

SEAmPhonia - An innovative enlightening approach to enable the modelling of marine ecosystems by the acoustic 3D field

Why

The marine environment constitutes a *complex* system in terms of physical, chemical and biological variables. The anthropogenic pressures impact on the status of the environment and a diversity of different agents are involved in a coupled human and natural system, with a multitude of the interconnected aspects that makes the understanding of its functioning a challenge. Moreover, emergent properties of complex systems cannot be predicted from the integration of independent variables and a general mathematical formulation of complexity is still lacking. Comprehensive models for the marine environment do not exist.

Since the marine environment is embracing a variety of social and economic sectors, policy makers have also introduced an EU Directive for the assessment of the Good Environmental Status (GES) named Marine Strategy Framework Directive (MSFD), aiming at evaluating the health/sustainability of the natural ecosystem when impacted by anthropogenic pressures. In this context, the understanding and prediction of the status of the marine system are still limited by the linear approach to the problem. These limitations depend on the difficulty to include and assimilate inhomogeneous variables in the models, plus the linear approach used to integrate different processes measured by descriptors assumed as independent (e.g. biodiversity, eutrophication, contaminants, hydrographical conditions, etc.).

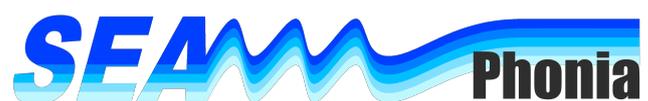
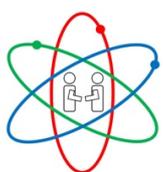
Aiming to simplify the approach to the evaluation of the status of the marine environment, and not to linearize it, we focused on the study acoustic waves as the most efficient mechanism for long-range energy transport and communication in marine environments, taking advantage of the experiences matured in different scientific and technological communities and highlighting three interconnected components: data acquisition, data analysis and data interpretation.

What

We propose a new approach to describe and to understand marine ecosystems through the analysis of the acoustic 3D field, aiming to understand how the marine soundscape influences ecosystem functioning at both local and global scales. This method explores the interaction of marine fauna behavior with soundscape changes. By conducting experiments and analyzing underwater noise power spectra, we aim to retrieve *salient* information on the status of the ecosystems and to identify emerging properties of the soundscape that can represent an indicator of the ecosystem status. Our goal is to develop an innovative tool to investigate the functioning of marine ecosystems.

The study will focus on analyzing the cross-spectrum and spatial-frequency diagrams to extract relevant ecosystem data. Moreover, it includes designing and validating new instrumentation for directional detection of underwater sound, leveraging technology from Cnr-Ino. The project opens two main research lines: (1) theoretical analysis of regime shifts in the acoustic 3D field to identify ocean environmental status and interactions, using acoustic information as state indicators; and (2) delivering a cost-efficient acoustic-based marine observation strategy.

By investigating the characteristics of the acoustic signals acquired in a 3D sensor array, the study will enhance understanding of marine processes, linking local to global phenomena. This project aims at advancing scientific understanding of marine *complexity*, offering a more efficient strategies for fulfilling MSFD directives and *holistic* sea system models.



SEAmPhonia - Un approccio illuminante e innovativo per consentire la modellazione degli ecosistemi marini attraverso il campo acustico 3D

Perché

L'ambiente marino costituisce un sistema *complesso* in termini di variabili fisiche, chimiche e biologiche. Le pressioni antropiche hanno un impatto sullo stato dell'ambiente e una diversità di agenti diversi sono coinvolti in un sistema umano e naturale accoppiato, con una moltitudine di aspetti interconnessi che rendono la comprensione del suo funzionamento una sfida. Inoltre, le proprietà emergenti dei sistemi complessi non possono essere previste dall'integrazione di variabili indipendenti e manca ancora una formulazione matematica della complessità. Non esistono modelli completi per l'ambiente marino.

Poiché l'ambiente marino abbraccia una varietà di settori sociali ed economici, i decisori politici hanno introdotto una direttiva UE per la valutazione del buono stato ambientale (GES), denominata Marine Strategy Framework Directive (MSFD), con l'obiettivo di valutare la salute/sostenibilità dell'ecosistema naturale quando impattato da pressioni antropiche. In questo contesto, la comprensione e la previsione dello stato del sistema marino sono ancora limitate dall'approccio lineare al problema. Queste limitazioni dipendono dalla difficoltà di includere e assimilare variabili disomogenee nei modelli, oltre che dall'approccio lineare utilizzato per integrare diversi processi misurati da descrittori assunti come indipendenti (ad esempio, biodiversità, eutrofizzazione, contaminanti, condizioni idrografiche, ecc.)

Con l'obiettivo di semplificare l'approccio alla valutazione dello stato dell'ambiente marino, e non di linearizzarlo, ci siamo concentrati sullo studio delle onde acustiche come meccanismo più efficiente per il trasporto e la comunicazione di energia a lungo raggio negli ambienti marini, sfruttando le esperienze maturate in diverse comunità scientifiche e tecnologiche e mettendo in evidenza tre componenti interconnesse: l'acquisizione dei dati, l'analisi dei dati e l'interpretazione dei dati.

Di cosa si tratta

Proponiamo un nuovo approccio per descrivere e comprendere gli ecosistemi marini attraverso l'analisi del campo acustico 3D, con l'obiettivo di capire come il paesaggio sonoro marino influenzi il funzionamento dell'ecosistema su scala locale e globale. Questo metodo esplora l'interazione del comportamento della fauna marina con i cambiamenti del paesaggio sonoro. Conducendo esperimenti e analizzando gli spettri di rumore sottomarino, ci proponiamo di recuperare informazioni *salienti* sullo stato degli ecosistemi e di identificare proprietà emergenti del paesaggio sonoro che possano rappresentare un indicatore dello stato dell'ecosistema. Il nostro obiettivo è sviluppare uno strumento innovativo per indagare il funzionamento degli ecosistemi marini.

Lo studio si concentrerà sull'analisi spettrale delle misure acustiche per estrarre informazioni rilevanti sull'ecosistema. Inoltre, prevede la progettazione e la validazione di nuova strumentazione per il rilevamento direzionale del rumore sottomarino, sviluppando una tecnologia Cnr-Ino. Il progetto apre due linee di ricerca principali: (1) l'analisi teorica dei cambiamenti di regime nel campo acustico 3D per identificare lo stato ambientale degli oceani e le interazioni, utilizzando le informazioni acustiche come indicatori di stato; e (2) la realizzazione di una strategia di osservazione efficiente basata sull'acustica.

Analizzando le caratteristiche dei segnali acquisiti in una matrice di sensori 3D, lo studio migliorerà la comprensione dei processi marini, collegando i fenomeni locali a quelli globali. Questo progetto intende contribuire a far progredire la comprensione scientifica della *complessità* marina, offrendo strategie più efficienti per soddisfare le direttive MSFD e modelli *olistici* del sistema marino.

