



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Diversità funzionale, resilienza e dinamiche compensatorie delle comunità ittiche mediterranee in relazione al prelievo, cambiamento climatico ed altri fattori di stress antropogenici

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:
BIOLOGIA AMBIENTALE ED EVOLUZIONISTICA

Responsabile scientifico: Prof. Luigi Maiorano

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Institute of Marine Research, Department of Aquatic Resources, Lysekil, Svezia;

Azienda: ESRI Italia s.p.a

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10.000,00 euro

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA E BIOTECNOLOGIE "CHARLES DARWIN" con delibera del 20/09/2021

Progetto di ricerca:

Gli attuali cambiamenti ambientali stanno modificando rapidamente la composizione delle comunità di organismi marini. Stress ambientali cronici possono essere causa di estinzioni locali, spostamenti delle distribuzioni e cambiamenti nelle abbondanze di specie, con conseguenze sulla struttura di comunità e sul loro funzionamento. Le popolazioni delle diverse specie possono rispondere in maniera simile alle forzanti esterne determinando quindi un cambiamento direzionale all'interno della comunità di cui fanno parte, oppure, differenziando le loro risposte di crescita, immigrazione ed emigrazione, così da compensarsi a vicenda e smorzare gli effetti delle forze esterne. Questa asincronia di risposta è legata alla diversità funzionale delle comunità ecologiche: quando più specie svolgono funzioni simili all'interno dell'ecosistema, questa ridondanza funzionale può garantire una maggiore resilienza al cambiamento climatico ed alle altre alterazioni ambientali indotte dalle attività umane. Dinamiche asincrone di specie appartenenti allo stesso gruppo funzionale portano ad un funzionamento ecosistemico più stabile. Le dinamiche compensative rappresentano il fondamento della stabilità di comunità e della resilienza ecosistemica, ma sono spesso difficili da rilevare poiché possono essere mascherate da cambiamenti della demografia della comunità e dalle interazioni tra specie. Un aspetto critico è capire se la straordinaria diversità di specie in molte comunità ecologiche è fondamentale per il funzionamento dell'ecosistema o se una proporzione minore di specie è sufficiente per svolgere la maggior parte delle funzioni chiave. Questo dibattito, al centro delle scienze ecologiche, è ancora più rilevante in ecosistemi ricchi di specie dove è più probabile un'elevata ridondanza funzionale e spesso si presume che il funzionamento dell'ecosistema non sia inficiato dalla perdita di specie.

Il Mar Mediterraneo ospita un'elevata diversità di specie marine e un alto tasso di endemismi, rendendolo uno degli hotspot mondiali della biodiversità marina. Di questa biodiversità, i pesci rappresentano circa 625 specie che sostengono processi ecosistemici essenziali quali controllo trofico, bioerosione e ciclo dei nutrienti. Allo stesso tempo, il Mar Mediterraneo è anche considerato tra i "Large Marine Ecosystem" più impattati al mondo a causa di molteplici fattori di stress quali pressione di pesca, perdita e trasformazione degli habitat, cambiamenti climatici, inquinamento, eutrofizzazione ed introduzione di specie invasive. L'importanza di conservare tutta la diversità ittica per preservare l'intera gamma di potenziali funzioni svolte negli assemblaggi di specie è ancora sotto scrutinio. Sebbene diversi aspetti delle comunità ittiche del Mediterraneo siano stati esplorati (ad es. ricchezza di specie, rete trofica,

assemblaggi di specie, ecc.), c'è ancora un grosso gap di conoscenze sul ruolo della ricchezza di specie nel promuovere la resilienza di queste comunità al cambiamento ambientale.

Questo progetto di dottorato mira a studiare i processi e le dinamiche compensative che potenzialmente influenzano le comunità ittiche del Mediterraneo e chiarire la stabilità ecologica e la resilienza in risposta ai cambiamenti climatici. Gli obiettivi specifici del progetto sono: 1) comprendere come la diversità delle specie di pesci mediterranei è distribuita tra gruppi funzionali lungo un gradiente di condizioni ambientali e di disturbo antropico; 2) valutare l'importanza della diversità, ridondanza e vulnerabilità funzionale per i processi e le dinamiche compensative all'interno delle comunità ittiche mediterranee; 3) desumere la vulnerabilità delle comunità ittiche mediterranee al cambiamento ambientale e discutere azioni correttive nel contesto dell'attuale politica per la sostenibilità della pesca e per la protezione ambientale (ad es. Common Fisheries Policy, Marine Framework Strategy Directive).

Il primo anno di dottorato sarà dedicato alla revisione della letteratura scientifica sull'argomento, alla raccolta, assemblaggio, pulizia e standardizzazione di dati di abbondanza di specie marine raccolte durante il programma di indagine a strascico MEDITS svolto a partire dal 1994 nelle acque del Nord Mediterraneo (paesi UE). Questo dataset sarà integrato con parametri oceanografici, ambientali e antropici liberamente disponibili online (ad es. Copernicus Marine Services, EMODnet, ecc.) per l'intera area di studio. Un ampio geodatabase che raccoglierà tutti gli strati informativi raccolti durante il dottorato sarà pubblicato online, insieme ad un'applicazione web-GIS per la sua interrogazione e visualizzazione (geoportale). Il geoportale sarà realizzato nel corso di uno stage di 6 mesi presso ESRI Italia, una software house con esperienza decennale nel settore di software GIS, web GIS e applicazioni di gestione di geodatabases. Tale geoportale conterrà: i) dati MEDITS (dati sui punti di campionamento, indici di abbondanza e biomassa per specie, dati biologici e biometrici per specie target); ii) strati oceanografici (temperatura superficiale del mare, temperatura del fondale, salinità, clorofilla-a, ecc. derivati da Copernicus Marine Service); iii) strati di habitat (derivati da EMODnet); iv) strati antropogenici (ad es. dati del sistema di identificazione automatica (AIS) derivati da Globalfishingwatch; EMODnet; altri).

Durante il secondo anno implementerò un framework analitico che mi permetterà di indagare contemporaneamente gli effetti delle condizioni ambientali e pressioni antropiche sulle dinamiche spaziali, temporali e funzionali degli assemblaggi ittici mediterranei. Oltre ai dati di abbondanza e parametri ambientali, questo framework analitico necessita anche di dati di tratti biologici che sono già disponibili nel database compilato da Koutsidi et al. 2019, un'opera esaustiva che raccoglie 23 tratti di 235 specie mediterranee. I valori mancanti saranno riempiti da letteratura, quando possibile. Partendo da dataset di abbondanze, condizioni ambientali e tratti, effettuerò una serie di analisi statistiche che mi permetteranno di valutare e separare la variabilità spaziale e temporale, e quindi, definire sotto-assemblaggi di specie ittiche mediterranee che condividono distribuzioni spaziali e condizioni ambientali simili. Questi sotto-assemblaggi saranno caratterizzati indagando le loro dinamiche temporali e la loro ricchezza funzionale, oltre che stimando una serie di metriche funzionali quali vulnerabilità, ridondanza e sovra-ridondanza funzionale. Le dinamiche compensative saranno esplorate attraverso vari approcci quantitativi che vengono utilizzati per quantificarne la portata e l'importanza come meccanismo stabilizzante. Questi approcci possono essere sostanzialmente suddivisi in: un approccio statistico basato su matrici di varianza-covarianza di dinamiche di comunità e un approccio analitico delle frequenze che utilizza le serie di Fourier o l'analisi wavelet per isolare dinamiche compensative scala-specifiche. Verrà quindi esplorata l'importanza delle proprietà della ricchezza funzionale per la capacità compensatoria e la resilienza del funzionamento ecosistemico. Tali analisi verranno effettuate durante un semestre come visiting fellow presso l'Institute of Marine Research, Department of Aquatic Resources (SLU Aqua) a Lysekil, Svezia, dove avrò l'opportunità di collaborare con un team di ricercatori internazionali con lunga esperienza nella raccolta e valutazione degli stock ittici.

Nell'ultima fase del progetto, indagherò se cambiamenti nella diversità funzionale tra condizioni ambientali e antropogeniche presenti e future riflettano i cambiamenti nella ricchezza di specie, oppure se alcuni gruppi funzionali sono più affetti di altri. A questo scopo, stimerò diversi modelli di nicchia ambientale (ENMs) per proiettare la distribuzione delle specie ittiche più rappresentative dei sotto-assemblaggi identificati nella seconda fase del progetto, alle condizioni presenti e future del Mar Mediterraneo e sotto diversi scenari di cambiamento climatico. Viste le incertezze degli ENMs nelle proiezioni di cambiamento climatico, verranno utilizzati diversi algoritmi per le loro stime

(es. modelli lineari generalizzati, modelli additivi generalizzati, analisi della rete neurale, ecc.). Infine, per ogni specie e scenario futuro, verrà stimato un Ensemble Model. Per ogni specie, trasformerò le probabilità di presenza stimate in mappe di presenza/assenza utilizzando una soglia di probabilità di presenza minima. Quindi, confronterò i pattern spaziali di diversità funzionale tra le condizioni presenti e future del Mediterraneo: gli assemblaggi di specie per il presente ed il futuro saranno ottenuti sovrapponendo le mappe di distribuzione. Infine, per determinare l'entità dell'effetto del cambiamento climatico sulla diversità funzionale oltre le aspettative dovute ai cambiamenti della sola ricchezza delle specie, implementerò un framework analitico nullo.

Questo progetto identificherà i gruppi funzionali delle specie ittiche che potrebbero essere tra le più colpite dai cambiamenti climatici. Questi gruppi potrebbero essere candidati ideali per aiutare a tracciare gli impatti dei cambiamenti climatici sul funzionamento degli ecosistemi marini del Mediterraneo. Infine, questi risultati potrebbero essere utilizzati anche per informare l'attuale politica per la sostenibilità della pesca e la protezione ambientale (ad esempio, l'obiettivo di sviluppo sostenibile 14 delle Nazioni Unite e la strategia dell'UE sulla biodiversità per il 2030) sulla necessità di nuove aree marine protette per preservare l'intera funzionalità delle comunità ittiche mediterranee.

Titolo del progetto (inglese): Functional diversity, resilience and compensatory dynamics of Mediterranean fish communities in relation to fishing pressure, climate change and other anthropogenic stressors

Progetto di ricerca (inglese):

Current environmental change is causing extensive rearrangement of ecological communities. Persistent environmental stress can be the causes of local extinctions or shifts in distribution and abundance of species, with consequences on community structure and functioning. Populations may respond to external forcing in a similar manner, amplifying the signal and synchronizing the individual trends, leading to large changes in the community. In contrast, differential responses in growth, immigration and emigration among local populations within a community can compensate for one another, thereby weakening the effects of the external forcing. This property of ecological communities is bound to their functional diversity: when several species perform similar functions, this functional redundancy may ensure against the loss of ecosystem functioning due to declines in species richness. Asynchronous dynamics of species in the same functional guild are indeed expected to lead to more stable ecosystem functioning and subsequent ecosystem service provision. Such compensatory dynamics occur when negative covariances between species stabilize aggregated community properties and ecosystem functions so that a decrease in abundance or function of one species is offset by increases from other species. Compensatory dynamics represent the foundation of community stability and ecosystem resilience, but they are often difficult to detect since they can be masked by changes on community demography and species interactions. A critical aspect is whether the extraordinary species diversity on many ecological communities matters for ecosystem functioning or whether a smaller proportion of species is enough to perform most of the key functions. This debate, at the core of ecological science, is even more relevant in species-rich ecosystems where high functional redundancy among species is likely and where it is thus often assumed that ecosystem functioning is buffered against species loss.

The Mediterranean Sea holds high diversity of marine species and high rate of endemism, making it one of the world hotspots for marine biodiversity. Among the Mediterranean biodiversity, fish counts about 625 species, that sustain essential ecosystem processes (e.g. trophic control, bioerosion, nutrient cycling). At the same time, the Mediterranean Sea is also considered among the most impacted Large Marine Ecosystems in the world due to combined multiple stressors, such as fishing pressure, habitat loss and degradation, climate change, pollution, eutrophication and the introduction of invasive species.

The importance of conserving the whole of fish diversity for maintaining the width of potential functions performed in species assemblages is still under scrutiny. Although, different aspects of Mediterranean fish communities were explored in the past (e.g. species richness, trophic web, species assemblages and guilds) there is still a main knowledge gap on the role of species richness and functional diversity in promoting resilience of Mediterranean fish communities to environmental change.

This PhD project aims to investigate compensation processes and compensatory dynamics that potentially affect the Mediterranean fish community and elucidate ecological stability and resilience in response to climate change. Specific goals of the project are: 1) understand how species diversity of Mediterranean marine fish is distributed among functional groups along a gradient of environmental conditions and anthropogenic disturbance; 2) assess the importance of functional diversity, functional redundancy, and functional vulnerability for compensation processes and compensatory dynamics in Mediterranean fish communities; 3) infer the vulnerability of Mediterranean fish communities to environmental change and discuss remedial actions in the context of the ongoing policy for fisheries sustainability and environmental protection (e.g. Common Fisheries Policy, Marine Framework Strategy Directive). The first year of the PhD will be devoted to the review of current scientific literature on the topic, the collection, assemblage, cleaning and standardization of time-series of abundance indices of fish species collected during the trawl survey program MEDITS carried out since 1994 in North Mediterranean waters (EU countries). This dataset will be integrated with oceanographic, environmental and anthropic parameters freely available online (i.e. Copernicus Marine Services, EMODnet, ecc.) for the entire study area. An extensive geodatabase that will gather all the informative layers collected during the PhD will be published online, along with a web-GIS application for its query and visualization (i.e. geoportal). The geoportal will be implemented during a six-months internship at ESRI Italia, a software house with a decadal experience in the sector of geographic information system software, web GIS and geodatabase management applications. Such geoportal will contain: i) the MEDITS data (i.e. sample points data, abundance and biomass indices by species, biological and biometric data by target species); ii) oceanographic layers (such as sea superficial temperature, bottom temperature, salinity, chlorophyll-a, etc. derived from Copernicus Marine Service); iii) habitat layers (derived from EMODnet); iv) anthropogenic layers (such as Automatic Identification System (AIS) data derived from Globalfishingwatch; EMODnet; others).

During the second year, I will enforce an analytical framework that will allow me to simultaneously investigate the effects of environmental conditions and anthropogenic pressures on the spatial, temporal and functional dynamics of Mediterranean fish assemblages. Beside species abundance and environmental data, this analytical framework also requires species traits data which are already available in the trait database compiled by Koutsidi et al. 2019, an exhaustive work that gather 23 traits of 235 Mediterranean species. Missing trait values will be filled from literature, when possible. Starting from data sets of fish abundances, environmental conditions and traits, I will carry out a series of statistical analyses that will allow me to assess and separate spatial and temporal variability, and then, define sub-assemblages of Mediterranean fish species that share similar spatial distributions and environmental conditions. These sub-assemblages will be characterized by looking at their temporal dynamics and functional richness and estimating a series of functional metrics such as functional vulnerability, functional redundancy and functional over-redundancy. Compensatory dynamics will be explored through various quantitative approaches that are used to quantify their scale and importance as a stabilizing mechanism. These approaches can be broadly split into a statistical approach based on a variance-covariance decomposition of community dynamics and a frequency-analytic approach that uses Fourier or wavelet analysis to isolate scale-specific compensatory dynamics. The importance of functional richness properties for compensation ability and resilience of ecosystem functioning will be then explored. Those analyses will be carried out during a six-months visiting period at the Institute of Marine Research, department of Aquatic Resources (SLU Aqua) in Lysekil, Sweden, where I will have the opportunity to cooperate with researchers who have a long experience in the collection and assessment of the Baltic fish stocks.

In the last phase of the project, I will inquire whether changes in functional diversity between present and future environmental and anthropogenic conditions reflect the changes in species richness, or if some functional groups are more affected than others. To this aim, I will estimate multiple environmental niche models (ENMs) to project the distribution of the most representative fish species of the sub-assemblages identified in the second phase of the project, to present and future conditions of the Mediterranean Sea, under several climate change scenarios. Because of the uncertainties of ENMs in climate changes projections, several algorithms will be used for their estimations (e.g. Generalized Linear Models, Generalized Additive Models, Neural Network Analysis, etc.). Finally, for each species and future scenarios, an ensemble model will be estimated. For each species, I will transform the present and future presence probabilities given by the ENMs into presence/absence maps using a probability threshold. Then, I will

compare the spatial patterns of functional diversity between the present and future Mediterranean Sea: species assemblages (i.e. the species present and absent in each grid cell) for present and future periods will be obtained by stacking all species distribution maps, according to future scenario and ENM. These maps can then be used to estimate both species richness and functional diversity. Finally, to assess the extent to which climate change impacts functional diversity beyond the expectation from changes of species richness only, I will implement a null modelling framework.

This project is going to identify the functional groups of fish species that might be the most affected by climate change. Those groups could be ideal candidates to help track the impacts of climate change on the functioning of Mediterranean marine ecosystems. Finally, these findings could also be used to inform the current policy for fisheries sustainability and environmental protection (e.g UN's sustainable development goal 14 and EU Biodiversity strategy for 2030) about the necessity of new Marine Protected Areas to preserve the entirety of Mediterranean fish community functioning.