dei giovanili risulta più largo in proporzione rispetto a quello degli adulti. È possibile anche fare delle prime osservazioni a proposito del dimorfismo sessuale per quanto riguarda la forma del carapace. Infatti, si può notare come le femmine adulte abbiano un carapace leggermente più lungo dei maschi adulti, mentre i maschi presentano un carapace più largo e dunque delle spine più lunghe. Si potrebbe ipotizzare che le femmine abbiano un carapace con una forma adatta ad alloggiarvi le uova ed essere probabilmente più idrodinamiche durante la migrazione verso il mare per il rilascio delle uova stesse, mentre i maschi presentino spine allungate più adatte alla competizione (Farré et al. 2020). Nei giovanili invece non è stato riscontrato questo tipo di dimorfismo.

Successivamente, dai risultati delle analisi ANOVA (Tab 4.1) si evince nuovamente il fatto che con la crescita degli individui la forma varia, come varia anche in base al sesso. Le dimensioni invece variano solamente in base allo stadio di sviluppo, mentre gli individui maschi e femmine di stadi corrispondenti non presentano variazioni significative.

Tali osservazioni sono confermate anche dalla regressione tra il logaritmo del *centroid size* e il *regression score* (Fig. 4.1.4).

Per quanto riguarda, invece, le relazioni tra i diversi caratteri morfologici, risulta che vi sia una correlazione lineare positiva (Fig. 4.2.1). All'aumentare della larghezza del carapace si ha un corrispettivo aumento della sua

lunghezza, e ciò vale anche per l'addome, le chele e i *paddle*. Detto ciò, la larghezza del carapace è correlata anche alla larghezza dell'addome e alla lunghezza dei *paddle*. Dalla relazione allometrica tra larghezza e lunghezza del carapace si evince che vi sia crescita allometrica negativa. Risulta infine che l'accrescimento della chela avvenga con una velocità maggiore rispetto al resto del corpo (Fig 4.2.2). Si potrebbe ipotizzare che tale crescita allometrica sia collegata al tipo di alimentazione dell'animale, ossia regoli l'accesso a varie risorse con l'aumentare delle dimensioni e la forza della chela, in modo da infine riuscire a consumare organismi di varia natura (Millikin et al.1984).

Infine, l'analisi delle differenze morfologiche tra i sessi evidenzia ancora una volta dimorfismo sessuale negli adulti. La differenza a livello della lunghezza e la larghezza del carapace non è risultata significativa, ma è significativa per quanto riguarda le dimensioni delle chele, che sono maggiori nei maschi. Ciò è molto probabilmente collegato alla selezione sessuale e la competizione tra maschi, poiché le chele sono armamenti utili per avere la meglio sui rivali, nel momento in cui competono per la conquista della partner (Smith, 1992).

6. CONCLUSIONE

Il presente studio ha permesso di sviluppare un primo quadro generale sulla morfologia del granchio reale blu, rivelando informazioni interessanti circa quali strutture corporee subiscano modifiche in seguito all'accrescimento e rispetto al sesso. Le analisi sono da considerarsi preliminari, in quanto sono state condotte su un numero abbastanza ridotto di individui. Tuttavia, il lavoro può essere alla base di futuri studi, riguardanti ad esempio la correlazione tra morfologia e comportamento dell'animale in base al sesso e allo stadio vitale, oppure tra la morfologia e il successo dell'invasione della specie, non solamente basati sul carapace. Tali indagini potrebbero aiutare nelle azioni di mitigazione dei danni che la specie sta causando negli habitat in cui si è diffuso e dunque nella protezione e conservazione di delicati ecosistemi, quali la Laguna di Venezia.

7. BIBLIOGRAFIA

- Alencar, C. E. R. D., Lima-Filho, P. A., Molina, W. F., & Freire, F. A. M. (2014). Sexual Shape Dimorphism of the Mangrove Crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda, Ucididae) Accessed through Geometric Morphometric. *The Scientific World Journal*, 2014, 206168.
- Brambati, A., Carbognin, L., Quaia, T., Teatini, P., & Tosi, L. (2003). The Lagoon of Venice: Geological setting, evolution and land subsidence. *Episodes*, 26.
- Carr, S. D., Tankersley, R. A., Hench, J. L., Forward, R. B., & Luettich, R. A. (2004). Movement patterns and trajectories of ovigerous blue crabs *Callinectes sapidus* during the spawning migration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(4), 567–579.
- Cilenti, L., Paziienza, G., Scirocco, T., & Fabbrocini, A. (2015). First record of ovigerous *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in the Gargano Lagoons (south-west Adriatic Sea). *BioInvasions Records*, 4(4), 281–287.
- Duarte, R., Ré, A., Flores, A., & Queiroga, H. (2014). Conspecific cues affect stage-specific molting frequency, survival, and claw morphology of early juvenile stages of the shore crab *Carcinus maenas*. *Hydrobiologia*, 724.
- Epifanio, C. E. (2019). Early Life History of the Blue Crab *Callinectes sapidus*: A Review. *Journal of Shellfish Research*, 38(1), 1–22.
- Farré, M., Lombarte, A., Tuset, V., & Abello, P. (2021). Shape matters: Relevance of carapace for brachyuran crab invaders. *Biological Invasions*.
- Giordani-Soika A. (1951). Il *Neptunus pelagicus* (L.) nell'alto Adriatico. *Natura* 42:18–20.
- González-Wangüemert, M., Pujol, J.A. (2016). First record of the atlantic blue crab *Callinectes sapidus* (Crustacea: Brachyura: Portunidae) in the Segura River mouth (Spain, southwestern mediterranean sea). *Turk. J. Zool.* 40, 1–5.

- Hines, A.H. (2007). Ecology of juvenile and adult blue crabs. In: Kennedy, V.S., Cronin, L.E. (Eds.), *The Blue Crab: Callinectes Sapidus. Maryland Sea Grant College*, pp. 565–654.
- Hopkins, M., & Thurman, C. (2010). The geographic structure of morphological variation in eight species of fiddler crabs (Ocypodidae: Genus *Uca*) from the eastern United States and Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society*, 100, 248–270.
- Hosseini, M. (2014). Size at Maturity, Sex Ratio and Variant Morphometrics of Blue Swimming Crab *Portunus segnis* (Forsk., 1775) from Boushehr Coast (Persian Gulf). *Journal of Marine Science and Development*, 04.
- Idaszkin, Y., Márquez, F., & Nocera, A. (2013). Habitat-specific shape variation in the carapaces of crab *Cyrtograpsus angulatus*. *Journal of Zoology*, 290.
- Josileen, J. (2011). Morphometrics and Length-Weight Relationship in the Blue Swimmer Crab, *Portunus Pelagicus* (Linnaeus, 1758) (Decapoda, Brachyura) from the Mandapam Coast, India. *Crustaceana*, 84, 1665–1681.
- Klingenberg, C. P., & McIntyre, G. S. (1998). Geometric Morphometrics of Developmental Instability: Analyzing Patterns of Fluctuating Asymmetry with Procrustes Methods. *Evolution*, 52(5), 1363–1375.
- Millikin, M.R.; Williams, A.B. (1984). Synopsis of Biological Data on the Blue Crab, *Callinectes Sapidus* Rathbun; *Fisheries Synopsis*. Volume 138, pp.1–39.
- Mizerek, T., Regan, H. M., & Hovel, K. A. (2011). Seagrass habitat loss and fragmentation influence management strategies for a blue crab *Callinectes sapidus* fishery. *Marine Ecology Progress Series*, 427, 247–257.
- Nehring, S. (2011). Invasion History and Success of the American Blue Crab *Callinectes sapidus* in European and Adjacent Waters. In B. S. Galil, P. F. Clark, & J. T. Carlton (A c. Di), *In the Wrong Place—Alien Marine Crustaceans: Distribution, Biology and Impacts* (pp. 607–624). Springer Netherlands.

- Perry, H.M., T.D. McIlwain (1986). Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of Mexico)—blue crab. *U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep.* 82(11.55). *U.S. Army Corps of Engineers*, TR EL-82-4. 21pp.
- Prado, P., Peñas, A., Ibáñez, C., Cabanes Vizcarro, 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, 106997.
- Ponzoni, E., Nocilla, A., & Coop, M. (2014). Identification and quantification of transitional modes of behaviour in sediments of Venice Lagoon. *Géotechnique*, 64, 694–708.
- Rufino, M., Abello, P., & Yule, A. (2006). Geographic and gender shape differences in the carapace of *Liocarcinus depurator* (Brachyura: Portunidae) using geometric morphometrics and the influence of a digitizing method. *Journal of Zoology*, 269, 458–465.
- Sanchez, M. L. S., Gorospe, J. G., Gorospe, J. N., Torres, M. A., & Demayo, C. (2013). Describing geographic differences in carapace shape in the blue swimming crab *Portunus pelagicus* from Mindanao Bays, Philippines. *AAFL Bioflux*, 6, 622–634.
- Silva, I., Alves, M., Paula, J., & Hawkins, S. (2010). Population differentiation of the shore crab *Carcinus maenas* (Brachyura: Portunidae) on the southwest English coast based on genetic and morphometric analyses. *Scientia Marina*, 74.
- Smith L. D. (1992). The impact of limb autotomy on mate competition in blue crabs *Callinectes sapidus* Rathbun. *Oecologia*, 89(4), 494–501.
- Torres, M. V., Collins, P. A., & Giri, F. (2014). Morphological variation of freshwater crabs *Zilchiopsis collastinensis* and *Trichodactylus borellianus* (Decapoda, Trichodactylidae) among localities from the middle Paraná River basin during different hydrological periods. *ZooKeys*, 457, 171–186.

- Van Engel, W. (1958). The blue crab and its fishery in Chesapeake Bay. Part 1. Reproduction, early development, growth and migration. *Commercial Fisheries Review*, 20(6), 6–17.
- Williams, A. B. (1974). The swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda: Portunidae). *Fish. Bull., U.S.* 72:685–798.
- Zelditch, M.L., Swiderski D.L., Fink W.L. (2000). Discovery of phylogenetic characters in morphometric data. *Smithsonian Institution Press, Washington*, 37-83 pp.
- Zelditch M. L., Swiderski, D. L., Sheets H. D., Fink W.L. (2004). Geometric Morphometric for Biologists. *Elsevier Ltd: San Diego*, 444 pp.

8. SITOGRAFIA

<https://whc.unesco.org/en/list/394>