



**Lo status di conservazione della testuggine palustre *Emys trinacris* negli ambienti umidi
della Sicilia: un approccio integrato**

Fabrizio Oneto

Dottorato di ricerca XXXIII ciclo

Corso di: SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO (STAT)

Tutor:

Prof. Sebastiano Salvidio

Sommario

Introduzione	9
1.1 Area di studio	12
1.2 Tassonomia, distribuzione, ecologia e biologia di <i>Emys trinacris</i>	29
Ecologia trofica	37
Materiali e metodi.....	39
Risultati.....	43
Discussione	81
Pubblicazioni	88
Bibliografia	90

Autori

Dott. Fabrizio Oneto

Ringraziamenti:

Ringrazio per il fondamentale aiuto e la disponibilità la Dott.ssa Elisa Aleo e la Prof.ssa Salvatrice Vizzini dell'Università degli Studi di Palermo.

Grazie alla Dott.ssa Stefania D'Angelo e al Dott. Dario Ottonello per l'aiuto costante durante l'attività di raccolta dei dati e durante il lavoro di campo.

Un ringraziamento alla Riserva Regionale Integrale "Lago Preola e Gorghi Tondi" ed al suo staff per l'ospitalità e il supporto nelle attività di monitoraggio.

Le analisi isotopiche sono state condotte dal Laboratorio del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare dell'Università degli Studi di Palermo

Riassunto

La ricerca si è rivolta alla testuggine palustre siciliana, *Emys trinacris*, recentemente distinta dalla congenere *Emys orbicularis* (FRITZ et al., 2005; 2006). Si tratta di un endemismo della Sicilia diffuso in tutta la regione in modo frammentato (DI CERBO, 2011), dal livello del mare fino a circa 1000 m slm (MARRONE et al., 2016), che colonizza una buona varietà di ambienti (paludi e lagune, stagni in contesto agropastorale, stagni montani, invasi artificiali) (TURRISI, 2008).

Per quanto riguarda lo studio del trofismo di questa specie, l'analisi delle nicchie trofiche è nel caso specifico rilevante soprattutto per determinare il livello di competizione tra specie (BALZANI et al., 2016) e gli effetti sulla specie target. Tradizionalmente sono applicati studi sui contenuti fecali che tuttavia, pur essendo di facile applicazione, non forniscono informazioni sul lungo periodo e su come cambia la dieta nel tempo (BOECKLEN et al., 2011). Al contrario, l'analisi degli isotopi stabili (SIA) del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) e dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) fornisce informazioni sulle risorse trofiche effettivamente utilizzate oltre che sul comportamento trofico (MIDDELBURG, 2014).

Lo studio è stato condotto in due aree individuate sul territorio siciliano e caratterizzabili da un punto di vista ambientale:

1. Riserva Naturale WWF "Lago Preola – Gorghi Tondi" (TP);
2. Zone umide nella Riserva naturale orientata Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago (PA).

La ricerca è stata svolta attraverso catture periodiche delle testuggini operate negli habitat colonizzati, utilizzando metodologie ampiamente sperimentate in altre popolazioni di *E. orbicularis* nell'Italia continentale (CANESSA et al., 2016) e su *E. trinacris* in Sicilia (OTTONELLO et al., 2016), e condivise a livello ministeriale (LO VALVO et al., 2016). Gli individui sono stati catturati pertanto con l'ausilio di nasse innescate e nasse del tipo "bertovelli" (privi di esca) in funzione della tipologia di ambiente. Le stesse nasse sono state inoltre utilizzate per catturare anche le specie alloctone presenti in coabitazione con *Emys* (prevalentemente pesci, gamberi). Gli animali sono stati stabulati temporaneamente per la raccolta dei parametri morfologici e dei campioni di tessuto e sessaggio. Da tutti gli animali sono prelevati campioni ematici e cornei per la successiva analisi della dieta. La sovrapposizione delle nicchie isotopiche, è stata studiata applicando recenti metodologie di indagine che implicano l'utilizzo di isotopi stabili di Azoto e Carbonio, attraverso prelievi di sangue e di materiale corneo (PEARSON et al., 2013; BALZANI et al., 2016) dalle testuggini palustri e dalle specie potenzialmente competitive. Lo svolgimento delle analisi è stato condotto attraverso una collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare dell'Università di Palermo.

Tutte le analisi sono state svolte con l'ausilio dei pacchetti disponibili nel software R4.04 (R Core Team 2021). Le informazioni sulla variabilità inter- e intraspecifica nell'ampiezza della nicchia isotopica e nella diversità trofica sono state ottenute utilizzando le metriche proposte da LAYMAN et al. (2007) con il pacchetto R SIAR — Stable Isotope Analysis in R (Parnell et al. 2010) e SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R).

Durante le sessioni svolte nel 2018 (2) e 2019 (3) sono state catturate rispettivamente 109 testuggini nella Riserva Lago Preola – Gorghi Tondi e 42 testuggini nella Riserva di Bosco Ficuzza.

Nella Riserva Lago Preola – Gorghi Tondi sono inoltre stati catturati 84 pesci alloctoni: 44 *Cyprinus carpio* e 40 *Gambusia holbrooki*. Così come riportato da OTTONELLO et al., (2021), anche in questo studio i pesci risulterebbero colonizzare esclusivamente il sistema Gorgo Medio – Gorgo Alto, mentre non vi sono pesci nel Gorgo Basso. Nello stagno Gorgo Lungo, non sono stati rinvenuti né pesci né altre specie di testuggini alloctone.

La strategia trofica delle popolazioni di testuggine palustre siciliana nelle aree indagate rispecchia quanto già indicato per *Emys orbicularis* (FICETOLA et al., 2006; OTTONELLO et al., 2021), seguendo uno schema sostanzialmente opportunistico e generalista. Le principali prede sono invertebrati acquatici, mentre sono più rari quelli terrestri (OTTONELLO et al., 2021).

Nel caso della popolazione della Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi, come descritto già da Ottonello et al., (2017), gli individui di testuggine catturati nei Gorghi presentano significative differenze soprattutto per quanto riguarda il Body Condition Index (BCI), per cui è possibile distinguere da una parte gli individui provenienti dal Gorgo Basso e dall'altra quelli provenienti dal sistema Gorgo Medio-Gorgo Alto.

Mettendo a confronto i dati biometrici raccolti nelle due aree di studio, considerando BCI, SCL e peso, gli individui del Gorgo Lungo sono significativamente diversi rispetto agli individui della Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi per tutte le variabili considerate, con testuggini del Gorgo Lungo mediamente più grandi rispetto a quelle provenienti dai siti costieri.

Analizzando i contenuti isotopici del sangue di maschi e femmine di *Emys* non sono rilevate significative differenze confrontando i siti e i periodi di cattura. Confrontando invece i contenuti isotopici del materiale corneo di *Emys*, il Gorgo Basso si differenzerebbe sia da Gorgo Alto sia da Gorgo Medio, mentre Alto e Medio sarebbero simili. Questo sarebbe valido soprattutto per $\delta^{15}\text{N}$, meno evidente invece la variabilità per $\delta^{13}\text{C}$.

OTTONELLO et al. (2016) ipotizzano che le evidenti differenze sia biometriche sia nella produttività e nell'accrescimento delle testuggini rilevabili fra Gorgo Basso e sistema Gorgo Alto e Gorgo Medio possano essere ricondotte alla presenza solo nel Gorgo Alto e Gorgo Medio di specie ittiche quali carpa specchio e gambusia, specie che possono avere un impatto rilevante sulla componente macrobentonica dei corpi idrici colonizzati (CAGLE, 1946; GIBBONS, 1982; MACCULLOCH & SECOY, 1983; DUNHAM & GIBBONS, 1990, OTTONELLO et al., 2016). È stato testato per questo anche il contenuto isotopico delle specie ittiche presenti, per valutarne la collocazione nella catena trofica dei siti considerati.

Applicando le metriche proposte da LAYMAN et al. (2007a), considerando le tracce isotopiche delle unghie di *Emys*, si osserva come i valori di NR e CR siano sostanzialmente paragonabili nelle testuggini provenienti dai singoli Gorghi. Confrontando testuggini e pesci i valori di NR sarebbero leggermente più alti in *Emys* rispetto alle carpe e affini con gambusia indicando una simile capacità di sfruttare le risorse ai diversi livelli trofici, anche i valori di CR sarebbero sostanzialmente simili fra *Emys* e pesci. I valori di TA e CD nelle testuggini del Gorgo Medio e Alto sono più bassi rispetto soprattutto nel Gorgo Alto indicando una maggiore ampiezza, seppur lieve, della nicchia

trofica nei pesci. Confrontando i dati ottenuti fra Gorgo Basso e Gorgo Medio/Alto, anche in questo caso Gorgo Basso conferma di avere un andamento diverso rispetto agli altri due, con valori nel complesso maggiori attestando nicchie trofiche e disponibilità di risorse maggiori rispetto a Gorgo Alto e Medio.

L'ellisse standard corretta (SEAc), nel caso delle tracce isotopiche delle unghie di *Emys*, conferma visivamente quanto descritto, riportando una sostanziale sovrapposizione fra le nicchie isotopiche delle testuggini nei diversi siti, con una nicchia molto più ampia per quelle provenienti dal Gorgo Basso. Queste ellissi si sovrappongono solo parzialmente con quelle delle testuggini del Gorgo Alto e Medio.

Analizzando le nicchie isotopiche e la loro sovrapposizione in maschi e femmine del Gorgo Lungo, i valori delle metriche di Layman sono sostanzialmente affini se consideriamo i campioni derivati dalle unghie, con una maggiore variabilità di fonti basali nei maschi (CR maschi > CR femmine) e al contrario una maggiore capacità delle femmine di sfruttare le risorse disponibili (NR maschi < NR femmine). I maggiori valori di TA e CD nelle femmine, infine, indicherebbero una nicchia trofica più ampia. Queste ipotesi sarebbero confermate anche dalle ellissi calcolate per maschi e femmine, che risulterebbero sostanzialmente sovrapposte, ma con una maggiore ampiezza per quella relative alle femmine.

Gli isotopi di carbonio e azoto possono essere utilizzati per collocare un animale rispetto alle potenziali fonti di cibo e ad altri animali coesistenti nello stesso ecosistema.

nel caso della popolazione del Lago Preola e Gorghi Tondi le testuggini dimostrerebbero di occupare diversi livelli trofici, con una maggiore attitudine per una dieta carnivora. In questo panorama esisterebbero sostanziali differenze fra i siti, per cui gli animali del Gorgo Basso sarebbero più generalisti rispetto a Gorgo Alto e Medio. Analogamente, l'esistenza di differenze significative nei livelli isotopici nel sangue delle testuggini, considerando il mese di prelievo, nel periodo giugno-settembre, conferma l'esistenza di una strategia trofica opportunistica soprattutto a fine estate, prediligendo risorse diverse in funzione della stagione e probabilmente della loro disponibilità.

Al contrario le specie ittiche analizzate, sembrerebbero avere una dieta più spiccatamente erbivora nelle carpe e onnivora nelle gambusie, sovrapponendosi solo in parte con le abitudini alimentari di *Emys*.

Nel caso della popolazione del Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza), considerando il sangue delle testuggini catturate, vi sarebbe una significativa differenza fra maschi e femmine, non osservata nei Gorghi Tondi, sia per $\delta^{15}\text{N}$ che per $\delta^{13}\text{C}$. In particolare i maschi presenterebbero valori maggiori per entrambi gli isotopi rispetto alle femmine, indicando una dieta maggiormente carnivora. Questo risultato non è tuttavia confermato dalle tracce isotopiche presenti nel materiale corneo (che generalmente fornisce indicazioni sulla dieta relativa ad un periodo di tempo maggiore rispetto al sangue), portando a ipotizzare un sostanziale allineamento dei sessi nello spazio trofico. Allo stesso modo non sono presenti differenze rispetto ai mesi di campionamento, confermando rispetto a quanto visto nei Gorghi Tondi una dieta più routinaria delle testuggini del Gorgo Lungo.

La dieta delle testuggini del Gorgo Lungo, infine, appare significativamente diversa rispetto a quella degli animali provenienti dai Gorghi Tondi. Le testuggini di Bosco Ficuzza presentano livelli significativamente più bassi

di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, indicando una dieta maggiormente onnivora e meno opportunistica, come confermato dalla nicchia isotopica del Gorgo Lungo completamente dissociata dalle altre.

Abstract

The research turned to the Sicilian pond turtle, *Emys trinacris*, recently distinguished from the congener *Emys orbicularis* (FRITZ et al., 2005; 2006). It is an endemism of Sicily spread throughout the region in a fragmented way (DI CERBO, 2011), from sea level up to about 1000 m asl (MARRONE et al., 2016), which colonizes a good variety of environments (marshes and lagoons, ponds in agro-pastoral context, mountain ponds, artificial reservoirs) (TURRISI, 2008).

With regard to the study of the trophism of this species, the analysis of trophic niches is particularly relevant in this specific case to determine the level of competition between species (BALZANI et al., 2016) and the effects on the target species. Studies on fecal contents are traditionally applied which, however, although easy to apply, do not provide information on the long term and on how the diet changes over time (BOECKLEN et al., 2011). On the contrary, the analysis of the stable isotopes (SIA) of carbon ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) provides information on the trophic resources actually used as well as on trophic behavior (MIDDELBURG, 2014).

The study was conducted in two areas identified on the Sicilian territory and characterized from an environmental point of view:

1. WWF Nature Reserve "Lago Preola - Gorgi Tondi" (TP);
2. Wetlands in the Bosco della Ficuzza nature reserve, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere and Gorgo del Drago (PA).

The research was carried out through periodic captures of terrapins operated in colonized habitats, using methodologies widely tested in other populations of *E. orbicularis* in mainland Italy (CANESSA et al., 2016) and on *E. trinacris* in Sicily (OTTONELLO et al., 2016), and shared at ministerial level (LO VALVO et al., 2016). The individuals were therefore captured with the aid of primed pots and pots of the "bertovelli" type (without bait) depending on the type of environment. The same pots were also used to capture the alien species present in cohabitation with *Emys* (mainly fish, shrimp). The animals were temporarily housed for the collection of morphological parameters and tissue and sexing samples. Blood and horn samples are taken from all animals for subsequent dietary analysis. The overlap of isotopic niches has been studied by applying recent investigation methodologies that involve the use of stable isotopes of Nitrogen and Carbon, through blood and horny material samples (PEARSON et al., 2013; BALZANI et al., 2016) from marsh terrapins and potentially competing species. The analysis was carried out through a collaboration with the Department of Earth and Sea Sciences of the University of Palermo.

All analyzes were carried out with the help of the packages available in the R4.04 software (R CORE TEAM 2021). Information on inter- and intraspecific variability in isotopic niche size and trophic diversity was obtained

using the metrics proposed by LAYMAN et al. (2007) with the package R SIAR - Stable Isotope Analysis in R (Parnell et al. 2010) and SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R).

During the sessions held in 2018 (2) and 2019 (3), 109 terrapins were captured respectively in the Lago Preola Reserve - Gorghi Tondi and 42 terrapins in the Bosco Ficuzza Reserve.

In the Lago Preola - Gorghi Tondi Reserve, 84 allochthonous fish were also caught: 44 *Cyprinus carpio* and 40 *Gambusia holbrooki*. As reported by OTTONELLO et al., (2021), also in this study the fishes appear to colonize exclusively the Gorgo Medio - Gorgo Alto system, while there are no fish in the Gorgo Basso. In the Gorgo Lungo pond, no fish or other species of alien terrapins have been found.

The trophic strategy of the Sicilian terrapin populations in the investigated areas reflects what has already been indicated for *Emys orbicularis* (FICETOLA et al., 2006; OTTONELLO et al., 2021), following a substantially opportunistic and generalist scheme. The main preys are aquatic invertebrates, while terrestrial ones are rarer (OTTONELLO et al., 2021).

In the case of the population of the Lago Preola and Gorghi Tondi Reserve, as already described by OTTONELLO et al., (2017), the individuals of terrapins captured in the 3 Gorghi present significant differences especially as regards the Body Condition Index (BCI), therefore it is possible to distinguish on the one hand the individuals coming from the Gorgo Basso and on the other hand those coming from the Gorgo Medio-Gorgo Alto system.

By comparing the biometric data collected in the two study areas, considering BCI, SCL and weight, the individuals of the Gorgo Lungo are significantly different compared to the individuals of the Lago Preola and Gorghi Tondi Reserve for all the variables considered, with terrapins of the Gorgo Lungo on average larger than those from coastal sites.

Analyzing the isotopic contents of the blood of males and females of *Emys* no significant differences were detected by comparing the sites and periods of capture. On the other hand, comparing the isotopic contents of the horny material of *Emys*, Gorgo Basso would differ from both Gorgo Alto and Gorgo Medio, while Alto and Medio would be similar. This would be valid above all for $\delta^{15}\text{N}$, while the variability for $\delta^{13}\text{C}$ is less evident.

OTTONELLO et al. (2016) hypothesize that the evident differences both biometric and in the productivity and growth of terrapins detectable between Gorgo Basso and the Gorgo Alto and Gorgo Medio systems can be traced back to the presence only in the Gorgo Alto and Gorgo Medio of fish species such as carp and gambusia, species that can have a significant impact on the macrobenthic component of colonized water bodies (CAGLE, 1946; GIBBONS, 1982; MACCULLOCH & SECOY, 1983; DUNHAM & GIBBONS, 1990, OTTONELLO et al., 2016). For this reason, the isotopic content of the fish species present was also tested, to evaluate their position in the trophic chain.

Applying the metrics proposed by LAYMAN et al. (2007a), considering the isotopic traces of *Emys* nails, it is observed that the NR and CR values are substantially comparable in the terrapins coming from the single site. Comparing terrapins and fishes, the NR values would be slightly higher in *Emys* than in carp and allies with gambusia, indicating a similar ability to exploit resources at different trophic levels, also the CR values would be

substantially similar between *Emys* and fish. The values of TA and CD in the terrapins of the Gorgo Medio e Alto are lower than especially in the Gorgo Alto indicating a greater amplitude, albeit slight, of the trophic niche in the fish. Comparing the data obtained between Gorgo Basso and Gorgo Medio / Alto, also in this case Gorgo Basso confirms that it has a different trend compared to the other two, with overall higher values attesting to trophic niches and availability of greater resources than Gorgo Alto and Medio.

The corrected standard ellipse (SEAc), in the case of the isotopic traces of *Emys* nails, visually confirms what has been described, reporting a substantial overlap between the isotopic niches of the terrapins in the different sites, with a much wider niche for those coming from Gorgo Basso. These ellipses overlap only partially with those of the Gorgo Alto and Medio terrapins.

Analyzing the isotopic niches and their overlap in males and females of the Gorgo Lungo, the values of the Layman metrics are substantially similar if we consider the samples derived from the nails, with a greater variability of basal sources in males (male CR > female CR) and on the contrary, a greater capacity of females to exploit the available resources (NR males < NR females). Finally, the higher values of TA and CD in females would indicate a wider trophic niche. These hypotheses would also be confirmed by the ellipses calculated for males and females, which would substantially overlap, but with a greater amplitude for that relating to females.

The isotopes of carbon and nitrogen can be used to place an animal relative to potential food sources and other coexisting animals in the same ecosystem.

In the case of the population of Lake Preola and Gorgi Tondi, the terrapins would prove to occupy different trophic levels, with a greater aptitude for a carnivorous diet. In this panorama there would be substantial differences among the sites, so the animals of Gorgo Basso would be more generalist than Gorgo Alto and Medio. Similarly, the existence of significant differences in the isotope levels in the blood of terrapins, considering the month of collection, in the period June-September, confirms the existence of an opportunistic trophic strategy especially at the end of summer, preferring different resources according to the season and probably of their availability.

On the contrary, the fish species analyzed would seem to have a more distinctly herbivorous diet in carp and omnivorous in *G. holbrooki*, overlapping only in part with the eating habits of *Emys*.

In the case of the Gorgo Lungo population (Riserva Bosco Ficuzza), considering the blood of the terrapins captured, there would be a significant difference between males and females, not observed in the Gorgi Tondi, both for $\delta^{15}\text{N}$ and for $\delta^{13}\text{C}$. In particular, males would have higher values for both isotopes than females, indicating a more carnivorous diet. However, this result is not confirmed by the isotopic traces present in the horny material (which generally provides indications on the diet relating to a longer period of time than blood), leading to hypothesize a substantial alignment of the sexes in the trophic space. In the same way, there are no differences with respect to the months of sampling, confirming a more routine diet than the Gorgo Lungo terrapins compared to what was seen in the Gorgi Tondi.

Finally, the diet of the Gorgo Lungo terrapins appears significantly different from that of the animals coming from the Gorgi Tondi. The Bosco Ficuzza terrapins have significantly lower levels of $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$, indicating a more omnivorous and less opportunistic diet, as confirmed by the isotopic niche of the Gorgo Lungo completely dissociated from the others.

Introduzione

La più recente normativa in materia di tutela della biodiversità pone l'accento sulla necessità di garantire uno stato di conservazione sufficiente delle specie e degli habitat di interesse comunitario (Dir. 92/43/CEE, DPR 357/97). Una strategia per il raggiungimento di tali obiettivi è quella di focalizzare l'attenzione su specie o su un gruppo di specie che per particolari caratteristiche empatiche o normative possono facilitare l'ottenimento di fondi (specie bandiera) e/o che permettono la realizzazione di interventi di miglioramento o di gestione degli habitat che a cascata portano benefici a numerose altre specie (specie ombrello).

Il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e degli habitat riveste una fondamentale importanza anche per la valutazione degli effetti delle scelte gestionali intraprese, in molti casi di difficile quantificazione, e richiede risorse economiche adeguate per sostenere studi a medio-lungo termine. Per questo motivo spesso sono utilizzati degli indicatori di tipo biologico che permettono di valutare sia le risposte di alcune comunità (es. macroinvertebrati, macrofite) ai fattori di stress nell'organismo (bioindicatori).

Caso di studio in questo contesto possono essere considerate le testuggini palustri europee del genere *Emys*, soprattutto per la loro posizione nelle catene trofiche, per la tipologia e variabilità di habitat utilizzati e/o frequentati e per l'importanza in qualità di specie bandiera. Nel caso specifico della Regione Sicilia, la presenza di *Emys trinacris* in diversi ambienti, naturali e seminaturali, del territorio può essere facilmente sfruttata sia per approfondire l'ecologia e la biologia di una specie ancora relativamente poco conosciuta e l'adattamento di questa nei confronti delle diverse situazioni ambientali e in risposta a possibili pressioni e minacce legate a fattori antropici, che per avere indicazioni sullo stato dell'ambiente e sull'alterazione degli ecosistemi colonizzati.

La ricerca si è rivolta pertanto alla testuggine palustre siciliana, *Emys trinacris*, recentemente distinta dalla congenera *Emys orbicularis* (FRITZ et al., 2005; 2006). Si tratta di un endemismo della Sicilia diffuso in tutta la regione in modo frammentato (DI CERBO, 2011), dal livello del mare fino a circa 1000 m s.l.m. (MARRONE et al., 2016), che colonizza una buona varietà di ambienti (paludi e lagune, stagni in contesto agropastorale, stagni montani, invasi artificiali) (TURRISI, 2008).

Emys orbicularis è inserita nell'All. II della Dir. 92/43/CEE ed è considerata *Data Deficient* (DD) dalla IUCN, soprattutto per il recente splittamento del genere *Emys* in Italia in due specie distinte, mentre per la Lista Rossa italiana è *Endangered* (EN). Il recente Report 2013-2018 inerente la Rete Natura2000 in Italia, che prende in considerazione lo stato di conservazione e il trend delle popolazioni selvatiche delle specie inserite negli allegati della Direttiva 92/43/CEE, definisce come stabile l'andamento delle popolazioni in Sicilia, basandosi però non su dati raccolti sul campo ma solo sul numero di celle 1x1 occupate dalla specie.

Questo è riconducibile a una oggettiva difficoltà nell'ottenere accurati dati di popolazione, anche riguardanti i fattori di pressione e minaccia sul territorio, per l'intero areale di distribuzione, estrapolando analisi e valutazioni da studi specifici limitati a poche popolazioni. Un importante contributo alla conoscenza della biologia di questa specie è pervenuto da uno studio condotto sulla popolazione residente all'interno della Riserva Naturale

WWF “Lago Preola – Gorghi Tondi” (OTTONELLO et al., 2016), presso Mazara del Vallo (TP). Questo studio ha analizzato per tre anni le dinamiche della popolazione, la biologia riproduttiva e l’esistenza di fattori di rischio potenziale per la sopravvivenza della specie a lungo termine verificando preliminarmente l’effetto delle scelte pianificatorie dell’Ente gestore della Riserva per la conservazione della specie (acquisto e destinazione di terreni a fini conservazionistici, regolamentazione degli emungimenti idrici, ecc).

In funzione delle conoscenze attuali si ritiene che il caso studio di *E. trinacris* in Sicilia possa essere un’ottima occasione per confermare la capacità di adattamento a diversi parametri ambientali e climatici (altitudine, copertura vegetazionale, idroperiodo, presenza di competitori) di metapopolazioni della stessa specie sul territorio siciliano presenti in località distinte.

Per quanto riguarda lo studio del trofismo di questa specie, l’analisi delle nicchie isotopiche è nel caso specifico rilevante soprattutto per determinare il livello di competizione tra specie (BALZANI et al., 2016) e gli effetti sulla specie target. Tradizionalmente sono applicati studi sui contenuti fecali che tuttavia, pur essendo di facile applicazione, non forniscono informazioni sul lungo periodo e su come cambia la dieta nel tempo (BOECKLEN et al., 2011). Al contrario, l’analisi degli isotopi stabili (SIA) del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) e dell’azoto ($\delta^{15}\text{N}$) fornisce informazioni sulle risorse trofiche effettivamente utilizzate oltre che sul comportamento trofico (MIDDELBURG, 2014). BALZANI et al. (2016) hanno effettuato uno studio confrontando la dieta di *Emys orbicularis* e *Trachemys scripta elegans* in Provincia di Cremona, mentre ancora poco si conosce sulla possibile competizione fra le testuggini palustri e ad esempio l’ittiofauna alloctona immessa negli invasi. Analogamente non esistono studi di questo tipo su *E. trinacris* in Sicilia, salvo l’analisi svolta da OTTONELLO et al. (2016) sui contenuti fecali della specie nella Riserva Naturale WWF “Lago Preola – Gorghi Tondi”.

Lo studio è stato condotto in due aree individuate sul territorio siciliano e caratterizzabili da un punto di vista ambientale:

3. Riserva Naturale WWF “Lago Preola – Gorghi Tondi” (TP), come prosecuzione ideale della ricerca condotta nel periodo 2014-2016;
4. Zone umide nella Riserva naturale orientata Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago (PA).

La ricerca è stata svolta attraverso catture periodiche delle testuggini operate negli habitat colonizzati, utilizzando metodologie ampiamente sperimentate in altre popolazioni di *E. orbicularis* nell’Italia continentale (CANESSA et al., 2016) e su *E. trinacris* in Sicilia (OTTONELLO et al., 2016), e condivise a livello ministeriale (LO VALVO et al., 2016). Gli individui sono stati catturati pertanto con l’ausilio di nasse innescate e nasse del tipo “bertovelli” (privi di esca) in funzione della tipologia di ambiente. Le stesse nasse sono state inoltre utilizzate per catturare anche le specie alloctone presenti in coabitazione con *Emys* (prevalentemente pesci, gamberi). Gli animali sono stati stabulati temporaneamente per la raccolta dei parametri morfologici e dei campioni di tessuto e sessaggio. Da tutti gli animali sono prelevati campioni ematici e cornei per la successiva analisi della dieta. La sovrapposizione

delle nicchie isotopiche, è stata studiata applicando recenti metodologie di indagine che implicano l'utilizzo di isotopi stabili di Azoto e Carbonio, attraverso prelievi di sangue e di materiale corneo (PEARSON et al., 2013; BALZANI et al., 2016) dalle testuggini palustri e dalle specie potenzialmente competitive. Lo svolgimento delle analisi è stato condotto attraverso una collaborazione con il Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare dell'Università di Palermo.

Tutte le attività di cattura, manipolazione e raccolta dei tessuti sono state condotte previa acquisizione di autorizzazione in deroga al DPR 357/97 n° 0004221 del 01/03/2018, ottenuta dal ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, e autorizzazione in deroga ottenuta dalla Regione Sicilia n° 6683 del 23/03/2018.

1.1 Area di studio

Lo studio è stato condotto in due aree individuate sul territorio siciliano e caratterizzabili da un punto di vista ambientale:

- Riserva Naturale WWF “Lago Preola – Gorghi Tondi” (TP);
 - Riserva naturale orientata Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago (PA).
-
- **Riserva Naturale WWF “Lago Preola – Gorghi Tondi”**

L’area è una depressione carsica con direzione NO-SE, lunga poco più di quattro chilometri e profonda in media 20 m, localizzata nel settore meridionale della Sicilia occidentale ad una distanza di circa un chilometro e mezzo dal mare. Quest’area rientra all’interno di un territorio più vasto in cui è stata istituita con Decreto dell’Assessore Regionale al Territorio ed Ambiente n 640/44 del 4.11.1998 la Riserva Naturale Integrale “Lago Preola e Gorghi Tondi”. La Riserva è stata poi contestualmente affidata in gestione, con apposita convenzione, all’Associazione italiana per il World Wild Life Found For Nature Ong-Onlus (WWF Italia Ong-Onlus).

L’area protetta ha un’estensione di 335,62 ha, di cui 107,5 ricadenti in zona “A”, e 228 in zona “B”, e sebbene sia in gran parte occupata da terreni agricoli, per lo più coltivati a vigna, in circa 100 ha sono presenti importanti associazioni vegetali tipiche degli ambienti d’acqua dolce mediterranei oltre che lembi di boschi di latifoglie sempreverdi.

All’interno di questa depressione naturale, procedendo da Mazara del Vallo verso Torretta Granitola si individuano nell’ordine cinque bacini lacustri: il pantano Murana, esteso su una superficie di circa 6 ha, il lago Preola, distante 500 m dal primo e con una superficie di circa 33 ha e i Gorghi Tondi, una serie di tre bacini lacustri circolari distanti un km dal Preola ed aventi un’estensione compresa tra i 2 e 3 ha ciascuno (Fig. 1). Il lago Preola, di forma allungata ed irregolare è situato ad una quota di 4 m s.l.m. ed è il più prossimo alla costa. I tre Gorghi Tondi (Alto, Medio e Basso) distano circa 1 km dal Preola e sono situati ad una quota alla quota di 3 m s.l.m. (Alto e Medio), e di 6 m s.l.m. (Basso). Le tre conche con acque profonde mostrano condizioni di ambiente lacustre maturo con una batimetria che varia dai 7 ai 12 m di profondità. Si localizzano all’interno di una criptodepressione, in cui il fondo giace al di sotto del livello medio del mare.

La Riserva è coincidente in toto o in parte con i seguenti elementi della Rete Natura2000: ZSC ITA010005 Laghetti di Preola e Gorghi Tondi e Sciare di Mazara, ZPS ITA010031 Laghetti di Preola e Gorghi Tondi, Sciare di Mazara e Pantano Leone. Il sito è inoltre riconosciuto come area Ramsar.

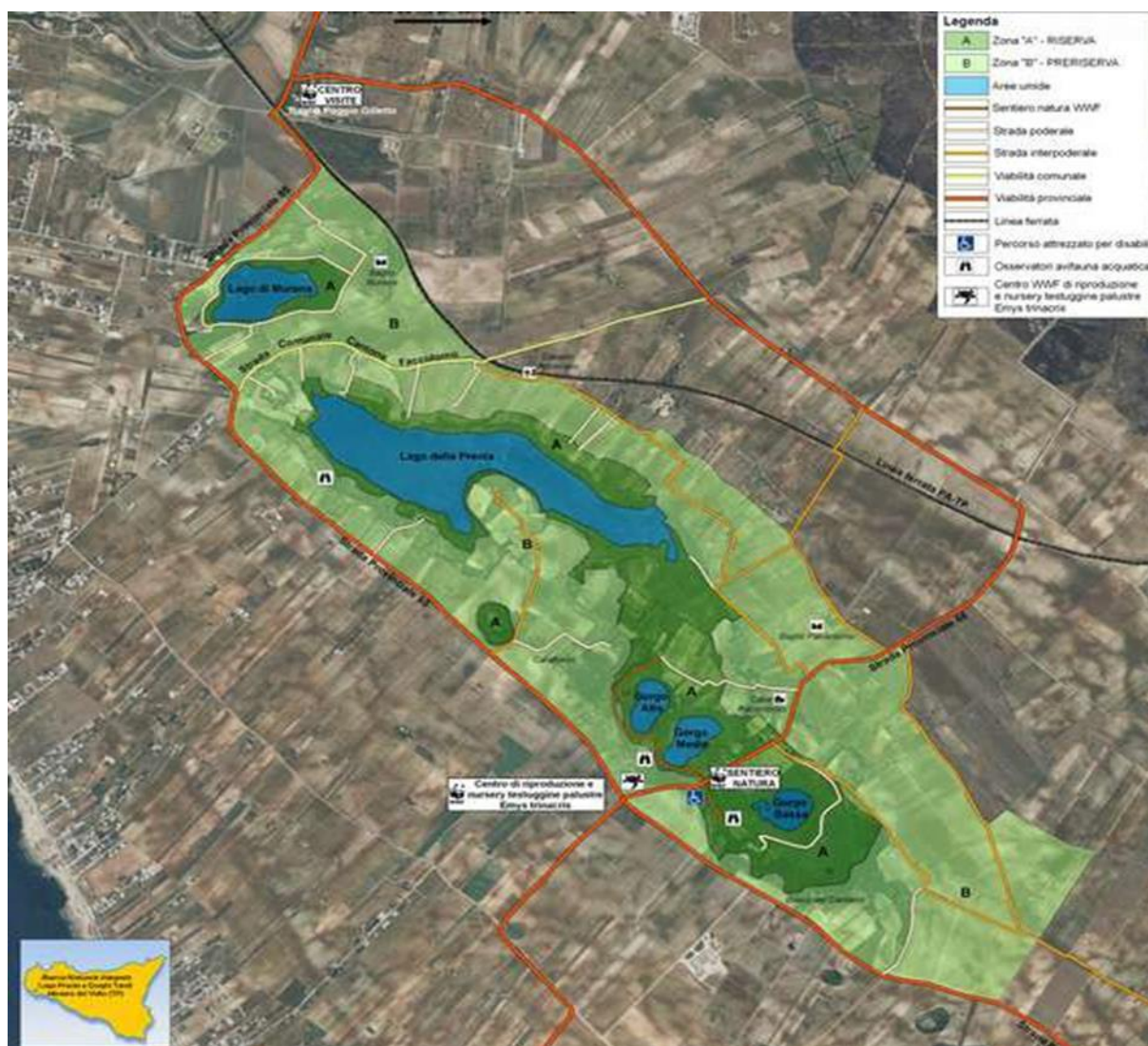


Fig. 1 – Riserva Naturale “Lago Preola – Gorghi Tondi”

ASPETTI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDROLOGICI

L’area, ad eccezione della depressione carsica, si presenta topograficamente pianeggiante con una lieve inclinazione in direzione del mare. L’andamento sub- pianeggiante dell’area, che riflette l’assetto strutturale dei complessi litologici affioranti, è interrotto dalla presenza di alcune doline e da una vasta depressione carsica (lunga 4 km e profonda in media 20 m). L’origine della depressione è legata a fenomeni di crollo della “Calcarenite di Marsala” dovuti a processi di dissoluzione chimica dei gessi sottostanti. Le acque infiltrandosi nel sottosuolo attraverso le fratture generatesi dalla dissoluzione della roccia hanno dato origine ad un sistema carsico sotterraneo, che inizialmente porta allo sviluppo di cavità sotterranee ed in seguito, a causa del crollo della calcarenite sovrastante, determina lo sviluppo di doline. I bacini lacustri si sono originati nei punti in cui i crolli hanno raggiunto la superficie piezometrica della falda sottostante. La loro profondità deriva dalle dimensioni della cavità formatasi in seguito ai crolli e dal rapporto fra la velocità del processo di interrimento da parte dei sedimenti con la velocità dei crolli dovuti ai processi carsici. In questo contesto si spiega la diversità della forma circolare dei

“Gorghi”, impostati su delle “dolines” e del lago Preola, che nonostante abbia la stessa origine, presenta dei limiti di tipo geologico-strutturale, oltre ad un avanzato processo naturale di interrimento accentuato da interventi antropici con finalità di approvvigionamento di suoli fertili.

Per quanto concerne la falda freatica che alimenta i laghi, l’andamento della superficie piezometrica mostra una zona depressa di raccolta proprio in coincidenza della depressione carsica e trova la sua zona di alimentazione verso l’abitato di Castelvetro. I corpi idrici presentano una concentrazione salina maggiore rispetto all’acquifero suggerendo l’esistenza di processi di interazione tra l’acqua e il substrato roccioso, di evaporazione e di rimescolamento con l’acqua marina. Nonostante la falda che alimenta i laghi sia unica, esistono differenze geochemiche delle acque dei singoli laghi. Il lago “Preola”, ad esempio, mostra un più evidente mescolamento con l’acqua di mare, secondo una direzione ovest-est. L’acqua di mare infatti è a diretto contatto con la falda a poche decine di metri dalla costa e non esistono limiti stratigrafici o tettonici, ma solo un limite a potenziale imposto. Questo subisce oscillazioni in funzione del livello della falda e del livello del mare. Le similitudini del chimismo delle acque dei Gorghi e del Preola è indice di un processo di mescolamento nei due sensi, in relazione ai periodi di piena e di magra di quest’ultimo (Fig. 2; CUSIMANO et al., 2006).

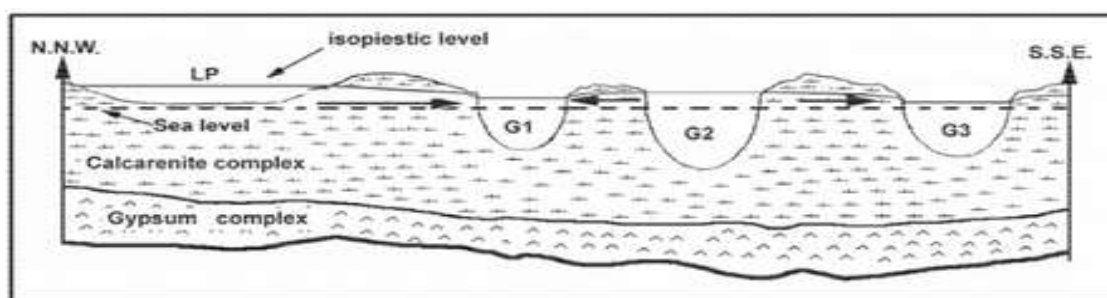


Fig. 2 – Modello di circolazione delle acque sotterranee, LP (Lago Preola), G1 (Gorgo Tondo Alto), G2 (Gorgo Tondo Medio), G3 (Gorgo Tondo Basso) da Cusimano et al. (2006)

I cambiamenti di livello dei laghi sono pertanto determinati dalla quantità di acqua che evapora e dall’abbondanza delle acque sotterranee. In particolare, in ambiente mediterraneo, rivestono particolare importanza per la ricarica della falda le precipitazioni autunnali e invernali, gli unici periodi dell’anno in cui le precipitazioni sono maggiori dell’evapotraspirazione (DUCCI & TRANFAGLIA, 2008). Un deficit idrico in questi periodi può causare una significativa riduzione dell’estensione delle zone umide della Riserva (Fig. 7). Durante uno studio idrogeologico per la stesura di una tesi di laurea, nell’Aprile del 2001, furono effettuate le misurazioni delle profondità dei Gorghi, con i seguenti risultati: Gorgo alto 7,70 m; Gorgo medio 11,79 m e Gorgo basso 7,11 m. Il Lago Preola, si presentava invece come un bacino isolato per la maggior parte dell’anno dalla falda, che si riempiva d’acqua solo in coincidenza di stagioni invernali e autunnali particolarmente piovose. Anche in queste rare occasioni, la sua profondità non superava comunque i 30 cm. A conferma del sofferenza idrica dei corpi idrici all’inizio del III millennio CUSIMANO et al. (2006) rilevarono un incremento nella concentrazione salina dei laghi dal 1969 al 2001, dovuto a: 1) sovra-sfruttamento dei pozzi circostanti 2) diminuzione delle precipitazioni medie

annuali, con un minimo storico nel 1999 3) maggiore evaporazione dovuta all'aumento delle temperature medie annue (Fig. 3).

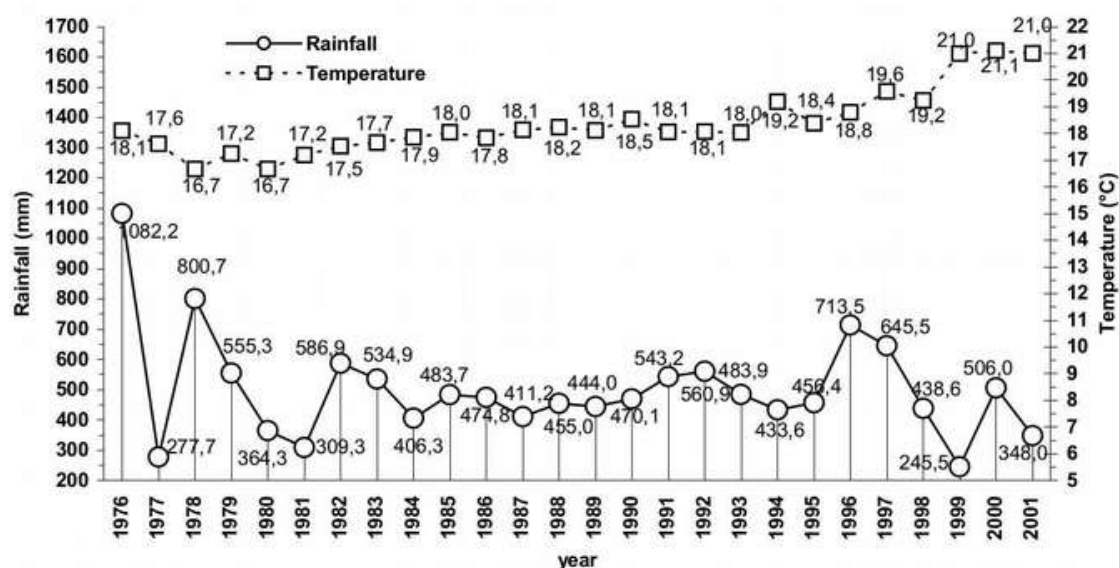


Fig. 3 – Precipitazioni e temperature medie annue dal 1976 al 2001 (Cusimano et al., 2006)

Successivamente nel decennio 2000 - 2009, seppur Trapani sia risultata la provincia più calda d'Italia con una media annua di 18,3°C, fu registrato un incremento delle precipitazioni medie annue a partire dal 2002 con due massimi nel 2004 e nel 2009 (Fig. 4 e 5). Questa tendenza è stata rilevata anche per la stazione meteorologica di Palermo nel periodo 2001 - 2014 con un incremento del 30,7% della precipitazione totale media annua rispetto al valore climatico 1971 - 2000.

In questo nuovo contesto l'aumento delle precipitazioni e la chiusura dei pozzi non autorizzati all'interno dell'area protetta hanno determinato un maggiore approvvigionamento idrico dei bacini lacustri con ripristino della falda sottostante e conseguente affioramento di una abbondante quantità di acqua tuttora presente, tanto che i recenti rilievi batimetri attribuiscono una profondità massima di 11 m per il Gorgo Tondo Basso e il Gorgo Tondo Alto (MARRONE et al., 2016), di 12 m per il Gorgo Tondo Medio e di 2 m per il Lago Preola (BELLANTE et al., 2015). L'innalzamento del livello ha fatto sì che i due corpi lacustri Medio e Alto siano ormai in diretto contatto idrologico superficiale, separati solo da un lembo di vegetazione riparia.

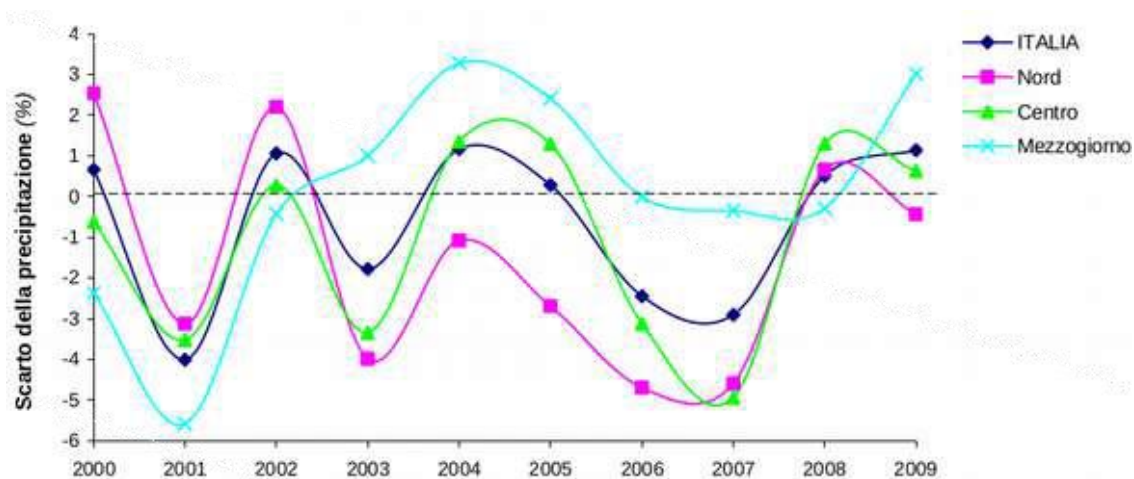


Fig. 4 – Scarto percentuale della precipitazione annua dal corrispondente valore climatico (1971-2000) nel decennio 2000 – 2009 (ISTAT, 2010)

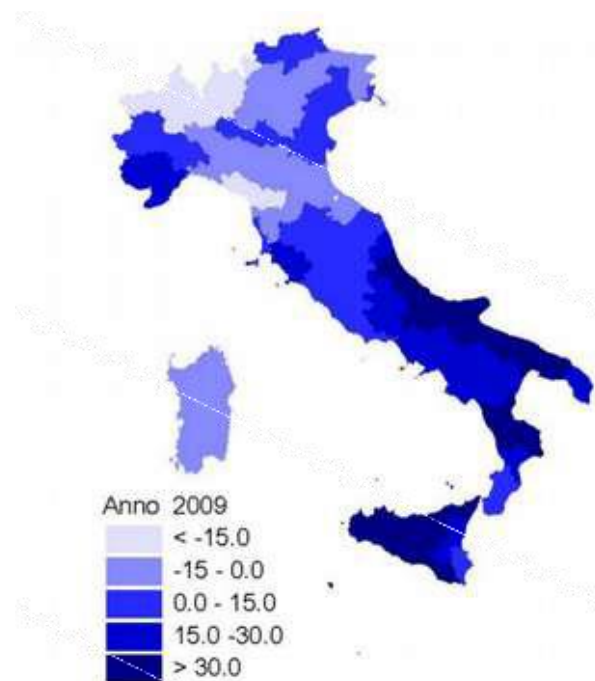


Fig. 5 – Scarto della precipitazione dal valore climatico (1971-2000) nel 2009 (ISTAT, 2010)

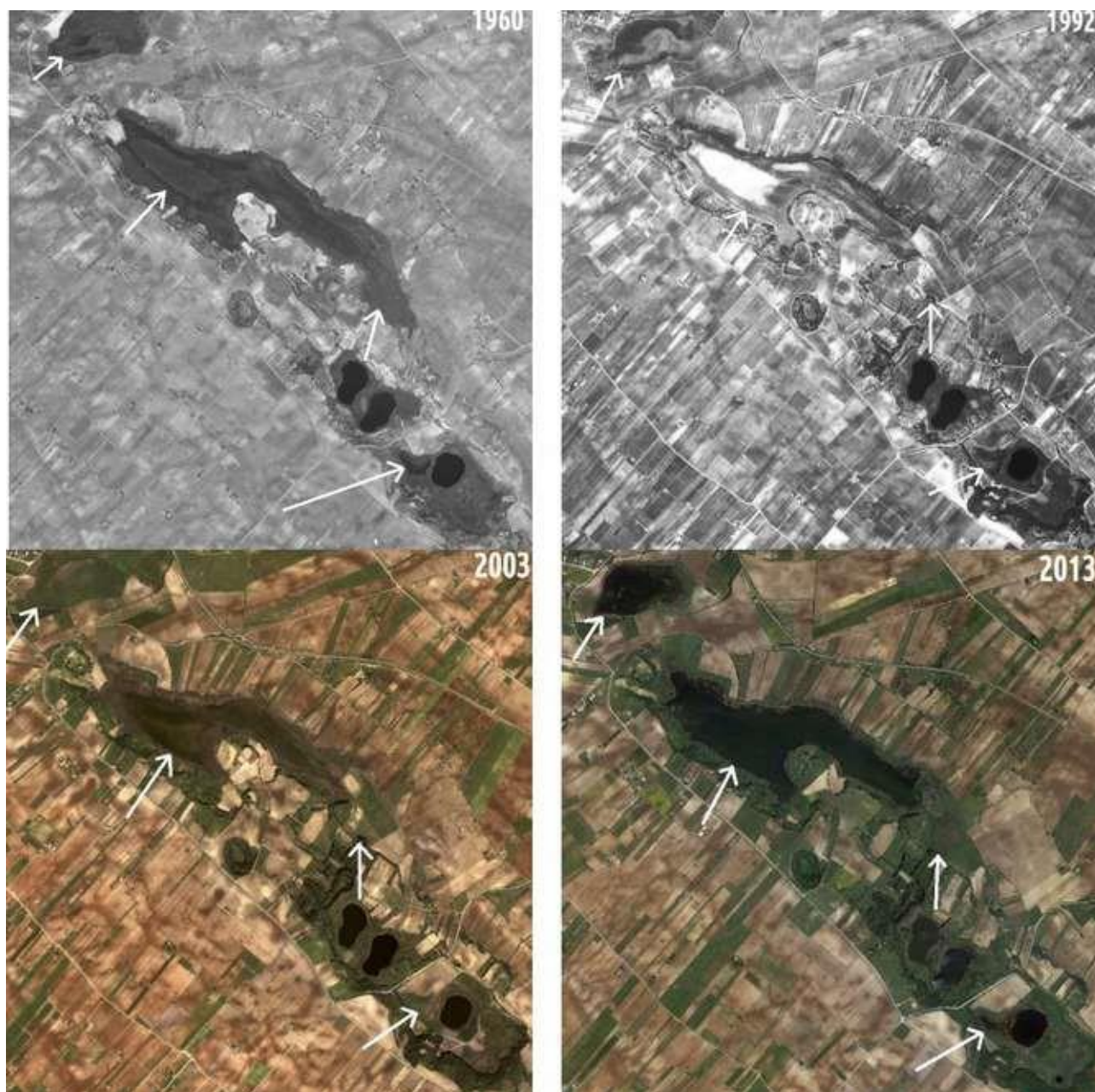


Fig. 6 ed 7 – Ortofoto della RNI “Lago Preola – Gorghi Tondi” del 19.05.1960, 15.07.1992, 26.04.2003, 15.04.2013. In evidenza dall’alto verso il basso: 1) e 2) Variazioni nell’allagamento del Pantano Murana e del Lago Preola con presenza d’acqua nel 1960 e 2013 e asciutta nel 1992 e 2003; 3) Modifiche dell’assetto del Lago Preola con aumento delle superfici agricole tra il 1960 e il 1992 e graduale recupero della naturalità nel 2013; 4) Presenza di un’area inondata con acque basse nel Gorgo Tondo Basso nel 1960 e nel 2013 e asciutta nel 1992 e nel 2003.

ASPETTI FAUNISTICI

L'importanza faunistica dell'area è legata principalmente alla presenza dei bacini lacustri, che rappresentano nel loro insieme un'area umida di notevole importanza per gli uccelli svernati e migratori, che vi si trattengono durante le loro migrazioni primaverili ed estivo- autunnali, sia per riposarsi e recuperare le energie spese durante il volo sia per alimentarsi. Negli ultimi anni, grazie alla riduzione dei fattori di disturbo ed a una maggiore stabilità del livello idrico la potenzialità per l'avifauna è decisamente migliorata. Le osservazioni e i censimenti condotti dall'Ente Gestore, hanno fatto registrare una vera e propria esplosione sia per numero di individui che per numero di specie. Basta menzionare la riproduzione della Moretta tabaccata (*Aythya nyroca*), specie di particolare pregio ritenuta prioritaria per la comunità europea, ed anche quella dell'Anatra marmorizzata (*Marmaronetta angustirostris*), del Fistione turco (*Netta rufina*) e del Pollo sultano (*Porphyrio porphyrio*), specie estinta in Sicilia e reintrodotta tra il 2000 e il 2003 nel settore orientale (Fig. 8), che accrescono l'importanza dell'area per la tutela di specie particolarmente vulnerabili e minacciate a livello comunitario.



Fig. 8 – Individui di Pollo sultano nel Gorgo Tondo Basso (12.08.2014, Ottonello D.)

Altre specie nidificanti sono il Tuffetto (*Tachybaptus ruficollis*), il Tarabusino (*Ixobrychus minutus*), il Germano reale (*Anas platyrhynchos*), la Gallinella d'acqua (*Gallinula chloropus*), la Cannaiola (*Acrocephalus scirpaceus*) e il Gruccione (*Merops apiaster*). Nelle aree agricole le specie più comuni sono il Beccamoschino (*Cisticola juncidis*), il Merlo (*Turdus merula*), il Verzellino (*Serinus serinus*), il Cardellino (*Carduelis carduelis*) ed il Passero di Malta (*Passer hispaniolensis*), mentre nella macchia è onnipresente l'Occhiocotto (*Sylvia*

melanocephala). Decisamente più interessante è l'avifauna in transito, con specie come lo Svasso maggiore (*Podiceps cristatus*), il Cormorano (*Phalacrocorax carbo*), l'Airone cinerino (*Ardea cinerea*), la Nitticora (*Nycticorax nycticorax*), la Garzetta (*Egretta garzetta*), la Cicogna bianca (*Ciconia ciconia*), il Mignattaio (*Plegadis falcinellus*) ed anatre come il Fischione (*Anas penelope*) ed il Codone (*Anas acuta*). Il Falco di palude (*Circus aeruginosus*), la Poiana (*Buteo buteo*) e più raramente il Falco pescatore (*Pandion haliaetus*) utilizzano quest'area per le loro cacce.

Per quanto riguarda i mammiferi, questi non sono strettamente dipendenti dalle acque dei bacini e, ad eccezione dell'Istrice (*Hystrix cristata*) di interesse biogeografico, le rimanenti specie note per la riserva, come la Martora (*Martes martes*), la Donnola (*Mustela nivalis*) il Coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*), la Volpe (*Vulpes vulpes*) ed il Ratto nero (*Rattus rattus*), non rappresentano elementi della fauna siciliana di grande interesse naturalistico.

L'erpetofauna non è particolarmente numerosa. Tra i rettili, oltre alla Testuggine palustre siciliana, sono presenti il Geco comune (*Tarentula mauritanica*), il Geco verrucoso (*Hemidactylus turcicus*), il Gongilo (*Chalcides ocellatus*), la Lucertola campestre (*Podarcis sicula*), la lucertola di Wagler (*Podarcis wagleriana*), il ramarro (*Lacerta bilineata*), il biacco (*Hierophis viridiflavus*) e la natrice dal collare (*Natrix natrix*), mentre tra gli anfibi sono presenti il Rospo comune (*Bufo bufo*), il rospo smeraldino (*Bufotes boulengeri siculus*), la rana verde (*Rana bergeri* e/o *Rana kl. hispanica*) e il discoglossa dipinto (*Discoglossus pictus*).

L'ittiofauna deriva invece da immissioni avvenute in passato. Allo stato attuale delle conoscenze sono state osservate solo due specie, la Gambusia (*Gambusia holbrooki*), specie alloctona di origine americana immessa per la lotta alle zanzare e la Carpa a specchio (*Cyprinus carpio*), anch'essa specie alloctona immessa per scopi alieutici.



Fig. 9– Individuo di *Cyprinus carpio* pescato nei Gorgo Tondo Alto

I pesci sembrano essere localizzati solo nei Gorgi Tondi Medio e Alto, mentre sono assenti dal Gorgo Tondo Basso, dal Lago Preola e dal Pantano Murana.

Le informazioni sugli invertebrati sono poche e riferite a solo alcuni gruppi tassonomici. Per quanto riguarda i crostacei, recenti campionamenti hanno rinvenuto un maggior numero di gruppi tassonomici nel Lago

Preola, mentre la minore ricchezza sia in un numero di individui che di specie è stata osservata nei Gorgi Tondi Medio-Alto (Marrone, com. pers.).

Tra i crostacei merita sicuramente un approfondimento la presenza del gambero rosso della Louisiana (*Procambarus clarkii*), specie alloctona invasiva (Fig. 10). Si tratta di un decapode d'acqua dolce originario degli Stati centro-meridionali degli Stati Uniti d'America, ma che oggi presenta una distribuzione praticamente cosmopolita, essendo stato ormai introdotto in tutti i continenti con esclusione dell'Australia e dell'Antartide). Alcuni aspetti della sua biologia, quali il comportamento alimentare generalista ed opportunista (MILLS et al., 1994), la resistenza alle malattie (LINDQVIST & HUNER, 1999), la respirazione subaerea (HUNER & BARR, 1991), l'estrema plasticità del ciclo biologico (GHERARDI et al., 1999) e l'alta fecondità (HUNER, 1988), lo hanno reso particolarmente adatto all'acquacoltura ed anche un invasore biologico dalle enormi potenzialità.



Fig. 10 – *P. clarkii*, una giornata di cattura presso il Gorgo Tondo Basso

Introdotta in Italia a scopo di allevamento negli anni '80 del secolo scorso è poi fuggita a causa dell'inadeguatezza di molti stabilimenti di acquacoltura, tanto che la prima popolazione riproduttiva fu individuata già nel 1989 in Piemonte. Attualmente è diffuso in quasi tutta la penisola italiana, isole maggiori comprese (GHERARDI, 2006). In Sicilia è stato segnalato per la prima volta proprio nella Riserva Naturale del "Lago Preola – Gorgi Tondi" (D'ANGELO & LO VALVO, 2003), ed attualmente è nota la presenza in un solo altro sito in provincia di Palermo.

Un'ulteriore caratteristica che lo contraddistingue è la resistenza che questa specie manifesta a moderate quantità di inquinanti tanto da rappresentare un serio rischio per la contaminazione dei livelli superiori della catena trofica; ciò a causa principalmente dell'accumulo di metalli pesanti all'interno dei tessuti dell'animale, in particolare nell'epatopancreas (JECKEL et al., 1996). BELLANTE et al. (2015) indagando le concentrazioni di metalli pesanti contenuti nell'epatopancreas e nei muscoli del gambero della Louisiana non

hanno trovato alcuna correlazione sia con le concentrazioni sia con la scala gerarchica rinvenute nei sedimenti del Lago Preola e del Gorgo Tondo Medio. Le concentrazioni di Cu, Zn, Cd e Pb erano significativamente maggiori nei tessuti degli esemplari provenienti dal Gorgo Tondo Medio. Gli autori hanno però rilevato un'elevata concentrazione di Nichel, a dispetto della bassa concentrazione rinvenuta nel sedimento, paragonabile a quelle osservate da altri autori in ambienti altamente inquinati. Allo stesso modo l'Arsenico supera le soglie previste dalla legislazione Australiana e Neozelandese per il consumo umano, come anche il Piombo che, pur presentando una concentrazione media nel muscolo inferiore al valore soglia previsto dall'UE, presenta diversi campioni che lo hanno superato e che sono paragonabili a campioni raccolti in aree altamente industrializzate.

- **Riserva naturale orientata Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago**

La Riserva si estende per complessivi 7.397,49 ettari, di cui 5.333,09 di zona A e 2.064,40 di zona B, interessando gli agri comunali di Corleone, Godrano, Marineo, Mezzojuso e Monreale (Città Metropolitana di Palermo). Già compresa nell'ambito del Piano dei Parchi e delle Riserve naturali della Sicilia (L.R. 98/81 e 14/98), l'area protetta è stata formalmente istituita come riserva naturale orientata con D.A. Territorio ed Ambiente n° 365 del 26 luglio 2000 ed affidata in gestione all'Azienda Foreste Demaniali della Regione Siciliana (GIANGUZZI & LA MANTIA, 2004). Il territorio della Riserva si sviluppa dai 350 metri di quota (Contrada Drago) fino ai 1613 metri di Rocca Busambra, possente massiccio carbonatico la cui dorsale emerge da una vasta coltre argilloso-arenacea, prolungando- si per circa 15 km da ovest (Pizzo Nicolosi, 937 m) ad est (Pizzo di Casa, 1211 m). Fra le altre vette più elevate si ricordano Rocca Ramusa (1276 m), Cozzo Donna Giacomina (1057 m), Pizzo Candreo (1008 m), Cozzo Bileo (1007 m) e Torre del Bosco (957 m). L'area è compresa nella ZSP ITA020048 "Monti Sicani, Rocca Busambra e Bosco della Ficuzza" e ZSC ITA020007 "Boschi Ficuzza e Cappelliere, Vallone Cerasa, Castagneti Mezzojuso".

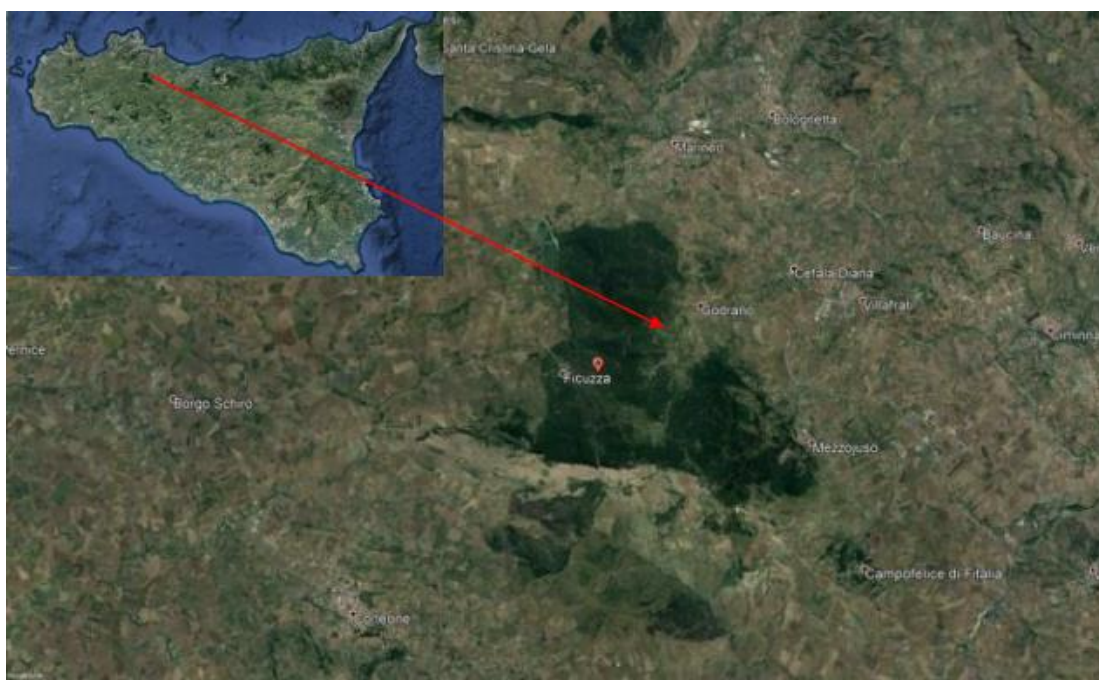


Fig. 11 – Localizzazione area della Riserva naturale orientata Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago

All'interno della Riserva sono noti da tempo diverse zone umide naturali, localmente indicati con il termine di Gorgo o *Vurgu*: ambienti naturali o seminaturali permanenti o dove il ristagno d'acqua si protrae fino alla piena estate (CALDARELLA, 2014). Questi termini si contrappongono a quelli di *margiu* (o *margiazzu*) con il quale si intendono sia piccoli ristagni d'acqua presso letti di torrenti o depressioni del terreno, sia le aree rese

umide dall'affioramento di acque di sorgiva, in generale con caratteristiche di spiccata temporaneità (CALDARELLA, 2014).

Nell'area di studio sono presenti due fra i Gorghi più conosciuti, sia da un punto di vista culturale che scientifico, della Riserva: il Gorgo del Drago o Gorgo Tondo e il Gorgo Lungo. Il più famoso fra i due è sicuramente il Gorgo del Drago, del quale la prima attestazione storica dell'esistenza risalirebbe al 1182, anno in cui nel *Rollum bullarum* fatto redigere da Guglielmo II si fa riferimento al *lacum ciperi*, che per la posizione rispetto ad altri toponimi richiamati nello stesso testo “...non poteva che essere che quello oggi è detto di Godrano, il gorgo del Drago...” (RACCUGLIA, 1911; CALDARELLA, 2014). L'importanza storica dell'area è confermata dalla realizzazione della peschiera reale, sulla sponda orientale del Gorgo del Drago, per favorire l'itticoltura e attività venatorie (SCARPULLA, 2000).



Fig. 12 –Gorgo del Drago (09.2018, Oneto F.)

Sino alla fine degli anni '40 nelle aree circostanti i gorghi veniva praticata un'agricoltura di sussistenza, e un'antica attività pastorale condotta nelle adiacenze delle aree umide (CALDARELLA, 2014). Al termine degli anni '40, in seguito al passaggio dei boschi di Ficuzza e di Godrano all'Azienda Foreste Demaniali della Regione Siciliana, iniziò l'opera di rimboschimento (GIARDINA, 1994), attraverso la realizzazione di un vasto sistema a gradoni e la piantumazione in prevalenza di *Pinus pinea* e *Populus nigra*, che ancor oggi caratterizzano la fisionomia dell'area.

Il Gorgo del Drago ha conosciuto tuttavia un fenomeno di prosciugamento prolungato. Il bacino, seppur interessato dalle fluttuazioni stagionali, manteneva un livello idrico più o meno stabile anche durante la stagione siccitosa, grazie anche all'apporto di una sorgente detta “Acqua Annunziata”. A partire dal 1988 infatti la zona umida è andata incontro ad un periodo di essiccamento, anche a causa dell'inattività della sorgente e di un prolungato periodo siccitoso. Il regime idrico della zona umida si è ripristinato solo nel 2010, dopo oltre un

ventennio di prosciugamento che ha ovviamente modificato radicalmente la componente floristica e faunistica originaria, ora fortemente depauperata e alterata.



Fig. 13 –Gorgo del Drago nel 2008 durante la fase di prosciugamento (CALDARELLA, 2014)

Rispetto al Gorgo del Drago, il Gorgo Lungo al contrario non è mai stato soggetto a fenomeni di prosciugamento e si è nel tempo mantenuto sostanzialmente inalterato, così come è anche confermato dalla composizione floristica e vegetazionale che lo caratterizza come uno degli ultimi ambienti umidi naturali del settore occidentale della Sicilia, quale stazione puntiforme per alcuni elementi floristici e fitocenotici di notevole interesse fitogeografico, divenuti ormai rarissimi in tutta l'area regionale (GIANGUZZI & LA MANTIA, 2004). Limitatamente alla pozza del Gorgo Lungo sono stati invece localizzati altri peculiari aspetti di vegetazione acquatica. La parte centrale viene occupata da una vegetazione sommersa ad *Alopecurus geniculatus* e *Oenanthe aquatica*, cui si aggiungono anche *Callitriche stagnalis*, *C. brutia*, *Ranunculus peltatus*, *R. omiophyllus*, ecc. Dal punto di vista fitosociologico, tale formazione è attribuita al *Glycerio spicatae-Oenanthetum aquaticae*, associazione descritta recentemente da BRULLO et al. (1994) per alcuni laghetti dei Nebrodi, ma non ancora segnalata per il territorio di Ficuzza. Lungo i margini esterni dello stesso ambiente umido è possibile rilevare anche degli aspetti elofitici a dominanza ora di *Sparganium erectum*, ora a *Schoenoplectus lacustris*, rispettivamente da riferire alle associazioni *Sparganietum erecti* e *Scirpetum lacustris*. In Sicilia entrambe le cenosi erano state precedentemente segnalate per i laghetti di Carcaci, sui Sicani (GIANGUZZI et al., 1995), ed il Biviere di Cesarò, sui Nebrodi (BRULLO et al., 1994; GIANGUZZI, 1999a); per quanto riguarda lo *Sparganietum* – associazione a prevalente gravitazione nella Regione medio-europea (PHILIPPI, 1973; OBERDORFER, 1977) – in Sicilia è rappresentato anche presso la foce del Fiume freddo (BRULLO & SPAMPINATO, 1990).



Fig. 14 –Gorgo Lungo (07.2019, Oneto F.)

ASPETTI GEOLOGICI E IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrografico, il rilievo di Rocca Busambra costituisce lo spartiacque naturale di tre importanti bacini imbriferi della Sicilia occidentale, relativi appunto ai corsi d'acqua dell'Eleuterio, del Belice sinistro e, più ad est, del San Leonardo.

Il territorio del Bosco della Ficuzza e di Rocca Busambra rientra nell'ampio sistema del settore siciliano facente parte della cosiddetta Catena Appennino-Maghrebide, le cui complesse vicissitudini geologiche e varie sovrapposizioni tettoniche hanno originato un paesaggio geomorfologico alquanto articolato e vario. La dorsale della Rocca Busambra rappresenta un'unità stratigrafico strutturale derivante dalla deformazione della Piattaforma carbonatica Trapanese. La sua successione evidenzia la presenza di diversi tipi di calcari, i più antichi e profondi dei quali di età compresa tra 200 e 185 milioni di anni (Triassico superiore-Liassico inferiore), mentre i più recenti sono invece attribuiti al periodo miocenico (20 milioni di anni). I calcari più antichi sono costituiti dai cosiddetti "calcari dolomitici bianchi", caratterizzati da strati massivi di 20-30 cm con microrganismi e frammenti di molluschi. Ad essi si sovrappongono dei calcari rossastri, riccamente fossiliferi, originati da depositi formati nel Giurassico (tra 170 e 135 milioni di anni fa) nonché, più verso l'alto, i calcari marnosi bianchi e rosati del Cretaceo e del l'Eocene (da 120 a 50 milioni di anni fa), noti in Sicilia col nome di "Scaglia" (CATALANO, 2000); in prossimità della località Casale sono inoltre localizzate delle intercalazioni di calcareniti e di breccie gradate (GIUNTA & LIGUORI, 1975).

I frequenti crolli che derivano dal disfacimento della parete settentrionale della Rocca Busambra, creano detriti di falda e conoidi di deiezione tuttora attivi, come è possibile rilevare in prossimità della Ciacca di Mezzogiorno, o a monte della Scala di Ciolino, nella parte mediana del massiccio, in direzione di Alpe Cucco.

Nel territorio si rinvencono altri corpi geologici appartenenti alle Unità stratigrafico-strutturali di Piana degli Albanesi, alle Unità Sicilidi e ai Terreni Tardorogeni.

L'Unità di Piana degli Albanesi risulta caratterizzata dalla presenza di argilliti, argille marnose e quarzareniti del Flysch Numidico dell'Oligocene - Miocene inferiore, derivanti dalla deformazione del Bacino Imerese ed ampiamente diffusi all'interno della Riserva, in particolare nel Bosco della Ficuzza (CATALANO & D'ARGENIO, 1978).

Il Flysch Numidico con prevalenza di livelli quarzarenitici e arenacei è diffuso nelle località Bosco del Cappelliere, Torre del Bosco, Piano Rineddi, Cozzo Lupo, Rocca di Corvo, Cozzo Fornazzo, Pizzo Castrateria, Pizzo Campana, Cozzo Fanuso ed in Contrada Lacca. La roccia è di tipo coerente, con livelli pseudocoerenti; prevalgono i versanti acclivi a gradinata, la cui morfologia è determinata dalla minore erodibilità delle quarzareniti rispetto ai sottili livelli di argilla.

Il Flysch Numidico con prevalenza di livelli argillitici è presente nelle aree limitrofe del Vallone Schiavo, tra Contrada Castellaccio e Contrada Rocca d'Elice, nonché lungo il versante sud di Rocca Busambra (Contrada Lavanche e Cozzo Donna Giacomina). I versanti sono poco acclivi ma l'erosione è spesso accelerata dalla mancanza di una copertura arborea.

Le Unità Sicilidi sono formate in prevalenza da argille scagliose varicolori, con rari blocchi di calcari biodetritici, calcari marnosi, calcareniti, marne e lembi argillosi e quarzarenitici del Flysch Numidico. Sono diffusi nelle contrade Bifarera, Scalilli e Lupotto, i cui terreni sono utilizzati in gran parte per l'agricoltura. L'erosione è elevata, localmente è presente qualche fenomeno franoso, anche se i versanti sono poco acclivi (GIANGUZZI & LA MANTIA 2004).

Sulla base degli aspetti litologici e geologico-strutturali, nell'area sono evidenti diversi complessi idrogeologici. Inoltre, dal punto di vista della conducibilità idraulica (K), sono distinguibili tre principali complessi idrogeologici (alta, media e bassa) (FONTANA ET AL., 2009).

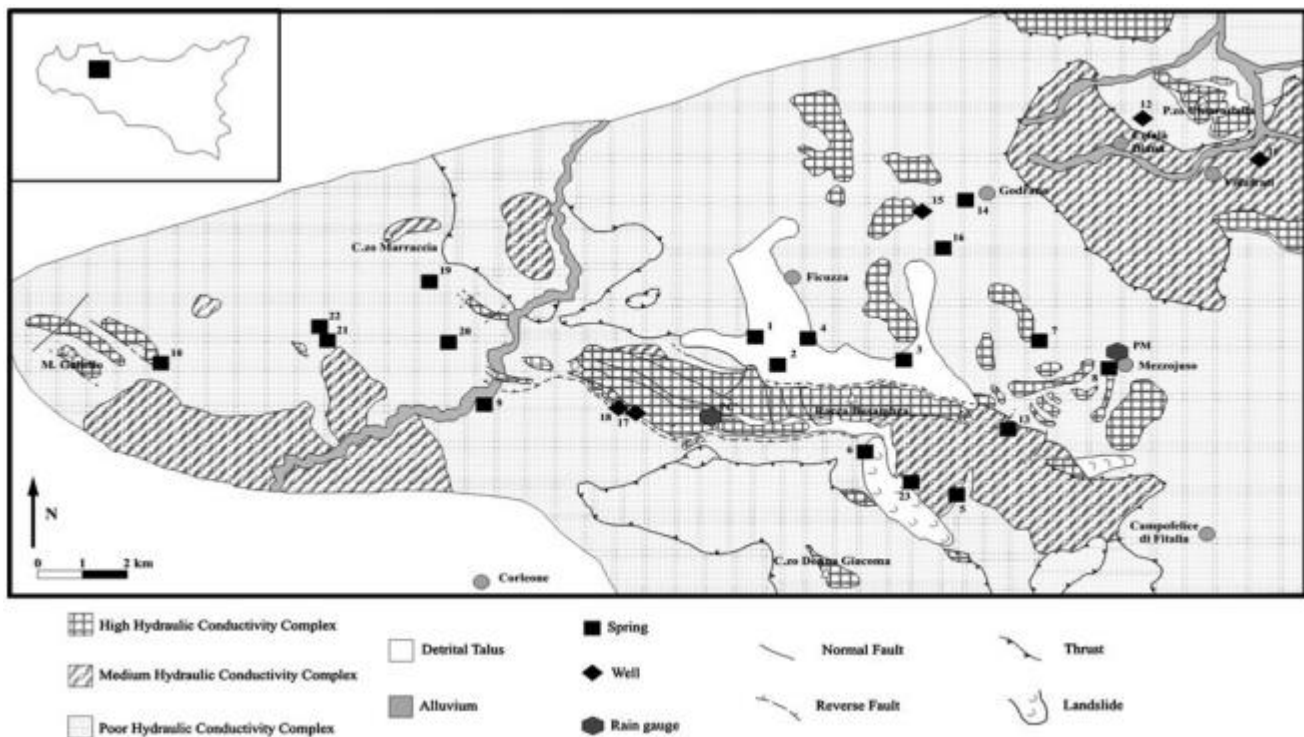


Fig. 15 –Mappa idrogeologica della Riserva (FONTANA et al., 2009)

Da un punto di vista bioclimatico, considerando i dati della stazione termopluviometrica di Ficuzza (681 m), GIANGUZZI & LA MANTIA, 2004) hanno ricostruito la “Carta bioclimatica della Riserva” in scala 1:80.000 individuando i seguenti tre piani bioclimatici:

- termomediterraneo (T = 18-16 °C; M = 18-14; m = 9-5; It = 450-350) subumido inferiore (P = 600-800 mm);
- mesomediterraneo (T = 16-13 °C; M = 14-9; m = 5/-1; It = 350-210) con ombrotipo variabile dal subumido inferiore (P = 600-800 mm), al subumido superiore (P= 800-1000 mm);
- supramediterraneo (T = 13-8 °C; M = 9-3; m = -1/-4; It = 210-70) con ombrotipo variabile dal subumido superiore (P = 800-1000 mm) all'umido inferiore (P = > 1000 mm).

Nonostante le precipitazioni medie annue relativamente elevate (circa 750 mm/anno), l'area di Rocca Busambra può essere considerata a clima prevalentemente semiarido. Le caratteristiche climatiche dell'area di studio sono ben note per i dati di temperatura e piovosità raccolti dal 1921 al 1999 da otto stazioni appartenenti alla rete del Servizio Idrografico della Regione Siciliana. In particolare, è stato possibile osservare che il periodo piovoso si verifica in inverno, tra novembre e febbraio, mentre la stagione secca è quella estiva, da giugno ad agosto. Per quanto riguarda le temperature, i valori più bassi (circa 7 °C) si sono registrati nel mese di febbraio, mentre agosto è il mese più caldo con temperature medie di 27 °C.

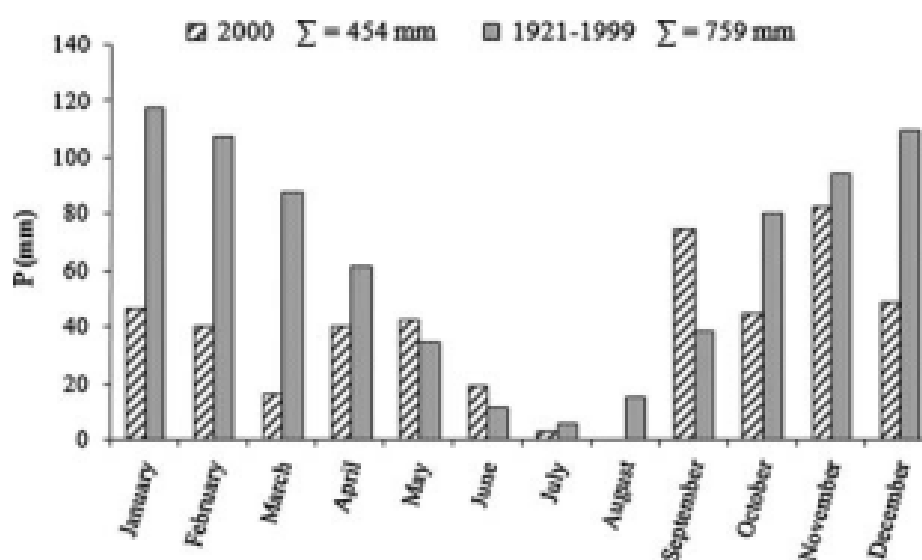


Fig. 16 – Confronto tra le precipitazioni mensili raccolte durante l'anno 2000 e quelle relative al periodo 1921-1999
(FONTANA et al., 2009)

1.2 Tassonomia, distribuzione, ecologia e biologia di *Emys trinacris*

INQUADRAMENTO SISTEMATICO

La testuggine palustre siciliana *Emys trinacris* FRITZ, FATTIZZO, GUICKING, TRIPEPI, PENNISI, LENK, JOGER E WINK, 2005 appartiene alla famiglia Emydidae RAFINESQUE, 1815, una delle più numerose in termini di specie (n= 53) dell'ordine dei Testudines BATSCH, 1788 (TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP, 2014). Questa famiglia è costituita da testuggini acquatiche, semi-acquatiche e terrestri presenti in tutti i continenti, tranne che in Oceania e Antartide (Fig. 17).

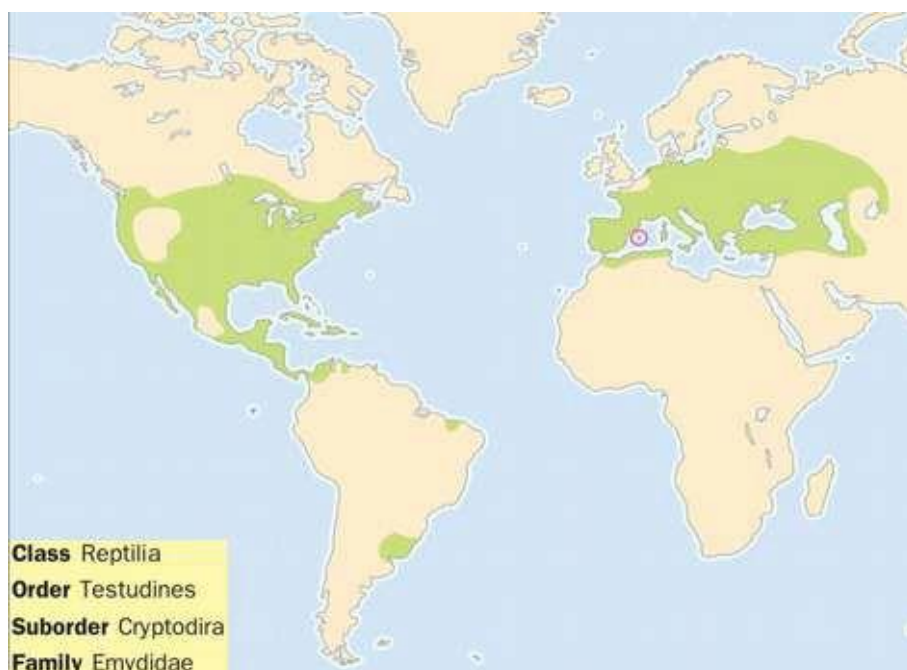


Fig. 17 – Distribuzione della famiglia Emydidae, da Grzimek's Animal Life Encyclopedia, 2nd edition. Volume 7, Reptiles, 2003

Al genere *Emys* DUMÉRIL, 1805 appartengono da una a quattro specie a seconda degli autori. ANGIELCZYK & FELDMAN (2013) in un recente lavoro di revisione della sottofamiglia Emydinae hanno infatti trovato dati contrastanti, da un lato evidenti prove di un'origine monofiletica del genere *Emys* analizzando il DNA mitocondriale (includendo sia la specie del vecchio mondo *E. orbicularis* sia le due specie nord americane *Emydoidea blandingii* e *Emydoidea marmorata*) e dall'altro, analizzando 14 loci microsatellitii, hanno trovato informazioni a supporto di un'origine parafiletica. Nell'ultima checklist ragionata dell'ordine dei Testudines gli autori indicano, in attesa di maggiori evidenze genetiche, per le testuggini nord americane entrambi i generi: *Emys* o *Actinemys marmorata* per la Western Pond Turtle ed *Emys* o *Emydoidea blandingii* per la Blanding's Turtle (TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP, 2014).

Le testuggini palustri del vecchio mondo appartengono invece chiaramente al genere *Emys* che è diffuso in Europa, Nordafrica, Medio Oriente e parte dell'Asia Centrale (SINDACO & JEREMCENKO, 2008). La testuggine palustre siciliana è stata distinta dalla testuggine palustre europea solo recentemente soprattutto in base a caratteri genetici (FRITZ et al., 2005) ma anche a evidenze morfologiche (FRITZ et al., 2006). Nonostante i dubbi sollevati da alcuni autori sulla validità specifica di *Emys trinacris* (SPEYBROECK et al., 2010) diversi autori hanno rilevato una chiara differenziazione a livello genetico (MANFREDI et al., 2013; VAMBERGER et al., 2015) e la considerano a tutti gli effetti una specie valida (TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP, 2014). Da un punto di vista filogenetico, *E. trinacris* risulta *sister group* del clade *E. orbicularis* contenente le linee genetiche I-II e IV-IX (FRITZ et al., 2006). Le recenti analisi filogenetiche sul *cytb* confermano l'esistenza di una barriera biogeografica in corrispondenza dello Stretto di Messina che separa *E. trinacris* da *E. orbicularis*, come già evidenziato da FRITZ et al. (2005; 2006). Lo stesso autore ha però rilevato la presenza di alcuni individui siciliani che mostrano alleli tipici di *E. orbicularis*. In questo caso, attraverso l'utilizzo di 15 loci microsatelliti, è stata dimostrata l'esistenza di un flusso genico tra la sponda calabra e quella siciliana. Tuttavia, la diversificazione delle specie è stata evidenziata dalle analisi con i marcatori mitocondriali. Secondo lo stesso autore l'apparente discordanza tra i dati ottenuti con l'analisi dei microsatelliti e quelli ottenuti attraverso le analisi mitocondriali può essere ascritta ad un fenomeno di introgressione genetica causata dall'introduzione antropica di linee genetiche europee in Sicilia e conseguenti eventi di ibridazione.

In questo lavoro, in considerazione di quanto sopra riportato, si è ritenuta corretta la classificazione sistematica proposta dal TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP (2014) e pertanto si è ritenuta *Emys trinacris* specie valida. L'olotipo è un maschio adulto raccolto il 9 Maggio 1968 sui monti Nebrodi da E. Kramer e S. Dereani e depositato presso la collezione del Museo Zoologico "La Specola" di Firenze (MZUF11136).

DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA

E. trinacris è specie endemica e presente solo in Sicilia, escluse le isole minori. La distribuzione appare ampia, ma frammentata, sebbene vi sia una evidente lacuna conoscitiva sulla sua distribuzione (D'ANGELO, 2013). In particolare risulta più diffusa nella parte settentrionale (ad esclusione dei Monti Peloritani e dei Monti di Termini Imerese) e centrale dell'Isola, mentre appare più rara lungo le aree costiere meridionali, con zone di maggiore diffusione lungo le coste del ragusano, dell'agrigentino e del trapanese (TURRISI, 2008; DI CERBO, 2011).

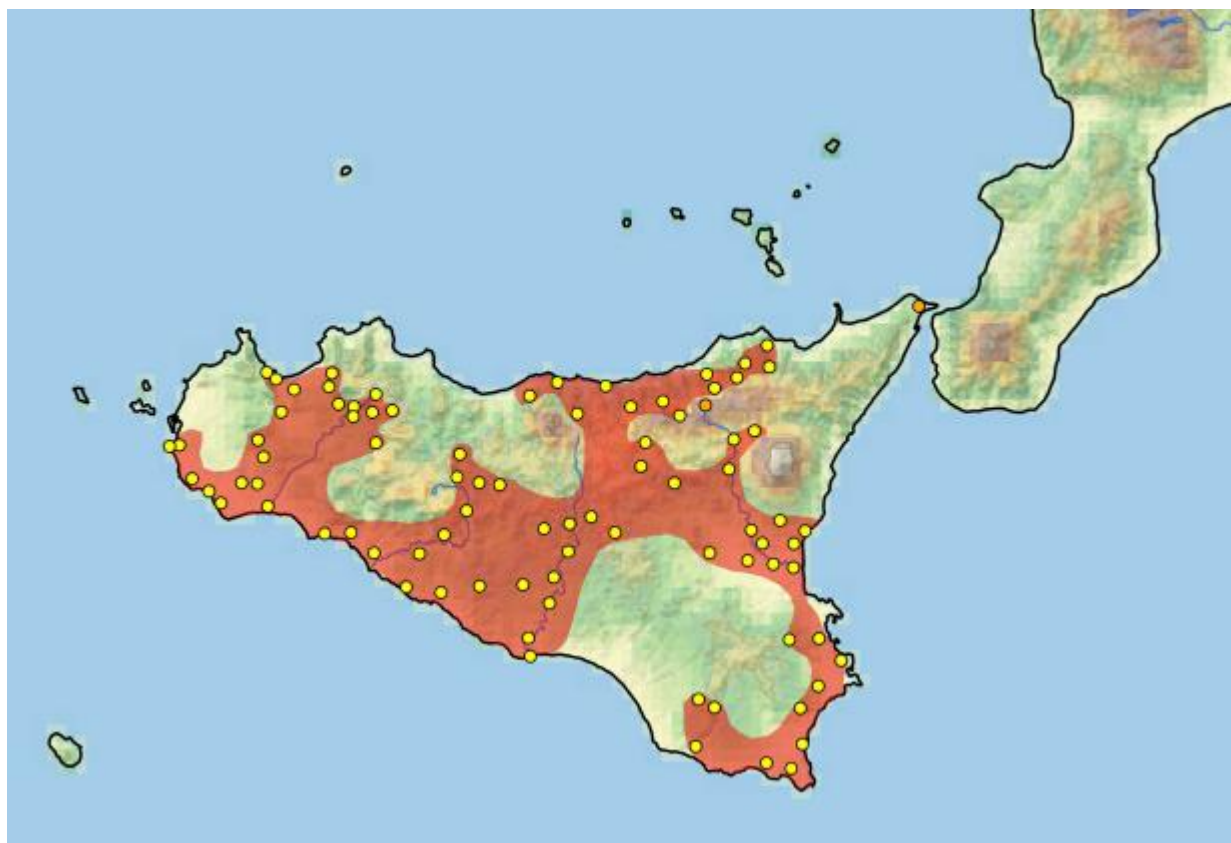


Fig. 18 – Distribuzione di *Emys trinacris*, da OTTONELLO *et al.* (2021)

Nell'area vulcanica dell'Etna, *E. trinacris* è segnalata dal Lago Gurrída e dal bacino idrografico del fiume Simeto (TURRISI e VACCARO, 1998).

La specie ha un range di distribuzione altitudinale dal livello del mare a 1250 m s.l.m., con una maggiore prevalenza nei territori costieri e collinari, ad eccezione della zona dei Nebrodi, dove è abbastanza comune nelle zone montuose. MARRONE ET AL. (2016a) hanno riferito che il laghetto Urio Quattrocchi, presente a 1036 m s.l.m. sulla catena montuosa dei Nebrodi (comune di Mistretta), era la località a più alta presenza conosciuta per la specie a quel tempo. Tuttavia, la presenza della specie a circa 1250 m s.l.m. nella Riserva Naturale Sambughetti - Campanito è stata recentemente osservata (F. Marrone, oss. pers.). La presenza della specie ad altitudini ancora più elevate è ad oggi solo aneddotica, e le osservazioni isolate di individui di *E. trinacris* nel Lago Maulazzo (1448 m slm) (FP FARAONE E M. ROMANO, com. pers.) sono probabilmente dovute a introduzioni di animali non autoctoni. Individui introdotti di *E. trinacris* sono stati segnalati nell'Italia continentale e in Germania (LENK et al., 1999; VELO-ANTÓN et al., 2011).

Emys trinacris è strettamente legata ad ambienti acquatici interni con acque stagnanti o con scorrimento lento. Abita una vasta gamma di zone umide costiere e interne: piccoli stagni e laghi sia in aree aperte che in boschi, bacini artificiali, paludi, anse fluviali a movimento lento e stagni periferici (OTTONELLO et al., 2021). La specie è prevalentemente diurna, ma mostra anche attività notturna durante i mesi estivi (Di Cerbo, 2010).



Fig. 19 – Habitat di *Emys trinacris* in Sicilia. Da sinistra Lago Preola e Gorghi Tondi, Mazara del Vallo, Trapani; Fiume Imera meridionale, Caltanissetta. Laghetti Sambughetti, Nicosia, Enna. Gole del Frattina, Corleone, Palermo; Stagno di Pantana, Caronia, Messina; Pantano Longarini, Noto, Siracusa (OTTONELLO et al., 2021)

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E FENOTIPICHE

Emys trinacris è considerata una specie criptica per le somiglianze morfologiche con *E. o. galloitalica* che rendono difficile o impossibile l'identificazione certa su esclusiva base morfologica. Le uniche differenze presenti fra le due specie riguardano la colorazione rossa dell'iride, presente però solo in alcuni maschi di *E. trinacris* e non negli adulti di *E. o. galloitalica*, e l'evidente distinzione nella colorazione dei neonati e dei giovani fino a circa l'anno di età (FRITZ et al., 2006). Gli stadi giovanili di *E. trinacris* e di *E. orbicularis*, mostrano invece una netta differenziazione morfometrica e di colorazione che rendono possibile, in questo caso, una determinazione immediata della specie. I neonati di *E. trinacris* sono in media più piccoli e più leggeri rispetto a quelli di *E.*

orbicularis. Questi ultimi presentano una macchia scura centrale che ricopre la maggior parte del piastrone, mentre in *E. trinacris* il piastrone si presenta completamente giallo o con delle macchie limitate solo alla zona centrale (FRITZ et al., 2006; Fig. 22).



Fig. 20 – Aspetto ventrale dei neonati di *Emys trinacris* (in alto) e di *Emys orbicularis hellenica* (in basso), da Fritz et al. (2006)

Gli adulti presentano una colorazione di fondo del carapace scura o nera con presenza di macchie gialle che, nella maggior parte dei casi, danno origine ad un disegno raggiato o composto da puntature gialle (morfotipo scuro), anche se in alcune popolazioni è stato osservato un marcato polimorfismo con individui che presentano colori di fondo che vanno dal marrone chiaro al castano. Su questo colore di fondo si possono osservare delle macchie o delle striature nere, tipiche del morfotipo “*maculosa*” (FRITZ, 1992), che occorre frequentemente in diverse sottospecie meridionali di *E. orbicularis*, tra cui *E. o. galloitalica* (FRITZ, 1995, 2003; FRITZ et al., 2005).

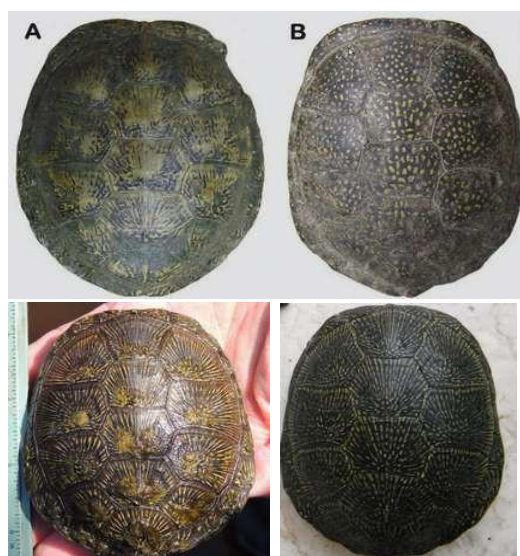


Fig. 21 – Variabilità nell’ornamentazione del carapace in *Emys trinacris*. A (morfotipo maculosa) e B (morfotipo scuro) da FRITZ et al. (2006)



Fig. 22- Variabilità nell'ornamentazione del piastrone in tre maschi di *Emys trinacris*, RN Lago Preola – Gorghi Tondi

Anche la colorazione del piastrone è variabile, con gli individui della popolazione della Riserva di Torre Salsa che mostrano una colorazione più chiara rispetto agli individui della Riserva del Lago Preola – Gorghi Tondi (FRITZ *et al.*, 2006). La colorazione può variare dal giallo chiaro uniforme fino a quasi uniformemente nera passando per individui che mostrano macchie scure nelle parti distali degli scuti oppure macchie scure diffuse a partire dall'asse centrale e che ricoprono per 1/3 il piastrone (D'ANGELO, 2004).

La colorazione dell'iride è generalmente biancastra o giallastra, sebbene siano stati osservati alcuni maschi con colorazione rossastra. Un'altra caratteristica peculiare di *E. trinacris* è il posizionamento, in alcuni individui, della pupilla al centro di una stella a cinque punte scura, un *pattern* molto raro nelle testuggini palustri (FRITZ *et al.*, 2006). I maschi adulti tendono ad avere una colorazione uniformemente scura della ranfoteca che invece nelle femmine si presenta più chiara e maculata, con la parte inferiore solitamente gialla.



Fig. 23 – Dimorfismo sessuale nella colorazione della ranfoteca di *Emys trinacris*, maschio (sinistra) e femmina (destra), Riserva Naturale "Lago Preola – Gorghi Tondi"

In tutte le popolazioni indagate gli adulti mostrano un netto dimorfismo sessuale, con maschi che possiedono una coda più lunga e dimensioni e peso inferiori rispetto alle femmine. Esiste però una discreta variabilità tra le diverse popolazioni con maschi e femmine adulti della popolazione di Torre Salsa e di Gallitello

significativamente più grandi e più pesanti degli adulti della popolazione del “Lago Preola – Gorgi Tondi” (D’ANGELO, 2013). A titolo di esempio si riportano alcune misure biometriche di tre popolazioni.

Tab. 1 – Parametri morfometrici degli esemplari adulti di *Emys trinacris*, CL: lunghezza massima del carapace, PH: altezza del carapace da D’ANGELO et al. (2008) e da LO VALVO et al. (2008).

Misura	Lago Preola – Gorgi Tondi (TR)		Torre Salsa (AG)		Vicinanze Riserva Rocca Busambra e Bosco della Ficuzza (PA)	
	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine
CL (mm)	112,9 ± 7,3 100,7 – 143,4	118,9 ± 10,6 102,5 – 155,2	128,6 ± 8,6 103,7 – 152,3	134,6 ± 12,4 103,3 – 149,9	124,7 ± 9,7 106,6 – 151,1	131,0 ± 6,6 120,1 – 144,7
PH (mm)	42,1 ± 4,1 30,8 – 54,5	48,3 ± 5,4 37,7 – 63,2	45,3 ± 2,9 40,7 – 54,2	53,4 ± 6,6 35,0 – 64,7	44,4 ± 4,7 37,1 – 61,9	50,5 ± 4,9 42,3 – 58,0
Peso (g)	223,4 ± 42,5 166 – 435	292,6 ± 89,4 183 – 682	362,0 ± 68,0 224 – 590	474,0 ± 122,3 195 – 678	312,8 ± 66,4 200 – 517	386,8 ± 73,3 267 – 500

BIOLOGIA

Le conoscenze sono molto lacunose e limitate a poche popolazioni. I contributi sulla biologia della specie sono infatti molto scarsi e i pochi dati disponibili derivano in gran parte da risultati di tesi di laurea e da note in sedi congressuali oltre che da atlanti regionali. Si tratta di una specie principalmente diurna che mostra un periodo di attività annuale piuttosto variabile. LO VALVO et al. (2008) hanno riscontrato un periodo di latenza invernale molto ridotto per la popolazione della R.N.O. “Torre Salsa” mentre TURRISI (2008) riporta periodi di attività compresi tra marzo e ottobre per le popolazioni della costa meridionale della Sicilia e LO VALVO et al. (2015) periodi di attività compresi da maggio a metà ottobre per la R.N.O. “Monte Capodarso e Valle dell’Imera meridionale”. Le strategie riproduttive di *E. trinacris*, ad oggi, sono quasi del tutto sconosciute. FRITZ et al. (2006) descrivono il ritrovamento di individui neonati sia nel mese di settembre sia in primavera, ipotizzando, come avviene per *E. orbicularis*, che almeno una parte dei piccoli svernino nei loro nidi per poi emergere in superficie la primavera successiva alla deposizione delle uova. Le piccole dimensioni dei giovani di *E. trinacris* suggeriscono anche che le uova potrebbero essere di dimensioni inferiori rispetto a quelle di *E. orbicularis* (FRITZ et al., 2006).

Al momento non sono noti studi sull’ecologia trofica e sulla longevità, né dati che attestino la taglia e l’età in cui viene raggiunta la maturità sessuale. Gli unici dati disponibili sulla struttura di popolazione fanno invece riferimento solo alla Riserva Naturale “Lago Preola – Gorgi Tondi” dove è stata calcolata una densità di 23,8 individui per ettaro di superficie d’acqua, una *sex ratio* (M:F) che varia da 1,9:1 a 1,68:1 e un rapporto giovani/adulti di 1:4,9 (LO VALVO & D’ANGELO, 2004; D’ANGELO et al., 2008). Un *sex ratio* spostata in favore dei maschi è riportata anche per la Riserva Naturale “Rocca Busambra e Bosco della Ficuzza” (2,3:1) e per la Riserva Naturale di “Torre Salsa” (1,67:1). Nella Riserva di “Torre Salsa” gli spostamenti lineari registrati sono risultati compresi tra 102 e 554 mentre gli spazi vitali sono risultati in media pari a $1,34 \pm 0,88$ ettari nel caso di sei femmine, mentre l’unico maschio monitorato ha occupato un’area di 1,17 ettari. Nella Riserva “Monte

Capodarso e Valle dell'Imera meridionale" Le dimensioni degli spazi vitali (4,09 ettari per le femmine e 3,75 ettari per i maschi), così come le distanze lineari (470 m per le femmine e 664 per i maschi), sono risultate mediamente più elevate (LO VALVO et al., 2015). In entrambe le popolazioni gli *home ranges* sono risultati spesso sovrapposti, facendo escludere significativi comportamenti di competizione territoriale, e di forma allungata, correlati con la linearità dei corsi d'acqua indagati.

TUTELA, CONSERVAZIONE E MINACCE

Le testuggini palustri europee sono minacciate di estinzione in molte zone del loro areale (CHIARI *et al.*, 2013). Le cause principali sono dovute soprattutto al sovra-sfruttamento e alla distruzione degli habitat idonei alla loro sopravvivenza, ovvero le zone umide. Si stima infatti che, soprattutto nel Sud Italia, durante il secolo scorso siano state distrutte circa il 70-90% delle zone umide idonee (FRITZ et al., 2005).

E. trinacris è inserita negli allegati II e IV della direttiva "Habitat" 43/92/CEE "mentre il suo stato di conservazione è considerato "Data Deficient" dall'IUCN (VAN DIJK, 2009), a causa della carenza di dati riguardanti la sua distribuzione, sulla consistenza e sulle tendenze demografiche delle popolazioni. Nella Lista Rossa italiana è invece classificata come "In pericolo (EN) A2c" (ANDREONE et al., 2013). E' inoltre tutelata dalla Convenzione di Berna (1979) e dalle L.R. n. 98 del 6.5.1981 e n. 14 del 9.8.1988. La specie sembra essere minacciata principalmente dall'inquinamento, dalla frammentazione degli habitat, dall'introduzione di specie aliene negli ambienti naturali e dal prelievo illegale in natura per il commercio (DI CERBO, 2010) oltre agli investimenti stradali.

Ecologia trofica

La conoscenza del comportamento, delle strategie e delle preferenze alimentari di una specie sono una delle pietre miliari per la comprensione della sua storia naturale oltre ad essere elementi fondamentali per la sua tutela e gestione (SZOBOSZLAI et al., 2015), anche in relazione ai molteplici pericoli derivanti dall'introduzione e dall'espansione delle specie alloctone invasive (LOWE et al., 2000). Le testuggini palustri sono tradizionalmente considerate animali generalisti e opportunisti con una dieta preferenzialmente carnivora da giovani che vira verso una maggiore onnivoria negli adulti (ERNST & BARBOUR, 1989), sebbene esistano casi di specializzazione, come in *Graptemys geographica* verso i molluschi (VOGT, 1981). Molti cheloni mostrano inoltre dei cambiamenti nelle abitudini alimentari durante le diverse stagioni (KENNETT & TORY, 1996), condizionati dalla disponibilità di cibo o da altri fattori limitanti, come ad esempio l'inquinamento (SOUZA & ABE, 2000). La disponibilità e la qualità del cibo possono giocare infatti un ruolo chiave nel regolare le strategie alimentari, la densità e l'accrescimento degli individui di una popolazione animale e allo stesso tempo possono essere influenzate da numerosi fattori, come la presenza di interazioni trofiche, lo stato di salute individuale, l'eterogeneità degli habitat e l'inquinamento ambientale (LUISELLI et al., 2004). In particolare l'introduzione di specie aliene, uno dei principali pericoli che minacciano la biodiversità degli ecosistemi d'acqua dolce (GENOVESI, 2009), può avere un enorme impatto sulle comunità animali e vegetali. Oltre a determinare fenomeni di competizione (PARKOS et al., 2003) o di predazione delle specie autoctone possono, in alcuni casi, causare il cambiamento delle abitudini alimentari dei predatori con importanti conseguenze anche sulla loro abbondanza e distribuzione (POULIN et al., 2007).

Sebbene siano stati condotti diversi studi sulla co-generica testuggine palustre europea (ad esempio: Francia, OTTONELLO et al., 2005; Turchia, ÇIÇEK & AYAZ, 2011), nessuno ha mai indagato in modo approfondito la dieta di *Emys trinacris*, salvo alcune osservazioni sporadiche (D'Angelo com. pers.). *E. orbicularis* è considerata tradizionalmente una specie carnivora (LANZA, 1983; STEPHENS & WIENS, 2003) e anche gli elementi morfologici del suo apparato boccale sono quelli tipici di un animale acquatico carnivoro (NATCHEV, et al. 2015). Nonostante ciò una recente revisione (FICETOLA et al., 2006) e alcuni studi (LEBBORONI & CHELAZZI, 1991; OTTONELLO et al., 2005; ÇIÇEK & AYAZ, 2011) hanno evidenziato un'elevata presenza di materia vegetale nella sua dieta, tanto da far supporre che in alcune aree si possa verificare un ampliamento del suo spettro alimentare che da strettamente carnivoro può diventare onnivoro durante lo sviluppo, come peraltro osservato in altri emididi (es. *Trachemys scripta*: HART, 1983). In queste zone sembra infatti prediligere un cibo meno energetico, come le piante, nella fase immediatamente successiva alla deposizione delle uova, quando le necessità metaboliche sono meno intense (OTTONELLO, et al. 2005). OTTONELLO et al. (2017) evidenzia questi elementi di interesse, ancora praticamente sconosciuti per la testuggine palustre siciliana, ed auspicano uno studio di dettaglio della sua dieta per fornire informazioni importanti per la sua gestione e per poter analizzare le eventuali interazioni

con le altre specie, sia autoctone che alloctone. Pertanto, al fine di raccogliere informazioni preziose per iniziare a descrivere per la prima volta questo tratto importante della storia naturale della specie è stato intrapreso lo studio della dieta con i seguenti obiettivi specifici: (1) descrivere la nicchia isotopica di *Emys trinacris*, anche in relazione al sesso degli animali e ottenere indicazioni sull'ecologia trofica; (2) indagare l'esistenza di schemi temporali o spaziali che determinano la composizione della dieta fra popolazioni diverse; (3) valutare come la presenza di specie aliene possa competitrici influenzare la sua dieta.

Infine, la possibilità di studiare popolazioni selvatiche di testuggine palustre nello stesso ambito territoriale e all'interno del proprio areale ristretto di distribuzione (la Regione Sicilia) offre spunti interessanti per la valutazione delle eventuali differenze in funzione ad esempio di variazioni altitudinali delle aree colonizzate dalla specie.

Materiali e metodi

Campionamenti delle testuggini. I campionamenti sono stati effettuati nel Gorgo Tondo Basso e nei Gorghi Tondi Medio-Alto per quanto riguarda la Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi, mentre per quanto riguarda la Riserva di Bosco Ficuzza le trappole sono state collocate nel Gorgo Lungo. Le attività di cattura sono state svolte in cinque sessioni (giugno - luglio - settembre 2018, luglio-settembre 2019, ciascuna composta da tre giorni di cattura. Le testuggini sono state catturate utilizzando diversi metodi (trappole innescate, bertovelli e a mano) per diminuire l'influenza del tipo metodologia di cattura sulla *sex ratio* e sulla struttura di popolazione (TESCHE & RHODESIA, 2015).



Fig. 24– Bertovello non innescato e nassa innescata con pesce

Le trappole sono state collocate in modo equidistante:

- 1- Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi: 3 trappole tipo bertovelli nel Gorgo Tondo Basso, 20 trappole nei Gorghi Tondi Medio-Alto;
- 2- Riserva Bosco Ficuzza: 15 trappole nel Gorgo Lungo.

Per ciascun individuo catturato sono stati registrati la data di cattura, il numero della trappola, il suo numero identificativo, il sesso, l'età (adulto/giovane), la lunghezza minima del carapace (SCL, ± 0.1 mm), la larghezza del carapace (CW, ± 0.1 mm), l'altezza del carapace (PH, ± 0.1 mm) e la massa corporea (BM, ± 1 g).

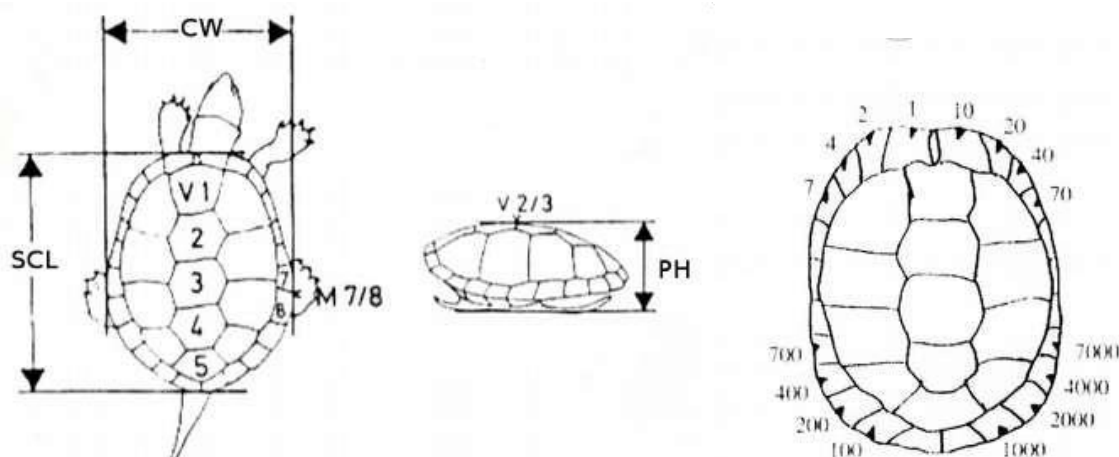


Fig. 25 – Misure biometriche e codice marcatura

Sono stati considerati adulti solo gli individui con evidenti caratteri sessuali (ZUFFI & GARIBOLDI, 1995).

Tutte le testuggini catturate sono state marcate individualmente sugli scuti marginali del carapace secondo la metodologia proposta da (SERVAN et al., 1986) partendo dal numero uno. Per gli individui catturati e marcati in studi precedenti (D'ANGELO, 2004; 2013) è stato mantenuto il codice originario qualora questo fosse facilmente identificabile.

Campionamenti specie competitori. I campionamenti sono stati effettuati nella Riserva Lago Preola e Gorgi Tondi nel Gorgo Tondo Basso e nei Gorgi Tondi Medio-Alto. Le attività di cattura sono state condotte parallelamente ai campionamenti delle testuggini, in 3 sessioni da tre giorni ciascuna nei mesi di luglio e settembre 2018 e giugno 2019. Analogamente, per le catture sono state utilizzate le stesse trappole, nasse innescate e nasse tipo bertovello.



Fig. 26 – Nassa circondata da individui di *Gambusia holbrooki*

Nei laghi con presenza di *Gambusia holbrooki*, in considerazione della taglia ridotta e dell'impossibilità di catturarle attraverso le nasse, sono state effettuate ripetute retature con guadino a maglia fine, e gli individui raccolti manualmente nei punti di trappolaggio di *E. trinacris*.

Raccolta e trattamento campioni di tessuto. I campioni di tessuto sono stati prelevati dagli individui di *E. trinacris* e dalle specie ittiche residenti nei laghi. Per quanto riguarda le testuggini palustri, è stato prelevato da ciascun individuo circa 0.5 ml di sangue attraverso la vena sopracaudale e due campioni di unghie (una dalle zampe anteriori e una dalle zampe posteriori). I campioni di sangue una volta prelevati sono stati diluiti con EDTA all'interno di eppendorf e mantenuti, insieme alle unghie, a temperatura stabile e controllata in congelatore (BALZANI et al., 2016; PEARSON et al., 2012).

Per quanto riguarda le specie di pesci rinvenute nei laghi e il gambero della Louisiana, gli individui catturati sono stati rimossi dall'ambiente naturale e dopo la soppressione mantenuti a temperatura controllata durante le attività di campionamento in un apposito freezer portatile. Per ciascun individuo si è proceduto come segue, in accordo con quanto indicato da SHERWOOD & ROSE (2005):

- Carpa specchio (*Cyprinus carpio*): prelievo di circa 2 g di muscolo dorsale per la successiva preparazione;
- Gambusia (*Gambusia holbrooki*): asportazione viscere e parti molle e conservazione muscolo dorsale completo per la successiva preparazione;
- Gambero della Louisiana (*Procambarus clarkii*): prelievo di circa 5 g di muscolo caudale per la successiva preparazione.

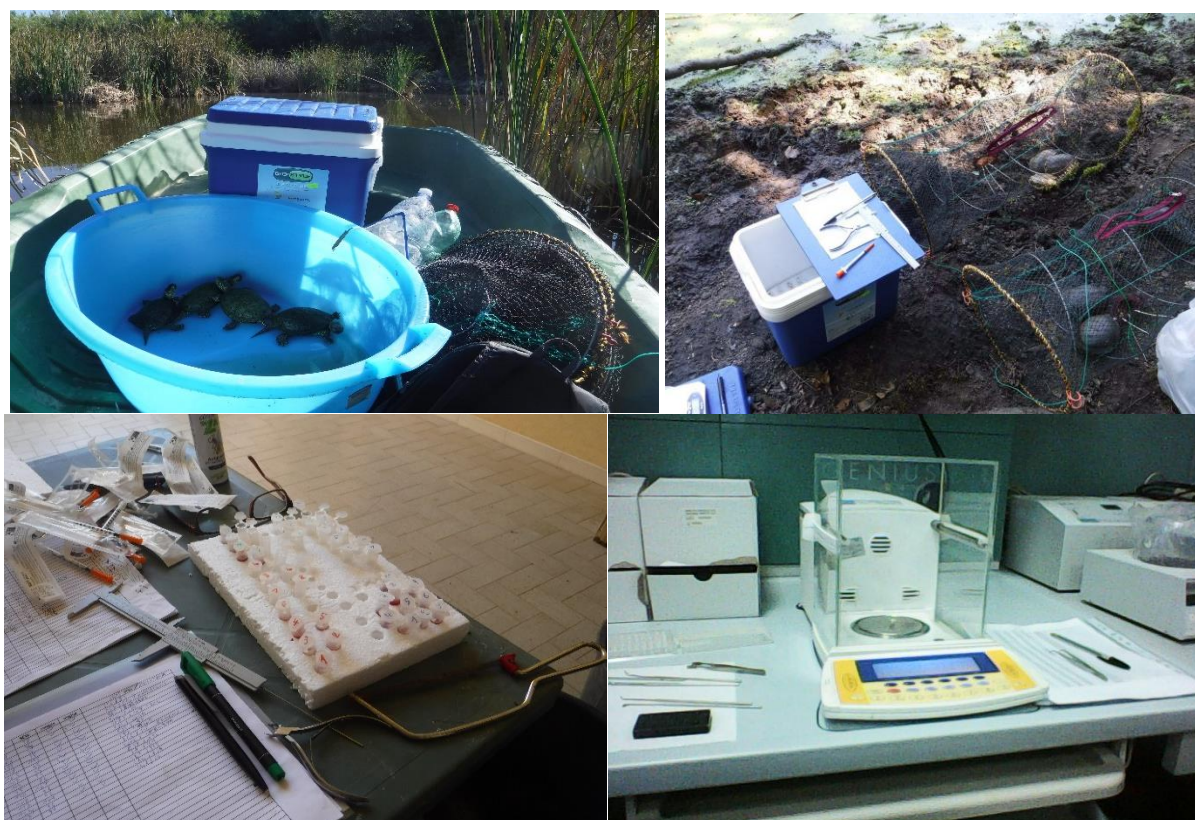


Fig. 27 – Raccolta e prelievo campioni di tessuto

Tutti i campioni sono preliminarmente risciacquati con acqua distillata, ed essiccati in stufa a 60° per almeno una settimana. Successivamente il materiale essiccato è stato polverizzato utilizzando un micro mulino Retsch o un mortaio e pestello; la pesatura dei campioni è stata effettuata con bilancia analitica (risoluzione 0,1 mg), con prelievo di un campione per analisi isotopica nei seguenti limiti di peso: sangue 0,7/0,9 mg, materiale corneo 0,8 mg, muscolo 0,8 mg.

I campioni così ottenuti sono stati analizzati utilizzando uno spettrometro di massa a rapporto isotopico (Thermo Scientific Delta Plus XP) combinato con un analizzatore Thermo Scientific Flash EA 1112. I valori di $\delta^{13}\text{C}$ e dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) sono stati espressi per il Carbonio come deviazione rispetto a Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB), mentre per l'azoto la deviazione rispetto a N_2 atmosferico. I campioni sono stati riportati nella notazione standard δ (‰):

$$\delta X = (R_{\text{campione}}/R_{\text{standard}}) - 1 \times 1000$$

dove X è ciascun campione ^{13}C o ^{15}N , R_{campione} è il rapporto tra l'isotopo pesante e la sua controparte più leggera per il campione e R_{standard} è il rapporto per lo standard internazionale.

Analisi dei dati. Tutte le analisi sono state svolte con l'ausilio dei pacchetti disponibili nel software R4.04 (R Core Team 2021). La normalità delle distribuzioni analizzate è stata verificata applicando il Shapiro Wilks test, e in condizioni di distribuzioni normali applicata l'ANOVA one way e il Tukey's test per i confronti a coppie nell'analisi post hoc. Quando le distribuzioni non risultavano normali, si è proceduto con il Kruskal Wallis test e l'analisi post hoc relativa (Dunn's Test e Nemenyi's Test). Preliminarmente si è proceduto per le analisi biometriche ad applicare una PCA (Principal Component Analysis) per i dati morfologici per ciascuna area e nel confronto fra aree. La PCA permette di ridurre le variabili correlate per limitare la perdita di informazione.

$\delta^{15}\text{N}$ e il $\delta^{13}\text{C}$ di *E. trinacris* e delle specie copresenti negli ambienti campionati sono stati comparati con una Linear Discriminant Analysis (LDA), come descritto da VENABLES & RIPLEY (2002)

Le informazioni sulla variabilità inter- e intraspecifica nell'ampiezza della nicchia isotopica e nella diversità trofica sono state ottenute utilizzando le metriche proposte da LAYMAN et al. (2007) con il pacchetto R SIAR — Stable Isotope Analysis in R (Parnell et al., 2010). È stato calcolato l'intervallo $\delta^{15}\text{N}$ (NR) e l'intervallo $\delta^{13}\text{C}$ (CR) come le differenze tra l'individuo più arricchito e l'individuo più impoverito, l'area convessa totale della curva compresa da tutti gli individui (TA), la distanza euclidea media di ogni individuo dal centroide dei valori $\delta^{15}\text{N} - \delta^{13}\text{C}$ (CD), la distanza media del vicino più prossimo nello spazio $\delta^{15}\text{N} - \delta^{13}\text{C}$ (NND) e la sua deviazione standard (SDNND). Infine, è stata calcolata l'area dell'ellisse standard corretta (SEAc) come dettagliato in JACKSON et al. (2011) utilizzando il pacchetto SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R) di SIAR.

I pacchetti utilizzati in R per implementare i dati sono BASE, SIAR, SIBER, FSA, STATS e relativi pacchetti associati. Per il plottaggio dei dati sono stati utilizzati GGPlot2, VIRIDIS, ELLIPSE.

Risultati

Durante le sessioni svolte nel 2018 (2) e 2019 (3) sono state catturate rispettivamente 109 testuggini nella Riserva Lago Preola – Gorghi Tondi e 42 testuggini nella Riserva di Bosco Ficuzza, così ripartite:

Riserva Lago Preola - Gorghi Tondi	M	F	Tot
Gorgo Basso (GB)	37	20	
Gorgo Medio (GM)	11	5	109
Gorgo Alto (GA)	26	10	
Riserva Bosco Ficuzza			
Gorgo Lungo (GL)	16	26	42

La Tab. 2 riporta invece la sintesi dei dati biometrici registrati per gli animali catturati:

Tab.2 - Dati biometrici di sintesi (media $\pm$ ds) negli individui di *E. trinacris* catturati nel 2018/19

<i>Emys trinacris</i>						
Gruppo	N	Peso (g)	SCL	SCW	SPL	H
Gorghi Tondi						
tot	109	279,2 $\pm$ 82,31	118,2 $\pm$ 10,33	92,2 $\pm$ 12,01	107,9 $\pm$ 9,23	38 $\pm$ 6,06
M	74	251,5 $\pm$ 54,18	115,6 $\pm$ 7,71	89,61 $\pm$ 8,17	103,3 $\pm$ 7,16	37 $\pm$ 5,13
F	35	337,9 $\pm$ 99,96	123,9 $\pm$ 12,76	97,69 $\pm$ 10,71	117,6 $\pm$ 13,12	40 $\pm$ 7,25
Bosco Ficuzza						
tot	42	555,8 $\pm$ 131,21	148,1 $\pm$ 10,06	36,48 $\pm$ 5,12	136,2 $\pm$ 12,27	54 $\pm$ 6,36
M	16	142,9 $\pm$ 67,97	463,2 $\pm$ 6,70	32,25 $\pm$ 2,49	126,6 $\pm$ 7,63	49 $\pm$ 3,22
F	26	612,8 $\pm$ 128,84	151,2 $\pm$ 10,57	39,08 $\pm$ 4,56	142,1 $\pm$ 10,84	58 $\pm$ 5,47

Il contenuto isotopico del plasma e delle unghie degli individui catturati nei due siti è sintetizzato nella Tab. 3.

Tab.3– Media $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (valori $\pm$ ds) in unghie e plasma negli individui di *E. trinacris* catturati nel 2018/19

Gorghi Tondi				
	F		M	
	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
unghie	11,922 $\pm$ 3,09	-28,07 $\pm$ 3,26	11,911 $\pm$ 3,43	-28,71 $\pm$ 2,22
plasma	7,204 $\pm$ 3,49	-32,31 $\pm$ 3,57	7,052 $\pm$ 2,86	-33,03 $\pm$ 3,39
Bosco Ficuzza				
	F		M	
	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
unghie	6,373 $\pm$ 0,54	-26,56 $\pm$ 0,55	6,089 $\pm$ 0,59	-26,2 $\pm$ 0,64
plasma	1,07 $\pm$ 0,98	-36,2 $\pm$ 1,43	1,87 $\pm$ 1,15	-34,98 $\pm$ 1,64

Nella Riserva Lago Preola – Gorghi Tondi sono inoltre stati catturati 84 pesci alloctoni: 44 *Cyprinus carpio* e 40 *Gambusia holbrooki*. Così come riportato da OTTONELLO et al. (2021), anche in questo studio i pesci risulterebbero colonizzare esclusivamente il sistema Gorgo Medio – Gorgo Alto, mentre non vi sono pesci nel Gorgo Basso.

Nello stagno Gorgo Lungo, non sono stati rinvenuti né pesci né altre specie di testuggini alloctone.

Per le analisi successive, non sono stati utilizzati i dati relativi al gambero della Louisiana, in quanto i campioni erano troppo disomogenei fra i diversi siti.

- Analisi dati biometrici

In prima istanza è possibile verificare la collinearità fra le variabili biometriche applicando l'Analisi delle Componenti Principali (PCA) ai dati relativi ai tre Gorghi (GB, GM, GA). In questo caso le variabili risultano correlate.

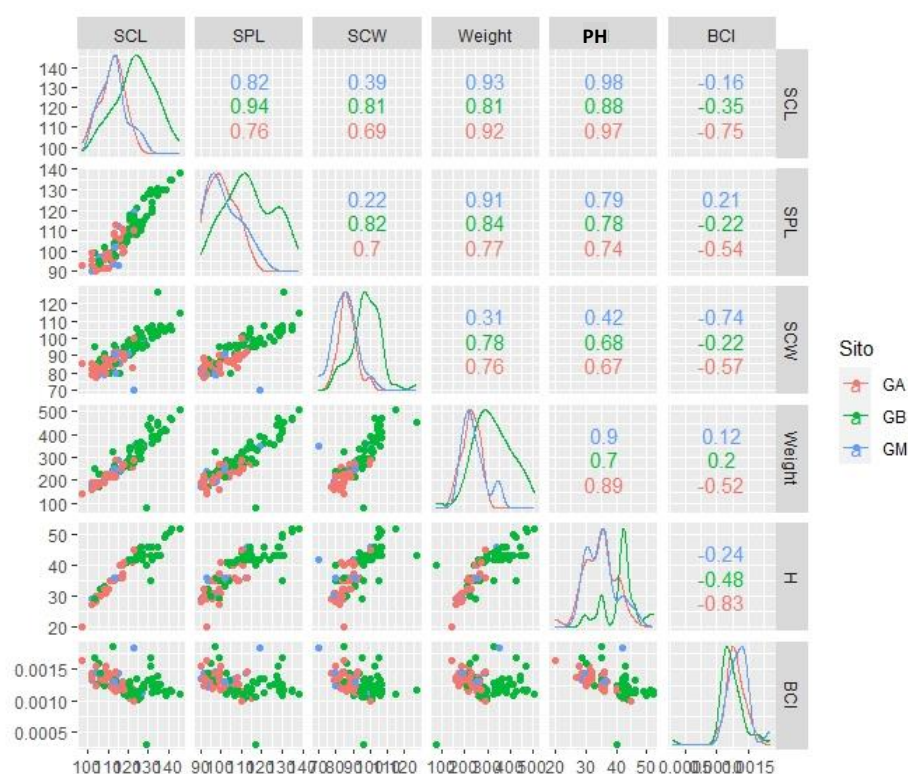
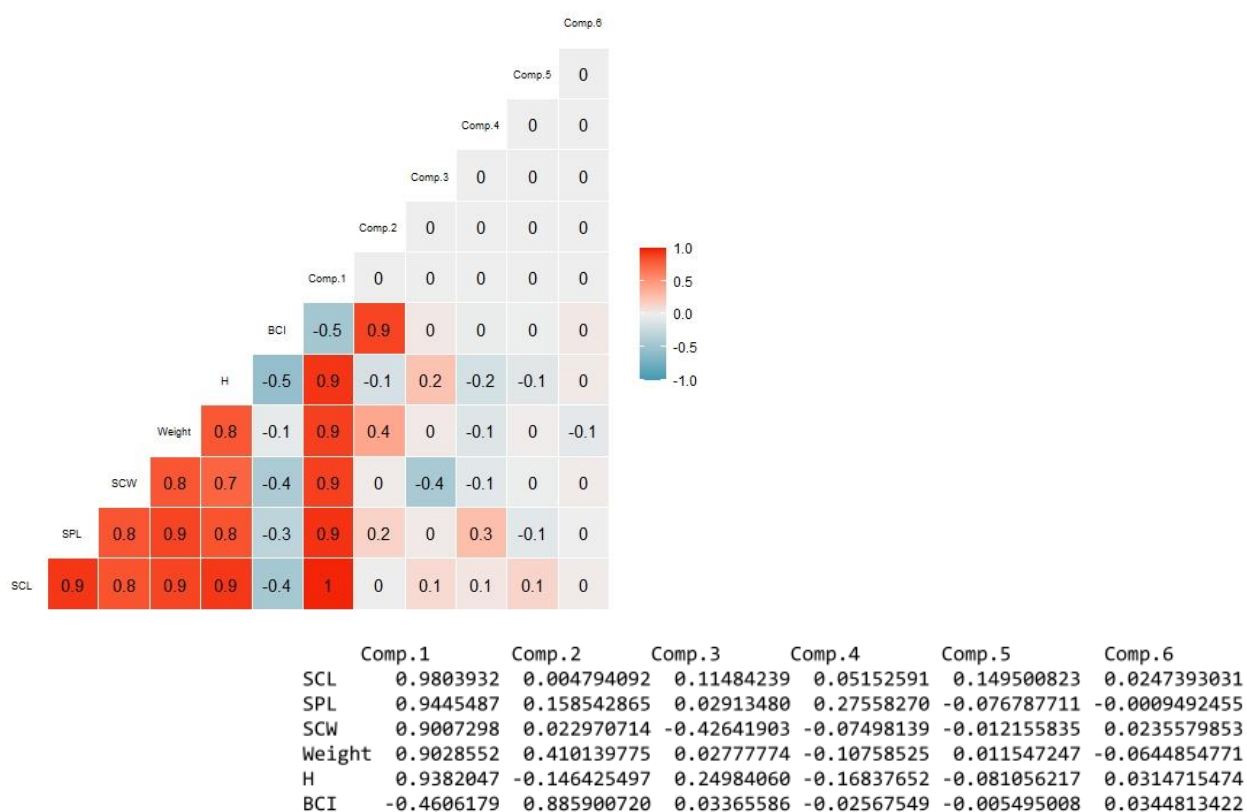


Fig. 28 – Matrice delle variabili per *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

Le prime due componenti spiegano oltre il 93% della variabilità totale, con i coefficienti seguenti:

Importance of components:						
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
Standard deviation	2.1382707	1.0000808	0.51009357	0.35328095	0.18742534	0.086635506
Proportion of Variance	0.7620336	0.1666936	0.04336591	0.02080124	0.00585471	0.001250952
Cumulative Proportion	0.7620336	0.9287272	0.97209310	0.99289434	0.99874905	1.000000000
Loadings:						
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
SCL	0.458		0.225	0.146	0.798	0.286
SPL	0.442	0.159		0.780	-0.410	
SCW	0.421		-0.836	-0.212		0.272
Weight	0.422	0.410		-0.305		-0.744
H	0.439	-0.146	0.490	-0.477	-0.432	0.363
BCI	-0.215	0.886				0.398

Considerando gli score delle PC con le variabili, la prima PC risulterebbe correlata con tutte le variabili biometriche eccetto il BCI, mentre la seconda PC con il BCI. Le altre componenti non sono invece rilevanti.



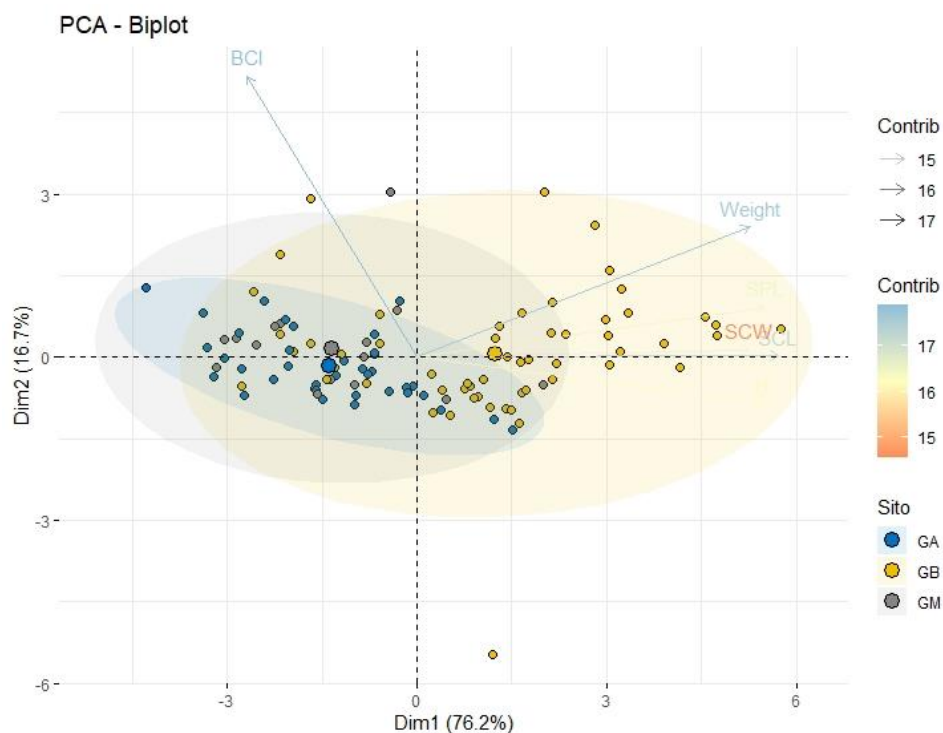


Fig. 29 – Bplot per *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

Per quanto riguarda la popolazione che interessa la Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi, è di seguito analizzato l'andamento delle variabili SCL, peso e BCI.

Analizzando la distribuzione dei dati di SCL e peso delle testuggini catturate nei tre Gorghi all'interno della Riserva Lago Preola – Gorghi Tondi, in tutti e tre i casi si evince una distribuzione non normale (per peso: Gorgo Basso $W = 0,98055$, $p\text{-value} = 0,4874$, Gorgo Medio $W = 0,90367$, $p\text{-value} = 0,09202$ e Gorgo Alto $W = 0,97099$, $p\text{-value} = 0,4533$; SCL: Gorgo Basso $W = 0,98664$, $p\text{-value} = 0,7809$, Gorgo Medio $W = 0,96049$, $p\text{-value} = 0,6706$ e Gorgo Alto $W = 0,97125$, $p\text{-value} = 0,4608$). Il test sulla normalità della distribuzione di SCL e peso, considerando nel complesso i valori per le tre aree, risulta debolmente non significativo nel caso della SCL ($W = 0,97809$, $p\text{-value} = 0,06915$) mentre è confermata la distribuzione normale per i pesi ($W = 0,95571$, $p\text{-value} = 0,001141$),

Applicando pertanto un'analisi non parametrica alla distribuzione di SCL e peso nelle testuggini del Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi, il test di Kruskal–Wallis evidenzia una differenza altamente significativa fra i gruppi (=singoli Gorghi) (SCL by Sito Kruskal-Wallis $X^2 = 37,038$, $df = 2$, $p\text{-value} = 9,066e-09$; Weight by Sito Kruskal-Wallis $X^2 = 41,715$, $df = 2$, $p\text{-value} = 8,744e-10$). I boxplot e gli istogrammi seguenti evidenziano in forma grafica tale differenza:

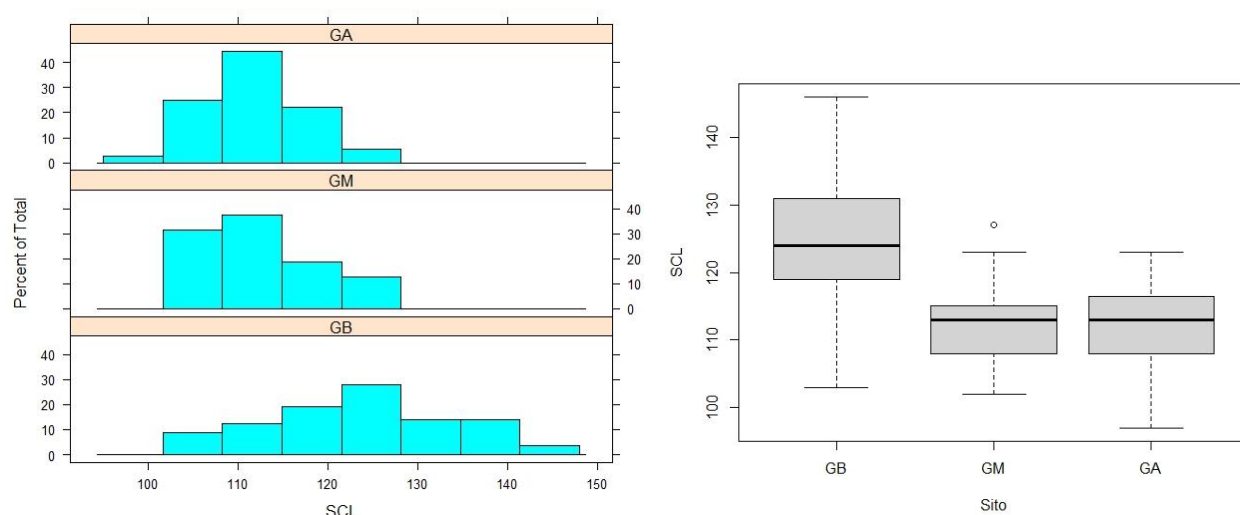


Fig. 30 – Istogramma e boxplot distribuzione SCL in *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

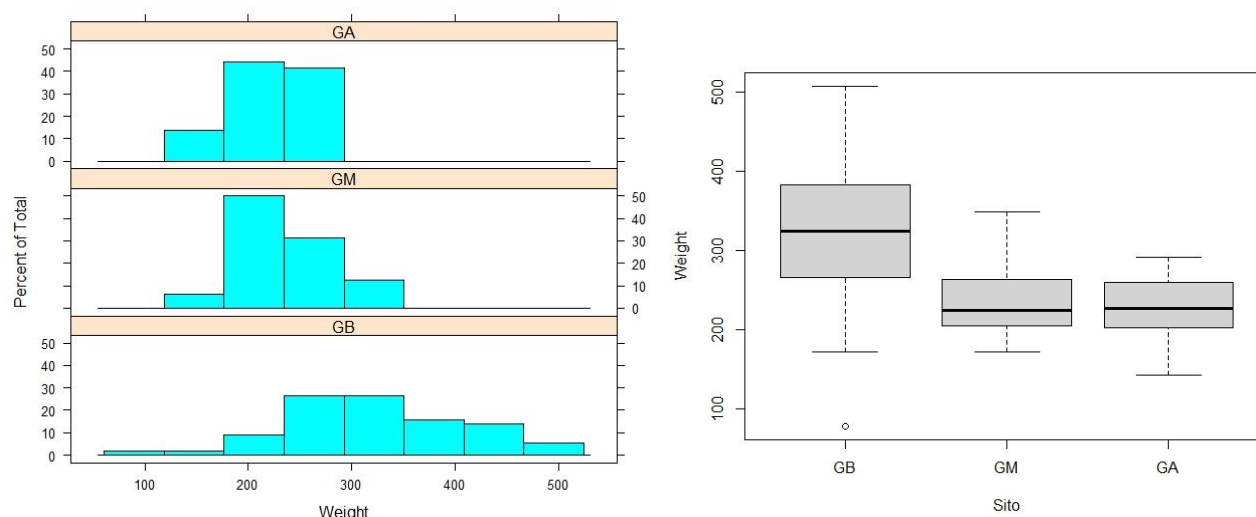


Fig. 31 – Istogramma e boxplot distribuzione peso in *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

Come analisi post hoc viene applicato il Dunn's Test, che per quanto riguarda l'SCL conferma una differenza sinigificativa fra i tre siti:

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
GA - GB	-6.0274560	1.665606e-09	4.996817e-09
GA - GM	-0.5272147	5.980445e-01	5.980445e-01
GB - GM	3.9755711	7.021056e-05	1.053158e-04

Stesso risultato rilascia il test considerando il peso:

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
GA - GB	-5.6073888	2.054019e-08	6.162058e-08

GA - GM	-0.3044452	7.607887e-01	7.607887e-01
GB - GM	3.8960657	9.776789e-05	1.466518e-04

Considerando la distribuzione dei valori di Body Condition Index (BCI) fra i tre Gorghi, l'analisi conferma il discostamento dalla normalità (Shapiro-Wilks $W = 0.89735$, $p\text{-value} = 4.235e-07$), e la necessità di utilizzare un approccio non parametrico come in precedenza. In questo caso il test di Kruskal–Wallis conferma una differenza di poò sopra alla significatività fra i gruppi (=singoli Gorghi) (BCI by Sito $X^2 = 10.077$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.006483$).

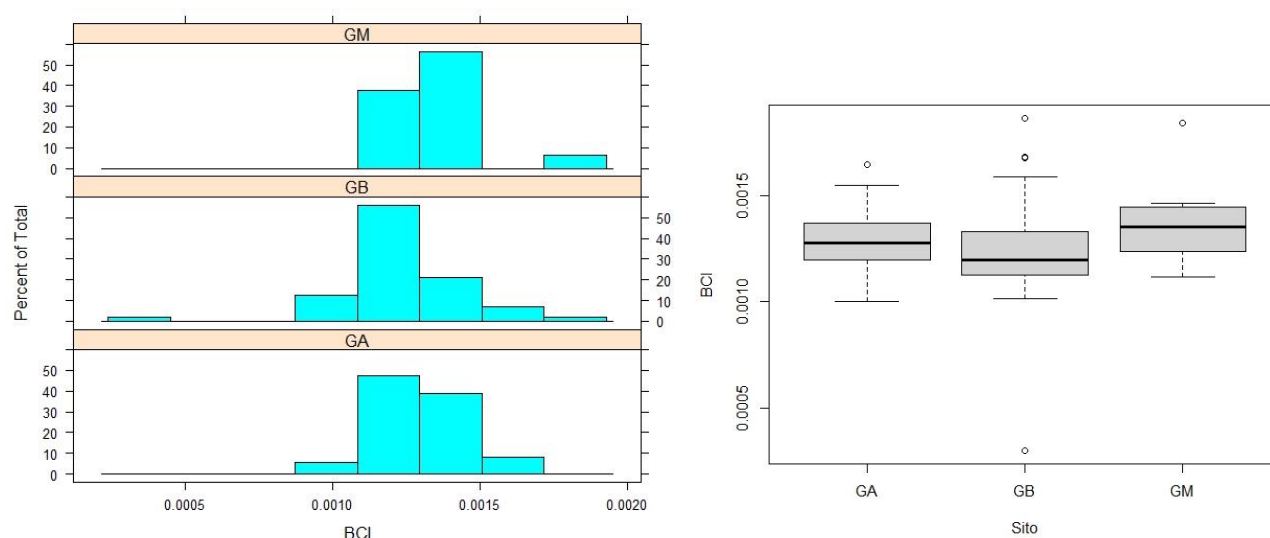


Fig. 32 – Istogramma e boxplot distribuzione BCI in *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

L'applicazione del Dunn test conferma l'assenza di significative differenze fra gli individui del GA e GM mentre fra GB e GM-GA le differenze per il BCI sarebbero significative:

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
GA - GB	2.271413	0.023121968	0.03468295
GA - GM	-1.011231	0.311905977	0.31190598
GB - GM	-2.783101	0.005384211	0.01615263

Applicando il test di Nemenyi, per campioni disomogenei (ZAR, 2010), per tutte le variabili considerate l'analisi conferma uno scenario caratterizzato da spiccata significatività nella differenza fra gli individui del Gorgo Basso (GB) e quelli provenienti da Gorgo Medio (GM) e Gorgo Alto):

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

```

      mean.rank.diff    pval
GM-GB      -34.811404 0.00029 ***
GA-GB      -37.700292 6.3e-08 ***
GA-GM       -2.888889 0.95028
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

- Peso->Sex

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

```

      mean.rank.diff    pval
GM-GB      -35.551535 0.00021 ***
GA-GB      -40.558480 5e-09 ***
GA-GM       -5.006944 0.85801
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

- BCI->Sex

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

```

      mean.rank.diff    pval
GM-GB       24.889254 0.0149 *
GA-GB       15.285088 0.0599 .
GA-GM       -9.604167 0.5697
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

L'Analisi delle Componenti Principali applicata alla popolazione del Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza), relativamente alla divisione fra i sessi. In questo caso le variabili risultano correlate.

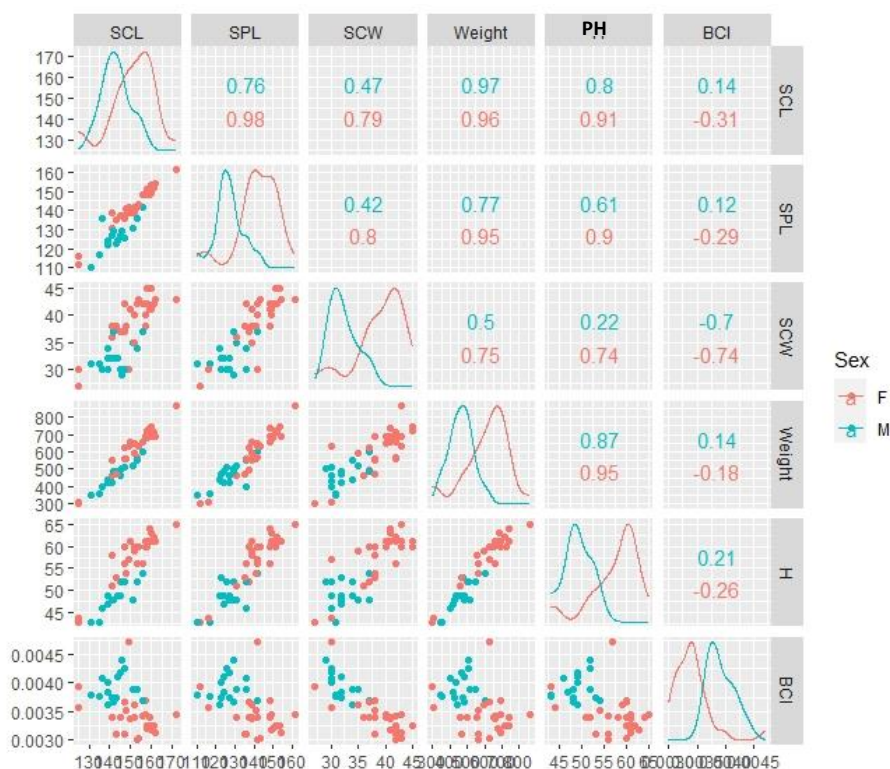


Fig. 33 – Matrice delle variabili per *E. trinacris* nella Riserva Bosco Ficuzza

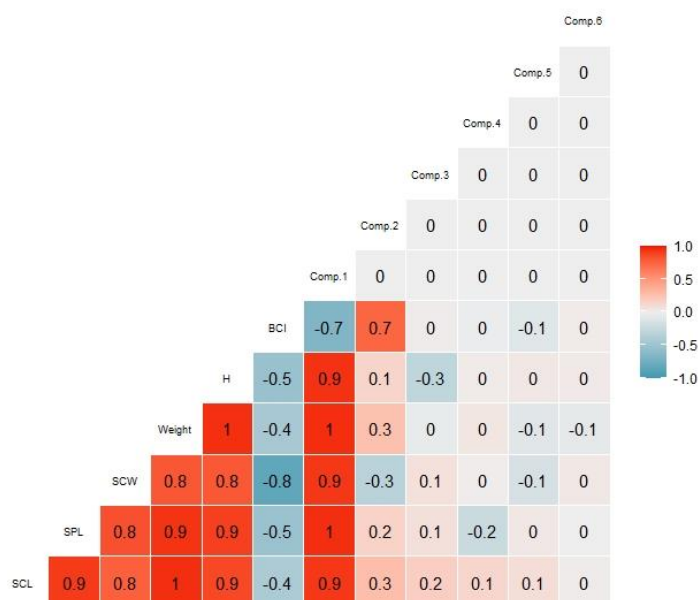
Le prime due componenti spiegano oltre il 95% della variabilità totale, con i coefficienti seguenti:

```

Importance of components:
      Comp.1      Comp.2      Comp.3      Comp.4      Comp.5      Comp.6
Standard deviation  2.211515 0.9244158 0.35842434 0.27102288 0.215811533 0.078495261
Proportion of Variance 0.815133 0.1424241 0.02141133 0.01224223 0.007762436 0.001026918
Cumulative Proportion 0.815133 0.9575571 0.97896841 0.99121065 0.998973082 1.000000000
> print(summary(pca_princomp, loadings = TRUE))
Importance of components:
      Comp.1      Comp.2      Comp.3      Comp.4      Comp.5      Comp.6
Standard deviation  2.211515 0.9244158 0.35842434 0.27102288 0.215811533 0.078495261
Proportion of Variance 0.815133 0.1424241 0.02141133 0.01224223 0.007762436 0.001026918
Cumulative Proportion 0.815133 0.9575571 0.97896841 0.99121065 0.998973082 1.000000000

Loadings:
      Comp.1 Comp.2 Comp.3 Comp.4 Comp.5 Comp.6
SCL      0.420  0.302  0.511  0.510  0.417  0.193
SPL      0.433  0.169  0.221 -0.835  0.193
SCW      0.421 -0.353  0.211      -0.681  0.434
Weight   0.433  0.282 -0.105  0.170 -0.374 -0.744
H        0.428  0.156 -0.795      0.168  0.355
BCI     -0.298  0.808      -0.396  0.309
  
```

Considerando gli score delle PC con le variabili, la prima PC risulterebbe correlata con tutte le variabili biometriche eccetto il BCI, mentre la seconda PC con il BCI. Le altre componenti non sono invece rilevanti.



```

      Comp.1      Comp.2      Comp.3      Comp.4      Comp.5      Comp.6
SCL      0.9279311 0.2791698 0.18320780 0.13820731 0.09006803 0.0151490992
SPL      0.9572329 0.1562723 0.07933894 -0.22638562 0.04170214 -0.0002031205
SCW      0.9301226 -0.3259600 0.07571821 0.01185078 -0.14691899 0.0341054667
Weight   0.9585088 0.2603897 -0.03759277 0.04593879 -0.08079380 -0.0583679683
H        0.9462103 0.1446509 -0.28495108 0.02180968 0.03626255 0.0278301694
BCI     -0.6589886 0.7464658 0.01626831 -0.01937049 -0.08541370 0.0242373393
  
```

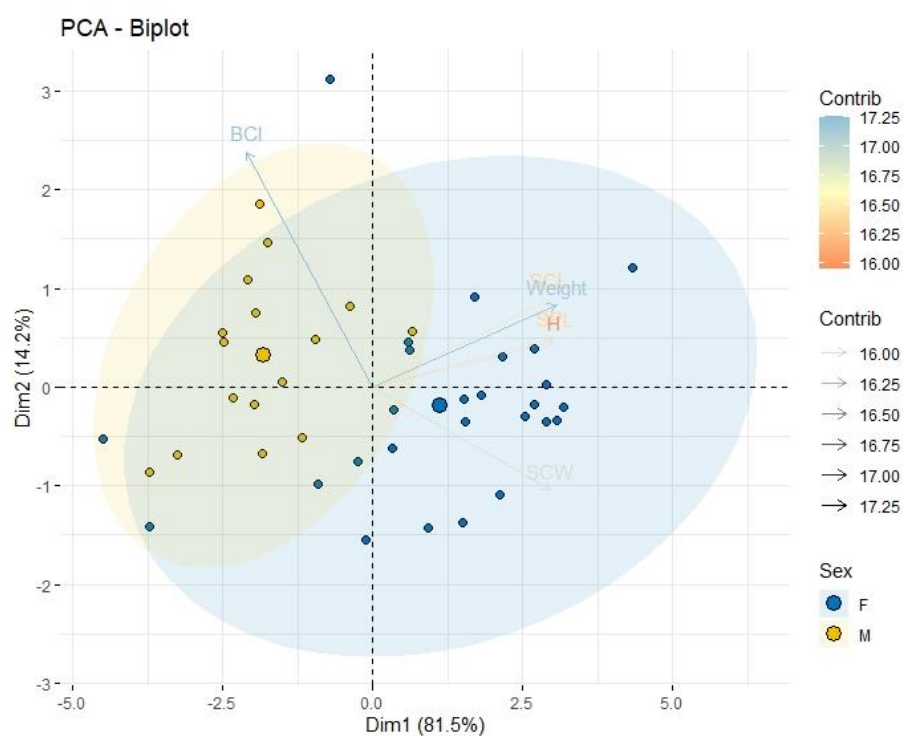


Fig. 34 – Bplot per *E. trinacris* nel sito Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza)

Per quanto riguarda la popolazione che interessa il Gorgo Lungo, è di seguito analizzato l'andamento delle variabili SCL, peso e BCI.

Nel caso delle distribuzioni di SCL e peso nella popolazione del Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza), la distribuzione dei parametri risulta normale (Shapiro- Wilks per peso $W = 0.98089$, $p\text{-value} = 0.696$; Shapiro-Wallis per SCL $W = 0.98155$, $p\text{-value} = 0.7212$), evidenziato anche dagli istogrammi seguenti.

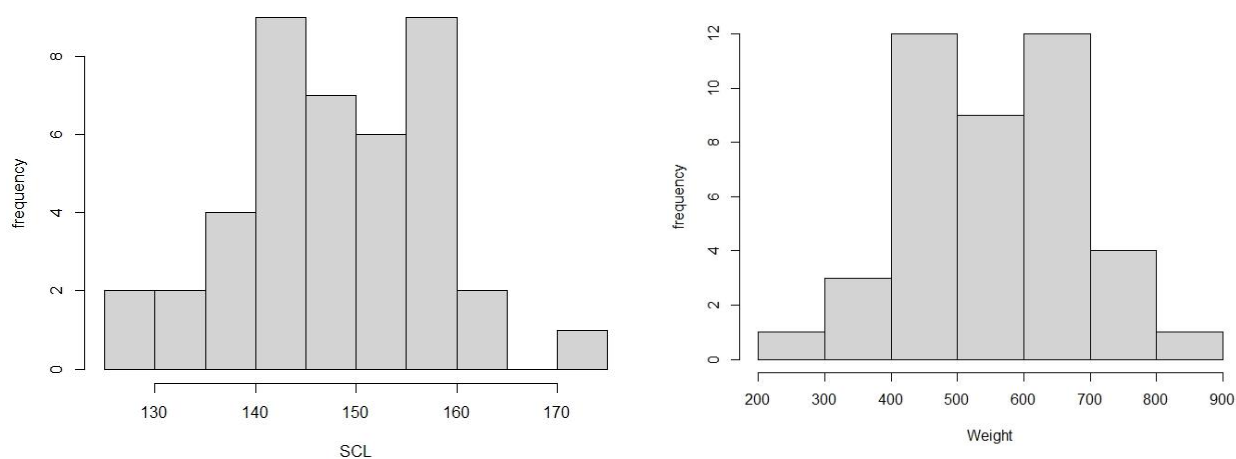


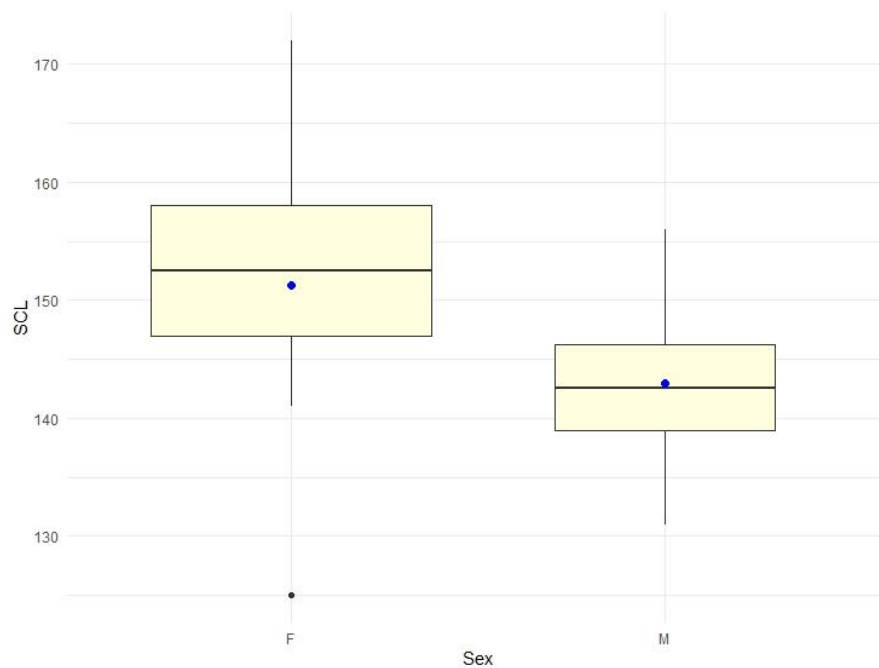
Fig. 35 – Istogramma distribuzione SCL e peso in *E. trinacris* nel sito Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza)

Il Body Condition Index (BCI) nel caso del Gorgo Lungo rispecchia una distribuzione normale (Shapiro-Wilks per BCI $W = 0.96304$, $p\text{-value} = 0.1895$), ed è stato analizzato applicando un'ANOVA a una via confrontando rispetto al sesso degli individui (M e F) e alla stagione.

Tutte le analisi riportano valori di significatività, con una correlazione fra sesso e valori biometrici:

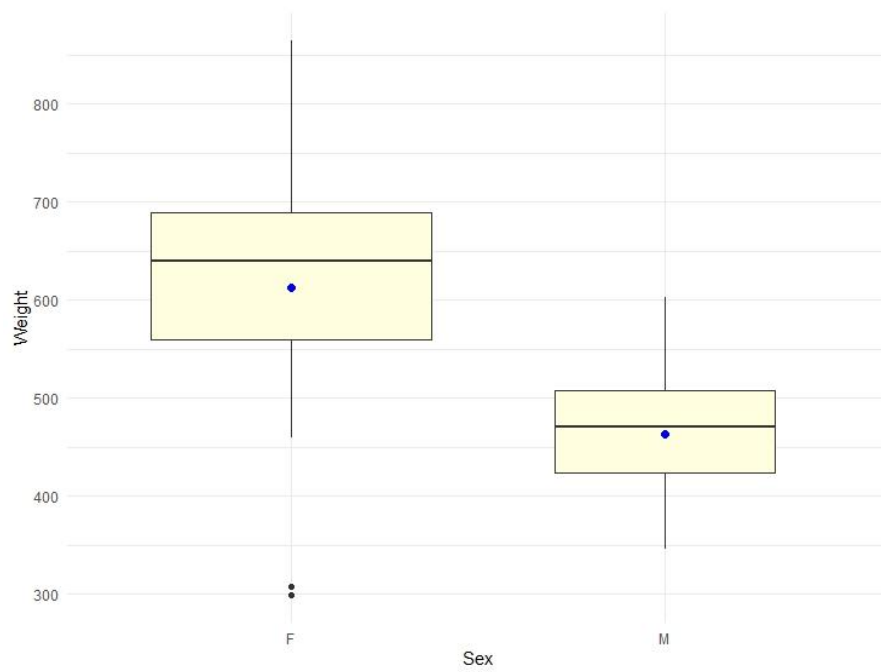
- **SCL->Sex**

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Sex        1    681   681.2    7.858 0.00777 **
Residuals 40   3468    86.7
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



- **Peso->Sex**

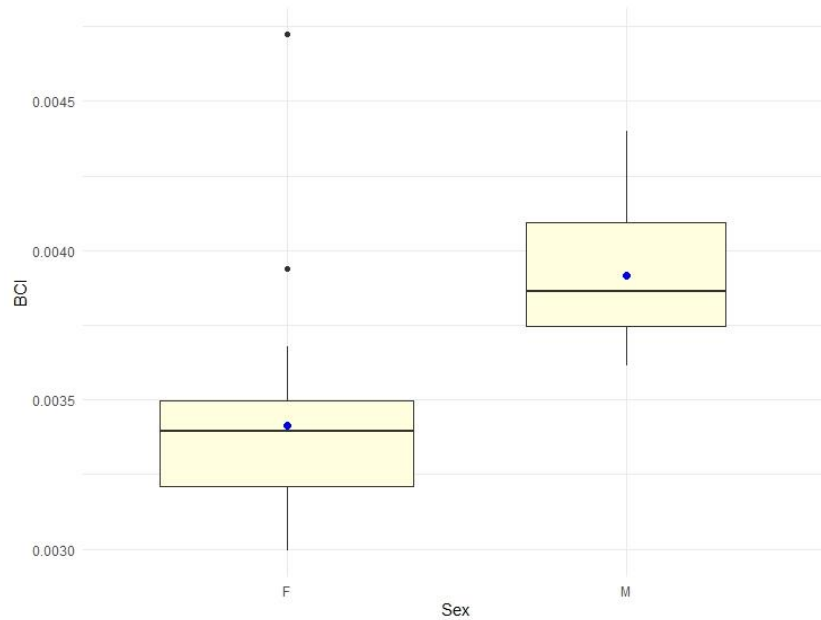
```
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Sex        1 221616  221616    18.3 0.000114 ***
Residuals 40 484295   12107
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



- BCI->Sex

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Sex	1	2.502e-06	2.502e-06	26.3	7.86e-06 ***
Residuals	40	3.806e-06	9.510e-08		

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Applicando il Tukey's Test sui risultati ottenuti, si ottiene nel confronto M vs F una elevata significatività nelle differenze dei valori biometrici, soprattutto per quanto riguarda il BCI:

Sex->SCL

\$Sex		diff	lwr	upr	p adj
M-F	-8.293269	-14.27245	-2.314083	0.007765	

Sex->Peso

\$Sex		diff	lwr	upr	p adj
M-F	-149.5817	-220.2437	-78.9198	0.0001139	

Sex->BCI

\$Sex		diff	lwr	upr	p adj
M-F	0.0005026326	0.000304547	0.0007007182	7.9e-06	

Nella popolazione del Gorgo Lungo risulta maggiormente significativa pertanto la differenza nel Body Condition Index rilevata nel 2019

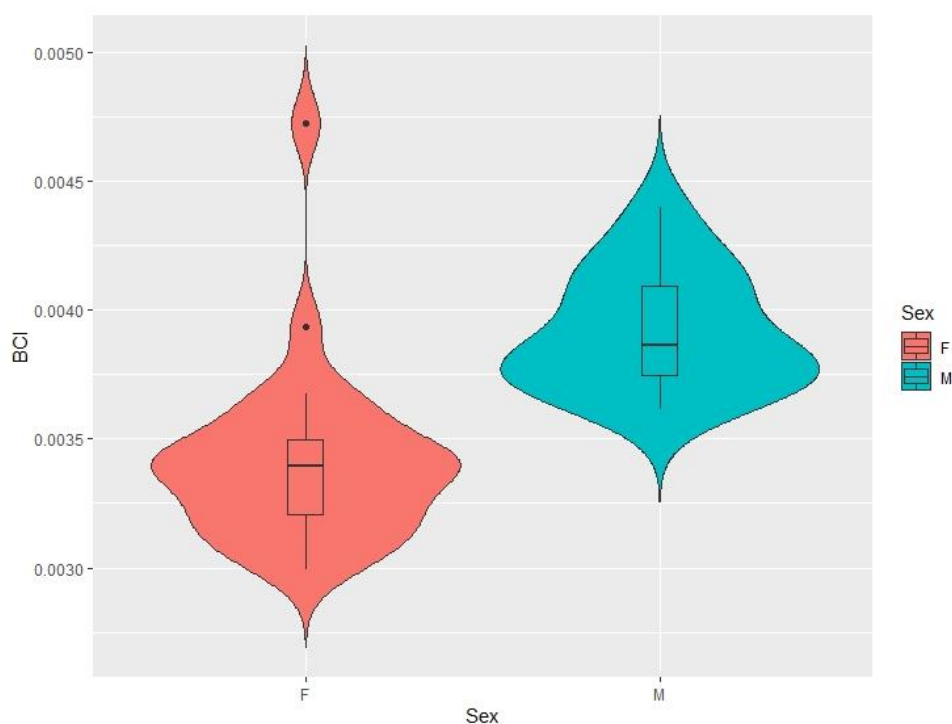


Fig. 36 – Violin plot della variazione nei sessi del BCI in *E. trinacris* nel sito Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza)

Confrontando le variabili biometriche con la stagionalità, non risultano differenze significative. Questo è auspicabile e risulta corretto anche considerando come non sia stato possibile svolgere i rilievi nei mesi primaverili ma solo estivi (Luglio e settembre):

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Mese	1	2.820e-07	2.820e-07	1.872	0.179
Residuals	40	6.026e-06	1.506e-07		

Mettendo ora a confronto i dati biometrici rilevati nelle due popolazioni Preola-Gorghi Tondi e Bosco Ficuzza, l'Analisi delle Componenti Principali mostra una correlazione fra le variabili.

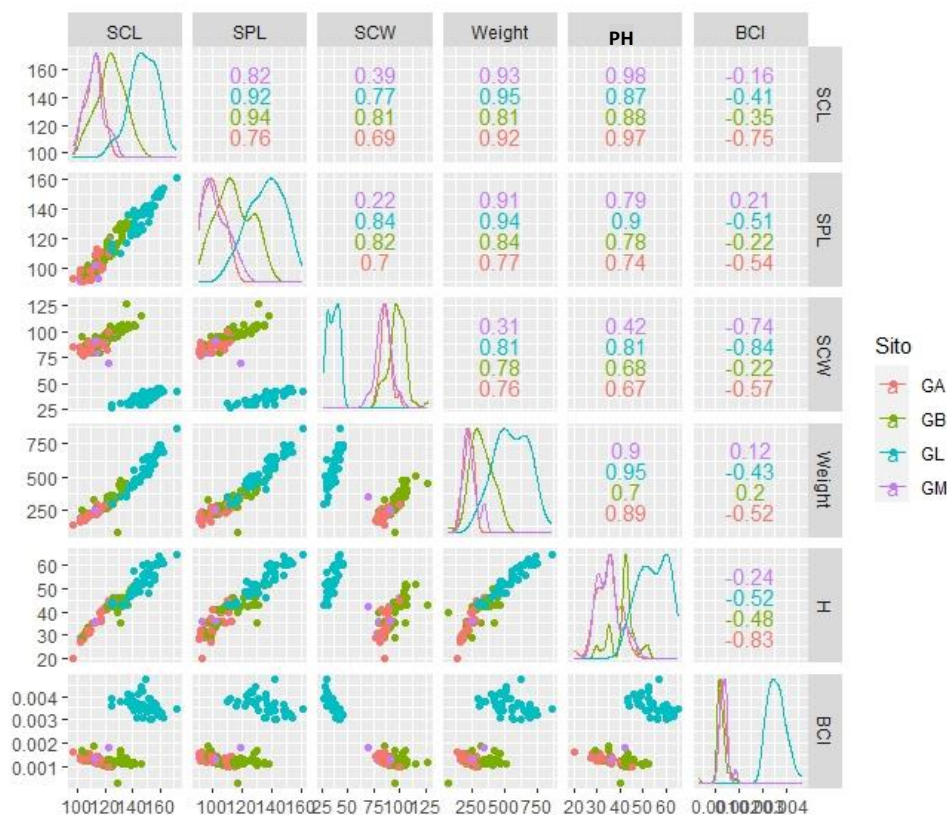


Fig. 37 – Matrice delle variabili per *E. trinacris*, confronto Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi e Bosco Ficuzza

La prima componente spiega l'82% della variabilità, e le prime due cumulativamente oltre il 97% della variabilità totale, con i coefficienti seguenti:

Importance of components:						
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
Standard deviation	2.2195285	0.9489608	0.28175544	0.221314696	0.164051538	0.133743283
Proportion of Variance	0.8210511	0.1500878	0.01323102	0.008163366	0.004485484	0.002981211
Cumulative Proportion	0.8210511	0.9711389	0.98436994	0.992533305	0.997018789	1.000000000
> print(summary(pca_princomp, loadings = TRUE))						
Importance of components:						
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
Standard deviation	2.2195285	0.9489608	0.28175544	0.221314696	0.164051538	0.133743283
Proportion of Variance	0.8210511	0.1500878	0.01323102	0.008163366	0.004485484	0.002981211
Cumulative Proportion	0.8210511	0.9711389	0.98436994	0.992533305	0.997018789	1.000000000
Loadings:						
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
SCL	0.436	0.226		0.286	0.540	0.615
SPL	0.421	0.324	-0.404	0.558	-0.427	-0.247
SCW	-0.344	0.668	-0.266	-0.102	0.485	-0.345
Weight	0.433	0.205	-0.347	-0.760	-0.192	0.188
H	0.425	0.262	0.735	-0.132		-0.439
BCI	0.383	-0.536	-0.313		0.503	-0.463

Considerando gli score delle PC con le variabili, la prima PC risulterebbe fortemente correlata con tutte le variabili biometriche eccetto SCW, mentre la seconda PC con il BCI. Le altre componenti non sono invece rilevanti.

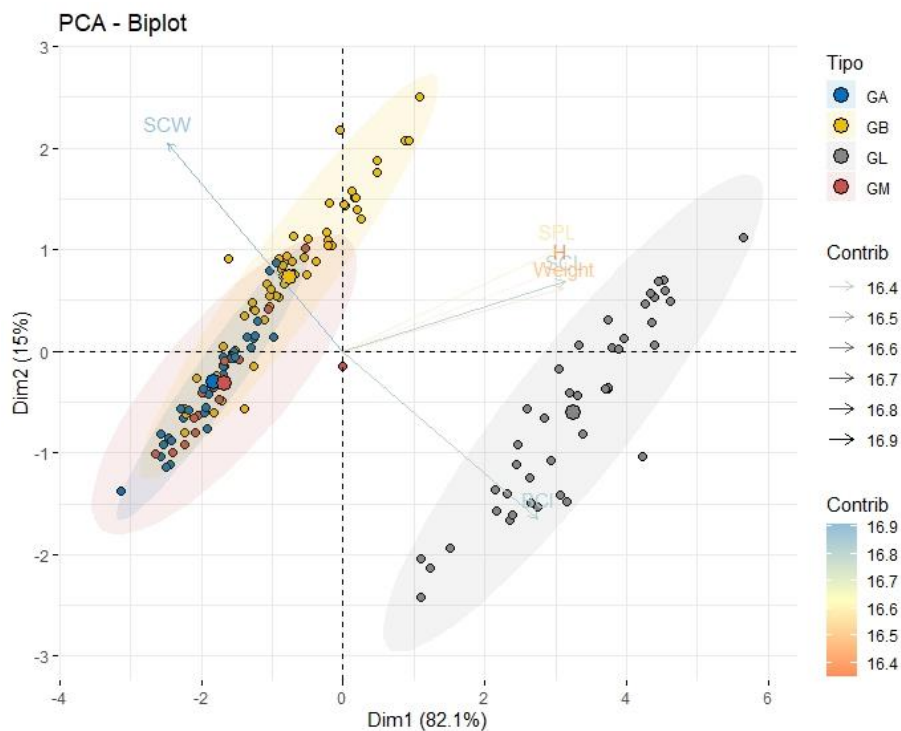
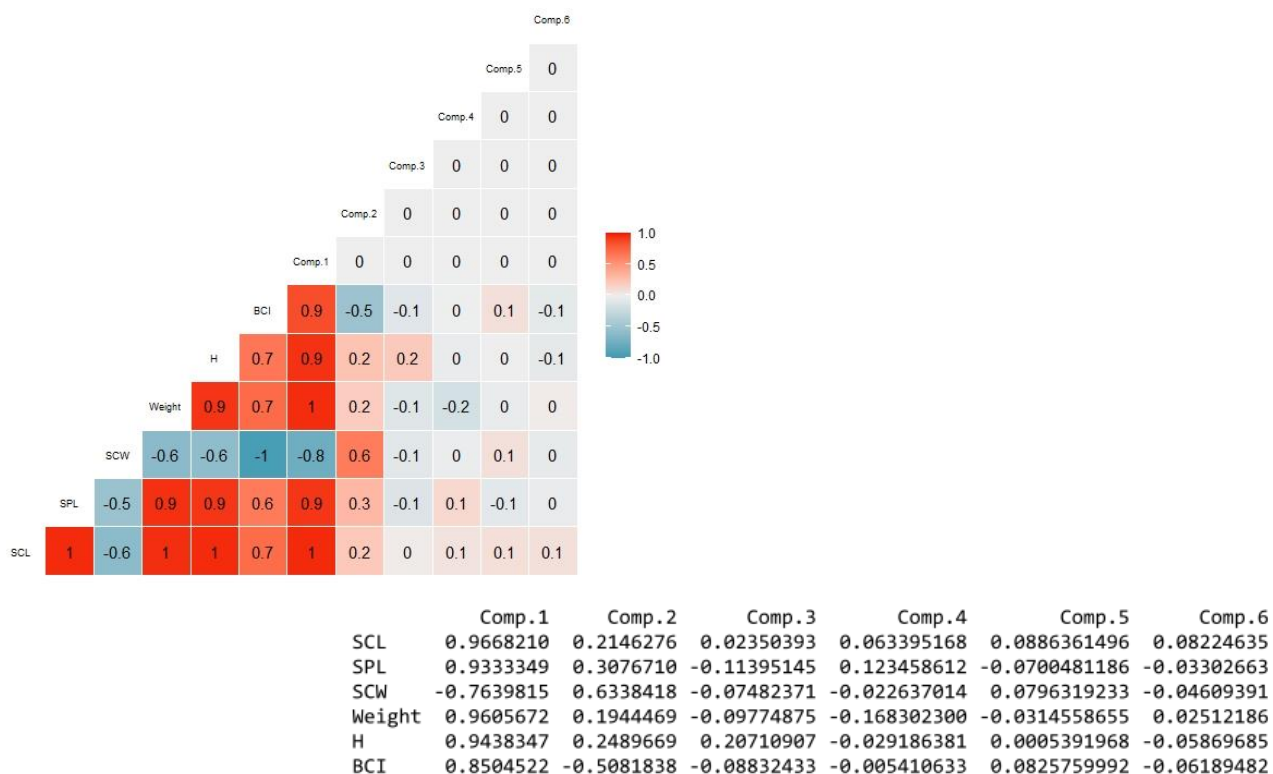


Fig. 38 – Bplot per *E. trinacris*, confronto fra le aree

Confrontando la distribuzione dei dati fra i diversi siti, la distribuzione non risulta normale, neanche procedendo con una trasformazione $\log_{10}$. Si è proceduto pertanto ad un approccio non parametrico con applicazione del test di Kruskal–Wallis e relative analisi post hoc (Dunn Test e Nemenyi Test).

Il confronto fra BCI del Gorgo Lungo e degli altri tre Gorghi (Basso, Medio e Alto) restituisce differenze largamente significative all'interno della distribuzione ($X^2 = 102.98$, $df = 3$, $p\text{-value} < 2.2e-16$), mentre Dunn test e Nemenyi evidenziano sì una differenza fra il Gorgo Lungo e gli altri tre, ma indicano ancora simili i valori per Gorgo Alto e Gorgo Medio.

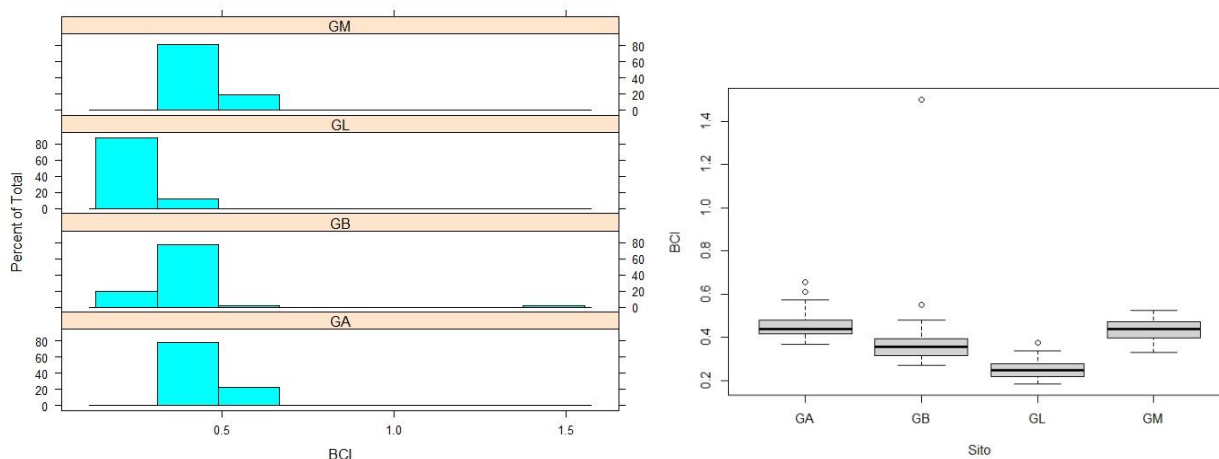


Fig. 39 – Istogramma e boxplot distribuzione BCI in *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi

Dunn's test

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 GA - GB	4.7159648	2.405681e-06	3.608521e-06
2 GA - GL	9.4619833	3.021569e-21	1.812941e-20
3 GB - GL	5.6310744	1.790904e-08	3.581808e-08
4 GA - GM	0.5025836	6.152570e-01	6.152570e-01
5 GB - GM	-3.0148726	2.570872e-03	3.085047e-03
6 GL - GM	-6.8011592	1.037807e-11	3.113420e-11

Nemenyi's test

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)			
	mean.rank.diff	pval	
GM-GB	37.303728	0.0137	*
GA-GB	43.907895	1.4e-05	***
GL-GB	-50.080201	1.1e-07	***
GA-GM	6.604167	0.9585	
GL-GM	-87.383929	6.2e-11	***
GL-GA	-93.988095	3.5e-14	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

Risultati analoghi sono restituiti rispettivamente per la SCL e per il peso (Kruskal–Wallis SCL $X^2 = 103.3$, $df = 3$, $p\text{-value} < 2.2e-16$; peso $X^2 = 102.96$, $df = 3$, $p\text{-value} < 2.2e-16$):

SCL

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 GA - GB	-4.2534305	2.105203e-05	3.157805e-05
2 GA - GL	-9.3693067	7.301052e-21	4.380631e-20
3 GB - GL	-6.0117819	1.834951e-09	3.669901e-09
4 GA - GM	-0.2294481	8.185206e-01	8.185206e-01
5 GB - GM	2.9569009	3.107480e-03	3.728976e-03
6 GL - GM	7.0088538	2.402784e-12	7.208352e-12

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval	
GM-GB	-36.572368	0.01647	*
GA-GB	-39.586257	0.00012	***
GL-GB	53.445489	1.1e-08	***
GA-GM	-3.013889	0.99575	
GL-GM	90.017857	1.5e-11	***
GL-GA	93.031746	3.9e-14	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

Peso

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 GA - GB	-4.6493421	3.329955e-06	4.994932e-06
2 GA - GL	-9.4254599	4.282247e-21	2.569348e-20
3 GB - GL	-5.6600273	1.513489e-08	3.026978e-08
4 GA - GM	-0.4048249	6.856063e-01	6.856063e-01
5 GB - GM	3.0685613	2.150922e-03	2.581106e-03
6 GL - GM	6.8729034	6.290817e-12	1.887245e-11

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval	
GM-GB	-37.967105	0.0116	*
GA-GB	-43.286550	2.0e-05	***
GL-GB	50.336466	9.1e-08	***
GA-GM	-5.319444	0.9776	
GL-GM	88.303571	3.8e-11	***
GL-GA	93.623016	3.7e-14	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

- Analisi isotopica

Riserva Lago Preola e Gorgi Tondi

L'analisi dei Discriminanti (Linear Discriminant Analysis - LDA), considerando la differenza fra le specie presenti nei tre siti della Riserva Lago Preola – Gorgi Tondi, evidenzia una netta differenza nelle tracce isotopiche per $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ fra il sangue di *E. trinacris* e i tessuti dei pesci.

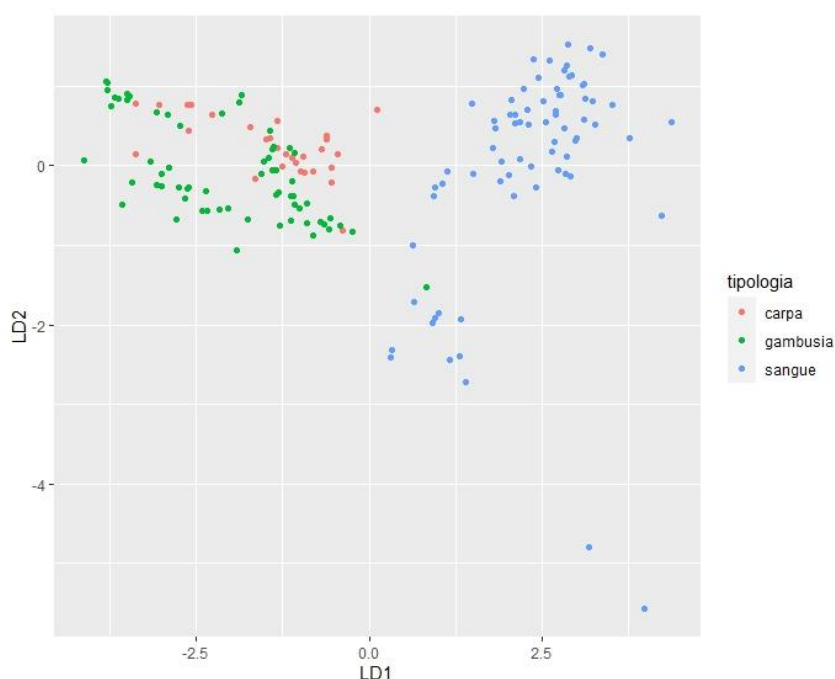


Fig. 40 – Plot per campioni di sangue *E. trinacris* e tessuto di carpa e gambusia

Il modello classifica correttamente l'84% dei dati, con le specie che sono separate lungo LD1, con la varianza fra i gruppi *Emys*-pesci associata soprattutto a $\delta^{13}\text{C}$. Il secondo asse è invece inversamente associato a $\delta^{15}\text{N}$:

Variabile	LD1	LD2
$\delta^{15}\text{N}$	-0.4552167	0.04441372
$\delta^{13}\text{C}$	0.2233779	-0.42708877

Applicando l'Analisi delle Discriminanti ai valori di $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie di *E. trinacris* e i tessuti di carpa e gambusia, il modello classifica correttamente l'80% dei dati mostrando anche in questo caso una differenziazione fra le specie, in particolare fra le testuggini e i pesci.

Variabile	LD1	LD2
$\delta^{15}\text{N}$	0.3465672	-0.2098834
$\delta^{13}\text{C}$	-0.4510885	-0.3109399

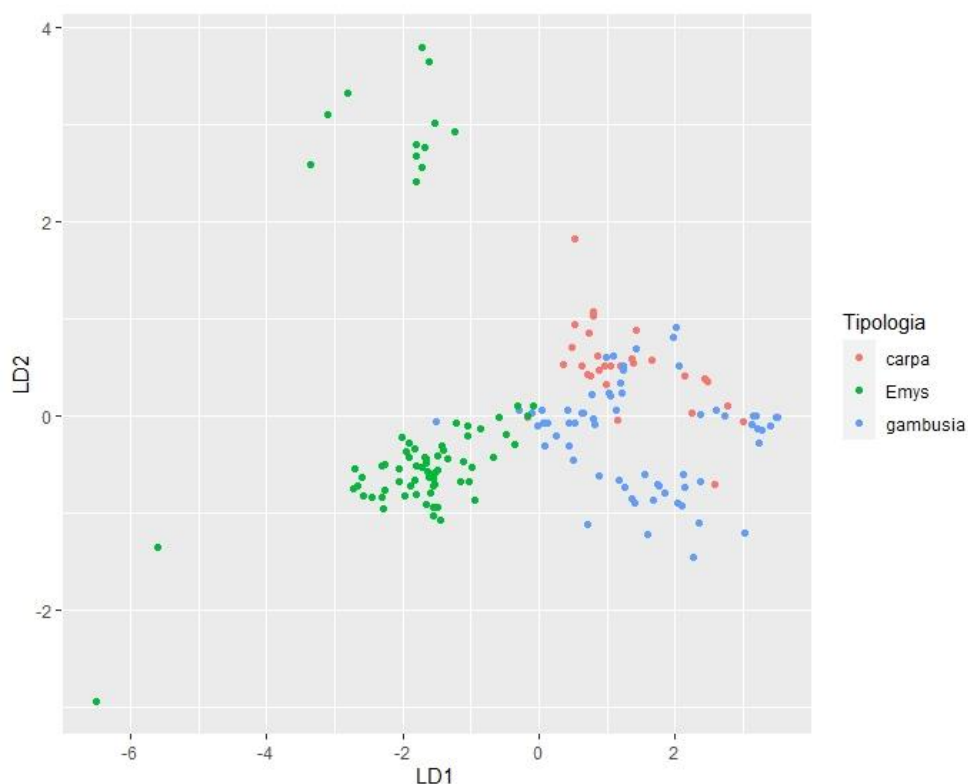


Fig. 41 – Plot per campioni di unghie di *E. trinacris* e tessuto di carpa e gambusia

Il confronto delle tracce isotopiche nel sangue fra i sessi all'interno della Riserva Lago Preola-Gorgi Tondi non mostra differenze significative fra maschi e femmine ne rispetto a $\delta^{15}\text{N}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 0.0019617$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.9647$) ne per $\delta^{13}\text{C}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 1.1417$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.2853$).

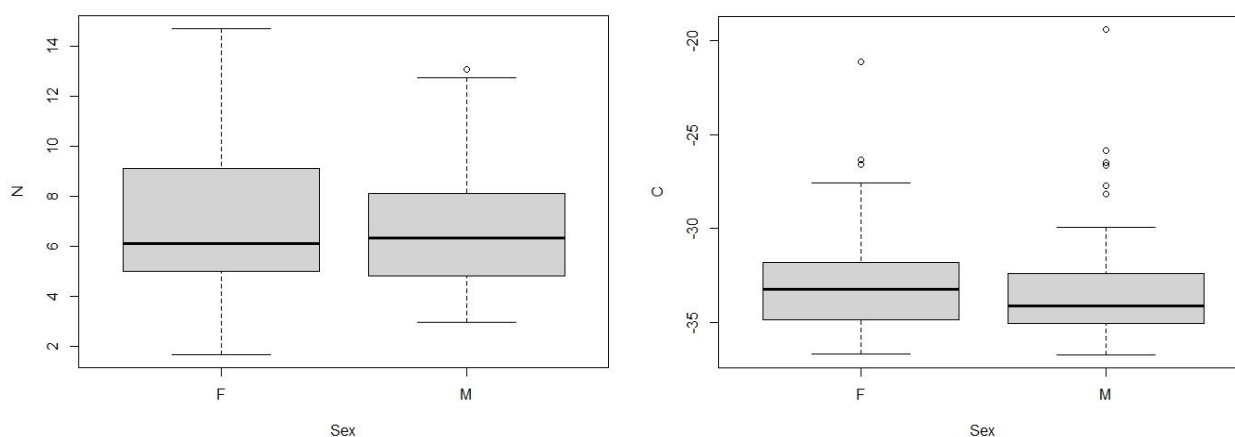


Fig. 42 – BoxPlot sesso e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ del sangue rispettivamente

La distribuzione dei contenuti isotopici nel sangue rispetto al periodo (giugno, luglio e settembre) mostra una differenza debolmente significativa per quanto riguarda $\delta^{15}\text{N}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 11.805$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.002732$), molto più marcata per $\delta^{13}\text{C}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 28.187$, $df = 2$, $p\text{-value} = 7.575\text{e-}07$).

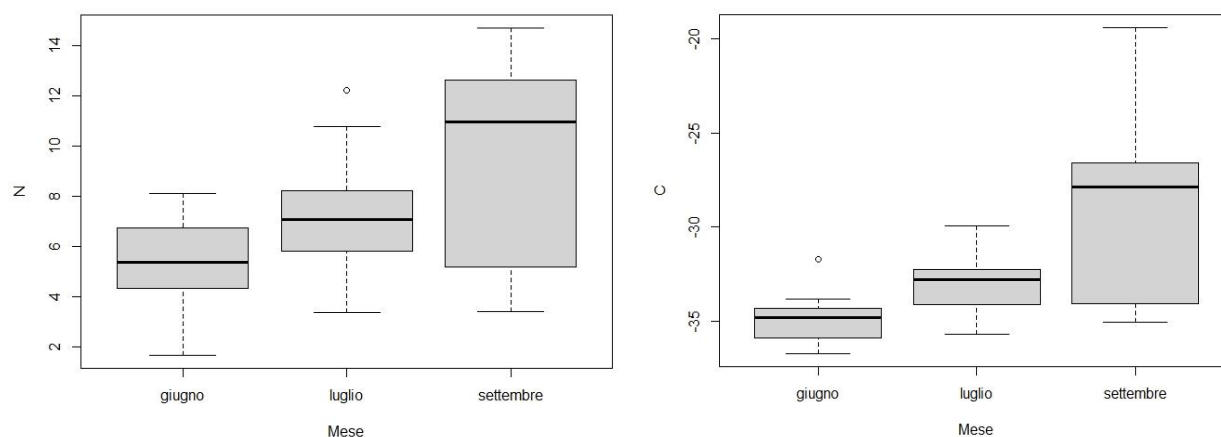


Fig. 43 – BoxPlot mese e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ del sangue rispettivamente

Applicando le analisi post hoc relative (Dunn's test e Nemenyi's test), il confronto a coppie restituisce differenze significative fra giugno e luglio, e soprattutto fra giugno e settembre sia per $\delta^{15}\text{N}$ che per $\delta^{13}\text{C}$:

- $\delta^{15}\text{N}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	giugno - luglio	-2.337884	0.0193932449	0.02908987
2	giugno - settembre	-3.328235	0.0008739799	0.00262194
3	luglio - settembre	-1.148302	0.2508438018	0.25084380

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
luglio-giugno	13.814815	0.0507 .
settembre-giugno	21.000000	0.0025 **
settembre-luglio	7.185185	0.4843

Signif. codes:	0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	

- $\delta^{13}\text{C}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	giugno - luglio	-3.796832	1.465569e-04	2.198353e-04
2	giugno - settembre	-5.072758	3.920913e-07	1.176274e-06
3	luglio - settembre	-1.529660	1.261008e-01	1.261008e-01

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval	
luglio-giugno	22.435897	0.00043	***
settembre-giugno	32.007326	1.2e-06	***
settembre-luglio	9.571429	0.27698	

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Dal confronto fra tracce isotopiche nel sangue e sito (Gorgo Basso, Gorgo Medio e Gorgo Alto), l'applicazione del Kruskal-Wallis test restituisce differenza non significative ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 0.067715$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.9667$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 0.642$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.7254$).

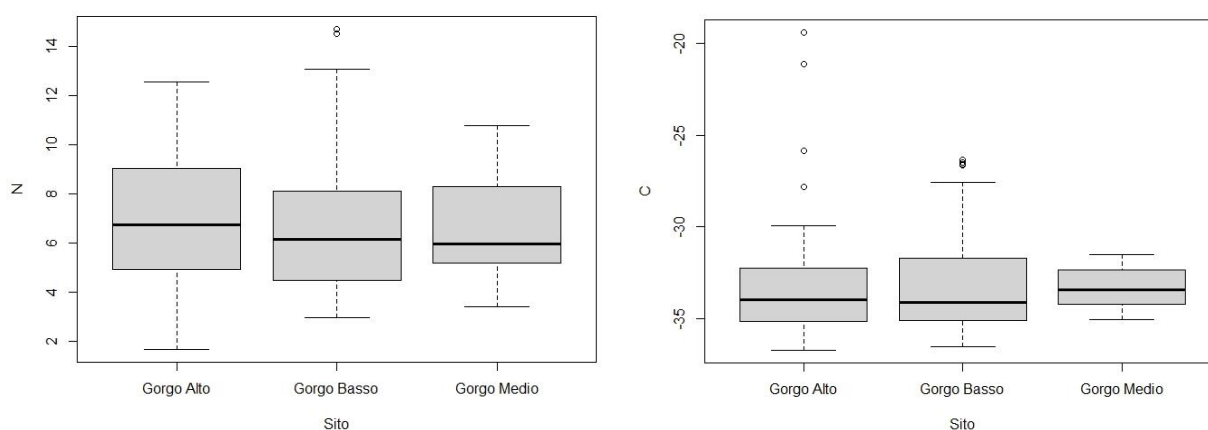


Fig. 44 – BoxPlot sito e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ del sangue rispettivamente

Passando ora a valutare le tracce isotopiche delle unghie di *E. trinacris*, sono replicate le stesse analisi svolte per il sangue.

- $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ vs sesso

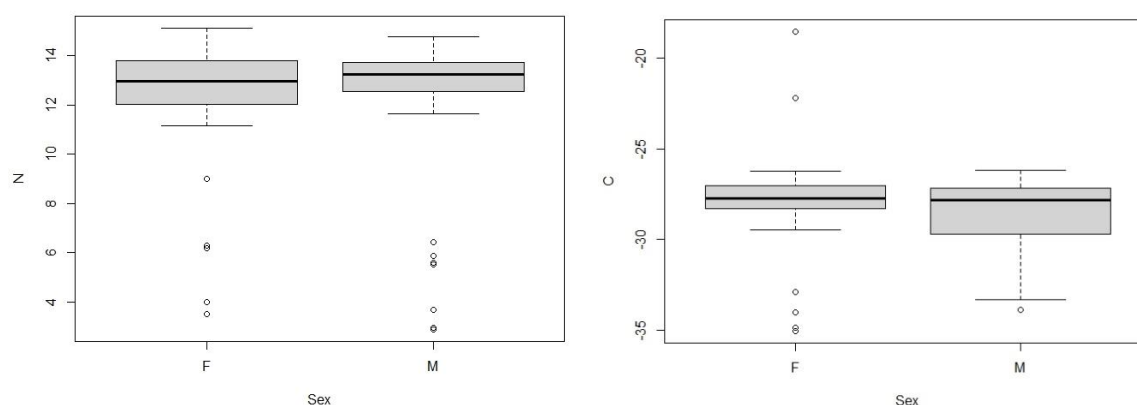


Fig. 45 – BoxPlot sesso e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie rispettivamente

I Box plot evidenziano differenze non significative fra i sessi ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 0.54219$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.4615$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 0.54219$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.4615$).

- $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ vs mese

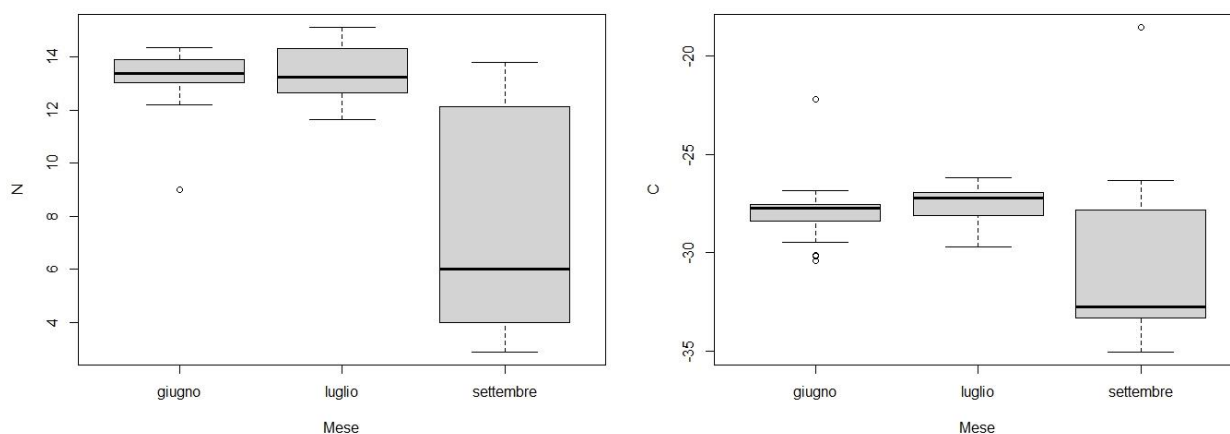


Fig. 46 – BoxPlot mese e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie rispettivamente

Le differenze sono significative ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 22.61$, $df = 2$, $p\text{-value} = 1.231\text{e-}05$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 14.786$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.0006155$). Di seguito i risultati delle analisi post hoc, che indicano una maggiore variabilità fra giugno e settembre per $\delta^{15}\text{N}$ e fra luglio e settembre per $\delta^{13}\text{C}$:

- $\delta^{15}\text{N}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	giugno - luglio	0.223821	8.228966e-01	8.228966e-01
2	giugno - settembre	4.301918	1.693261e-05	5.079783e-05
3	luglio - settembre	4.223120	2.409435e-05	3.614153e-05

> kruskal.test(C~sito, data=Emys_anova_unghie)

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
luglio-giugno	-1.289744	0.9728
settembre-giugno	-28.367521	5.0e-05 ***
settembre-luglio	-27.077778	7.1e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- $\delta^{13}\text{C}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	giugno - luglio	-1.500891	0.1333837563	0.1333837563
2	giugno - settembre	2.425742	0.0152771073	0.0229156610
3	luglio - settembre	3.843611	0.0001212371	0.0003637114

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
luglio-giugno	8.648718	0.29048
settembre-giugno	-15.995726	0.04048 *
settembre-luglio	-24.644444	0.00036 ***

- $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ vs sito

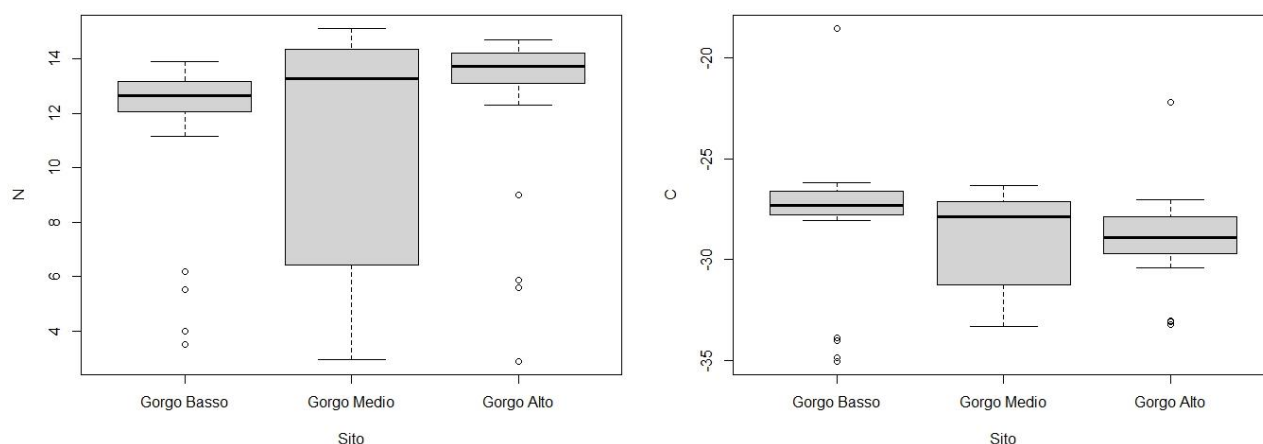


Fig. 47 – BoxPlot sito e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie rispettivamente

Nel caso del confronto con i siti, i test risultano debolmente significativi ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 10.718$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.004706$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 13.159$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0.001389$).

Di seguito i risultati delle analisi post hoc:

- $\delta^{15}\text{N}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	3.114504	0.001842547	0.00552764
2	Gorgo Alto - Gorgo Medio	0.597927	0.549888629	0.54988863
3	Gorgo Basso - Gorgo Medio	-2.143722	0.032055132	0.04808270

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval	
Gorgo Medio-Gorgo Basso	13.836397	0.0812	.
Gorgo Alto-Gorgo Basso	17.878750	0.0052	**
Gorgo Alto-Gorgo Medio	4.042353	0.8212	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			

- $\delta^{13}\text{C}$

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	-3.561766	0.0003683689	0.001105107
2	Gorgo Alto - Gorgo Medio	-1.093531	0.2741606122	0.274160612
3	Gorgo Basso - Gorgo Medio	2.022396	0.0431354788	0.064703218

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval	
Gorgo Medio-Gorgo Basso	-13.053309	0.1068	
Gorgo Alto-Gorgo Basso	-20.446250	0.0011	**
Gorgo Alto-Gorgo Medio	-7.392941	0.5181	

Le analisi in questo caso confermano differenze significative sia per $\delta^{15}\text{N}$ sia per $\delta^{13}\text{C}$ fra Il Gorgo Basso e gli altri due siti Gorgo Medio e Gorgo Alto, mentre non ci sarebbero differenze significative fra questi ultimi.

- **Emys vs pesci**

Confrontando ora, infine, i contenuti isotopici nel sangue e delle unghie di *Emys* con le specie ittiche, nel complesso dei siti di campionamento, i test indicano differenze significative fra tutti i gruppi.

I contenuti isotopici nel sangue di *Emys* nel periodo considerato risultano significativamente diversi rispetto a quanto presente nei pesci copresenti ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 125.38$, $df = 2$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $X^2 = 31.16$, $df = 2$, $p\text{-value} = 1.713\text{e-}07$), confermato anche dai test a coppie per $\delta^{15}\text{N}$:

```
Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

      Comparison          Z      P.unadj      P.adj
1   carpa - Emys   6.168012 6.915380e-10 1.037307e-09
2 carpa - gambusia -2.307911 2.100408e-02 2.100408e-02
3  Emys - gambusia -10.942654 7.205931e-28 2.161779e-27

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

      mean.rank.diff      pval
carpa-Emys          65.33877 2.1e-09 ***
gambusia-Emys       90.31883 2.8e-14 ***
gambusia-carpa       24.98006 0.0547 .
```

e $\delta^{13}\text{C}$:

```
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

      Comparison          Z      P.unadj      P.adj
1   carpa - Emys   1.997396 4.578214e-02 4.578214e-02
2 carpa - gambusia -2.301872 2.134240e-02 3.201359e-02
3  Emys - gambusia -5.582067 2.376770e-08 7.130310e-08

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

      mean.rank.diff      pval
carpa-Emys          21.15867 0.1128
gambusia-Emys       46.07327 7.1e-08 ***
gambusia-carpa       24.91460 0.0555 .
```

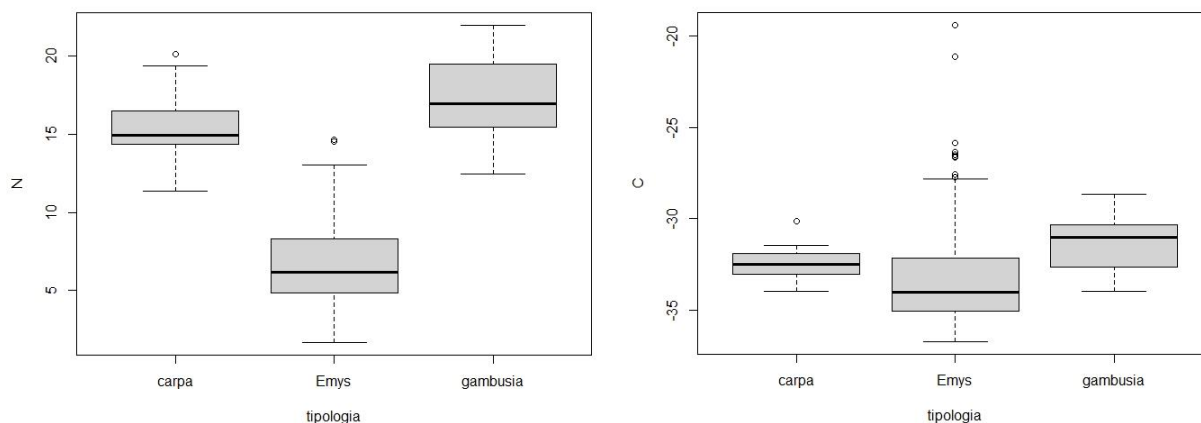


Fig. 48 – BoxPlot specie e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ del sangue rispettivamente

Analogamente sono significative le differenze utilizzando il contenuto isotopico delle unghie di *Emys* ($\delta^{15}\text{N}$ Kruskal-Wallis $\chi^2 = 85.446$, $df = 2$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$; $\delta^{13}\text{C}$ Kruskal-Wallis $\chi^2 = 46.503$, $df = 2$, $p\text{-value} = 7.979\text{e-}11$). Le analisi post hoc confermano l'esistenza di differenze significative fra *Emys* e i pesci, mentre questi ultimi risulterebbero simili.

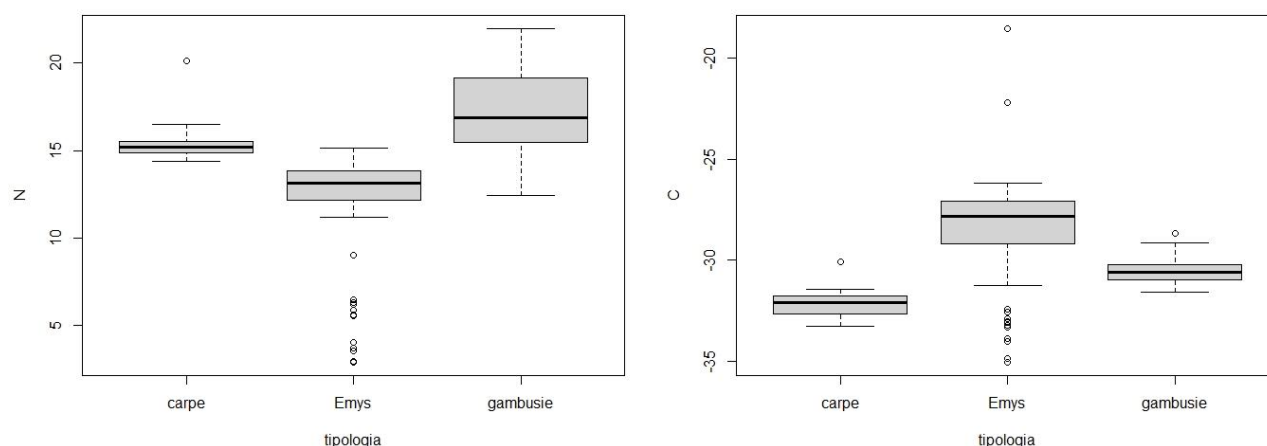


Fig. 49 – BoxPlot specie e $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie rispettivamente

$\delta^{15}\text{N}$:

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	carpe - Emys	4.831112	1.357726e-06	2.036589e-06
2	carpe - gambusie	-1.026571	3.046224e-01	3.046224e-01
3	Emys - gambusie	-8.799043	1.379884e-18	4.139652e-18

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

```

              mean.rank.diff    pval
carpe-Emys      52.22973 4.1e-06 ***
gambusie-Emys   64.05473 2.3e-14 ***
gambusie-carpe  11.82500 0.5600
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

e $\delta^{13}\text{C}$:

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	carpe - Emys	-5.730737	9.999502e-09	2.999850e-08
2	carpe - gambusie	-2.253127	2.425114e-02	2.425114e-02
3	Emys - gambusie	4.945518	7.594165e-07	1.139125e-06

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

```

              mean.rank.diff    pval
carpe-Emys      -61.95560 3.0e-08 ***
gambusie-Emys   -36.00203 2.3e-06 ***
gambusie-carpe   25.95357 0.0626 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

- Analisi nicchie isotopiche

Vengono qui illustrati i risultati dell'applicazione delle metriche proposte da LAYMAN *et al.* (2007) agli individui di *E. trinacris* del Gorgo Basso, Gorgo Medio e Gorgo Alto, e confrontando le relazioni interspecifiche considerando i risultati con quanto descritto dal modello per carpa e gambusia nel caso del Gorgo Medio e Gorgo Alto. Nella Tab. 4 sono riportati i valori delle metriche calcolate.

Tab. 4– Metriche $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ calcolate per il sangue e le unghie negli individui di *E. trinacris*, e per pesci catturati nel 2018/19

	Gorgo Basso		Gorgo Medio				Gorgo Alto			
	<i>Emys</i>		<i>Emys</i>		Carpa	Gambusia	<i>Emys</i>		Carpa	Gambusia
	sangue	unghie	sangue	unghie			sangue	unghie		
$\delta^{13}\text{C_range}$	0,99	0,95	0,96	0,91	0,75	0,90	0,87	0,96	0,83	0,97
$\delta^{15}\text{N_range}$	0,89	0,93	0,84	0,95	0,93	0,99	0,86	0,94	0,92	0,88
TA	0,72	0,74	0,53	0,65	0,44	0,78	0,59	0,78	0,62	0,75
CD	0,37	0,40	0,34	0,40	0,35	0,39	0,32	0,39	0,41	0,40
NND	0,09	0,10	0,15	0,13	0,18	0,09	0,10	0,13	0,10	0,09
SDNND	0,05	0,06	0,11	0,09	0,13	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07

Considerando il contenuto isotopico del sangue di *Emys*, rispetto ai pesci catturati nel Gorgo Medio e nel Gorgo Alto è possibile calcolare l'elisse standard (SEAc) e definire le nicchie isotopiche delle specie target e verificare il loro grado di sovrapposizione.

Le comunità (c) descritte sono 3: 1-Gorgo Alto, 2-Gorgo Medio e 3-Gorgo Basso, con tre gruppi (g) relativi a 1-*E. trinacris*, 2-carpa e 3-gambusia. Le ellissi calcolate riguardano il confronto fra le comunità 1 e 2 con i gruppi 1, 2 e 3, mentre per la comunità 3 non è possibile, mancando le altre specie.

La tabella seguente riporta i risultati dei confronti fra le ellissi secondo il principio della massima likelihood:

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	1:2	28,414768	2,865151	0,000000
1:1	1:3	28,414768	2,476599	0,000000
1:2	1:3	2,865151	2,476599	0,603576
2:1	2:2	4,109122	5,117790	0,000000
2:1	2:3	4,109122	6,948437	0,000000
2:2	2:3	5,117790	6,948437	0,316793

Sovrapposizioni fra le nicchie isotopiche sarebbero presenti solo fra le specie ittiche, mentre non vi sarebbe sovrapposizione fra *Emys* e i pesci, o solo scarsamente significativa con gambusia. Inoltre *E. trinacris* presenterebbe una nicchia molto ampia e sostanzialmente simile fra i tre Gorghi. Questo è anche confermato dal grafico che riporta la disposizione nello spazio delle ellissi standard calcolate.

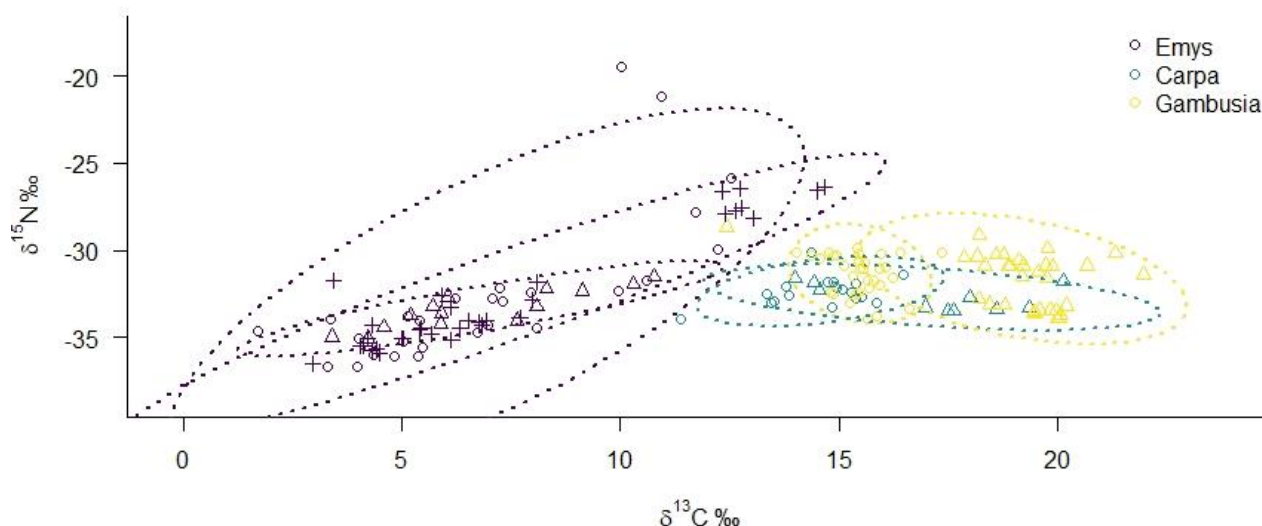


Fig. 50 – Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche di *E. trinacris* (sangue) e delle specie ittiche nei Gorghi Alto e Medio

Considerando ora il contenuto isotopico delle unghie di *Emys*, i risultati sono analoghi e non risulta alcuna sovrapposizione fra le nicchie isotopiche delle specie, salvo fra le due specie di pesci. Una minima sovrapposizione è in questo caso rilevabile fra la nicchia isotopica di *E. trinacris* nel Gorgo Alto e quelle di carpa e gambusia.

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	1:2	2,043522e+01	2,865151e+00	1,387779e-17
1:1	1:3	2,043522e+01	2,476599e+00	6,676026e-16
1:2	1:3	2,8651507	2,4765993	0,6035761
2:1	2:2	1,374801e+01	5,117778e+00	3,816392e-16
2:1	2:3	13,748008	6,948236	0,000000
2:2	2:3	5,1177780	6,9482357	0,3169637

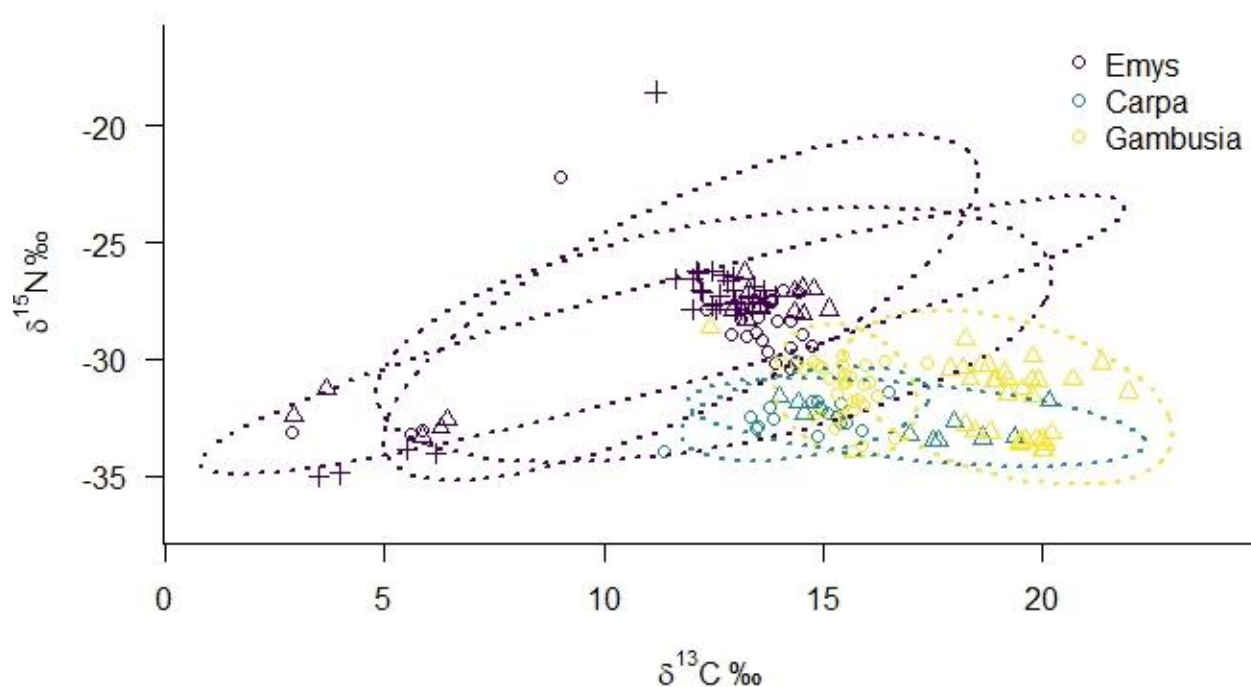


Fig. 51 – Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche di *E. trinacris* (unghie) e delle specie ittiche nei Gorghi Alto e Medio

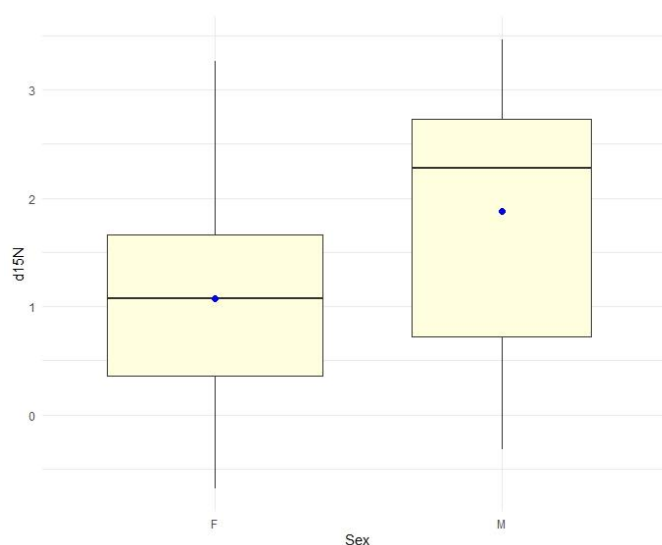
Riserva Bosco Ficuzza

Le tracce isotopiche negli individui di *E. trinacris* catturati presso il Gorgo Lungo, presentano distribuzione normale (Test di Shapiro Wilk: $\delta^{15}\text{N}$ $W = 0.97098$, $p\text{-value} = 0.4022$ e $W = 0.96702$, $p\text{-value} = 0.2614$; $\delta^{13}\text{C}$ $W = 0.97071$, $p\text{-value} = 0.3948$ e $W = 0.95372$, $p\text{-value} = 0.08782$). È stata pertanto applicata un'ANOVA a una via confrontando rispetto al sesso degli individui (M e F) e alla stagione la variazione nelle tracce isotopiche.

Le analisi riportano valori di significatività con una correlazione fra sesso e contenuto isotopico nel sangue sia per $\delta^{15}\text{N}$:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Sex	1	6.13	6.132	5.545	0.0239 *
Residuals	37	40.91	1.106		

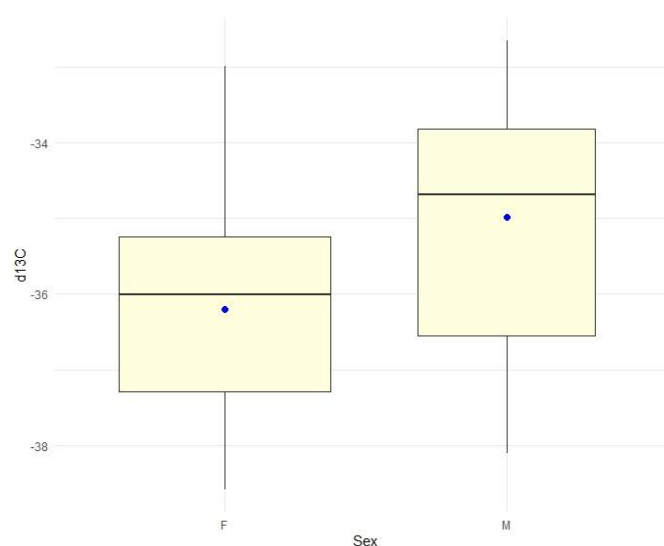
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



che per $\delta^{13}\text{C}$:

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Sex	1	13.92	13.919	5.976	0.0194 *
Residuals	37	86.17	2.329		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Applicando i Tukey Test si conferma la differenza significativa fra M e F per i due isotopi:

```
$Sex
      diff      lwr      upr      p adj
M-F 0.8061333 0.1125064 1.49976 0.0239459
```

e

```
$Sex
      diff      lwr      upr      p adj
M-F 1.214535 0.2078956 2.221175 0.0193829
```

Non risultano invece significative le variazioni nelle tracce isotopiche nell'arco dei mesi di cattura:

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
data      1    1.36    1.358      1.1  0.301
Residuals 37   45.69    1.235
```

e

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
data      1    2.19    2.187    0.826  0.369
Residuals 37   97.91    2.646
```

Infine, confrontando la variabilità del contenuto isotopico delle unghie, non risultano differenze significative fra i gruppi:

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Sex      1    0.795    0.7947    2.531  0.119
Residuals 40   12.557    0.3139
```

e

```
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
data      1    0.00    0.0001      0  0.986
Residuals 40   13.94    0.3485
```

- Analisi nicchie isotopiche

Vengono qui illustrati i risultati dell'applicazione delle metriche proposte da LAYMAN *et al.* (2007) agli individui di *E. trinacris* del Gorgo Lungo, e confrontando le relazioni intraspecifiche considerando i risultati distinti per sesso. Nella Tab. 5 sono riportati i valori delle metriche calcolate.

Tab. 5– Metriche $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ calcolate per il sangue e le unghie negli individui di *E. trinacris* catturati nel 2019

Gorgo Lungo						
	TOT		M		F	
	sangue	unghie	sangue	unghie	sangue	unghie
$\delta^{13}\text{C}_{\text{range}}$	0,94	0,95	0,97	0,98	0,97	0,92
$\delta^{15}\text{N}_{\text{range}}$	0,97	0,92	0,89	0,85	0,97	0,89
TA	0,73	0,67	0,71	0,64	0,69	0,68
CD	0,36	0,35	0,38	0,36	0,34	0,39
NND	0,09	0,89	0,20	0,13	0,11	0,10
SDNND	0,05	0,04	0,09	0,06	0,05	0,06

Considerando il contenuto isotopico del sangue di *Emys*, è possibile calcolare l'elisse standard (SEAc) e definire le nicchie isotopiche dei gruppi target e verificare il loro grado di sovrapposizione.

La comunità (c) descritta in questo caso è unica: 1 -Gorgo Lungo, con due gruppi (g) relativi a 1–maschi, 2–femmine. Le ellissi calcolate riguardano il confronto fra i gruppi 1, 2.

La tabella seguente riporta i risultati dei confronti fra le ellissi secondo il principio della massima likelihood:

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	1:2	2,043522e+01	2,865151e+00	1,387779e-17

In questo caso, considerando la traccia isotopica del sangue di maschi e femmine, le nicchie isotopiche fra i sessi sono molto più simili e si sovrappongono quasi completamente.

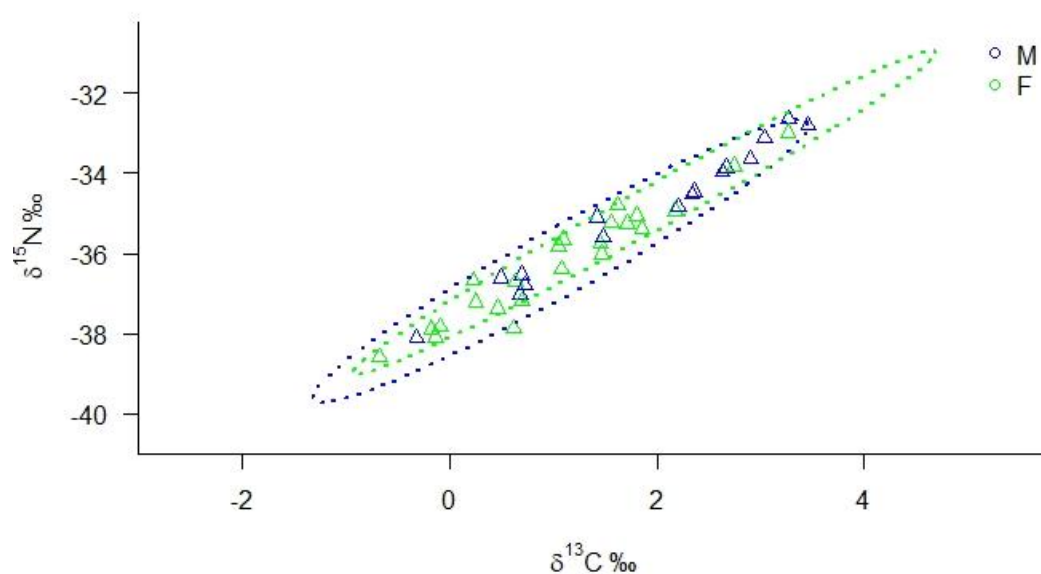


Fig. 52– Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche in maschi e femmine di *E. trinacris* (sangue) nel Gorgo lungo

Considerando ora il contenuto isotopico delle unghie di *Emys*, i risultati sono analoghi e le ellissi sono sostanzialmente identiche e sovrapposte.

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	1:2	1,0874468	0,8969263	0,6523381

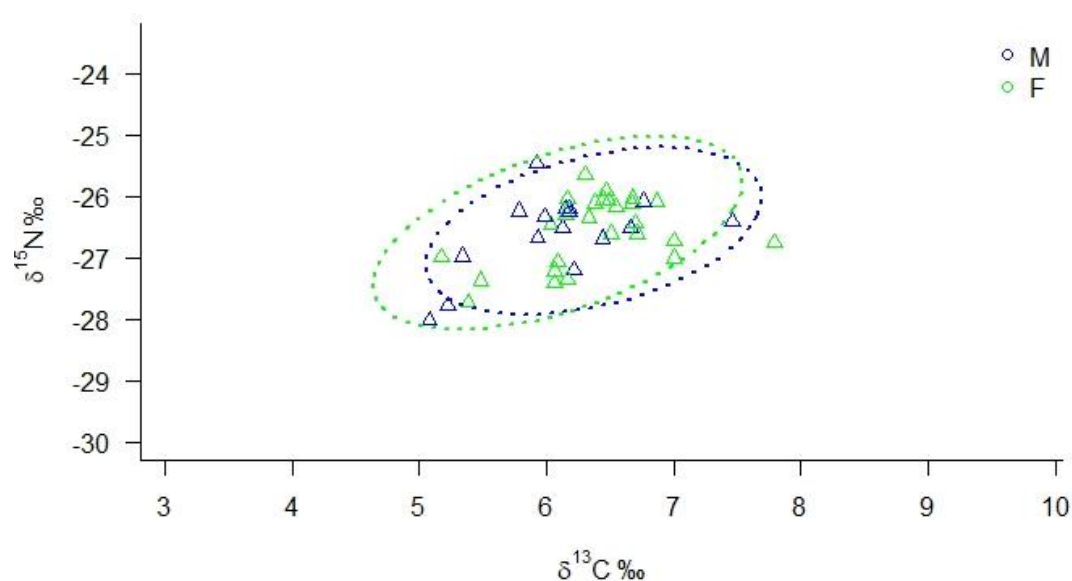


Fig. 53 – Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche in maschi e femmine di *E. trinacris* (unghie) nel Gorgo Lungo

Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi vs Riserva Bosco Ficuzza

Come svolto per i dati biometrici, è possibile ora mettere a confronto le tracce isotopiche delle popolazioni di *E. trinacris* delle due aree campionate. Le distribuzioni risultano non normali, quindi si è proceduto con analisi non parametriche analoghe alle precedenti.

Per quanto riguarda il sangue, i valori di $\delta^{15}\text{N}$ sono differenti in modo significativo (Kruskal-Wallis $X^2 = 73.621$, $df = 4$, $p\text{-value} = 3.9\text{e-}15$) fra i 4 siti (Gorgo Basso, Gorgo Medio, Gorgo Alto e Gorgo Lungo).

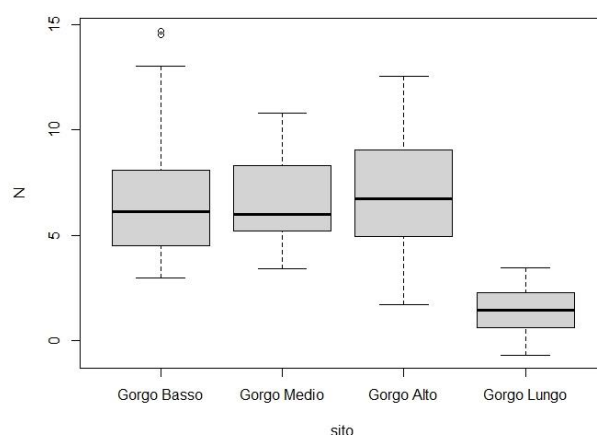


Fig. 52 – BoxPlot sito e $\delta^{15}\text{N}$ del sangue

I test relativi evidenziano una significativa differenza nella distribuzione fra Il Gorgo Lungo e gli altri siti:

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison

p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	-0.22552796	8.215686e-01	1.000000e+00
2	Gorgo Alto - Gorgo lungo	5.14017177	2.744874e-07	6.862186e-07
3	Gorgo Basso - Gorgo lungo	5.49105851	3.995320e-08	1.331773e-07
4	Gorgo Alto - Gorgo Lungo	5.92452855	3.131946e-09	1.565973e-08
5	Gorgo Basso - Gorgo Lungo	6.42250720	1.340479e-10	1.340479e-09
5	Gorgo lungo - Gorgo Lungo	-0.14524739	8.845155e-01	9.827951e-01
7	Gorgo Alto - Gorgo Medio	-0.14550663	8.843109e-01	1.000000e+00
3	Gorgo Basso - Gorgo Medio	0.03324337	9.734805e-01	9.734805e-01
3	Gorgo lungo - Gorgo Medio	-4.60570146	4.110778e-06	6.851297e-06
10	Gorgo Lungo - Gorgo Medio	-5.06968259	3.984797e-07	7.969594e-07

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
Gorgo Medio-Gorgo Basso	-0.3474026	1.0000
Gorgo Alto-Gorgo Basso	-1.9175084	0.9960
Gorgo Lungo-Gorgo Basso	-56.3648019	2.1e-12 ***
Gorgo Alto-Gorgo Medio	-1.5701058	0.9989
Gorgo Lungo-Gorgo Medio	-56.0173993	2.4e-07 ***
Gorgo Lungo-Gorgo Alto	-54.4472934	1.9e-10 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Lo stesso andamento riguarda $\delta^{13}\text{C}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 22.067$, $df = 3$, $p\text{-value} = 6.316\text{e-}05$).

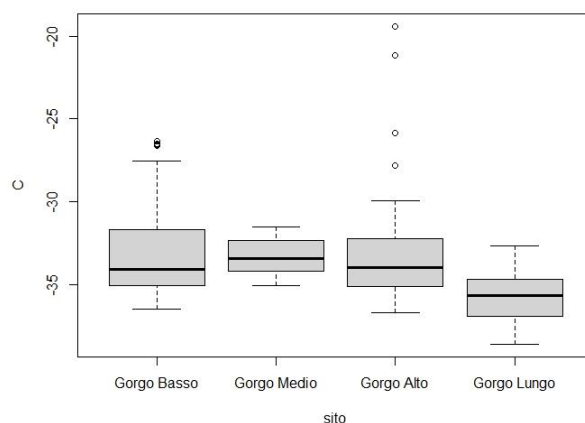


Fig. 53 – BoxPlot sito e $\delta^{13}\text{C}$ del sangue

Anche in questo caso I test relativi evidenziano una significativa differenza nella distribuzione fra Il Gorgo Lungo e gli altri siti:

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	-0.07679449	0.9387870332	0.9387870332
2	Gorgo Alto - Gorgo Lungo	3.62995196	0.0002834740	0.0005669480
3	Gorgo Basso - Gorgo Lungo	3.87498419	0.0001066316	0.0006397897
4	Gorgo Alto - Gorgo Medio	-0.82109346	0.4115930365	0.6173895547
5	Gorgo Basso - Gorgo Medio	-0.78535401	0.4322460358	0.5186952429
6	Gorgo Lungo - Gorgo Medio	-3.82833353	0.0001290138	0.0003870415

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
Gorgo Medio-Gorgo Basso	8.2857143	0.85773
Gorgo Alto-Gorgo Basso	-0.6666667	0.99983
Gorgo Lungo-Gorgo Basso	-32.9358974	0.00013 ***
Gorgo Alto-Gorgo Medio	-8.9523810	0.84042
Gorgo Lungo-Gorgo Medio	-41.2216117	0.00031 ***
Gorgo Lungo-Gorgo Alto	-32.2692308	0.00048 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Analizzando ora i contenuti isotopici delle unghie dei diversi siti campionati, i valori di $\delta^{15}\text{N}$ sono anche in questo caso differenti (Kruskal-Wallis $X^2 = 47.04$, $df = 3$, $p\text{-value} = 3.408\text{e-}10$)

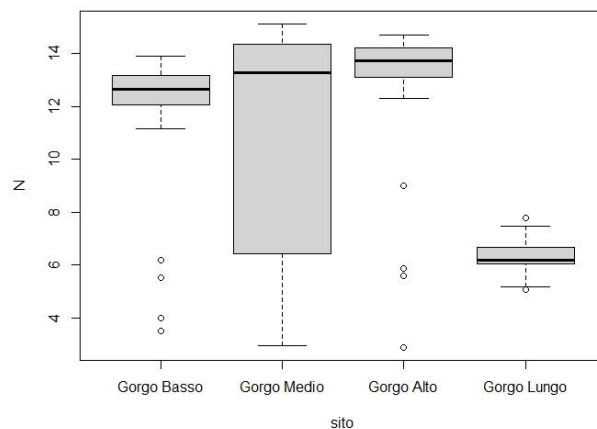


Fig. 54 – BoxPlot sito e $\delta^{15}\text{N}$ delle unghie

I test relativi evidenziano una significativa differenza nella distribuzione fra Il Gorgo Lungo e gli altri siti:

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	1.9859465	4.703927e-02	7.055890e-02
2	Gorgo Alto - Gorgo Lungo	6.1614121	7.209911e-10	4.325946e-09
3	Gorgo Basso - Gorgo Lungo	4.3738077	1.220979e-05	2.441959e-05
4	Gorgo Alto - Gorgo Medio	0.8200286	4.121998e-01	4.121998e-01
5	Gorgo Basso - Gorgo Medio	-0.9073519	3.642207e-01	4.370649e-01
6	Gorgo Lungo - Gorgo Medio	-4.5175748	6.255194e-06	1.876558e-05

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
Gorgo Medio-Gorgo Basso	9.158088	0.8009
Gorgo Alto-Gorgo Basso	17.827500	0.1932
Gorgo Lungo-Gorgo Basso	-34.514881	7.2e-05 ***
Gorgo Alto-Gorgo Medio	8.669412	0.8450
Gorgo Lungo-Gorgo Medio	-43.672969	3.7e-05 ***
Gorgo Lungo-Gorgo Alto	-52.342381	4.3e-09 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Infine, l'andamento di $\delta^{13}\text{C}$ (Kruskal-Wallis $X^2 = 50.173$, $df = 3$, $p\text{-value} = 7.341\text{e-}11$).

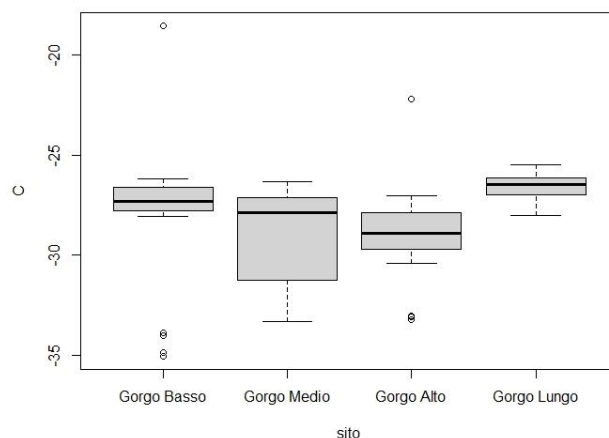


Fig. 55 – BoxPlot sito e $\delta^{13}\text{C}$ delle unghie

I test, confermano in quest'ultimo caso le differenze fra i siti della Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi e della Riserva Bosco Ficuzza.

Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	Gorgo Alto - Gorgo Basso	-3.0468725	2.312358e-03	3.468537e-03
2	Gorgo Alto - Gorgo Lungo	-6.4937008	8.375298e-11	5.025179e-10
3	Gorgo Basso -Gorgo Lungo	-3.5246547	4.240352e-04	8.480704e-04
4	Gorgo Alto - Gorgo Medio	-0.8398366	4.010000e-01	4.010000e-01
5	Gorgo Basso -Gorgo Medio	1.8301846	6.722234e-02	8.066681e-02
6	Gorgo Lungo -Gorgo Medio	4.7879121	1.685254e-06	5.055762e-06

Nemenyi's test of multiple comparisons for independent samples (tukey)

	mean.rank.diff	pval
Gorgo Medio-Gorgo Basso	9.158088	0.8009
Gorgo Alto-Gorgo Basso	17.827500	0.1932
Gorgo Lungo-Gorgo Basso	-34.514881	7.2e-05 ***
Gorgo Alto-Gorgo Medio	8.669412	0.8450
Gorgo Lungo-Gorgo Medio	-43.672969	3.7e-05 ***
Gorgo Lungo-Gorgo Alto	-52.342381	4.3e-09 ***

Signif. codes: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- Analisi nicchie isotopiche

Vengono qui infine illustrati i risultati del calcolo dell'elisse standard (SEAc) e definire le nicchie isotopiche dei gruppi target e verificare il loro grado di sovrapposizione, considerando le popolazioni di *E. trinacris* nella Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi e nella Riserva Bosco Ficuzza.

Le comunità (c) descritte in questo caso sono 4: 1 -Gorgo Alto, 2 – Gorgo Medio, 3 – Gorgo basso, 4 – Gorgo Lungo, con un solo gruppo (g) relativo a 1 - Emys. Le ellissi calcolate riguardano il confronto fra le 4 comunità per il gruppo 1.

La tabella seguente riporta i risultati dei confronti fra le elissi secondo il principio della massima likelihood:

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	2:1	28,414768	4,109122	4,080877
1:1	3:1	28,41477	12,73344	11,17215
1:1	4:1	28,414768	1,196269	0,000000
2:1	3:1	4,109122	12,733444	3,628512
2:1	4:1	4,109122	1,196269	0,000000
3:1	4:1	12,733444	1,196269	0,000000

In questo caso, considerando la traccia isotopica del sangue di Emys, le nicchie isotopiche fra i sessi sono molto simili e si sovrappongono quasi completamente.

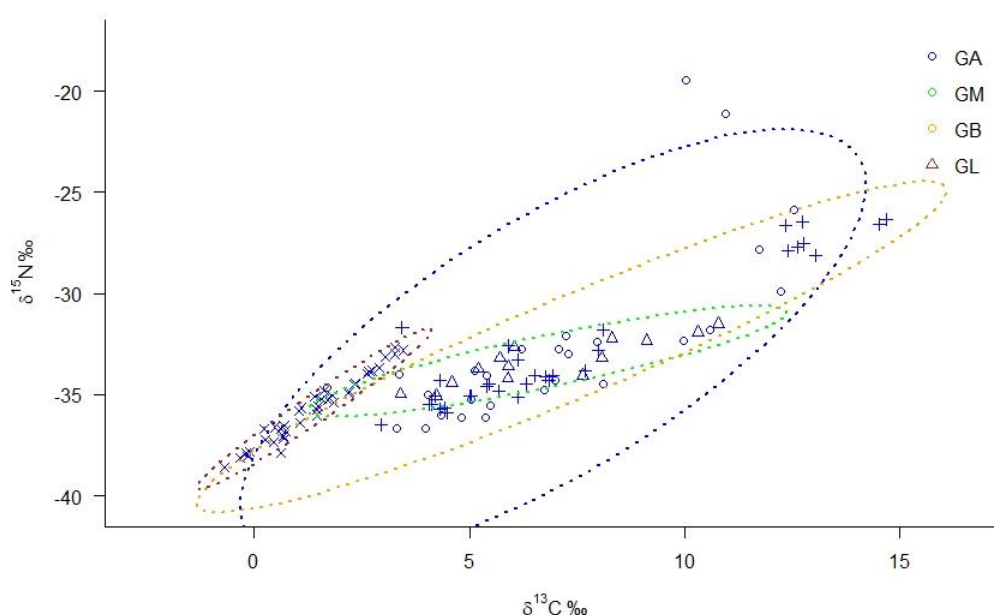


Fig. 56– Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche in *E. trinacris* (sangue) fra i 4 siti

Considerando ora il contenuto isotopico delle unghie di *Emys*, i risultati sono diversi se si considera il Gorgo Lungo e i 3 Gorghi della Riserva Lago Preola-Gorghi Tondi, e le ellissi sono sostanzialmente identiche e sovrapposte nel caso della Riserva Lago Preola-Gorghi Tondi mentre l'ellisse relativa al Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza) è distinta e non sovrapposta

Ellissi		Area.1	Area.2	Overlap
c:g	c:g			
1:1	2:1	20,43522	13,74801	10,03158
1:1	3:1	20,43522	17,72984	9,79071
1:1	4:1	20,4352157	0,9552226	0,0000000
2:1	3:1	13,748008	17,729841	8,248631
2:1	4:1	13,7480083	0,9552226	0,0000000
3:1	4:1	17,7298410	0,9552226	0,0000000

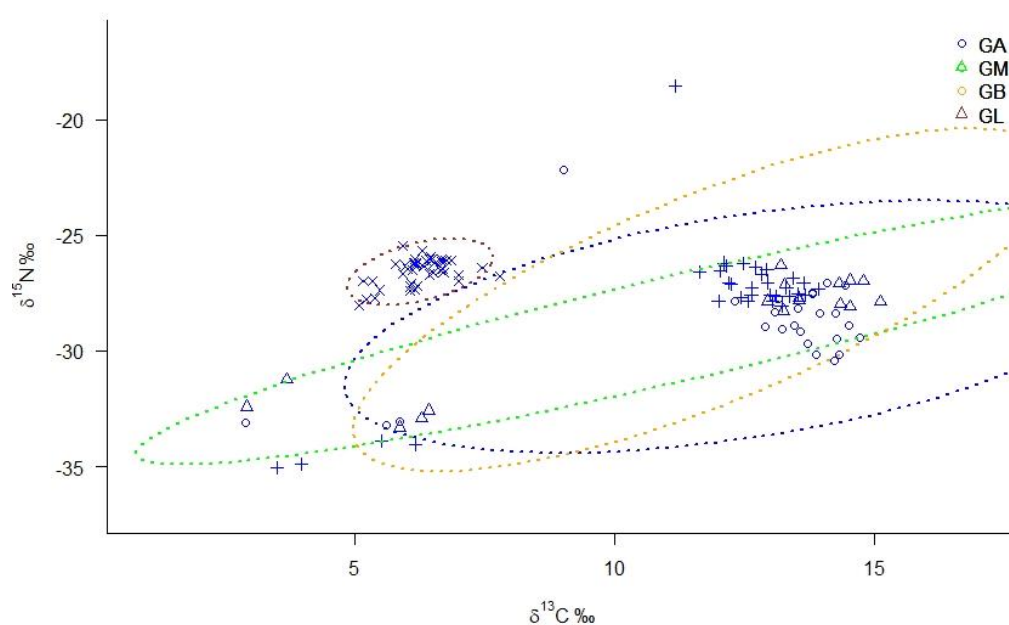


Fig. 57 – Sovrapposizione fra le nicchie isotopiche in *E. trinacris* (unghie) fra i 4 siti

Discussione

È ormai consolidato come comunità ecologiche naturali vengano sconvolte a ritmi senza precedenti a causa del degrado degli habitat e dell'introduzione di specie alloctone (WILCOVE et al., 1998), portando fra gli altri effetti ad alterazioni nella disponibilità delle risorse e cambiamenti nella struttura della comunità (FAHRIG, 2003).

La ricchezza e la diversità delle specie generalmente diminuiscono con la riduzione della disponibilità di habitat e l'aumento dei tassi di disturbo (FAHRIG, 2003; SHENKO et al., 2012). Per specie di ugual corporatura di una comunità ecologica, la diminuzione della disponibilità di risorse può portare ad un aumento della sovrapposizione delle disponibilità trofiche e a conseguente restringimento delle dimensioni della nicchia trofica (LUISELLI, 2006; SWIHART et al., 2003), determinando un aumento del rischio di competizione per le risorse (BELLGRAPH, 2008; PEARSON et al., 2013).

La competizione per le risorse spesso ha effetti diretti negativi sui tassi di crescita, sui tassi di fecondità e / o sulla sopravvivenza delle specie (POLIS et al., 1987). Inoltre, una volta che gli habitat subiscono alterazioni e disturbi, risultano più sensibili all'insediamento di specie alloctone, che possono andare a occupare le nicchie lasciate libere dalle specie autoctone o determinare la loro definitiva estinzione locale (D'ANTONIO & VITOUSEK, 1992; MACK et al., 2000).

Le specie autoctone sono infatti impattate negativamente dalle specie alloctone soprattutto per fenomeni di predazione e competizione (ALISON et al., 1995). Le specie alloctone predatrici possono causare il decremento delle faune native che non si adattano così rapidamente al nuovo scenario legato all'aumento dei tassi di predazione (SIBLY et al., 1994; RODDA et al., 1997). Mentre le specie competitrici alloctone causano il declino delle specie autoctone a seguito di un aumento dei tassi di sfruttamento delle risorse e della competizione (POLIS et al., 1987; AMARASEKARE, 2002; PEARSON et al., 2013). In presenza di una competizione per risorse non illimitate, le specie che hanno la capacità di utilizzare le risorse in modo più efficiente escluderanno le specie meno efficienti (TILMAN, 1987; CADOTTE, 2007). In una comunità ecologica, specie concorrenti possono coesistere se i concorrenti meno efficienti si disperdono più rapidamente o utilizzano risorse che si spostano nello spazio e nel tempo (AMARASEKARE, 2004). Inoltre la competizione tra le specie è sostenibile e tollerabile quando le risorse trofiche non sono suddivise e non causa una riduzione dei livelli di fitness di una o di tutte le specie concorrenti (POLIS et al., 1987).

Storicamente gli studi ecologici sulle diete si sono basati sul comportamento alimentare nel breve periodo, utilizzando dati desunti dall'osservazione diretta o la raccolta di contenuti stomacali e/o fecali, a mezzo *stomach flushing* o dissezione (ROWE, 1992; HANSEN, 1976). La dieta e il comportamento alimentare possono essere studiati sul lungo periodo attraverso l'analisi delle frazioni isotopiche stabili del carbonio 13 e dell'azoto 15 ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) (PETERSON & FRY, 1987; REICH et al., 2007; PEARSON et al., 2013). Le frazioni isotopiche presenti in natura di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) indicano infatti rispettivamente il livello trofico di un organismo e la

fonte di carbonio assimilato dalla sua dieta (POST, 2002; PEARSON et al., 2013). Gli isotopi dello stesso elemento sono incorporati a velocità diverse nel tessuto attraverso l'assimilazione di nutrienti da parte di un organismo durante la digestione o altri processi fisiologici (FRY, 2006; KILHAM, 2009). I fattori che influenzano l'assimilazione degli isotopi $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ includono il metabolismo dei tessuti, il livello trofico, la temperatura, i rapporti C: N, la tassonomia, le dimensioni del corpo e la forma di eliminazione dei rifiuti azotati da parte di un organismo (KILHAM, 2009; VANDERKLIFT & PONSARD, 2003). Gli isotopi stabili vengono utilizzati per determinare la fonte di C e N nelle diete degli organismi (BULTE G & BLOUIN-DEMERS, 2008), la posizione nelle reti trofiche (BLUTHGEN, 2003) e in studi comparativi di specie in siti di studio diversi (Kemp, 2008; MIRANDA & PERISSINOTTO, 2012).

Il concetto di nicchia ecologica è stato rivalutato recentemente (NEWSOME et al., 2007; SOBERON, 2007), potendo fornire approfondimenti su un'ampia varietà di problemi sia ecologici sia evolutivi (MARTINEZ DEL RIO et al., 2009). HUTCHINSON (1957, 1978) descrive come una nicchia ecologica possa essere rappresentata come un ipervolume n-dimensionale suddivisa in assi bionomici, che si riferiscono principalmente alle componenti trofiche dello spazio di nicchia. La posizione su questi assi può essere quantificata utilizzando rapporti isotopici stabili (BOLNICK et al., 2003; BEARHOP et al., 2004) e sono stati formalizzati nel concetto di "nicchia isotopica" (NEWSOME et al., 2007). Seppur non si possa parlare di nicchia trofica in senso stretto, i rapporti isotopici stabili possono essere comunque utilizzati a questo riguardo perché i valori misurati nei tessuti dei consumatori sono strettamente collegati a quelli nella loro dieta.

Ad esempio, il rapporto tra isotopi di azoto stabili pesanti e leggeri ($^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$) aumenta in modo graduale con ciascun livello trofico (MINAGAWA & WADA, 1984; WADA et al., 1987; FRY, 1988) e quindi è analogo a un asse bionomico. Gli isotopi di carbonio stabili ($^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$) riflettono le fonti primarie di carbonio all'interno di una rete alimentare (CRAIG, 1953; CHISHOLM, NELSON & SCHWARCZ, 1982), e quindi possono essere considerati assi bionomici. I dati isotopici sono presentati di routine come biplot, dove i valori isotopici dei tessuti animali possono essere rappresentati nello spazio (NEWSOME et al., 2007), e questo essenzialmente delinea la nicchia isotopica di un animale. Sebbene sia probabile che la nicchia isotopica sia strettamente correlata alla nicchia trofica, queste non devono essere confuse (JACKSON, 2011).

Le informazioni contenute nei rapporti isotopici stabili di un individuo sono prevalentemente di origine ecologica e quindi possono essere considerate descrittori degli assi chiave nell'ipervolume di Hutchinson, fornendo informazioni ecologicamente rilevanti sull'individuo, la popolazione o la comunità che rappresentano (JACKSON, 2011). Inoltre, selezionando attentamente i tessuti con tassi di turnover appropriati nei consumatori, la varianza tra gli individui nello spazio isotopico può essere collegata qualitativamente alla variazione tra gli individui nella dieta (ad es. Specialista e generalista) e quindi è una misura integrata della larghezza della nicchia (BEARHOP et al., 2004). Questi concetti sono stati estesi da LAYMAN et al. (2007a), che ha suggerito una serie di misurazioni aggiuntive che potrebbero essere effettuate per generare metriche della struttura delle nicchie in intere comunità. LAYMAN et al. (2007a) propone sei metriche di nicchia / comunità:

- range $\delta^{15}\text{N}$ (NR) che fornisce informazioni sulla lunghezza trofica della comunità;
- range $\delta^{13}\text{C}$ (CR) che fornisce una stima della diversità delle risorse basali;
- area totale sottesa alla curva comprendente i dati (TA) che danno l'indicazione della larghezza della nicchia;
- distanza media dal centroide (CD) che fornisce informazioni aggiuntive sulla larghezza della nicchia, ma anche sulla distanza tra le specie;
- media distanza vicina più prossima (MNND) che fornisce una misura della densità e del raggruppamento delle specie all'interno della comunità;
- deviazione standard della distanza del vicino più prossimo (SDNND) che fornisce una misura dell'uniformità della densità spaziale e dell'imballaggio.

A queste si aggiunge, come proposto da JACKSON (2011), il calcolo dell'ellisse standard per la verifica della sovrapposizione delle nicchie.

La strategia trofica delle popolazioni di testuggine palustre siciliana nelle aree indagate rispecchia quanto già indicato per *Emys orbicularis* (FICETOLA *et al.*, 2006; OTTONELLO *et al.*, 2021), seguendo uno schema sostanzialmente opportunistico e generalista. Le principali prede sono invertebrati acquatici, mentre sono più rari quelli terrestri (OTTONELLO *et al.*, 2021).

Nel caso della popolazione della Riserva Lago Preola e Gorgi Tondi, come descritto già da OTTONELLO *et al.*, (2017), gli individui di testuggine catturati nei 3 Gorgi presentano significative differenze soprattutto per quanto riguarda il Body Condition Index (BCI), per cui è possibile distinguere da una parte gli individui provenienti dal Gorgo Basso e dall'altra quelli provenienti dal sistema Gorgo Medio-Gorgo Alto. Lo stesso scenario si delinea considerando i sessi separati, per cui vi sarebbero differenze significative fra maschi e femmine del Gorgo Basso e Gorgo Medio-Gorgo Alto sia considerando la lunghezza del carapace (SCL), sia peso e BCI ($p < 0,05$).

La popolazione di *E. trinacris* rinvenibile nel Gorgo lungo (Riserva Bosco Ficuzza), presenta un dimorfismo sessuale spiccato. Considerando i parametri più rilevanti per la descrizione della variabilità intraspecifica come definito dall'applicazione della PCA, e cioè SCL, peso e BCI, maschi e femmine risultano significativamente differenti, con femmine mediamente più grandi, con particolare riguardo al BCI. Il BCI non varierebbe invece durante l'anno, ma in questo caso mancano i dati relativi all'inizio dell'attività in maggio/giugno.

Mettendo a confronto i dati biometrici raccolti nelle due aree di studio, considerando BCI, SCL e peso, gli individui del Gorgo Lungo sono significativamente diversi rispetto agli individui della Riserva Lago Preola e Gorgi Tondi per tutte le variabili considerate, con testuggini del Gorgo Lungo mediamente più grandi rispetto a quelle provenienti dai siti costieri. Inoltre, anche da questo confronto emerge come nel sistema "Gorgi Tondi", esisterebbe una maggiore similarità fra individui di Gorgo Alto e Gorgo Medio, mentre sarebbero ben distinguibili quelli del Gorgo Basso.

Applicando l'Analisi dei Discriminanti ai valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ per la popolazione di *Emys* e dei pesci dei Gorghi Tondi, il modello classifica correttamente l'80% dei dati associando le variabili ai gruppi relativi, differenziando in modo chiaro fra emys e pesci (carpa+gambusia).

Analizzando i contenuti isotopici del sangue di maschi e femmine di *Emys* non sono rilevate significative differenze, mentre come era ipotizzabile c'è una certa variabilità rispetto alla stagione nel contenuto di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ fra giugno e settembre. Sempre considerando le tracce isotopiche del sangue, controllando la variabilità rispetto ai siti di provenienza (Gorgo Basso, Gorgo Medio e Gorgo Alto), non risultano differenze significative.

I risultati ottenuti confrontando i contenuti isotopici nelle unghie di *Emys*, ricalcano in parte quanto già osservato per il sangue. Non vi sarebbero anche in questo caso differenze fra i sessi, mentre $\delta^{15}\text{N}$ varierebbe fra giugno e settembre e $\delta^{13}\text{C}$ fra luglio e settembre.

In questo caso, però, interessante osservare come il modello restituisce una differenza ai limiti della significatività nelle tracce isotopiche nelle unghie delle testuggini fra i diversi siti. Soprattutto il Gorgo Basso si differenzerebbe sia da Gorgo Alto sia da Gorgo Medio, mentre Alto e Medio sarebbero simili. Questo sarebbe valido soprattutto per $\delta^{15}\text{N}$, meno evidente invece la variabilità per $\delta^{13}\text{C}$.

Pur essendo chiaro che i contenuti isotopici sono influenzati, fra gli altri, dai tessuti in cui sono presenti e che vengono utilizzati per le analisi (JACKSON, 2011; BALZANI et al., 2016), è possibile in questa sede provare un confronto delle tracce isotopiche nel sangue e unghie di *E. trinacris* e delle specie potenziali competitori nei siti della Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi. OTTONELLO et al. (2016) ipotizzano che le evidenti differenze sia biometriche sia nella produttività e nell'accrescimento delle testuggini rilevabili fra Gorgo Basso e sistema Gorgo Alto e Gorgo Medio possano essere ricondotte alla presenza solo nel Gorgo Alto e Gorgo Medio di specie ittiche quali carpa specchio e gambusia, specie che possono avere un impatto rilevante sulla componente macrobentonica dei corpi idrici colonizzati (CAGLE, 1946; GIBBONS, 1982; MACCULLOCH & SECOY, 1983; DUNHAM & GIBBONS, 1990, OTTONELLO et al., 2016).

In questo caso l'appoggio dell'analisi isotopica e soprattutto l'indagine della nicchia isotopica potrebbe restituire informazioni sul livello di competizione nei Gorghi.

Considerando per prima cosa i contenuti di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, le differenze sarebbero significative fra *Emys* e le specie ittiche, mentre sarebbero simili i contenuti di carpa e gambusia. Tale differenza è meno netta considerando $\delta^{13}\text{C}$ il confronto fra testuggini e carpa. Gli stessi risultati sono ottenuti considerando le unghie di *Emys*.

Applicando le metriche proposte da LAYMAN et al. (2007a), considerando le tracce isotopiche delle unghie di *Emys*, si osserva come i valori di NR e CR siano sostanzialmente paragonabili nelle testuggini provenienti dai singoli Gorghi. Confrontando testuggini e pesci i valori di NR sarebbero leggermente più alti in *Emys* rispetto alle carpe e affini con gambusia indicando una simile capacità di sfruttare le risorse ai diversi livelli trofici, anche i valori di CR sarebbero sostanzialmente simili fra *Emys* e pesci. I valori di TA e CD nelle testuggini del Gorgo Medio e Alto sono più bassi rispetto ai pesci soprattutto nel Gorgo Alto indicando una maggiore ampiezza, seppur lieve,

della nicchia trofica nei pesci. Confrontando i dati ottenuti fra Gorgo Basso e Gorgo Medio/Alto, anche in questo caso Gorgo Basso conferma di avere un andamento diverso rispetto agli altri due, con valori nel complesso maggiori attestando nicchie isotopiche e disponibilità di risorse maggiori rispetto a Gorgo Alto e Medio.

L'ellisse standard corretta (SEAc), nel caso delle tracce isotopiche delle unghie di *Emys*, conferma visivamente quanto descritto, riportando una sostanziale sovrapposizione fra le nicchie isotopiche delle testuggini nei diversi siti, con una nicchia molto più ampia per quelle provenienti dal Gorgo Basso. Queste ellissi si sovrappongono solo parzialmente con quelle delle testuggini del Gorgo Alto e Medio.

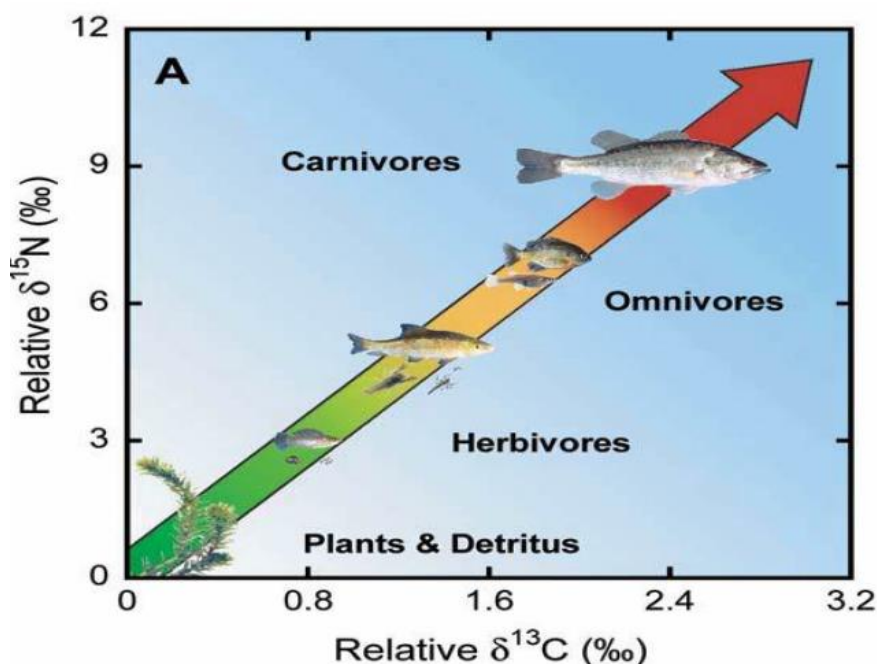
Analizzando ora i dati isotopici desunti dai campioni raccolti nel Gorgo lungo (Riserva Bosco Ficuzza), i contenuti nel sangue risulterebbero significativamente diversi fra maschi e femmine, dato però non confermato dal confronto fra contenuti isotopici nelle unghie di maschi e femmine.

Analizzando le nicchie isotopiche e la loro sovrapposizione in maschi e femmine del Gorgo Lungo, i valori delle metriche di Layman sono sostanzialmente affini se consideriamo i campioni derivati dalle unghie, con una maggiore variabilità di fonti basali nei maschi (CR maschi > CR femmine) e al contrario una maggiore capacità delle femmine di sfruttare le risorse disponibili (NR maschi < NR femmine). I maggiori valori di TA e CD nelle femmine, infine, indicherebbero una nicchia trofica più ampia. Queste ipotesi sarebbero confermate anche dalle ellissi calcolate per maschi e femmine, che risulterebbero sostanzialmente sovrapposte, ma con una maggiore ampiezza per quella relative alle femmine.

Mettendo a confronto i dati relativi al Gorgo Lungo con i siti della Riserva Lago Preola e Gorghi Tondi, tutti i parametri sono significativamente diversi fra Gorgo Lungo e gli altri corpi idrici, e allo stesso modo le ellissi calcolate (SEAc) dimostrano come la nicchia isotopica del Gorgo Lungo sia più piccola e non sovrapposta a quelle relative agli altri tre siti.

Gli isotopi di carbonio e azoto possono essere utilizzati per collocare un animale rispetto alle potenziali fonti di cibo e ad altri animali coesistenti nello stesso ecosistema. Il tessuto molle degli organismi viventi è composto da circa il 40% di carbonio e il 10% di azoto, che si ottengono attraverso la dieta. Gli animali assumono la composizione isotopica del cibo che mangiano arricchita: i rapporti isotopici diventano più alti sia in carbonio che in azoto rispetto alla dieta. Nell'ecologia trofica, lo studio degli isotopi si basa su cambiamenti prevedibili nei rapporti isotopici di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) tra i predatori e le loro fonti di cibo. Il rapporto isotopico di carbonio stabile di un consumatore è molto simile a quello della sua dieta. Un aumento medio di $\delta^{13}\text{C}$ di solo l'1% è infatti generalmente registrato tra i livelli trofici (POST, 2002; McCUTCHAN et al. 2003). Pertanto, le tracce di $\delta^{13}\text{C}$ possono fornire informazioni sulla principale fonte di carbonio utilizzata e le differenze in $\delta^{13}\text{C}$ tra le specie possono indicare diete diverse. D'altra parte, gli animali sono generalmente arricchiti in $\delta^{15}\text{N}$ rispetto alle loro fonti di cibo. Gli isotopi dell'azoto possono quindi indicare la posizione trofica di un organismo, poiché $\delta^{15}\text{N}$ ha un arricchimento previsto del 2,5–5% per ciascun livello trofico (POST 2002; VANDERKLIFF e PONSARD 2003).

Valori differenti di $\delta^{15}\text{N}$ nelle specie che coesistono in un ecosistema possono quindi riflettere una posizione diversa nella catena alimentare e diete distinte (BOECKLEN et al. 2011).



(Da USGS <https://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/projects/fingernails/foodweb/isotopes.html>)

Considerando i risultati dell'analisi delle nicchie isotopiche partendo dal materiale corneo di *E. trinacris*, nel caso della popolazione del Lago Preola e Gorgi Tondi le testuggini dimostrerebbero di occupare diversi livelli trofici, con una maggiore attitudine per una dieta carnivora. In questo panorama esisterebbero sostanziali differenze fra i siti, per cui gli animali del Gorgo Basso sarebbero più generalisti rispetto a Gorgo Alto e Medio. Analogamente, l'esistenza di differenze significative nei livelli isotopici nel sangue delle testuggini, considerando il mese di prelievo, nel periodo giugno-settembre, conferma l'esistenza di una strategia trofica opportunistica soprattutto a fine estate, prediligendo risorse diverse in funzione della stagione e probabilmente della loro disponibilità.

Al contrario le specie ittiche analizzate, sembrerebbero avere una dieta più spiccatamente erbivora nelle carpe e onnivora nelle gambusie, sovrapponendo si solo in parte con le abitudini alimentari di *Emys*.

Nel caso della popolazione del Gorgo Lungo (Riserva Bosco Ficuzza), considerando il sangue delle testuggini catturate, vi sarebbe una significativa differenza fra maschi e femmine, non osservata nei Gorgi Tondi, sia per $\delta^{15}\text{N}$ sia per $\delta^{13}\text{C}$. In particolare i maschi presenterebbero valori maggiori per entrambi gli isotopi rispetto alle femmine, indicando una dieta maggiormente carnivora. Questo risultato non è tuttavia confermato dalle tracce isotopiche presenti nel materiale corneo (che generalmente fornisce indicazioni sulla dieta relativa ad un periodo di tempo maggiore rispetto al sangue), portando a ipotizzare un sostanziale allineamento dei sessi nello spazio trofico. Allo stesso modo non sono presenti differenze rispetto ai mesi di campionamento, confermando rispetto a quanto visto nei Gorgi Tondi una dieta più routinaria delle testuggini del Gorgo Lungo.

La dieta delle testuggini del Gorgo Lungo, infine, appare significativamente diversa rispetto a quella degli animali provenienti dai Gorghi Tondi. Le testuggini di Bosco Ficuzza presentano livelli significativamente più bassi di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, indicando una dieta maggiormente onnivora e meno opportunistica, come confermato dalla nicchia isotopica del Gorgo Lungo completamente dissociata dalle altre.

In conclusione, l'analisi degli isotopi stabili si conferma una tecnica molto performante nello studio qualitativo e quantitativo dell'ecologia trofica delle testuggini d'acqua dolce, soprattutto considerando diverse tipologie di tessuti (sangue e unghie in questo caso). Inoltre l'approccio in questo senso può rappresentare una metodologia utile ed applicabile nello studio della dieta e dello sfruttamento delle risorse dai diversi organismi presenti in un determinato habitat. Resta tuttavia difficile arrivare ad una valutazione e delle conclusioni generali ed esaustive se consideriamo l'ampiezza delle nicchie trofiche sia delle testuggini sia dei potenziali competitors (specie ittiche in questo caso). In queste condizioni sussiste una certa sensibilità alle variazioni della comunità biologica e alla presenza di ulteriori fattori (altre specie, alterazioni chimico fisiche nell'habitat ecc). Inoltre non sono trascurabili i possibili effetti indiretti della presenza di specie competitive e/o alloctone sul comportamento delle specie native, ad esempio ri-sospensione e bio-turbazione legata all'attività delle carpe.

L'analisi delle nicchie isotopiche rappresenta pertanto uno strumento gestionale utile ed integrabile con ulteriori indagini che riguardino la caratterizzazione della comunità biologica, una caratterizzazione delle tracce isotopiche delle potenziali prede, lo studio delle popolazioni delle specie target quali le testuggini, ed altre indagini tradizionali sulla dieta e sulle strategie alimentari.

Publicazioni

Articoli pubblicati nel triennio 2018-2020

Riviste ISI & Scopus con IF

1. Ottonello D., **Oneto F.**, Vignone M., Rizzo A., Salvidio S. (2018). *Diet of a restocked population of the European pond turtle *Emys orbicularis* in NW Italy*. Acta Herpetologica 13(1): 89-93
2. Andrea Costa, **Fabrizio Oneto**, and Sebastiano Salvidio (2018). *Time-for-space substitution in N-mixture model confirms population decline in European leaf-toed Gecko: a comparison with capture-mark-recapture data*. Journal of Wildlife Management and Wildlife Monographs
3. Canessa Stefano, Ottonello Dario, Rosa Giacomo., Salvidio Sebastiano, Grasselli Elena, **Oneto Fabrizio** (2019). Adaptive management of species recovery programs: A realworld application for an endangered amphibian. Biological Conservation 236 (2019) 202–210
4. Sebastiano Salvidio, Andrea Costa, **Fabrizio Oneto**, and Mauro Valerio Pastorino (2020). Variability of a subterranean prey-predator community in space and time. Diversity Diversity 2020, 12, 17; doi:10.3390/d12010017
5. Sebastiano Salvidio, Andrea Costa, **Fabrizio Oneto** (2020). Size-related boldness is not altered by stomach flushing in a terrestrial salamander. Amphibia-reptilia
6. Ottonello Dario, D'Angelo Stefania, **Oneto Fabrizio**, Malavasi Stefano, Zuffi Marco Alberto Luca, Spadola Filippo (*in fieri*). *So close so different: What makes the difference?* Acta Herpetologica.

Riviste non indicizzate

7. Vasco Menconi, Paolo Pastorino, Matteo Capurro, Luca Ciuffardi, **Fabrizio Oneto**, Dario Ottonello, Enrico Monaci, Marzia Righetti, Marino Prearo (2018). First report of *Hysteromorpha triloba* (Digenea: Diplostomidae) in cyprinids captured in Ligurian inland waters. ITTIOPATOLOGIA, 2018, 15: 45-53

Atti Congressi

8. Capurro Matteo, Ciuffardi Luca, Duradoni Daniele, Cottalasso Renato, **Oneto Fabrizio**, Ottonello Dario, Modric Enes, Ovcina Jasmina, Rezzoagli Deborah (2019). Preliminary observation on native freshwater crayfish distribution in the protected Konjuh landscape (Tuzla, Bosnia And Herzegovina). Atti XVII Congresso Nazionale Associazione Italiana Ittiologi Acque Dolci – Roma. Italian Journal of Freshwater Ichthyology, 2019 vol. 5(1).

9. Ghia Daniela, Fea Gianluca, Ventimiglia Martina, Capurro Matteo, **Oneto Fabrizio**, Ottonello Dario, Bo Tiziano, Candiottto Alessandro, Sacchi Roberto (2019). Italian native crayfish and signal crayfish cooccurrence within the Valla Stream (N-W Italy). Atti XVII Congresso Nazionale Associazione Italiana Ittiologi Acque Dolci – Roma. Italian Journal of Freshwater Ichthyology, 2019 vol. 5(1).
10. Ottonello D., Oneto F., Piccardo P., Salvidio S. (Eds) (2020). Atti II Congresso Nazionale Testuggini e Tartarughe (Albenga, 11-13 aprile 2019), 220 pp. ISBN979-12-200-6157-5
11. Ottonello Dario, Capurro Matteo, **Oneto Fabrizio** & Serroni, Pietro. (2020). *Emys orbicularis* nel versante calabro del Parco Nazionale del Pollino. In Ottonello D., Oneto F., Piccardo P., Salvidio S. (Eds), 2020. Atti II Congresso Nazionale Testuggini e Tartarughe (Albenga, 11-13 aprile 2019), 220 pp. ISBN979-12-200-6157-5
12. Ottonello Dario, Lanza Elisa, Carini Renato, Magliocco Gigliola & **Oneto Fabrizio**. (2020). *Emys orbicularis* nella Riserva Naturale Torrile e Trecasali. In Ottonello D., Oneto F., Piccardo P., Salvidio S. (Eds), 2020. Atti II Congresso Nazionale Testuggini e Tartarughe (Albenga, 11-13 aprile 2019), 220 pp. ISBN979-12-200-6157-5

Monografie

13. Ottonello, D. D'Angelo, S. Marrone, **F. Oneto**, F., Spadola, F. Zuffi, M.A.L., And Fritz U. (2021). *Emys trinacris* Fritz, Fattizzo, Guicking, Triepi, Pennisi, Lenk, Joger, and Wink 2005 – Sicilian Pond Turtle, Testuggine Palustre Siciliana. In: Rhodin, A.G.J., Iverson, J.B., van Dijk, P.P., Stanford, C.B., Goode, E.V., Buhlmann, K.A., and Mittermeier, R.A. (Eds.). Conservation Biology of Freshwater Turtles and terrapins: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group. Chelonian Research Monographs 5(15):112.1–13. doi: 10.3854/crm.5.112.trinacris.v1.2021; www.iucn-tftsg.org/cbftt/.

Bibliografia

- Alison C, Daugherty CH, Hay JM. (1995). Reproduction of a rare New Zealand reptile, the Tuatara *Sphenodon punctatus*, on rat-free and rat-inhabited islands. *Conservation Biology* 9: 373–383
- Amarasekare P, Hoopes MF, Mouquet N, Holyoak M. (2004). Mechanisms of coexistence in competitive metacommunities. *American Naturalist* 164: 310–326.
- Amarasekare P. (2002). Interference competition and species coexistence. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* 269: 2541–2550.
- Amber I. Szoboszlai, Julie A. Thayer, Spencer A. Wood, William J. Sydeman, Laura E. Koehn (2015). Forage species in predator diets: Synthesis of data from the California Current, *Ecological Informatics*, Volume 29, Part 1, Pages 45-56
- Andreone F., Corti C., Ficetola G.F., Razzetti E., Romano A. and Sindaco R. (2013). Liste rosse italiane, <http://www.iucn.it/scheda.php?id=1350576451>.
- Balzani P, Vizzini S, Santini G, Masoni A, Ciofi C, Ricevuto E, Chelazzi G. (2016). Stable isotope analysis of trophic niche in two co-occurring native and invasive terrapins, *Emys orbicularis* and *Trachemys scripta elegans*. *Biological Invasions* 18 (12), 3611-3621
- Bearhop S., Adams C.E., Waldron S., Fuller R.A. & Macleod H. (2004). Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73, 1007–1012.
- Bellgraph BJ, Guy CS, Gardner WM, Leathe SA. (2008). Competition potential between saugers and walleyes in nonnative sympatry. *Transactions of the American Fisheries Society* 137: 790–800.
- Bluthgen N, Gebauer G, Fiedler K. (2003). Disentangling a rainforest food web using stable isotopes: Dietary diversity in a species-rich ant community. *Oecologia* 137: 426–435.
- Boecklen WJ, Yarnes CT, Cook BA, James AC (2011). On the use of stable isotopes in trophic ecology. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 42:411–440
- Bolnick, D.I., Svanback, R., Fordyce, J.A., Yang, L.H., Davis, J.M., Hulsey, C.D. & Forister, M.L. (2003). The ecology of individuals: incidence and implications of individual specialization. *American Naturalist*, 161, 1–28
- Brullo S. & Spampinato G. (1991). La vegetazione dei corsi d'acqua della Sicilia. — *Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania*, 23 (336) (1990): 183-229.
- Brullo S., Minissale P. & Spampinato G. (1994). Studio fitosociologico della vegetazione lacustre dei Monti Nebrodi (Sicilia settentrionale). — *Fitosociologia*, 27: 5-50.
- Bulte G, Blouin-Demers G. (2008). Northern map turtles (*Graptemys geographica*) derive energy from the pelagic pathway through predation on zebra mussels (*Dreissena polymorpha*). *Freshwater Biology* 53: 497–508.

- Cadotte M.W. (2007). Competition-colonization trade-offs and disturbance effects at multiple scales. *Ecology* 88: 823–829.
- Cagle (1946). The growth of the slider turtle, *Pseudemys scripta elegans*. *Amer. Midi. Nat.*, 29: 257-512
- Caldarella O. (2014). censimento degli ambienti lentici e note distributive sulla flora idro-igrofitica nell'area di bosco Ficuzza (Sicilia occidentale). *Naturalista sicil.*, S. IV, XXXVIII (2), 2014, pp. 193-244
- Canessa S., Genta P., Jesu R., Lamagni L., Oneto F., Salvidio S., Ottonello D. (2016). Challenges of monitoring reintroduction outcomes: Insights from the conservation breeding program of an endangered turtle in Italy. *Biological Conservation* 05/2016
- catalano R. & D'Argenio B. (1978). An essay of palinspastic restoration across western Sicily. —*Geologica romana*, 17: 145-159, 9 ff., 1 tab.
- Catalano R. (2000). La Geologia. Pp. 49-66 in: AA.VV., Ficuzza. Storia e natura. — Edizioni Arbor, Palermo.
- Chisholm, B.S., Nelson, D.E. & Schwarcz, H.P. (1982) Stable-carbon isotope ratios as a measure of marine versus terrestrial protein in ancient diets. *Science*, 216, 1131–1132.
- Çiçek, Kerim & Ayaz, Dinçer. (2011). Food composition of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) in Lake Sülüklü (Western Anatolia, Turkey). *Journal of Freshwater Ecology - J FRESHWATER ECOL.* 26. 1-8. 10.1080/02705060.2011.580536.
- Craig, H. (1953). The geochemistry of stable-carbon isotopes. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 3, 53–92
- D'Angelo S. (2013) Studio della biologia, morfologia ed ecologia di tre popolazioni di testuggine palustre siciliana *Emys trinacris* (Fritz et al., 2005). Valutazione della presenza di lantanidi e caratterizzazione genetica. Ph.D. Thesis, Università Cà Foscari di Venezia.
- D'Angelo S., Lo Valvo M. (2003). On the presence of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in Sicily. *Naturalista siciliano*, 27 (3-4): 325-327.
- D'Antonio CM, Vitousek PM. (1992). Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics* 23: 63–87.
- De Niro M. J. and Epstein S. (1976). You are what you eat (plus a few “‰”): the carbon isotope cycle in food chains. *Geol. Sot. Am. Abs. Prog.* 8, 834-835.
- De Niro M. J. and Epstein S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, Vol. 42. pp. 495 to 506.
- Di Cerbo A.R. (2010). *Emys trinacris*. In: Corti, C., Capula, M., Luiselli, L., Razzetti, E., and Sindaco, R. (Eds.). *Fauna d'Italia, Reptilia*. Bologna: Calderini, pp. 163–168
- Ducci D. & Tranfaglia G. (2008). Effects of climate change on groundwater resources in Campania (southern Italy). *Geological Society Special Publication*. 288. 25-38. 10.1144/SP288.3.
- Dunham, A. E. and J. W. Gibbons (1990). Growth of the slider turtle, p. 135-145. In: J. W. Gibbons (ed.). *Life history and ecology of the slider turtle*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

- Ernst CH, Lovich JE, Barbour RW. (1994). Turtles of the United States and Canada. Washington: Smithsonian Institute Press. 578 p.
- Fahrig L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34: 487–515.
- Ficetola G.F., De Bernardi F. (2006). Is the European “pond” turtle *Emys orbicularis* strictly aquatic and carnivorous? *Amphibia-Reptilia* 27:445–447
- Fontana M., Grassa F., Cusimano G., Favara R., Hauser S. & Scaletta C. (2009). Geochemistry and potential use of groundwater in the Rocca Busambra area (Sicily, Italy). — *Environ. Geol.*, 57 (4): 885-898.
- Fritz U. (1992). Zur innerartlichen Variabilität von *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758). 2. Variabilität in Osteuropa und Redefinition von *Emys orbicularis* (Linnaeus 1758) und *E. o. hellenica* (Valenciennes, 1832). *Zoologische Abhandlungen, Staatliches Museum für Tierkunde Dresden* 47:131–155.
- Fritz U. (1995). Zur innerartlichen Variabilität von *Emys orbicularis* (Linnaeus, 1758). 5. Taxonomie in Mittel- Westeuropa, auf Korsika, Sardinien, der Apenninen-Halbinsel und Sizilien und Unterartengruppen von *E. orbicularis* (Reptilia: Testudines: Emydidae). *Zoologische Abhandlungen, Staatliches Museum für Tierkunde* 48:185–242.
- Fritz U., d'Angelo S., Pennisi M.G., Lo Valvo M. (2006). Variation of Sicilian pond turtles, *Emys trinacris* - what makes a species cryptic? *Amphibia-Reptilia* 27: 513-529.
- Fritz U., Fattizzo T., Guicking D., Tripepi S., Pennisi M.G., Lenk P., Joger U., Wink M. (2005). A new cryptic species of pond turtle from southern Italy, the hottest spot in the range of the genus *Emys* (Reptilia, Testudines, Emydidae). *Zool. Scr.* 34: 351-371.
- Fry B. (1988). Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*, 33, 1182–1190.
- Fry B. (2006). Stable isotope ecology. Springer, Berlin
- Genovesi P. (2009). Invasive Alien Species in a changing world. *Biodiversity*, 10, 3– 4
- Gherardi F, Baldaccini GN, Barbaresi S, Ercolini P, De Luise G, et al. (1999). The situation in Italy. See Gherardi & Holdich 1999, pp. 107–28
- Gherardi F, Lazzara L. (2006). Effects of the density of an invasive crayfish (*Procambarus clarkii*) on pelagic and surface microalgae in a Mediterranean wetland. *Arch. Hydrobiol.* 165:401–14
- Gianguzzi & La Mantia (2004). le serie di vegetazione della riserva “bosco ficuzza, rocca busambra, bosco del cappelliere e gorgo del drago” (provincia di Palermo) con allegata carta della vegetazione (scala 1:20.000)
- Gianguzzi L. (1999b). Flora e vegetazione dei Nebrodi. Itinerari didattici. — Regione Siciliana, Sezioni Operative per l'Assistenza Tecnica nn° 5, 7, 8,10, 11, pp. 232. S. Agata di Militello (ME).
- Giardina G. (1994.) La vegetazione e la fauna del Bosco di Ficuzza. Pp. 29-46 in: Giardina G. & Scarpulla A., Bosco di Ficuzza tra Storia e Natura. — Azienda Foreste Demaniali Regione Siciliana, Palermo.

- Gibbons, Michael R. (1982) [Multivariate tests of financial models: A new approach](#), *Journal of Financial Economics*, **10**, issue 1, p. 3-27.
- Giunta G. & Liguori V. (1975). Considerazioni sul significato ambientale e sul ruolo paleotettonico della Rocca Busambra (Sicilia). — Boll. Soc. Natur. Napoli, 84: 45-59.
- Hansen RM. (1976). Foods of free-roaming horses in southern New Mexico. *Journal of Range Management* 29: 347.
- Huner JV. (1988). *Procambarus* in North America and elsewhere. In: Holdich DM and Lowery RS (eds) *Freshwater Crayfish: Biology, Management and Exploitation*, pp 239–261. The University Press, Cambridge
- Huner, J. V., Barr, J. E. (1991). *Red Swamp Crawfish: Biology and Exploitation* (Third Edition). National Technical Reports Library
- Hutchinson G.E. (1957). Concluding remarks. In *Cold Spring Harbour symposium* (ed Q. Biology)
- Hutchinson G.E. (1978). *An Introduction to Population Biology*. Yale University Press, New Haven.
- Ilman D. (1987). Secondary Succession and the Pattern of Plant Dominance Along Experimental Nitrogen Gradients. *Ecological Monographs*, 57: 189-214.
- Jackson AL, Inger R, Parnell AC, Bearhop S. (2011). Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER—Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *J Anim Ecol* 80:595–602
- Jeckel, W.H., Roth, R.R., Ricci, L. (1996). Patterns of trace-metal distribution in tissues of *Pleoticus muelleri* (Crustacea: Decapoda: Solenoceridae). *Mar. Biol.* 125, 297–306. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00346310>.
- Parkos J. J III, Santucci V. J, Jr., and Wahl D. H (2003). Effects of adult common carp (*Cyprinus carpio*) on multiple trophic levels in shallow mesocosms. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 60(2): 182-192.
- Kemp SJ. (2008). Autecological effects of habitat alteration: trophic changes in mangrove marsh fish as a consequence of marsh impoundment. *Marine Ecology-Progress Series* 371: 233–242.
- Kenneth D., Angielczyk, Feldman C.R. (2013). Are diminutive turtles miniaturized? The ontogeny of plastron shape in emydine turtles, *Biological Journal of the Linnean Society*, Volume 108, Issue 4, April 2013, Pages 727–755, <https://doi.org/10.1111/bij.12010>
- Kennett, Rod & Tory, Oswald. (1996). Diet of Two Freshwater Turtles, *Chelodina rugosa* and *Elseya dentata* (Testudines: Chelidae) from the Wet-Dry Tropics of Northern Australia. *Copeia*. 1996. 409. 10.2307/1446857.
- Kilham SS, Hunte-Brown M, Verburg P, Pringle CM, Whiles MR, et al. (2009) Challenges for interpreting stable isotope fractionation of carbon and nitrogen in tropical aquatic ecosystems. *Verh Internat Verein Limnol* 30: 749–753.
- Layman, C.A., Arrington, D.A., Montana, C.G. & Post, D.M. (2007a). Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology*, 88, 42–48.
- Lebboroni M., & Chelazzi G. (1991). Activity patterns of *Emys orbicularis* L. (*Chelonia Emydidae*) in Central Italy. *Ethol. Ecol. Evol.*, 3: 257-268

- Lenk P. & Herrmann H.W & Joger, Ulrich & Wink Michael. (1999). Phylogeny and taxonomic subdivision of Bitis (Reptilia: Viperidae) based on molecular evidence. Kaupia. 8. 31-38.
- Lindqvist O.V & Huner J.V. (1999). Crayfish in Europe as Alien Species
- Lo Valvo M. & D'Angelo S. (2004). Stima della popolazione di Testuggine palustre europea (*Emys orbicularis*) presente nella Riserva Naturale "Lago Preola e Gorgi Tondi" (Sicilia sudoccidentale). Paper presented at V Congresso italiano della Societas Herpetologica Italica
- Lo Valvo M., Oneto F, Ottonello D., Zuffi M.A.L. (2016). *Emys orbicularis*; *Emys trinacris*. In: Stoch F., Genovesi P. (ed.), Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: specie animali. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 141/2016
- Lo Valvo Mario & Cumbo Valentina & Chiara Roberto & Bartolotta Edoardo, Giacalone Gabriele. (2015). Spazi vitali e comportamenti della Testuggine palustre siciliana (*Emys trinacris*) nella R.N.O. "Monte Capodarso e Valle dell'Imera meridionale" (Caltanissetta)
- Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M. (2000). 100 of the world's worst invasive alien species. A selection from the global invasive species database. Invasive Species Specialist Group, Auckland
- Luiselli L. (2006). Food niche overlap between sympatric potential competitors increases with habitat alteration at different trophic levels in rain-forest reptiles (omnivorous terrapins and carnivorous vipers). Journal of Tropical Ecology 22: 695–704
- Luiselli L., Akani G.C., Angelici F., Politano E., Ude L. & Wariboko S.M. (2004). Aspects of the ecology of a population of *Causus maculatus* (Reptilia: Viperidae) from southern Nigeria. Amphibia-Reptilia. 25. 99-104. 10.1163/156853804322992878.
- MacCulloch Ross D. and Secoy D. M. (1983). Movement in a River Population of *Chrysemys picta bellii* in Southern Saskatchewan. Journal of Herpetology, Vol. 17, No. 3, pp. 283-285, 1983
- Mack R.N., Simberloff D., Lonsdale W.M., Evans H., Clout M., et al. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. Ecological Applications 10: 689–710.
- Manfredi T., Bellavita M., Ottonello D., Zuffi M.A.L., Carlino P., Chelazzi G., D'Angelo S., Di Tizio L., Fritz U., Lo Valvo M., Marini G., Orrù F., Scali S., Sperone E., Ciofi C. (2013). Analisi preliminari sulla divergenza genetica e filogeografica delle popolazioni italiane della testuggine palustre europea *Emys orbicularis*. In: Di Tizio, L., Brugnola, I., Cameli, A., and Di Francesco, N. (Eds.). Atti II Congresso SHI Abruzzo e Molise. Pescara: Ianieri Edizioni, pp. 31–39.
- Marrone F., Sacco F., Arizza V., Arculeo M. (2016b) Amendment of the type locality of the endemic Sicilian pond turtle *Emys trinacris* Fritz et al. 2005, with some notes on the highest altitude reached by the species (Testudines, Emydidae). Acta Herpetol. 11: 59-61.
- Martínez del Río, C., Wolf, N., Carleton, S.A. and Gannes, L.Z. (2009), Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. Biological Reviews, 84: 91-111

- McCutchan JH Jr, Lewis WM Jr, McGrath CK, McGrath CC (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos* 102:378–390
- Middelburg JJ (2014) Stable isotopes dissect aquatic food webs from the top to the bottom. *Biogeosciences* 11:2357–2371
- Mills, M. G. L. (1994). Social systems and behaviour of the African wild dog *Lycaon pictus* and the spotted hyaena *Crocuta crocuta* with special reference to rabies. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 60:405–409.
- Minagawa, M. & Wada, E. (1984). Stepwise enrichment of ^{15}N along foodchains – further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 48, 1135–1140.
- Miranda NAF, Perissinotto R. (2012). Stable isotope evidence for dietary overlap between alien and native gastropods in coastal lakes of northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Plos One* 7: e31897.
- Newsome, S.D., Martinez del Rio, C., Bearhop, S. & Phillips, D.L. (2007). A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 429–436.
- Ottonello D., D’Angelo S., Marrone F., Oneto F., Spadola F., Zuffi M.A.L. and Fritz U. (2021). *Emys trinacris* Fritz, Fattizzo, Guicking, Tripepi, Pennisi, Lenk, Joger, And Wink (2005) Sicilian Pond Turtle, Testuggine Palustre Siciliana. In: Rhodin, A.G.J., Iverson, J.B., van Dijk, P.P., Stanford, C.B., Goode, E.V., Buhlmann, K.A., and Mittermeier, R.A. (Eds.). *Conservation Biology of Freshwater Turtles and terrapins: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group*. *Chelonian Research Monographs* 5(15):112.1–13. doi: 10.3854/crm.5.112.trinacris.v1.2021; www.iucn-tftsg.org/cbftt/.
- Ottonello D., D’Angelo S., Oneto F., Malavasi S., Zuffi M.A.L (2016). Feeding ecology of the Sicilian pond turtle *Emys trinacris* (Testudines, Emydidae) influenced by seasons and invasive aliens species. *Ecol Res* (2017) 32: 71–80
- Ottonello D., Salvidio S. & Rosecchi E. (2005). Feeding habits of the European pond terrapin *Emys orbicularis* in Camargue (Rhône Delta, Southern France). *Amphibia-reptilia*. 26. 562-565. 10.1163/156853805774806241.
- Parnell AC, Inger R, Bearhop S, Jackson AL. (2010). Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS ONE* 5:e9672
- Patrick R., Stephens and John J. Wiens (2010). Explaining Species Richness from Continents to Communities: The Time-for-Speciation Effect in Emydid Turtles. *The American Naturalist* 2003 161:1, 112-128
- Pearson J.C., Watson J.D., Crews S.T. (2012). *Drosophila melanogaster* Zelda and Single-minded collaborate to regulate an evolutionarily dynamic CNS midline cell enhancer. *Dev. Biol.* 366(2): 420–432.
- Pearson SH, Avery HW, Kilham SS, Velinsky DJ, Spotila JR. (2013). Stable isotopes of C and N reveal habitat dependent dietary overlap between native and introduced turtles *Pseudemys rubriventris* and *Trachemys scripta*. *PLoS ONE* 8:e62891
- Peterson BJ, Fry B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu Rev Ecol Syst* 18:293–320
- Philippi G. (1973). Zur kenntnis einiger Röhrichtgesellschaften des Oberrheingebietes. — *Beitr. Naturk. Forsch. Sudw. Deütschl.*, 32: 53-95.

- Polis GA, McCormick SJ. (1987). Intraguild predation and competition among desert scorpions. *Ecology* 68: 332–343.
- Post DM. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology* 83: 703–718.
- Poulin B., Lefebvre, G. and Crivelli, A.J. (2007). The invasive red swamp crayfish as a predictor of Eurasian bittern density in the Camargue, France. *Journal of Zoology*, 273: 98-105.
- Raccuglia S. (1911). Sull'origine di Mezzojuso. *Ricerche storico-topografiche*. — Tipografia Orario delle Ferrovie, Acireale, 36 pp.
- Reich KJ, Bjorndal KA, Bolten AB. (2007). The 'lost years' of green turtles: using stable isotopes to study cryptic lifestages. *Biol Lett* 3:712–714
- Rodda GH, Fritts TH, Chiszar D. (1997). The disappearance of Guam's wildlife. *Bioscience* 47: 565–574.
- Rowe JW. (1992). Dietary habits of the Blanding's turtle (*Emydoidea blandingi*) in northeastern Illinois. *Journal of Herpetology* 26: 111–114.
- Scarpulla A. (2000). La storia. Pp. 23-34 in: AA.VV., Ficuzza. storia e natura. — Edizioni Arbor, Palermo.
- Shenko AN, Bien WF, Spotila JR, Avery HW. (2012). Effects of disturbance on small mammal community structure in the New Jersey Pinelands, USA. *Integrative Zoology* 7: 16–29
- Sherwood G.D. and Rose G.A. (2005). Stable isotope analysis of some representative fish and invertebrates of the Newfoundland and Labrador continental shelf food web. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 63(4):537-549.
- Sibly RM, Atkinson D. (1994). How rearing temperature affects optimal adult size in ectotherms. *Functional Ecology* 8: 486–493.
- Sindaco Roberto & Jeremchenko Valery. (2008). The reptiles of the Western Palearctic. 1. Annotated checklist and distributional atlas of the turtles, crocodiles, amphisbaenians and lizards of Europe, North Africa, Middle East and Central Asia.
- Soberon J. (2007). Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10, 1115–1123.
- Souza F.L. and Abe A.S. (2000). Feeding ecology, density and biomass of the freshwater turtle, *Phrynops geoffroanus*, inhabiting a polluted urban river in south-eastern Brazil. *Journal of Zoology*, 252: 437-446.
- Speybroeck E., Beukema W., Crochet P.A. (2010). A tentative species list of the European herpetofauna (Amphibia and Reptilia) — an update. *Zootaxa* Vol 2492, No 1
- Swihart RK, Gehring TM, Kolozsvary MB, Nupp TE. (2003). Responses of resistant' vertebrates to habitat loss and fragmentation: The importance of niche breadth and range boundaries. *Diversity and Distributions* 9: 1–18
- Tesche M.R., Hodges K.E. (2015). Unreliable population inferences from common trapping practices for freshwater turtles. *Global Ecology and Conservation* 3: 802-813.
- Turrisi G.F. and Vaccaro A. (1997). Contributo alla conoscenza degli anfibi e dei rettili di Sicilia. *Bollettino dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali in Catania* 353:5–88.

- Turrisi, GF (2008). Testuggine palustre siciliana - *Emys trinacris* Atlante della biodiversità della Sicilia: Vertebrati Terrestri. ARPA Sicilia, Palermo pp. 277-280
- Vamberger M., Stuckas H., Sacco F., D'Angelo S., Arculeo M., Cheylan M., Corti C., Lo Valvo M., Marrone F., Wink M., and Fritz U. (2015). Differences in gene flow in a twofold secondary contact zone of pond turtles in southern Italy (Testudines: Emydidae: *Emys orbicularis galloitalica*, *E. o. hellenica*, *E. trinacris*). *Zoologica Scripta* 44:233–249.
- Van Vijk P.P. (2009). *Emys trinacris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T158469A5199795.
- Vanderklift MA, Ponsard S (2003) Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* 136:169–182
- Velo -antón G., Wink M., Schneeweiss N., and Fritz U. (2011). Native or not? Tracing the origin of wild-caught and captive freshwater turtles in a threatened and widely distributed species (*Emys orbicularis*). *Conservation Genetics* 12:583–588.
- Vogt P. R., and Holden J. C. (1981). Extinctions: The democratic solution, *Eos Trans. AGU*, 62(24), 537– 537
- Wada E., Terazaki M., Kabaya Y. & Nemoto T. (1987). $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. *Deep-Sea Research Part a-Oceanographic Research Papers*, 34, 829–841
- Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, Phillips A, Losos E. (1998). Quantifying threats to imperiled species in the United States. *Bioscience* 48: 607–615.
- Zuffi M.A.L. & Gariboldi A. (1995b). Sexual dimorphism in Italian population so the Europea pond terrapin , *Emys orbicularis*. — In: LLORENTE, G.A., MONTORI, A, SANTOS, X. & CARRETERO M.A. (Eds.), *Scientia Herpetologica*. Barcelona , 124 - 129.