Università
Ca'Foscari
Venezia

Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Ambientali

Tesi di Laurea

Variazione temporale degli areali di distribuzione spaziale di specie marine

Relatore:

Prof. Fabio Pranovi

Correlatore:

Dott. Marco Anelli Monti

Laureanda:

Giorgia Cecino

Matricola 822903

Anno Accademico 2013-2014

Sommario

1. Introduzione 5
1.1 La distribuzione delle specie marine ed il loro legame con il clima e la temperatura 5
1.2 Area di studio 7
1.2.1 L'oceano Atlantico 7
1.2.2 Il mare del Nord 8
1.2.3 Il Mar Mediterraneo 9
1.3 Le correnti nord atlantiche 10
1.4 Cambiamenti climatici ed ambiente oceanico 12
1.5 Scopo della tesi 16
2. Materiali e metodi 17
2.1 Ricerca e selezione delle specie 17
2.2 Costruzione del database di segnalazioni 18
2.3 Analisi spaziale con QGIS 2.0.1 23
2.4 Temperatura 25
2.5 Analisi delle relazioni tra distribuzione e parametri climatici 30
3. Risultati 31
3.1 Descrizione del database delle segnalazioni 31
3.2 Caratterizzazione latitudinale dei records 35
3.3 Variazione degli areali distributivi 38
3.4 Baricentro di distribuzione 47
3.5 Temperatura superficiale 53
3.6 Relazione tra areali di distribuzione e parametri climatici 58
4. Discussione 63
5. Conclusioni 69
6. Bibliografia 70

1. Introduzione

1.1 La distribuzione delle specie marine ed il loro legame con il clima e la temperatura

Le condizioni e i diversi parametri chimico-fisici caratteristici dell'acqua influenzano fortemente la distribuzione spaziale delle specie marine che vi vivono; tra questi parametri ci sono temperatura, salinità, pressione e pH ed ognuno di essi ha delle influenze sulla sopravvivenza degli organismi.
In particolare, un ruolo fondamentale è svolto dalla temperatura, dal momento che gran parte degli organismi marini risulta essere eteroterma, ossia con una stretta dipendenza della temperatura corporea da quella esterna. Pertanto, essa ne influenza direttamente tutto il ciclo biologico: fisiologia, crescita, reclutamento, riproduzione, ecc. (Sabatès et al., 2006).
In un contesto come quello degli ultimi decenni, dove si è evideziato un trend di crescita nelle temperature ed un conseguente surriscaldamento climatico (Cheung et al., 2009), diviene estremamente importante valutare quali potranno essere le conseguenze sulla struttura ed il funzionamento degli ecosistemi marini (Occhipinti, 2007).
A subirne le conseguenze sono, infatti, tutti i principali comparti. Recenti studi hanno evidenziato come molte specie planctoniche (appartenenti sia al phyto che allo zooplankton) si siano 'spostate' alla ricerca di temperature più adatte, con notevoli ripercussioni a livello di intera rete trofica, potendo influenzare le migrazioni di altre specie alla ricerca di risorse per la sopravvivenza (Lenoir et al., 2011).
Molti studi hanno evidenziato che le specie marine possono rispondere in modi diversi ai cambiamenti di temperatura. Le risposte biologiche possono, infatti, variare a seconda degli organismi. Alcune specie risultano maggiormente adattabili alle variazioni di condizioni climatiche, di fatti ne risentono in maniera limitata e non subiscono particolari effetti né in termini di sopravvivenza né di areali di distribuzione (Albouy et al., 2012); altre, invece, si spostano alla ricerca di habitat più adatti rispetto a quelli in cui si trovano. Essendo lo spazio oceanico aperto e spesso privo di barriere geografiche, possono essere dunque indotti fenomeni di migrazione, sia a livello latitudinale, che di profondità (Cheung et al., 2013).
L'aumento di temperatura, può, in ambiente acquatico, avere anche effetto su altri parametri ambientali. Un esempio è la diminuzione nel livello di concentrazione dell'ossigeno disciolto nelle acque che può, essendo letale per molte specie, favorire la ricerca di habitat più adatti alla sopravvivenza (Dambach e Rödder, 2011).

Per le specie meno tolleranti, un destino possibile è quello dell'estinzione; ad oggi, nelle fasce tropicali più calde si è evidenziata una sostanziale crescita nel numero di specie tolleranti, a sfavore di quelle stenoecie, che stanno invece scomparendo (Albouy et al., 2012).
Dove si registrano valori di temperatura molto elevati possono anche verificarsi fenomeni di mortalità di massa. La struttura degli ecosistemi ne risulta così modificata, con l'impoverimento della ricchezza specifica a favore di specie termofile. Spesso in relazione a questo può verificarsi

un fenomeno di invasione da parte di specie aliene. Recenti studi (Petitgas et al., 2013, Perry et al., 2005, Sabates et al., 2006) evidenziano che le specie ad affinità fredda si trovano, a causa del riscaldamento delle acque, a dover occupare habitat sempre più ridotti, mentre l'habitat temperato si amplia sempre più verso nord (Albouy et al., 2012); un esempio può essere la popolazione di aringa atlantica nel Golfo di Biscaglia, dove l'aumento di temperatura dell'acqua di 1°-2°C, ha sensibilmente ridotto l'areale disponibile per la specie (Petitgas et al., 2013). Un altro esempio è quello di *Sardinella aurita,* una specie pelagica termofila di piccole dimensioni, che negli ultimi decenni ha risentito dell'aumento di temperatura, estendendo verso nord il suo areale in tutto il Mediterraneo (Sabates et al., 2006). Un ulteriore esempio si trova in Perry et al. (2005), dove si analizza come le specie marine del Mare del Nord, sia sfruttate che non sfruttate dalla pesca, abbiano risposto ai recenti cambiamenti climatici con spostamenti verso latitudini o profondità maggiori alla ricerca di acque più fredde.

Per quanto riguarda il mar Mediterraneo, si parla di fenomeni di meridionalizzazione e tropicalizzazione, che incidono sull'ecosistema, favorendo l'invasione da parte di specie aliene che minacciano la biodiversità (Zenetos et al., 2010). Alcuni studi, ad esempio, hanno evidenziato un effetto negativo dovuto alla tropicalizzazione del Mediterraneo, con lo spostamento delle specie propriamente mediterranee verso nord in aree sempre più ristrette e la conseguente invasione di specie aliene Lessepsiane che arrivano da sud attraverso il canale di Suez (CIESM, 2008).
L'evidenza di questo fenomeno è dovuta principalmente al fatto che il Mediterraneo, essendo un bacino chiuso, risente maggiormente e più velocemente dei cambiamenti, ma ciò non esclude che anche gli oceani possano andare incontro, seppur in misura minore, a questi cambiamenti o che siano destinati a subirli in futuro; infatti sussistono già oggi alcuni elementi che possono favorire fenomeni di cambiamento nella composizione in specie di ecosistemi marini (CIESM, 2008).
Dal punto di vista della gestione degli ambienti marini, è fondamentale dunque limitare i rischi e preservare gli ecosistemi, la loro integrità ed in particolare è necessario proteggere, per la loro importanza ecologica, gli hotspots di biodiversità, ambienti che per primi risultano essere i più vulnerabili ai cambiamenti (Tzanatos at al., 2014).
Da quanto detto in precedenza si evince che le possibili modificazioni degli areali di distribuzione hanno o potranno avere diversi risvolti che possono interessare sia gli aspetti legati direttamente alla gestione e la protezione degli ecosistemi, sia aspetti economici legati alla pesca. Per questo motivo è importante indagare le dinamiche di tali variazioni in un contesto come quello dei cambiamenti climatici che sta provocando numerosi effetti in campo ecologico.

1.2 Area di studio

L'area di studio del presente lavoro di tesi è alquanto estesa; infatti ci si è concentrati su specie di pesci che sono distribuite lungo le aree costiere del Mediterraneo, del Mare del Nord e di tutto il nord Atlantico, sia lungo la costa europea che americana.

1.2.1 L'oceano Atlantico

L'oceano Atlantico è il secondo oceano per dimensioni dopo l'oceano Pacifico, ricopre il 20% della superficie terrestre e la sua area è di all'incirca 82440000 km^2; ha una profondità media di 3300 m e massima di 8380 m in corrispondenza della Fossa di Porto Rico.
Definire dei confini per acque aperte è molto complesso soprattutto nell'emisfero settentrionale; comunemente il limite nord dell'Atlantico viene definito con il circolo polare Artico (66°30'N), a nord del quale si trova il mare Artico, spesso considerato un mare adiacente e dipendente dall'Oceano Atlantico; mentre a sud troviamo confinanti le acque dell'Atlantico con quelle dell'Oceano Meridionale. L'Atlantico comunica con l'oceano Indiano tramite Capo Agulhas e con l'oceano Pacifico tramite il Canale di Panama ed il Canale di Drake (Fairbridge, 1966).
La principale caratteristica morfologica del fondale dell'oceano Atlantico è la presenza della dorsale medio atlantica (fig. 1.1), una catena montuosa sottomarina che si estende da nord a sud per tutto l'oceano, lungo la quale vi scorre una grande fossa. La dorsale suddivide l'oceano in due sezioni (Shepard, 1973).
Il fondale altrove è abbastanza piatto, nonostante la presenza di fosse, montagne ed altre formazioni; la piattaforma continentale occupa l'11% del fondale oceanico (Shepard, 1973).
I sedimenti hanno diverse origini: i depositi terrigeni composti da particelle derivate da erosione e trasporto occupano la scarpata e la piattaforma continentale, mentre la maggior parte del fondale è composto da depositi pelagici formati da resti di organismi marini scesi in profondità dopo la morte (Shepard, 1973).

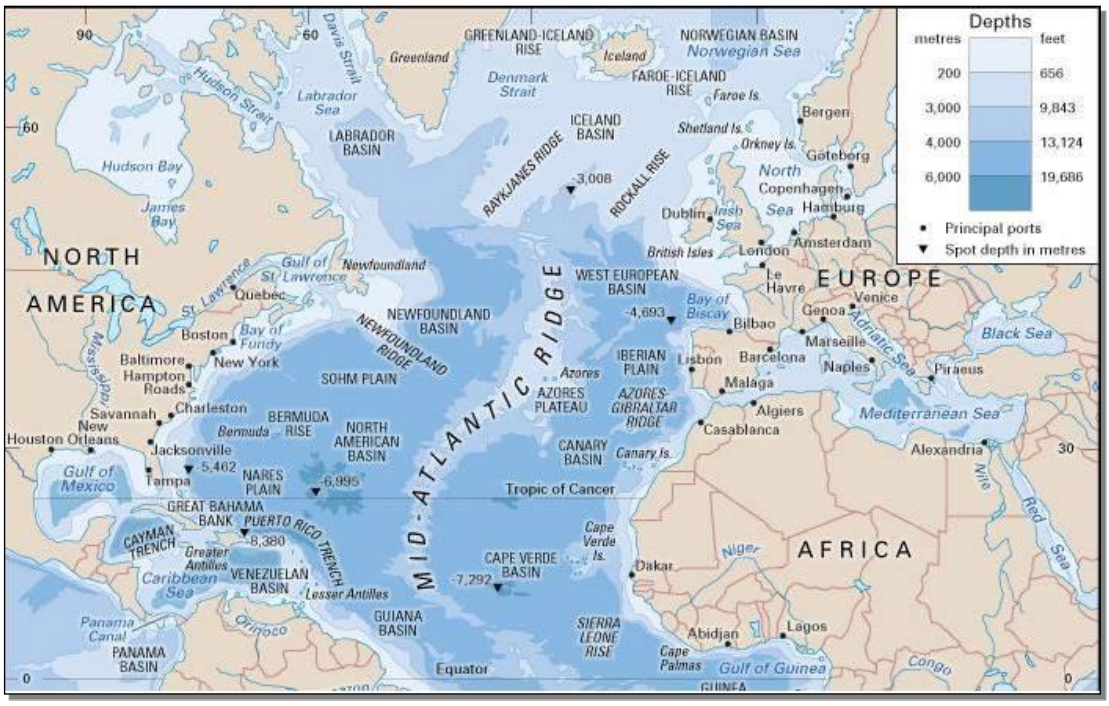


Figura 1.1: Caratteristiche del fondale dell'Oceano Atlantico (fonte:Encyclopedia Britannica www.britannica.com).

La salinità dell'acqua in superficie varia tra 33 e 37 ppt, le zone in cui i valori sono inferiori sono quelle alle latitudini maggiori e quelle vicino le foci dei fiumi, mentre sono tra i più elevati attorno al 25°N di latitudine (Fairbridge, 1966).
I valori di salinità e temperatura influenzano la densità delle acque che, assieme ai venti, danno origine alle correnti marine.

1.2.2 Il mare del Nord

Il mare del Nord è un mare epicontinentale, situato sulla piattaforma continentale europea (fig. 1.2). Esso non è molto profondo, raggiungendo al massimo i 700 m di profondità. Si estende ad est del Regno Unito ed è connesso all'oceano Atlantico mediante il canale della Manica a sud ed il Mar di Norvegia a Nord. Riceve acque atlantiche da nord e una corrente più fredda dal Mar Baltico (Hoppema e Baar, 1992).

Figura 1.2: Il Mare del Nord (fonte:Encyclopedia Britannica www.britannica.com).

1.2.3 Il Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è un mare intercontinentale (fig. 1.3), esso è situato fra l'Europa, l'Asia e l'Africa, presenta una profondità media di circa 1500 m ed è connesso all'oceano Atlantico mediante lo stretto di Gibilterra, mentre è collegato al Mar Nero attraverso i Dardanelli; infine, mediante il Canale di Suez è in comunicazione con il Mar Rosso.

La salinità media delle acque in superficie è maggiore di quella oceanica, a causa della forte evaporazione in questo bacino, con valori medi di 38 ppt (Pinkele e Pollis, 1983).

Inoltre esso dimostra un'ampia variabilità nelle temperature a seconda delle diverse regioni del bacino (Pinkele e Pollis, 1983).

Figura 1.3: Il Mar Mediterraneo (fonte:Encyclopedia Britannica www.britannica.com).

1.3 Le correnti nord atlantiche

Le correnti marine sono in grado di trasportare masse d'acqua a distanze molto elevate rispetto alla zona in cui si formano, per questo motivo il calore accumulato nella zona dell'equatore non rimane confinato ma si 'espande' attraverso il movimento di masse d'acqua calda verso latitudini più elevate e allo stesso modo possono venire trasportate masse d'acqua fredda a latitudini inferiori.

È rilevante comprendere come le correnti influenzino la vita marina poichè sono in grado di trasportare acque, dotate di proprie caratteristiche di temperatura, salinità e nutrienti che e possono andare ad alterare sensibilmente le caratteristiche climatiche di alcune regioni.

Nell'oceano Atlantico le correnti superficiali del bacino nord e sud (fig. 1.4) sono ben distinte e tendono a non interagire. La velocità delle correnti marine varia da pochi km l'ora ad alcuni km al giorno e si articolano in moti circolari chiusi detti vortici (*gyres*).

A livello delle acque superficiali, lungo la costa degli Stati Uniti scorre la Corrente del Golfo, legata principalmente all'effetto dei venti e responsabile del trasferimento di masse d'acqua calda dal Golfo del Messico in direzione nord. Questa corrente ha inizio dallo Stretto della Florida, prosegue verso nord seguendo la costa americana, dove parte delle acque giunge in prossimità del North Carolina e prosegue verso est per poi essere deflessa a sud e tornare al Golfo del Messico, mentre un'altra parte d'acqua prosegue a nordest come Corrente Nord-Atlantica (Reid, 1994).

La Corrente Nord-Atlantica arriva fino alle coste europee, in particolare francesi e britanniche, dove il trasporto di acqua calda è in grado di mitigare il clima, favorendo inverni miti e riducendo il

numero di gelate. Le acque tendono poi a seguire vie diverse: una parte si dirige a sud dove scorre lungo la costa iberica e, successivamente, ad ovest attraverso la Corrente Nord Equatoriale, per tornare al Golfo del Messico 'scorrendo' lungo l'equatore; l'altro ramo della Corrente Nord-Atlantica invece, è diretta a nord dove entra a far parte del giro subpolare (Reid, 1994).
Il giro subpolare include la porzione settentrionale della corrente Nord-Atlantica che scorre inizialmente lungo le coste norvegesi, poi parte di queste acque devia ad ovest, scende a sud verso il mare di Imminger e si unisce alla Corrente Est della Groenlandia. L'altra parte passa attraverso lo Stretto di Danimarca a formare la Corrente Ovest della Groenlandia, che diventerà in seguito la Corrente del Labrador avvicinandosi al continente americano; quest'ultima scorre verso sud lungo il Newfoundland fino ad incontrare la Corrente del Golfo (Reid, 1994).

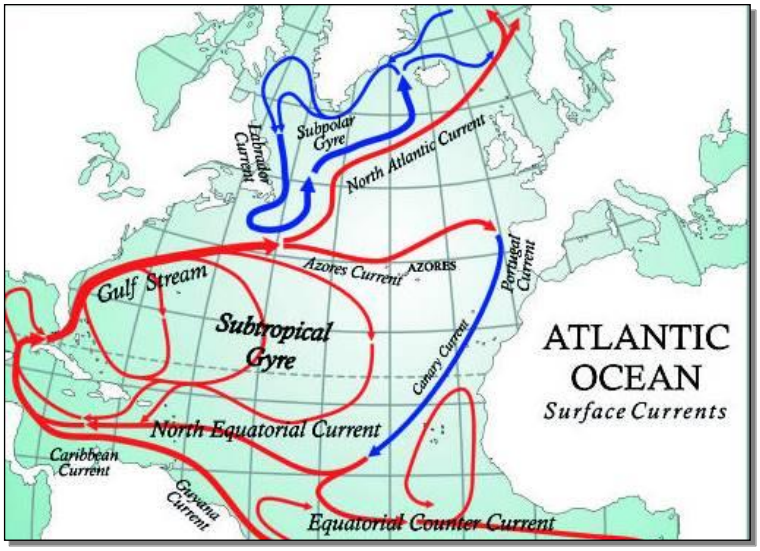


Figura 1.4: Correnti nord atlantiche superficiali (fonte: www.bigmarinefish.com).

Osservando nel dettaglio l'area del Nord Europa (fig. 1.5) la corrente Nord-Atlantica, raggiunta la zona settentrionale del Mare del Nord, si biforca; nello specifico il ramo più consistente raggiunge la Norvegia mentre una parte delle acque scende verso sud attraversando il Mare del Nord e la costa britannica, per poi risalire lungo la costa danese chiudendo il giro di questo ramo della corrente.

Figura 1.5: Particolare della corrente che attraversa il Mare del Nord(fonte: NatureGeoscience www.nature.com).

Fra l'Atlantico ed il Mediterraneo risulta esserci un intenso scambio di masse d'acqua attraverso Gibilterra (fig. 1.6). Il flusso è provocato dalla differenza di densità delle acque appartenenti ai due bacini: vi è di fatti un continuo scorrimento di acque entranti dall'oceano che, dopo aver superato lo Stretto di Gibilterra, si espandono verso est, lungo la costa africana, creando la principale corrente del Mediterraneo (Pinkele e Pollis, 1983).

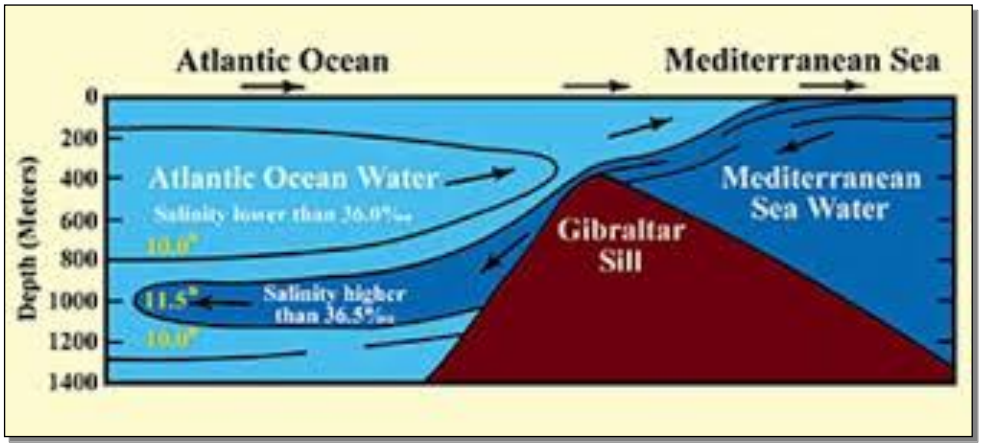


Figura 1.6: Schema dei movimenti e degli scambi di masse d'acqua tra Oceano Atlantico e Mar Mediterraneo in corrispondenza dello Stretto di Gibilterra.

1.4 Cambiamenti climatici ed ambiente oceanico

La temperatura delle acque dell'oceano Atlantico varia grazie all'influenza delle correnti, della latitudine e delle stagioni.

Le correnti equatoriali di superficie in generale portano acque calde verso nord, mantenendo elevata la temperatura, mentre le correnti che arrivano da nord, come ad esempio quella del Labrador, trasportano masse d'acqua fredda verso sud, portando ad una diminuzione della temperatura. La corrente del Golfo trasporta invece, attraverso l'oceano, acque calde che arrivano fino alla costa europea settentrionale, mitigandone il clima (Hebert, 2013).
In profondità, la temperature sono sostanzialmente meno mutevoli. In media variano tra i 2.5°C e i 5°C attorno ai 3000 m.
Dal punto di vista cronologico, invece, la temperatura superficiale mostra dei cicli di riscaldamento e raffreddamento, ma a partire dalla fine degli anni '60 si assiste ad un riscaldamento delle acque e ad una alterazione di questi cicli (Antonov, 1998).
Negli ultimi decenni, anche le acque oceaniche stanno subendo gli effetti del cambiamento climatico (fig. 1.7); gli oceani tendono infatti ad accumulare il calore trattenuto dall'atmosfera, che negli ultimi decenni sta aumentando; ciò si traduce in un innalzamento della temperatura delle acque superficiali.
Questi cambiamenti si ripercuotono sulle correnti, sullo scioglimento dei ghiacci polari e sul livello del mare alterando i pattern climatici mondiali, con effetti più rilevanti sugli ambienti costieri.
Gli oceani aiutano a limitare le cause del surriscaldamento atmosferico grazie alla loro funzione di 'volano termico' ed all'assorbimento di anidride carbonica, ma ciò ne altera le caratteristiche chimiche ed il contenuto di carbonio disciolto, provocandone l'acidificazione (Antonov, 1998).
Valori di pH acido causano difficoltà ad organismi come coralli e molluschi, poichè necessitano di particolari condizioni chimiche per costruire scheletri e conchiglie. Questi effetti chimico-fisici quindi possono alterare di conseguenza l'intera biodiversità e la produttività degli ecosistemi oceanici (Antonov, 1998).
In più i cambiamenti subiti dagli oceani avvengono in tempi maggiori rispetto a quelli dell'atmosfera e per questo motivo, anche se le emissioni venissero stabilizzate oggi, ci vorrebbero moltissimi anni affinchè i valori di carbonio disciolto e le temperature tornino alla situazione precedente agli anni '60.

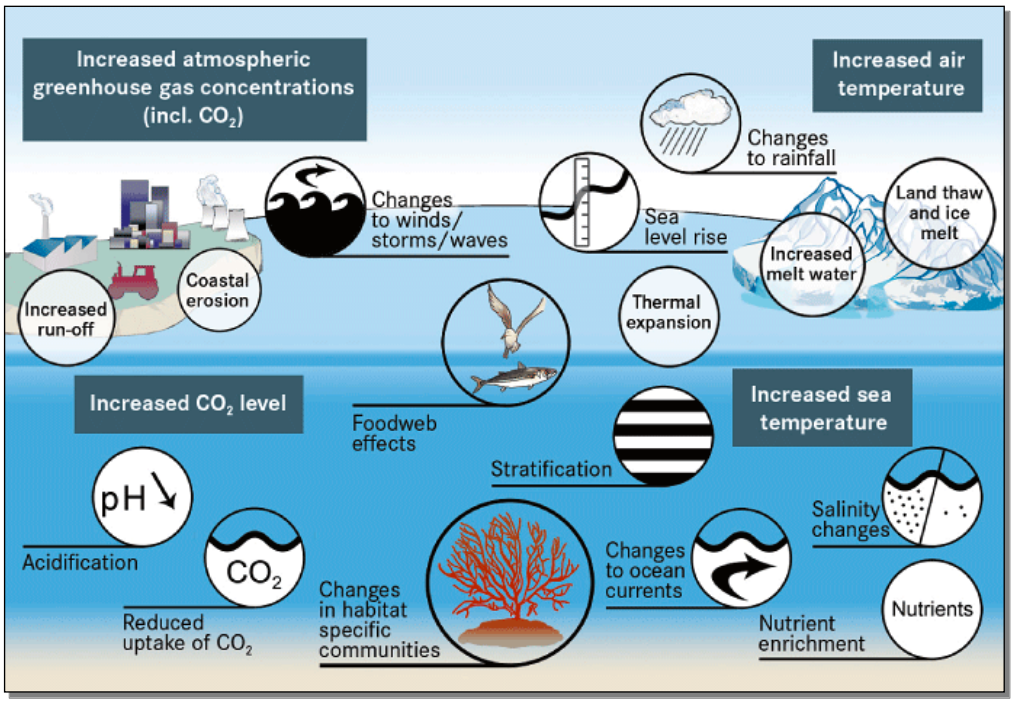


Figura 1.7: Schematizzazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulle acque oceaniche (fonte: OSPAR Commision http://qsr2010.ospar.org/en/ch03_01.html).

La temperatura superficiale, Sea Surface Temperature (SST), è aumentata, negli ultimi decenni, in tutte le acque oceaniche e ciò è evidente dalle misure delle anomalie di temperatura (fig.1.8), che esprimono di quanto le temperature si discostino da un valore medio di riferimento.
Nel nord Atlantico, in particolare, l'innalzamento è stato in media di circa 0.5°F, corrispondente a circa 0.3°C, rispetto ad una SST media calcolata sulla base dei dati disponibili a partire dagli ultimi decenni dell'Ottocento, periodo in cui si iniziarono a registrare le temperature, misurate durante le spedizioni via mare (Antonov, 1998).

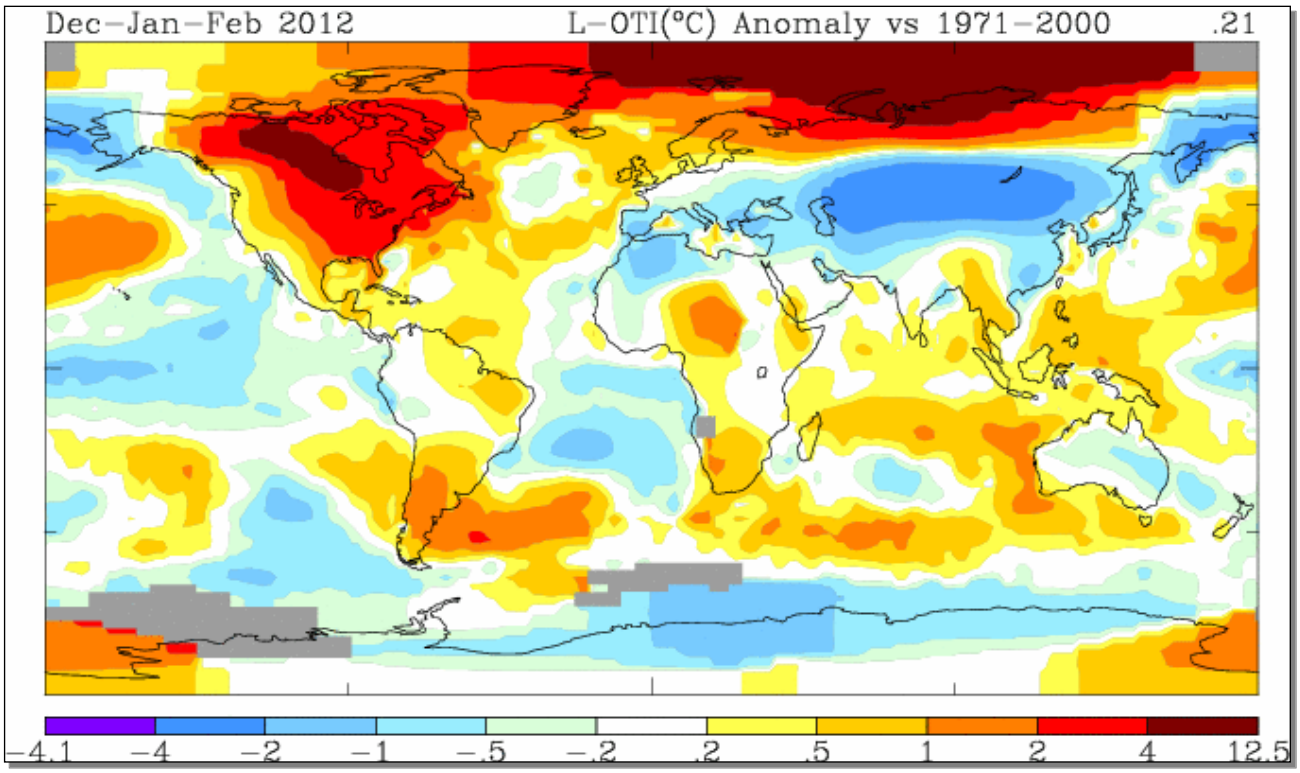


Figura 1.8: Anomalie di temperatura nel 2012 rispetto ad una media di riferimento calcolata tra il 1971-2000 (fonte NASA Goddard Institute for Space Studies, GISS).

Nonostante sia evidente come tutti gli oceani stiano subendo un cambiamento nella temperatura superficiale, una delle zone più fortemente colpite dal surriscaldamento è quella della costa ovest del nord Atlantico, in corrispondenza della costa statunitense e canadese, dove si registrano variazioni elevate della SST ed importanti fluttuazioni climatiche (Mesias et al., 2007).
Differenze regionali nel tasso di surriscaldamento delle acque possono essere spiegate in termini di forzanti remote e locali; tra questi fattori remoti si può ricordare la circolazione termoalina che permette il trasporto di acqua calda da zone tropicali a zone settentrionali (Santos et al., 2011).

1.5 Scopo della tesi

Il lavoro di tesi, mediante la creazione di un database composto da una serie di specie marine, in particolare specie ittiche, ha lo scopo di analizzarne gli areali di distribuzione e la loro variazione nel tempo, identificando eventuali direzioni di spostamento preferenziale.
La zona in cui si concentrerà la ricerca delle specie oggetto di studio comprende il nord Atlantico, il Mare del Nord ed il Mar Mediterraneo.
Inoltre, verrà svolta un'analisi, per lo stesso intervallo di tempo considerato per i dati relativi alle specie marine, dell'andamento della temperatura e di alcuni indici e parametri ad essa legati; mirata ad identificarne il trend, inquadrandolo nel contesto dei cambiamenti climatici.
Infine, verranno uniti i due aspetti per poter indagare e verificare l'esistenza di possibili relazioni tra variazioni di parametri ambientali quali la temperatura superficiale del nord Atlantico e la distribuzione e la modificazione degli areali delle specie marine.
Il tutto verrà discusso anche in termini di implicazioni gestionali.

2. Materiali e metodi

2.1 Ricerca e selezione delle specie

Lo scopo di questa prima fase è stato quello di realizzare un database contenente le segnalazioni delle specie marine oggetto di studio localizzate attraverso valori di latitudine e longitudine; è fondamentale che esse, oltre a possedere un riferimento spaziale, siano datate per poterne indagare l'evoluzione temporale.
Per individuare il pool potenziale di specie, ci si è inizialmente basati su articoli scientifici che descrivessero tematiche relative al cambiamento climatico, modelli previsionali di distribuzione ed invasione di specie aliene, nella aree nord atlantiche e mediterranee.
La variabilità climatica influenza sia l'abbondanza che la distribuzione delle specie marine, poiché la fisiologia specie-specifica è correlata alla tolleranza termica; le popolazioni mostrano infatti di avere una preferenza termica per un determinato range di temperature (Sabates et al., 2006). Ci sono diversi autori che hanno svolto studi evidenziando che pesci e specie bentoniche caratteristiche di acque calde stanno espandendo il loro areale e diventano più frequenti in zone settentrionali (Sabates et al., 2006).
In particolare, ci si è concentrati su quei lavori che riportassero liste di specie per le quali fosse evidenziabile una variazione di distribuzione. Una volta individuate le diverse liste, si è reso necessario un lavoro di uniformazione, catalogazione e controllo dei dati stessi.
A scopo di esempio, si riportano alcuni dei principali studi consultati. Nel caso di Cheung (2013), le specie, appartenenti a tutti gli oceani, sono state ordinate per range di temperatura, partendo dalle specie con range maggiormente ristretto, ipotizzando che esse siano più sensibili ai cambiamenti di temperatura.
Le specie presenti nella lista di Cheung (2013) sono 1066, tutte presenti nelle liste FAO e spesso oggetto di pesca. In questo lavoro per la definizione dei range di temperatura è stata utiizzata la MTC, *mean temperature of the catch*; questo valore caratterizza la composizione delle catture in termini di preferenza termica delle specie pescate. Per maggiori dettagli consultare Cheung (2013).
Nella seconda tabella (Albouy et al., 2013) la classificazione delle specie viene effettuata sulla base del rimpicciolimento dell'areale di distribuzione di ogni specie, previsto sulla base di un modello elaborato da Albouy stesso. Le specie modellate elencate in tabella sono 288 e sono specie prevalentemente od esclusivamente mediterranee.
Le tabelle degli studi consultati (Albouy, 2013 e Cheung, 2013) per la selezione delle specie contenevano all'incirca, in totale, 1300 specie ma inizialmente è stato necessario fare una scrematura per eliminare da esse le specie bentoniche, che non sono state considerate in questo lavoro, poichè si è ritenuto che le specie dotate di maggior mobilità siano quelle che possono intraprendere per prime degli spostamenti alla ricerca di aree dalle caratteristiche più adatte alla sopravvivenza.

2.2 Costruzione del database di segnalazioni

Per la costruzione del database vero e proprio, e cioè l'elenco temporale delle segnalazioni spaziali di ciascuna specie, si sono consultati gli archivi online GBIF (www.gbif.org), in fig. 2.1, e OBIS (www.iobis.org).
I dati registrati in questi siti sono liberamente accessibili; inserendo il nome di una specie, essa viene localizzata ed è possibile scaricare tutte le segnalazioni, accompagnate da varie informazioni, oltre a quelle di tipo spaziale e temporale, su habitat, classificazione e distribuzione.
La scelta di utilizzare l'uno o l'altro database è dipesa principalmente dalla disponibilità di dati, preferendo quello che forniva un numero maggiore di segnalazioni provviste di data per una stessa specie.

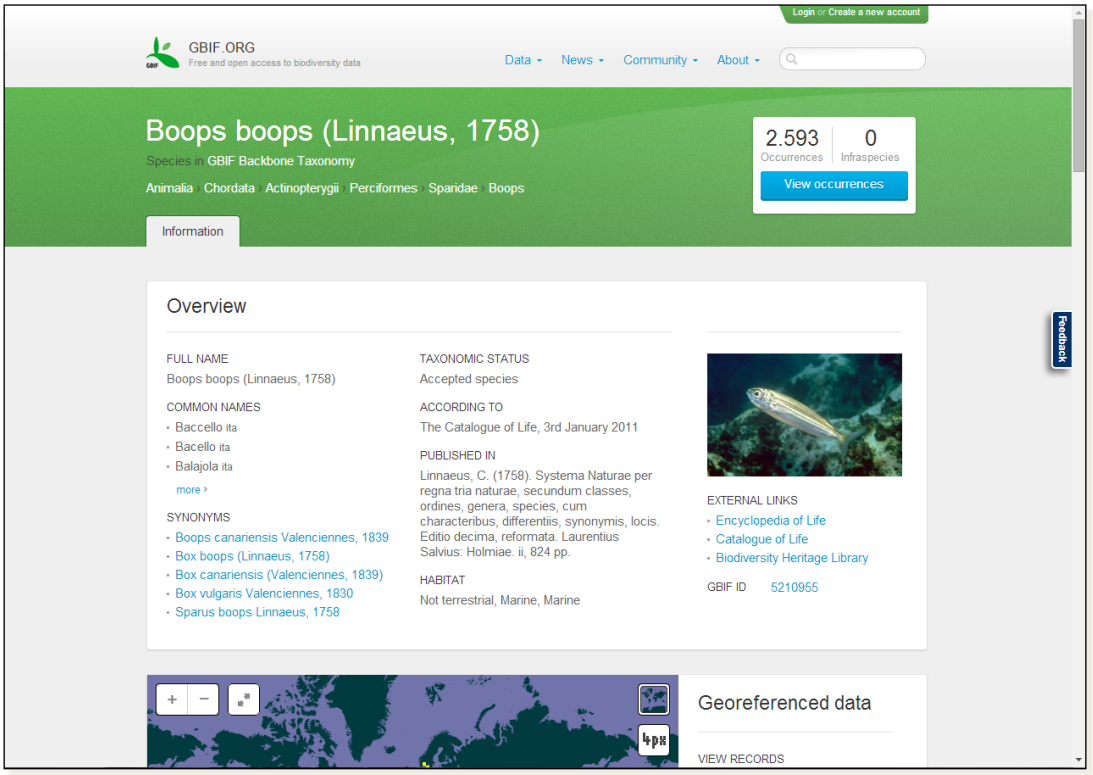


Figura 2.1: Esempio di ricerca tramite i database online disponibili sil sito www.gbif.org.

È stata fatta una prima selezione; scartando le specie ubiquitarie e le specie non appartenenti all'area di analisi (Mar Mediterraneo, Mare del Nord e Oceano Atlantico Settentrionale). La seconda selezione ha comportato l'eliminazione delle specie di cui non vi era un numero sufficiente di segnalazioni (si è fissato come limite che esse fossero almeno 50); inoltre sono state eliminate le specie che presentavano una gran quantità di segnalazioni prive di data.

Al fine di ottenere un database il più possibile uniforme dal punto di vista spazio-temporale si è intervenuti inserendo alcuni controlli aggiuntivi. In primo luogo si è verificato che le segnalazioni delle specie non presentassero delle lacune temporali. Attraverso tabelle con i dati di

segnalazione-anno si sono costruiti per ogni specie degli istogrammi come quello in figura 2.2 e 2.3 in cui viene evidenziata la continuità nel tempo.
A partire dal 1970 si può affermare di avere una certa completezza nei dati, come continuità nel tempo e come quantità di dati per specie.

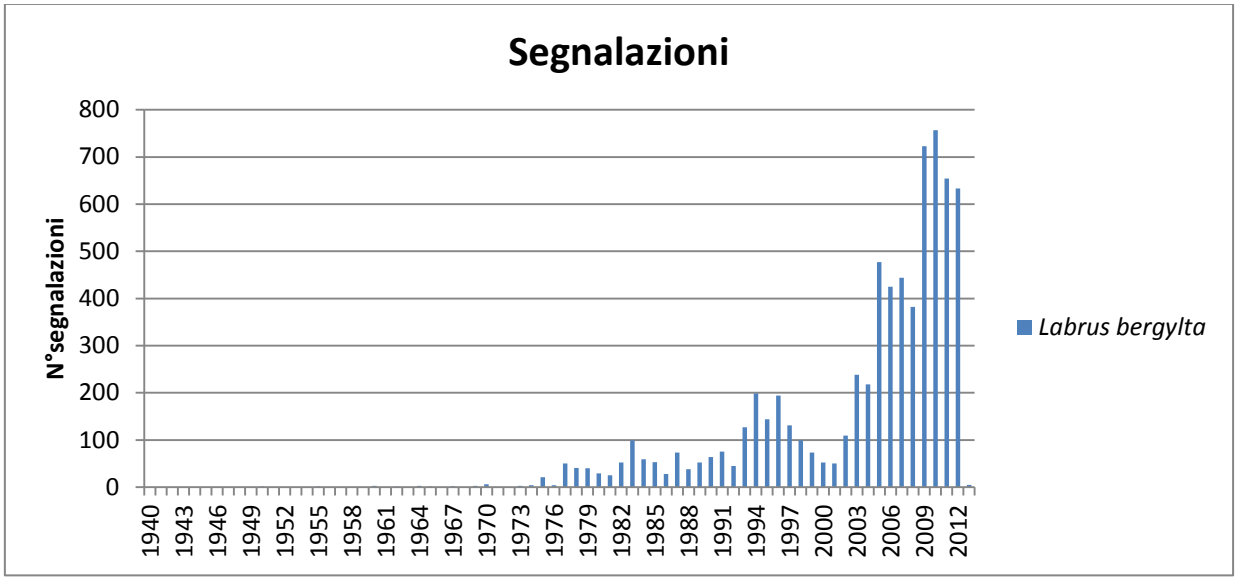


Figura 2.2: Esempio di istogramma, in cui è evidente che si ha una continuità delle segnalazioni a partire dal 1970.

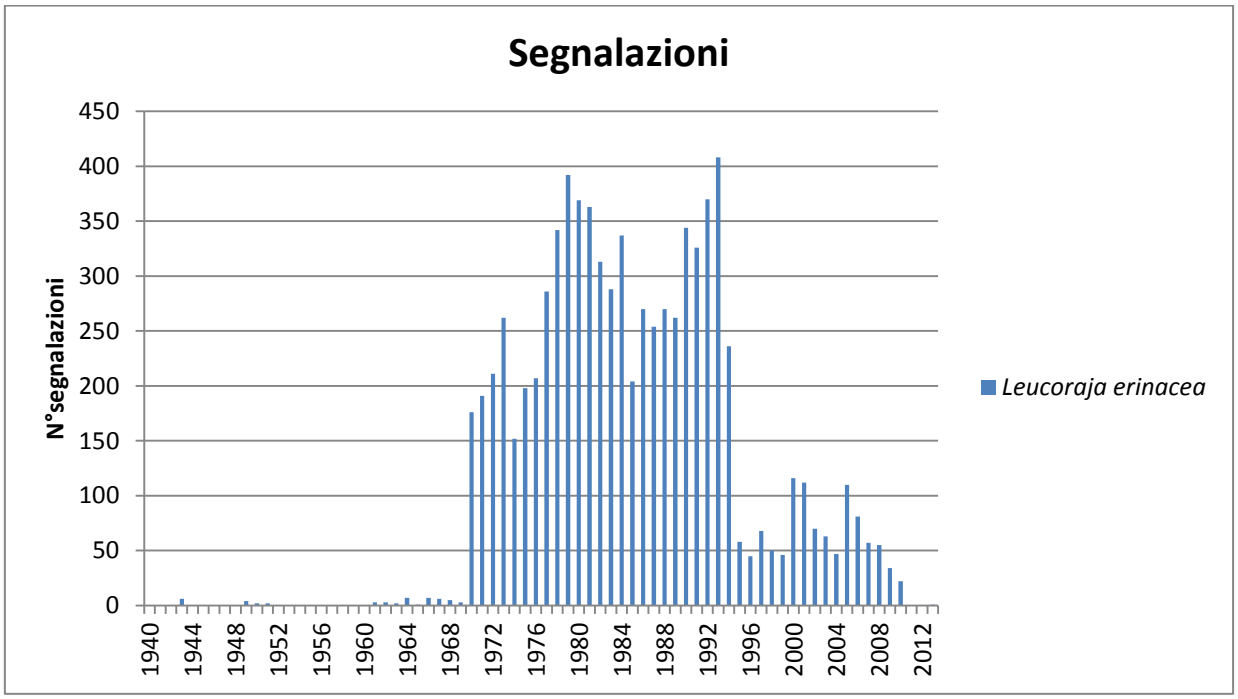
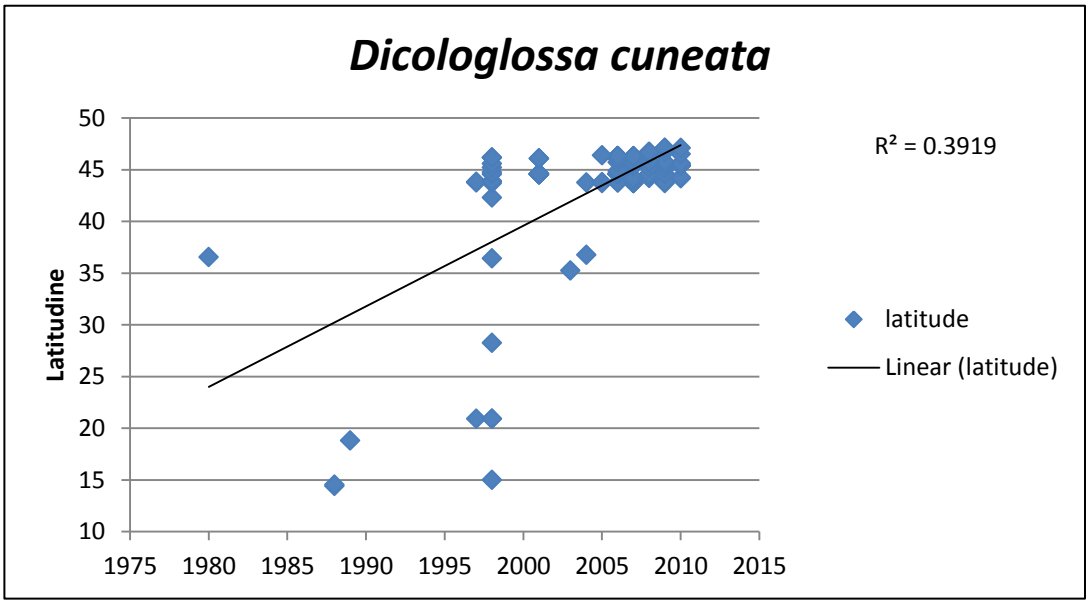


Figura 2.3: Esempio di istogramma, in cui è evidente che si ha una continuità delle segnalazioni a partire dal 1970.

Le specie su cui ci si è concentrati sono quelle ad affinità climatica temperata e subtropicale, che risultano essere quelle per cui ci si attende un maggiore effetto da parte dei cambiamenti climatici e quindi una modificazione del proprio areale di distribuzione.
Trasferendo i dati in Excel è stata fatta un'analisi preliminare, consistente nella realizzazione di una serie di grafici che mettessero in relazione l'anno della segnalazione di una specie e la relativa latitudine, come quelli in figura 2.4 e 2.5, e si è evidenziato come per queste specie vi sia la presenza di un trend di aumento nel valore di quest'ultima, interpretabile come uno spostamento verso zone più fredde, oppure come un restringimento dell'areale con uno schiacciamento verso nord.



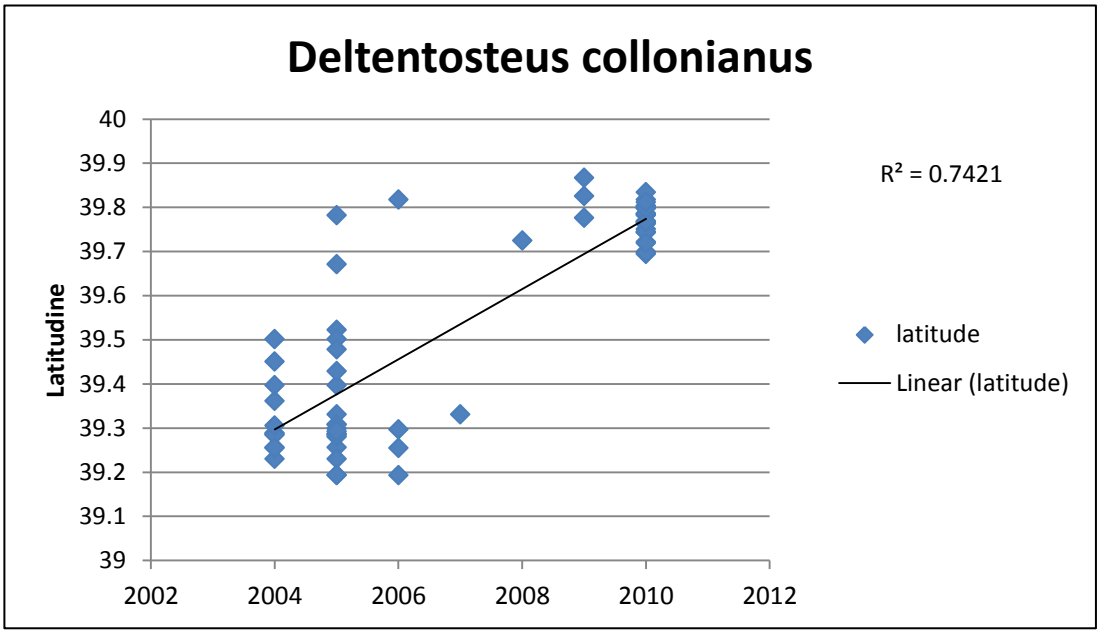


Figure 2.4 e 2.5: Esempi di grafici relazione latitudine-anno.

Un'altra considerazione sul numero di specie è relativo a quante di esse appartengano le segnalazioni, per ogni anno considerato, in tal modo si può verificare che il database sia composto all'incirca dalla stessa quantità di specie nel tempo (fig. 2.6) e quindi che le analisi successive non siano affette da errori od imprecisioni dovute alla non omogeneità dei dati di partenza.

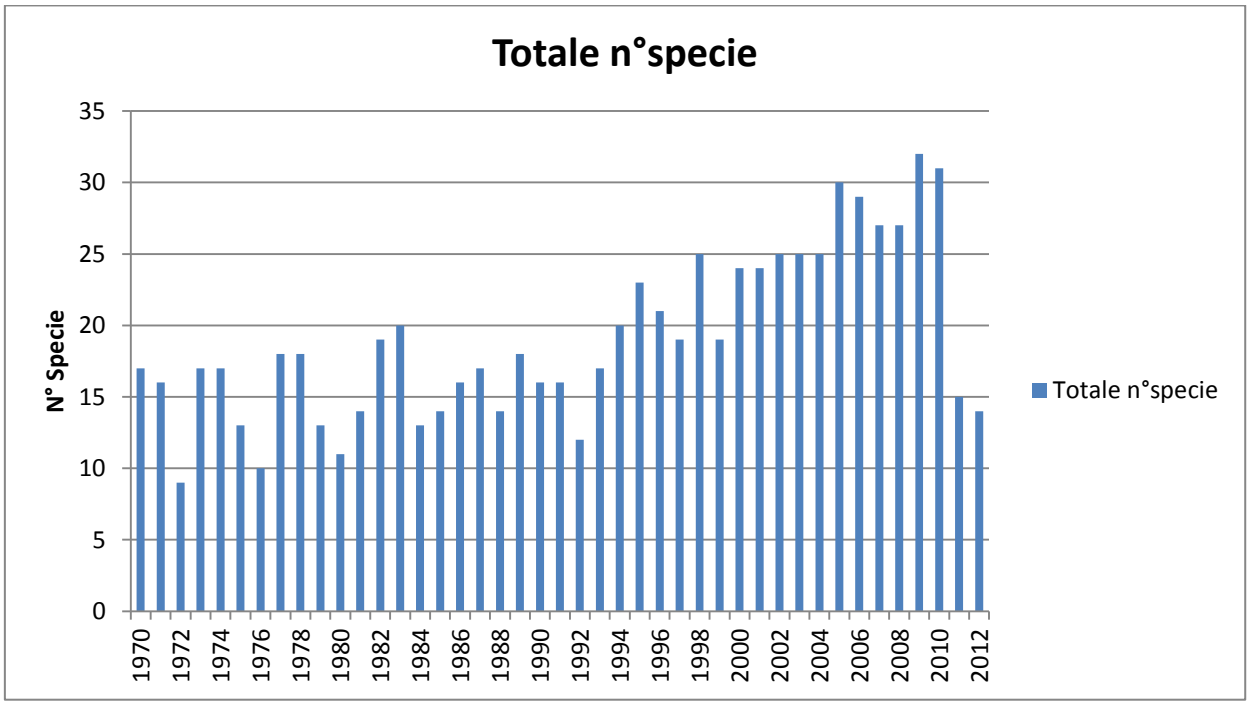


Figura 2.6: Istogramma del numero di specie che contribuiscono alle segnalazioni per ogni anno.

Anche suddividendo le specie tra quelle ad affinità climatica subtropicale (fig. 2.7) e temperata (fig. 2.8), e facendo un controllo dell'omogeneità del loro numero si nota come venga conservato lo stesso andamento evidenziato in figura 2.5.

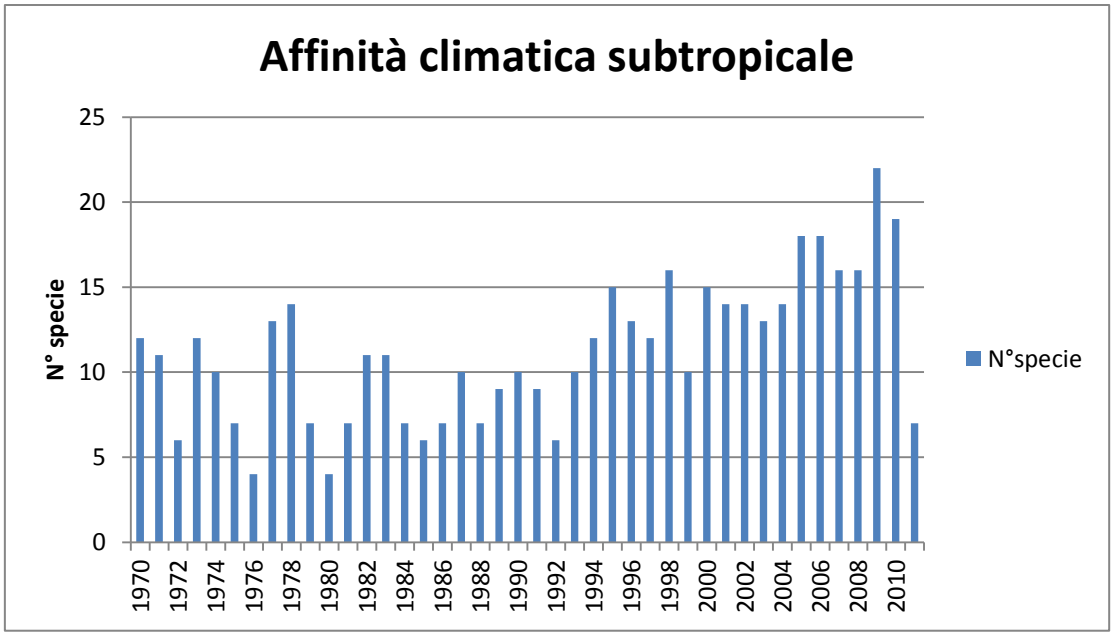


Figura 2.7: Istogramma del numero di specie ad affinità climatica subtropicale che contribuiscono alle segnalazioni per ogni anno.

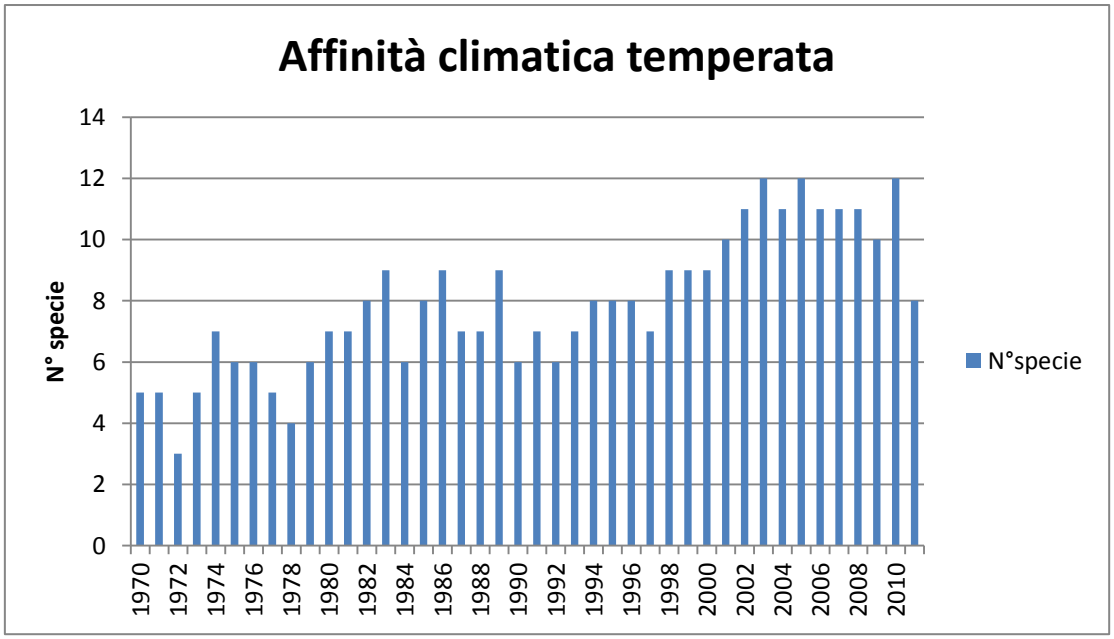


Figura 2.8: Istogramma del numero di specie ad affinità climatica temperata che contribuiscono alle segnalazioni per ogni anno.

Le specie che vanno a comporre il database, sia considerandole nel loro insieme che divise tra quelle ad affinità climatica subtropicale e temperata (figg. 2.6, 2.7, 2.8), nell'intervallo di tempo si trovano in numero leggermente inferiore tra il 1970 ed il 1980; tendono poi ad aumentare

raggiungendo dei picchi più elevati tra il 2000 ed il 2010: ciò è legato probabilmente al miglior aggiornamento dei database disponibili on line negli anni più recenti.

Si è presa la decisione di dividere su base geografica i dati relativi all'Oceano Atlantico in quanto esso è un bacino molto vasto, in cui si alternano diversi ecosistemi marini e, spesso, le comunità biotiche presenti sulle due coste, europea e americana, sono completamente differenti.
Inoltre si rende necessario considerare le due coste in maniera distinta poiché la maggior concentrazione di segnalazioni ed il loro baricentro è compreso in fasce latitudinali differenti.

2.3 Analisi spaziale con QGIS 2.0.1

Le segnalazioni del database creato sono state inserite nel software open source Quantum GIS (versione 2.0.1 Dufour); esse sono state inserite come dei punti, dotati di coordinate X Y di longitudine e latitudine, aggiungendo nella tabella degli attributi anche altre informazioni come il nome della specie e l'anno di segnalazione. Il sistema di riferimento scelto per le coordinate è il sistema WGS84.
Il materiale è stato inserito nel GIS sotto forma di file vettoriali e per prima cosa si sono suddivisi i dati, tra quelli relativi alla costa atlantica est e ovest, creando due diversi shapefile, al fine di svolgere le medesime analisi in maniera distinta nelle due aree.
I dati successivamente sono stati ulteriormente divisi per essere analizzati nel tempo ed avendo a disposizione tra gli attributi delle segnalazioni anche il dato temporale, è stata attuata una selezione in base all'anno, potendo così creare mappe che incorporassero sia la scala temporale oltre che quella spaziale.
Lo scopo dell'utilizzo di QGIS è quello di avere una migliore rappresentazione spaziale dell'evoluzione del fenomeno. Le segnalazioni infatti vengono visualizzate come punti sulla mappa ed in relazione all'anno in cui sono state registrate possono essere divise: in tal modo osservando le mappe relative ad anni diversi si possono facilmente confrontare le distribuzioni e gli areali.
Per semplificare la rappresentazione sulla mappa è stata sovrapposta una griglia di quadrati aventi latitudine e longitudine 3°x3°, e all'interno di ogni cella sono state localizzate e contate le segnalazioni; si è creata così una mappa con scala graduata di diversi colori sulla base dell'abbondanza di segnalazioni.
Per avere un'ulteriore indicazione riguardo la distribuzione spaziale dei punti in QGIS si è utilizzato il plugin 'Spatial Point Pattern Analysis'.
Gli output che QGIS è in grado di restituire utilizzando questo plugin sono tre (fig. 2.9) e consistono in un punto, detto 'Mean Center', che può essere paragonato al baricentro di distribuzione delle segnalazioni, e due poligoni: il primo è il 'Bounding Box' cioè il più piccolo rettangolo in grado di contenere i punti; il secondo è un'area circolare detta 'Standard Distance' che rappresenta come siano distribuiti i punti vicini al 'Mean Center'.

Il 'Mean Center' di distribuzione, calcolato per entrambe le coste atlantiche, rappresenta il valore medio di distribuzione dei punti del sistema nello spazio, sulla base della loro

abbondanza(Strumia, 1996). Le coordinate di questo punto, detto baricentro (G), per una massa di N punti, vengono calcoltate mediante le formule seguenti:

$$x_G = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N},\ y_G = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N}$$

Le sommatorie tengono conto delle coordinate latitudinali (y_i) e longitudinali (x_i) delle segnalazioni, mentre con N si intende il numero totale di esse (Strumia, 1996).
Il risultato complessivo è il 'Mean Center', dove x_G è la longitudine del baricentro, mentre con y_G si intende la latitudine.

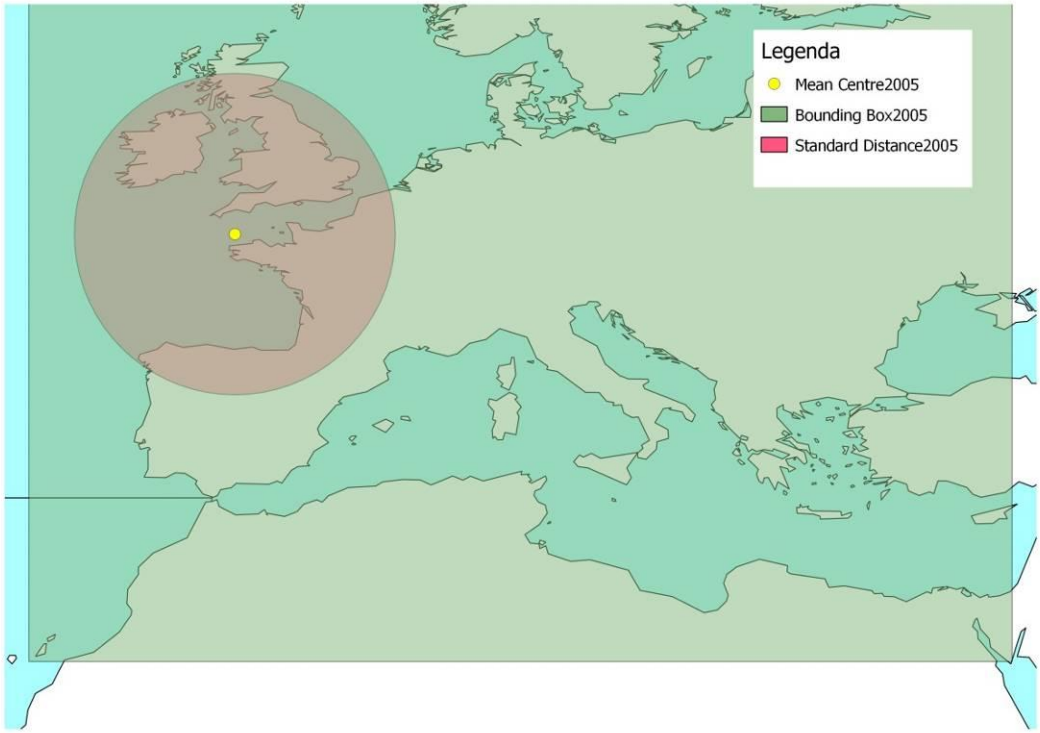


Figura. 2.9: Esempio di 'Spatial point pattern analysis' per l'anno 2005.

Questa parte del lavoro ha permesso di avere un'evidenza visiva dello spostamento delle specie nel tempo; infatti nelle diverse tipologie di mappe è stato confermato che vi sono delle modifiche negli areali e che progressivamente le specie tendano a concentrarsi sempre più a nord.
Poichè un'analisi visiva non è stata ritenuta sufficiente si è deciso di indagare ulteriori aspetti, cercando delle relazioni con le variabili ambientali in grado di influenzare la distribuzione delle specie marine.

2.4 Temperatura

Parte del lavoro di tesi è stata dedicata alla costruzione di serie storiche di temperatura superficiale del mare idonee ad essere accoppiate ai dati spazio-temporali di distribuzione delle specie marine.
Per far questo sono stati utilizzati i dati satellitari messi a disposizione dal sistema NASA Earth Observation, utilizzando sia i dati raccolti dai satelliti AVHRR (1981-2001) che da MODIS (dal 2002).
Come aree di riferimento sono stati utilizzati i Large Marine Ecosystem (LME), che rappresentano una suddivisione delle regioni marine adiacenti alle acque costiere in 64 zone, caratterizzate da condizioni climatiche interne abbastanza uniformi (Fig. 2.9) (FAO, 2005).

Figura 2.10: Large Marine Ecosystems of the World (fontehttp://lme.edc.uri.edu/).

I Large Marine Ecosystem (fig.2.10) entro cui ricadono le segnalazioni utilizzate nel presente lavoro di tesi sono, sulla costa europea, il Mare del Nord, il Golfo di Biscaglia e Mar Celtico, la costa Iberica ed il Mar Mediterraneo (fig.2.11), mentre sulla costa americana la zona del Labrador e il Newfoundland, la Nova Scotia, la piattaforma continentale nord-est degli Stati Uniti e quella sud-est (fig.2.12).

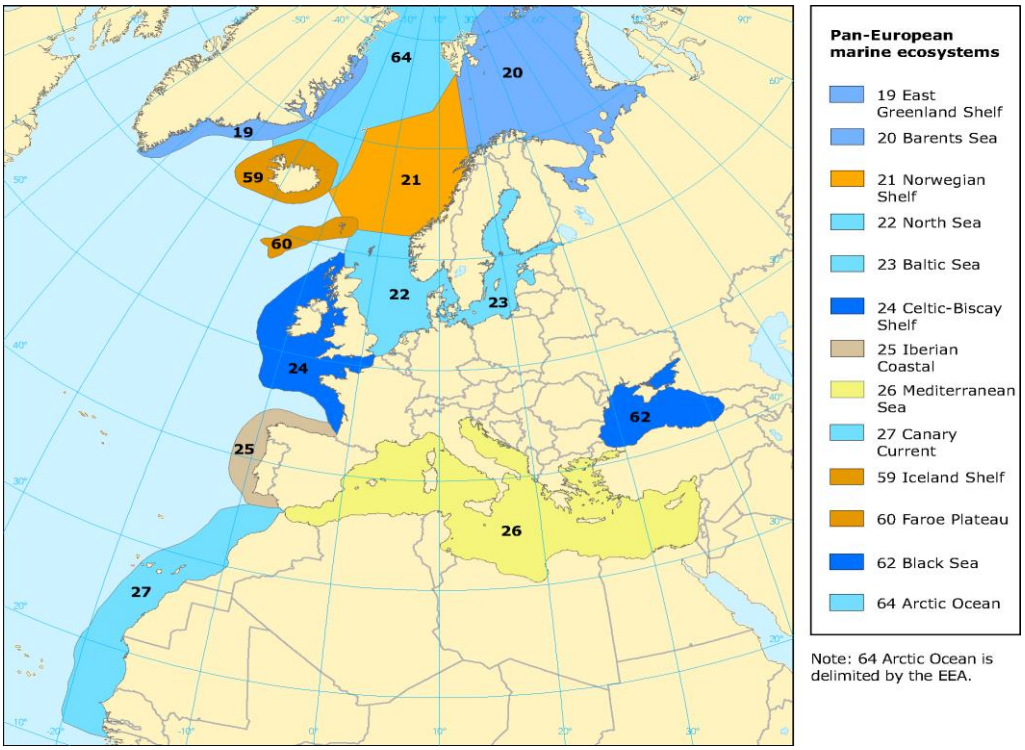


Figura 2.11: LME costa europea (fonte www.eea.europa.eudata-and-mapsfigurespan-european-marine-ecosystems-1).

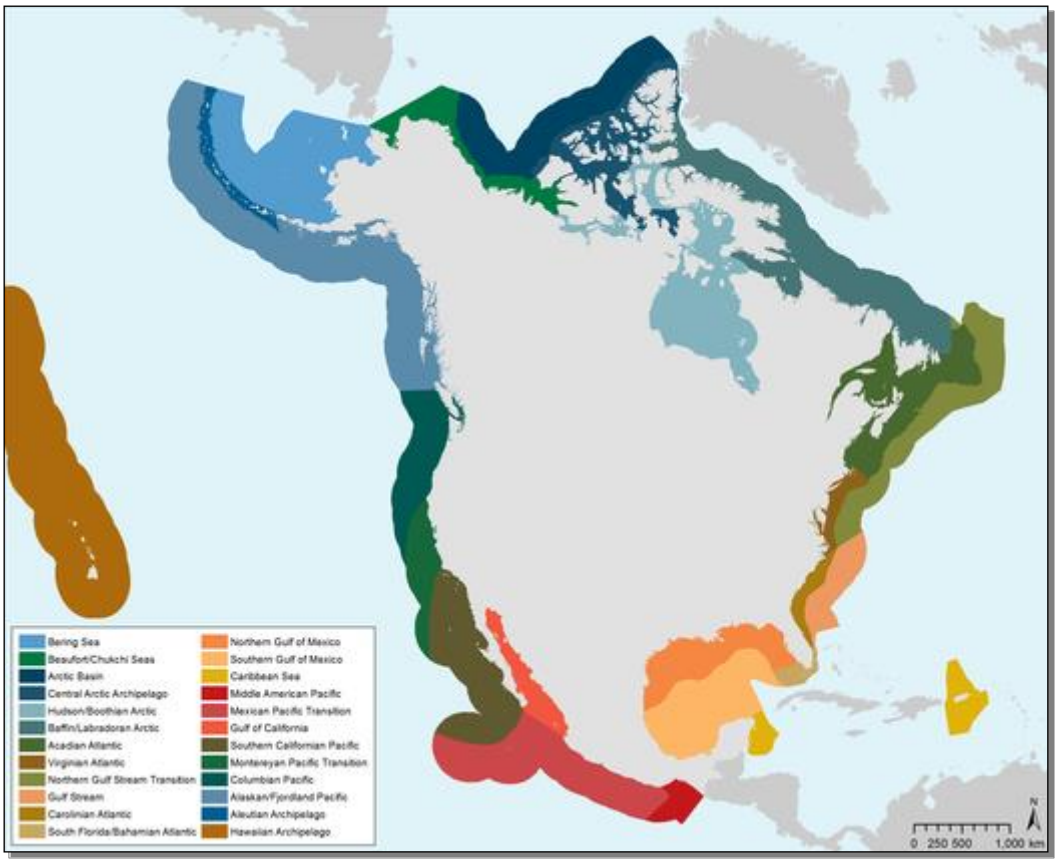


Figura 2.12: LME costa americana (fonte http://www.cec.org/Page.asp?PageID=924&ContentID=1324),

Dal momento che il database delle segnalazioni inizia dal 1970, si è reso necessario estendere l'analisi della temperatura, combinando i dati satellitari (disponibili dal 1981) con i dati messi a disposizione dal National Oceanic and Atmosferic Administration (NOAA) nell'Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) database. Tali dati sono basati su record raccolti durante survey effettuate a partire dal 1861.
Quest'ultima tipologia di dati consiste già in una serie storica dei valori di temperatura, che deve essere accuratamente scelta per essere rappresentativa dei diversi LME.
I dati satellitari che sono stati raccolti consistono in immagini raster, a cui ad ogni pixel corrisponde un valore di SST: esse possono essere trattate in ambiente R per ricostruire, facendo la media dei valori di SST relativi ad una macroarea, la serie delle temperature mensili relativa a ciascuno del LME interessati dall'analisi.

Dal momento che gli organismi viventi, nel corso della loro vita, non percepiscono la temperatura media, quanto piuttosto l'intero regime termico con le sua variazioni, si è cercato di identificare altri parametri che cogliessero meglio queste alterazioni. In particolare, ci si è focalizzati sulla descrizione della rapidità di variazione stagionale (passaggio dalla stagione fredda a quella calda), dei picchi annuali massimi e minimi, nonché del tempo che intercorre di anno in anno tra stagione fredda e stagione calda.
In ambiente R sono state ricostruite le curve stagionali di temperatura da gennaio a luglio, identificando alcuni parametri relativi alle curve stesse, come la temperatura massima raggiunta durante l'anno, i mesi in cui si registra questa temperatura, il punto di flesso e la pendenza della retta tangente al punto di flesso (fig. 2.13).

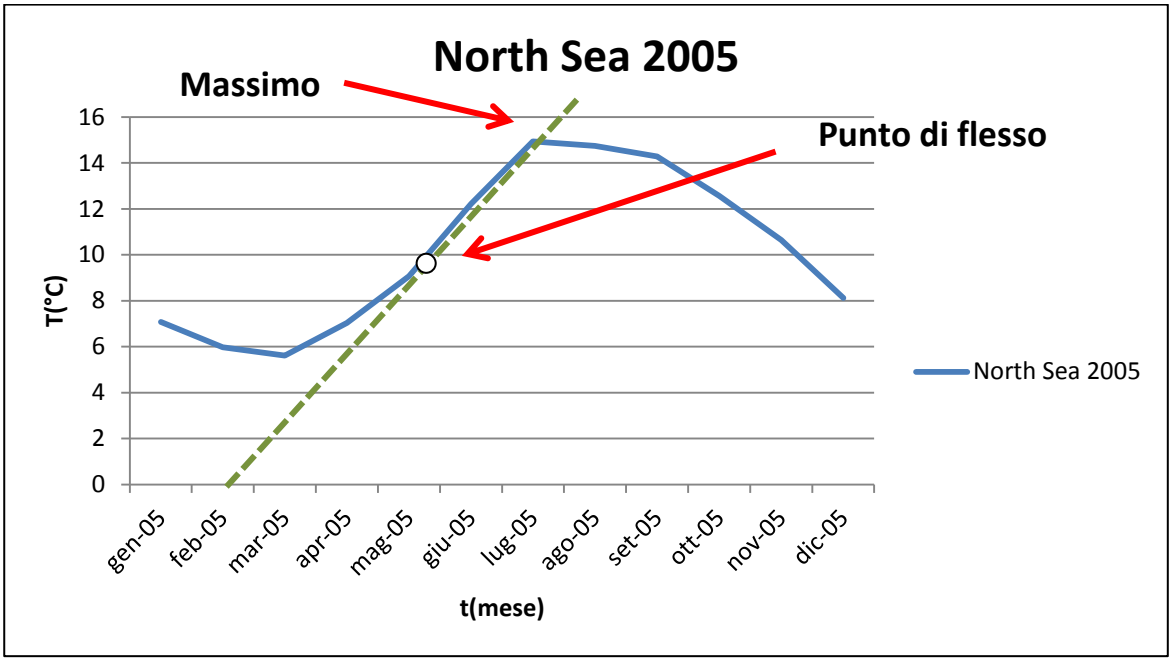


Figura 2.13: Esempio di curva di temperatura annuale per il LME del Mare del Nord.

Di fatti il punto di flesso rappresenta il momento in cui avviene il passaggio tra la stagione fredda e la stagione calda mentre la pendenza della retta tangente al punto di flesso è espressione della rapidità con cui avviene questo passaggio; ad una pendenza maggiore corrisponde una rapidità maggiore (fig. 2.14). Ad esempio si può notare come la pendenza nel 1973 fosse meno accentuata e quindi in quell'anno la primavera sia stata più lunga ed il passaggio dalle temperature invernali a quelle estive sia risultato meno rapido , mentre nel 2003 ad una pendenza maggiore è corrisposta una più breve durata della primavera provocando un passaggio più rapido.
Inoltre è possibile definire la temperatura al punto di flesso, un valore che definisce la temperatura della primavera; ad una temperatura al punto di flesso elevata può corrispondere sia un precendente inverno mite che la possibilità di avere un'estate molto calda; per questo motivo un aumento di questo valore può rappresentare un segnale di cambiamento delle condizioni climatiche.

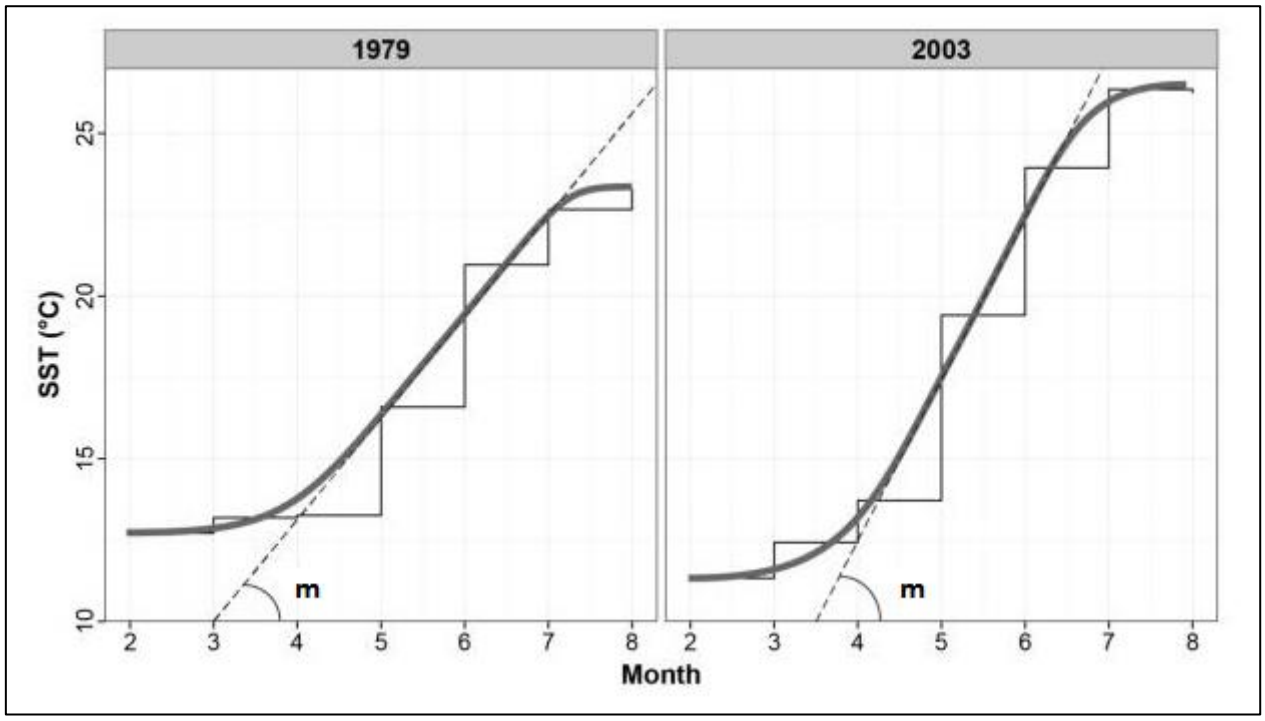


Figura 2.14: Esempio di curve interpolanti l'andamento mensile di SST.

Oltre alla temperatura superficiale, sono poi stati presi in considerazione due dei pricipali indicatori utilizzati per descrivere l'andamento climatico nell'Atlantico settentrionale, quali la Northern Atlantic Oscillation (NAO) e l' Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO).

L'indice NAO (fig.2.15) è legato alla circolazione atmosferica ed alle variazioni di pressione del livello del mare in tutto il nord Atlantico. Viene calcolato come la differenza di pressione a livello del mare normalizzata tra l'Islanda e le Azzorre; si è osservato che questo fattore può influenzare le precipitazioni lungo le coste atlantiche europee: nel caso di indice NAO elevato, si hanno venti occidentali più forti e temperature più elevate con maggiori precipitazioni; viceversa se l'indice NAO è basso, i venti sono meno intensi e portano temperature più fredde e minori precipitazioni. I

valori mensili dell'indice NAO sono scaricabili dal sito del Climate Prediction Center del NOOA (fonte http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao_index.html).

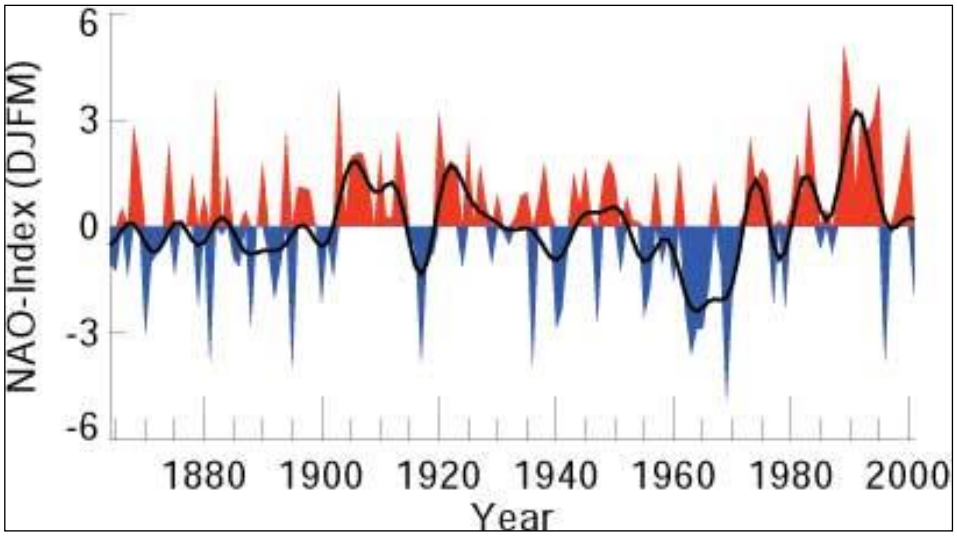


Figura 2.15: Indice NAO fonte https://climatedataguide.ucar.edu).

L'indice AMO (fig. 2.16) indica un valore medio di SST per l'Oceano Atlantico settentrionale, calcolato per la regione compresa tra l'equatore e la Groenlandia; l'andamento di questo indice ha fatto osservare degli effetti sulla piovosità e la siccità di alcune zone in prossimità delle coste atlantiche occidentali. Quando l'indice AMO è in fase positiva sono state rilevate temperature più elevate dato che la Intertropical Convergence Zone (ITCZ), la fascia in cui convergono gli alisei e dove si generano masse d'aria calda in grado di influenzare il clima equatoriale, si sposta più a nord, creando venti equatoriali più forti ed un sistema di bassa pressione anomala sull'Europa orientale (Nye et al., 2013). I valori mensili dell'indice AMO sono disponibili e scaricabili dal sito del Earth System Research Laboratory del NOOA (fonte http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/).

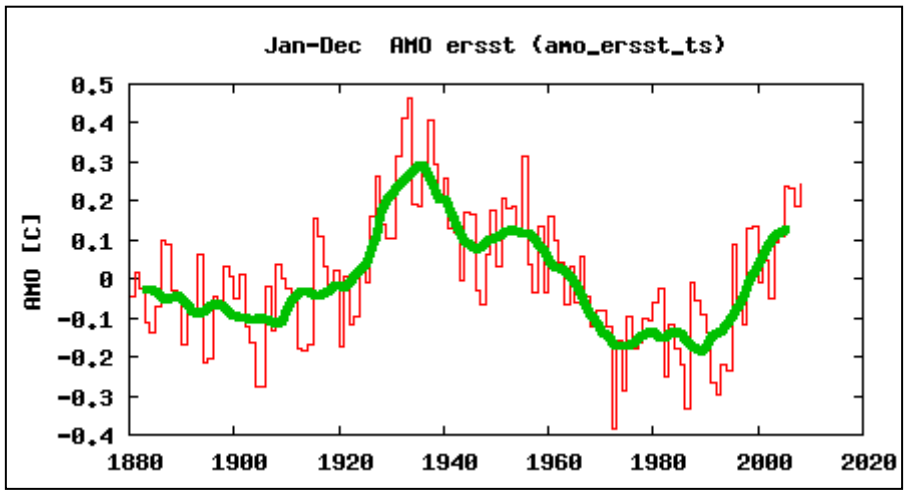


Figura 2.16: Indice AMO (fonte http://climexp.knmi.nl/amo.cgi).

2.5 Analisi delle relazioni tra distribuzione e parametri climatici

Allo scopo di analizzare le possibili relazioni tra la fluttuazione latitudinale del baricentro delle segnalazioni e i parametri climatici, si è utilizzato l'approccio del Generalized Linear Model (GLM)
Con GLM si intende una generalizzazione del modello lineare, nel contesto della regressione lineare. In questo modello la variabile Y di risposta può essere distribuita come una qualsiasi variabile casuale della famiglia esponenziale (binomiale, poissoniana, gamma, normale inversa) a differenza della regressione lineare in cui la variabile Y segue una distribuzione normale (Zeger e Karim, 1991).
Il modello può essere riassunto dalla seguente espressione:

$$\mathrm{E}(\mathbf{Y}) = \boldsymbol{\mu} = g^{-1}(\mathbf{X}\,\boldsymbol{\beta}) + \boldsymbol{\varepsilon}\ .$$

Dove E(Y) è il valore atteso o componente casuale; μ è la media della distribuzione dipendente da X; g è la funzione link, cioè una qualsiasi funzione monotona che metta in relazione il predittore lineare ed il valore atteso, Xβ è la componente sistematica o il predittore lineare, espresso da una combinazione lineare di parametri ignoti chiamati β, esso incorpora l'informazione sulle covariate, infine ε rappresenta l'errore (Venables e Dichmont, 2004).
Con tale espressione si è in grado di 'portare' il valore atteso su una scala a cui si sia in grado di applicare il modello lineare, il cui obiettivo è quello di studiare la relazione che intercorre tra le variabili di un fenomeno ottenendo la migliore retta interpolante i dati.

3. Risultati

3.1 Descrizione del database delle segnalazioni

Dopo una fase di selezione delle specie, in accordo con quanto riportato nella precedente sezione, si è giunti a definire il database di partenza per le analisi; esso è composto da 45 specie (Tab. 3.1), con dati relativi al Mediterraneo, Mare del Nord ed entrambe le coste dell'Oceano Atlantico Settentrionale, con un numero complessivo di 60535 segnalazioni comprese nel periodo tra il 1970 e il 2011.

Le segnalazioni sono distribuite prevalentemente all'interno dell'area definita dalla piattaforma continentale atlantica, in quanto maggiormente accessibile da un punto di vista dell'attività di campionamento, ed appartengono a specie del comparto nectonico, le quali dovrebbero essere in grado di adattarsi più rapidamente al variare delle condizioni ambientali. Inoltre, le specie che compongono il database sono tutte specie di pesci, poichè essi hanno un ciclo vitale confrontabile, ed inoltre non sono stati inclusi nel database specie di molluschi pelagici perchè le specie più comuni di essi sono ubiquitarie, ed è quindi difficile analizzarne l'areale di distribuzione (Morton, 1979).

Tabella 3.1: Lista delle specie analizzate e descrizione delle principali caratteristiche ecologiche (informazioni da www.fishbase.org):

Specie	Nome comune	Distribuzione	Affinità climatica	Range	Tratti ecologici
Anarhichas lupus	Pesce lupo	Costa nord-est Atlantico Costa nord-ovest Atlantico Mare del Nord	Temperata	79°N-37°N 75°W-56°E	Demersale, vive su fondali rocciosi. Età massima 22 anni.
Apletodon dentatus	Succiascoglio dentato	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Temperata	60°N-30°N	Demersale, ambiente litorale e sub-litorale. Ciclo vitale breve.
Apterichthus caecus	Biscia di mare cieca	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	46°N-4°S 32°W-17°E	Demersale, piattaforma continentale. Ciclo vitale lungo.
Aspitrigla obscura	Capone gavotta	Costa est Atlantico Mare del Nord Mar Mediterraneo	Temperata	53°N-15°N 32W-36E	Demersale, si trova sulla piattaforma continentale. Ciclo vitale breve
Boops boops	Boga	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	63°N-16°S 26°W-42°E	Demersale, si trova sulla piattaforma continentale; ha comportamento pelagico in ambiente costiero. Età massima 6 anni.
Cepola	Cepola	Costa est Atlantico	Subtropicale	61°N-10°N	Demersale, vive sui

macrophthalma		Mar Mediterraneo		18°W-36°E	fondali sabbiosi e fangosi. Età massima 8 anni.
Citharus linguatula	Linguattola	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	60°N-23°S 19°W-56°E	Demersale, specie di ambiente costiero. Ciclo vitale breve.
Coryphoblennius galerita	Bavosa galletto	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo Mar Nero	Subtropicale	52°N-20°N 19°W-42°E	Marino demersale, si trova sui fondali rocciosi. Ciclo vitale breve.
Deltentosteus collonianus	Ghiozzetto dentato	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Temperata	46°N-36°N 10°W-26°E	Demersale, specie di ambiente costiero. Ciclo vitale breve.
Dentex angolensis	Dentice dell'Angola	Costa est Atlantico	Subtropicale	33°N-13°S	Marino demersale, pesce di acque profonde (scarpata e piattaforma continentale). Età massima 7 anni.
Dicologlossa cuneata	Sogliola cuneata	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	47°N-32°S 18°W-36°E	Demersale, ambiente marino e salmastro. Vive su fondali sabbiosi e fangosi. Ciclo vitale breve.
Diplodus puntazzo	Sarago pizzuto	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	42°N-28°S 26°W-42°E	Bentopelagico, specie di ambiente marino, vive in acque costiere poco profonde. Età massima 8 anni.
Dipturus batis	Razza bavosa	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo Mar Baltico	Subtropicale	69°N-12°N 30°W-42°E	Demersale. Ambiente costiero e piattaforma continentale. Età massima 51 anni.
Dipturus oxyrinchus	Razza monaca	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Temperata	65°N-15°N 19°W-36°E	Batidemersale, vive in acque profonde. Ciclo vitale lungo.
Epinephelus aeneus	Cernia bianca	Costa est Atlantico Sud Mar Mediterraneo	Subtropicale	39°N-16°S 17°W-60°E	Demersale. Ambiente costiero, i giovanili vivono in lagune ed estuari. Età massima 17 anni.
Epinephelus nigritus	Cernia americana	Costa ovest Atlantico Golfo del Messico	Subtropicale	41°N-27°S 98°W- 39°W	Demersale, vive su fondali rocciosi. Oceanodromo. Età massima 24 anni.
Gobius fallax	Ghiozzo fallace	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	45°N-30°N 10°W-35°E	Demersale, vive in ambiente marino costiero su fondale roccioso. Ciclo vitale breve.
Gymnammodytes cicerelus	Cicerello	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	50°N-10°N 18°W-42°E	Demersale, vive in ambiente marino su fondale sabbioso. Ciclo vitale breve.
Labrus bergylta	Tordo marvizzo	Costa est Atlantico Mare del Nord	Temperata	68°N-20°N 32°W-30°E	Ambiente marino, associato al reef. Vive in acque poco

					profonde. Età massima 29 anni.
Labrus merula	Tordo merlo	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	46°N-20°N 32°W-36°E	Ambiente marino, associato al reef. Vive su fondali rocciosi. Età massima 17 anni.
Labrus viridis	Tordo d'alga	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	47°N-20°N 18°W-42°E	Ambiente marino, associato al reef. Vive inzone litoranee, su fondali rocciosi. Età massima 18 anni.
Lebetus guilleti	Gobide di Guillet	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Temperata	60°N-27°N 19°W-11°E	Ambiente marino, associato al reef. Si trova lungo le coste. Ciclo vitale breve.
Lepadogaster candollei	Succiascoglio olivaceo	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	60°N-27°N 19°W-42°E	Demersale, vive in ambiente marino (zona intertidale). Ciclo vitale breve.
Lepidorhombus boscii	Rombo quattrocchi	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo Mare del Nord	Temperata	60°N-26°N 15°W-36°E	Demersale, si trova in ambiente marino su fondali sabbiosi e fangosi. Età massima 13 anni.
Lesueurigobius friesii	Ghiozzo a grandi squame	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo Mare del Nord	Subtropicale	62°N-18°N 18°W-36°E	Demersale, ambiente marino. Vive su fondali sabbiosi e fangosi. Età massima 11 anni.
Leucoraja erinacea	Razza comune	Costa ovest Atlantico	Temperata	49°N-33°N 78°W- 59°W	Demersale. ambiente marino, su fondale sabbioso. Età massima 8 anni.
Megalops atlanticus	Tarpone	Costa est Atlantico Costa ovest Atlantico	Subtropicale	49°N-44°N 99°N-14°E	Vive in ambiente marino, salmastro e di acqua dolce. Si trova in baie, estuari e coste. Età massima 55 anni.
Microchirus azevia	Sogliola bruna	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Temperata	53°N-12°N 18°W-30°E	Demersale, vive in ambiente marino su fondali sabbiosi e fangosi della piattaforma continentale. Ciclo vitale breve.
Mustelus asterias	Palombo stellato	Costa nord-est Atlantico Mar Mediterraneo Mare del Nord	Temperata	61°N-16°N 19°W-36°E	Demersale, di ambiente marino. Si trova su fondali sabbiosi e ghiaiosi. Ciclo vitale lungo.
Ophidion barbatum	Galletto	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	53°N-15°N	Demersale, vive in ambiente marino. Ciclo vitale breve.
Pagrus pagrus	Pagro	Costa est Atlantico Costa ovest Atlantico Mare del Nord Mar Mediterraneo	Subtropicale	55°N-43°S 98°W-36°E	Bentopelagico, di ambiente marino. Oceanodromo. Età massima 18 anni.
Parablennius	Bavosa	Costa est Atlantico	Subtropicale	59°N-31°N	Demersale, ambiente

gattorugine	ruggine	Mar Mediterraneo Mare del Nord		11°W-35°E	marino. Vive in acque poco profonde su fondali rocciosi. Ciclo vitale breve.
Parablennius zvonimiri	Bavosa cervina	Mar Mediterraneo	Subtropicale	47°N-30°N 6°W-42°E	Demersale, vive in ambiente marino in grotte o su fondali rocciosi. Ciclo vitale breve.
Petromyzon marinus	Lampreda di mare	Costa est Atlantico Costa ovest Atlantico Mar Mediterraneo Mare del Nord	Temperata	72°N-25°N 82°W-27°E	Demersale, vive in ambiente marino, salmastro e di acqua dolce. Anadromo. Età massima 11 anni.
Phycis phycis	Mostella	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	45°N-13°N 32°W-36°E	Bentopelagico, vive in ambiente marino. Ciclo vitale breve.
Rhinobatos percellens	Pesce chitarra	Costa est Atlantico Costa ovest Atlantico	Subtropicale	18°N-37°S	Demersale, di ambiente marino, su fondali sabbiosi e fangosi. Ciclo vitale lungo.
Sciaena umbra	Corvina	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	53°N-13°N 19°W-42°E	Demersale, vive in ambiente marino e salmastro. Si trova in fondali sabbiosi rocciosi e in estuari. Età massima 21 anni.
Scorpaena maderensis	Scorfano di Madeira	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	47°N-12°N 32°N-36°N	Demersale, vive in ambiente marino e salmastro. Si trova in acque poco profonde. Ciclo vitale breve.
Sebastes viviparus	Pesce rosso norvegese	Costa nord-est Atlantico Mare del Nord	Temperata	70°N-51°N 52°W-21°E	Demersale, si trova in ambiente marino, su fondali rocciosi soprattutto sulle coste. Età massima 40 anni.
Solea lascaris	Sogliola dal porro	Costa est Atlantico Costa ovest Atlantico Mare del Nord Mar Mediterraneo	Subtropicale	57°N-32°S	Demersale di ambiente marino e salmastro. Si trova su fondali ghiaioso, fango e sabbioso. Età massima 15 anni.
Symphodus melops	Tordo occhionero	Costa est Atlantico Mare del Nord Mar Mediterraneo	Temperata	63°N-28°N 32°W-25°E	Ambiente marino associato al reef. Età massima 9 anni.
Trachurus mediterraneus	Sugarello maggiore	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	49°N-28°N 13°W-43°E	Pelagico, si trova in ambiente marino e salmastro. Età massima 12 anni.
Tripterygion delaisi	Peperoncino giallo	Costa est Atlantico Mar Mediterraneo	Subtropicale	52°N-12°N 19°W-36°E	Demersale, vive in ambiente marino a basse profondità. Si trova sulla costa e su

					fondali rocciosi. Ciclo vitale breve.
Tripterygion tripteronotus	Peperoncino rosso	Mar Mediterraneo	Subtropicale	47°N-30°N 6°W-42°E	Demersale, ambiente marino intertidale. Ciclo vitale breve.
Trisopterus minutus	Merluzzetto	Costa est Atlantico Mare del Nord Mar Mediterraneo	Temperata	66°N-28°N 13°W-36°E	Bentopelagico, di ambiente marino. Vive su fondali sabbiosi e fangosi. Età massima 5 anni.

Le specie che compongono il database sono per lo più pesci demersali, cioè vivono in prossimità del fondale.

Per quanto riguarda il ciclo vitale, nel database sono comprese sia specie che vivono a lungo, ad esempio *Sebastes viviparus* può vivere fino a 40 anni, sia specie dal ciclo vitale più breve, limitato a pochi anni, come *Trisopterus minutus*.

Per quanto riguarda l'affinità climatica un terzo delle specie, 15 su 45, prediligono la fascia climatica temperata, mentre gli altri due terzi sono specie con affinità per acque subtropicali.

Le specie non risultano essere equamente divise tra le due coste atlantiche, infatti praticamente tutte le specie sono state segnalate sulla costa orientale dell'Atlantico, eccetto *Epinephelus nigritus,* mentre il numero di specie che si trovano anche sulla costa americana è solamente di 10, ma nonostante il numero sia di molto inferiore queste contribuiscono a quasi la metà delle segnalazioni comprendendo all'incirca 27000 records. Una tale differenza tra le due coste può essere dovuta al fatto che le tabelle di partenza (Cheung, 2013 e Albouy 2013) erano a riferite a studi che prediligevano l'area atlantica europea.

3.2 Caratterizzazione latitudinale dei records

Con riferimento alla distribuzione latitudinale, la maggior parte delle segnalazioni risulta localizzata in una fascia latitudinale intermedia compresa tra i 30° N e 60° N (Fig. 3.1)

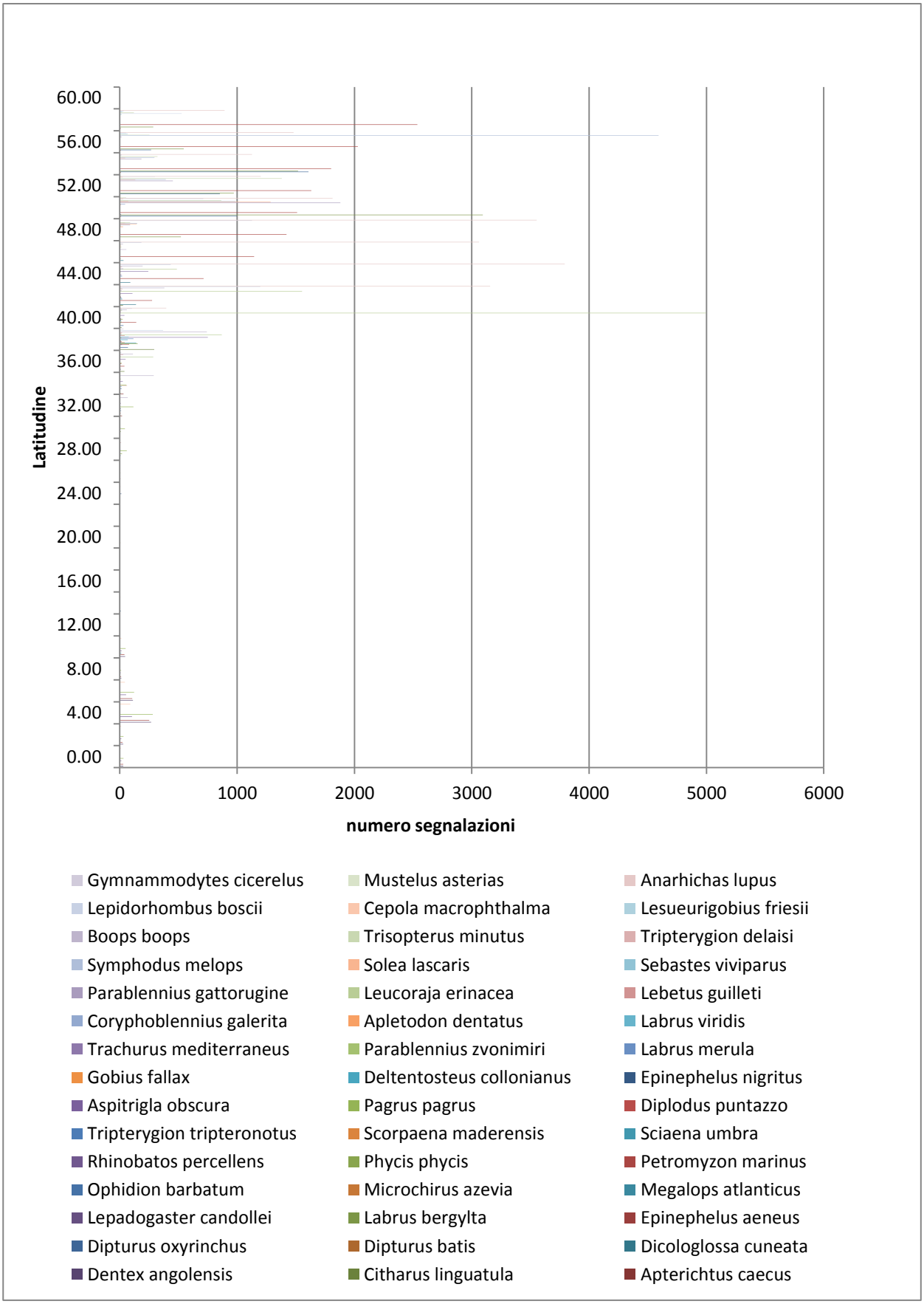


Figura 3.1: Numero di segnalazioni ed intervallo di latitudine in cui ricadono.

Considerando la distribuzione delle segnalazioni nel tempo in relazione ad una griglia spaziale di 3° di latitudine, si può ricavare una prima indicazione di possibili variazioni dell'areale distributivo complessivo. In figura 3.2 si riportano i risultati riferiti alle latitudini comprese tra 30° e 60° N.
Risulta abbastanza evidente uno spostamento nel tempo del picco di segnalazioni verso latitudini maggiori.

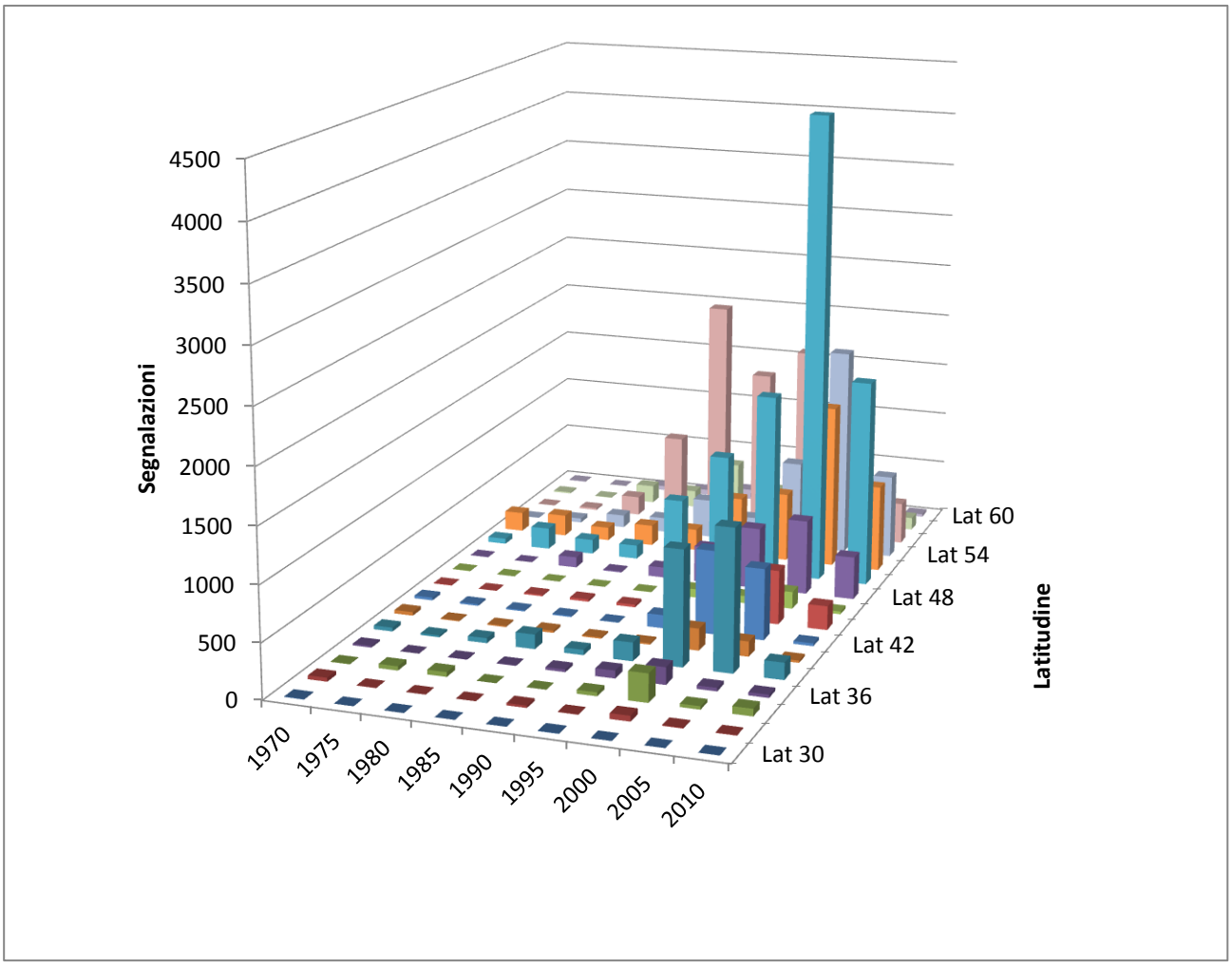


Figura. 3.2: Latitudine distribuzione nello spazio e nel tempo del numero totale di segnalazioni.

3.3 Variazione degli areali distributivi

Mediante l'analisi in ambiente GIS, è stato possibile costruire le mappe di distribuzione dei record ottenendo una visualizzazione dell'areale distributivo complessivo delle specie analizzate per ciascun anno.

Di seguito sono riportate alcune mappe risultate dall'analisi mediante QGIS; è stato scelto di riportare solamente alcuni anni, a titolo di esempio dell'evoluzione temporale, non potendo inserire le mappe relative a tutti gli anni che intercorrono tra il 1970 ed il 2011.

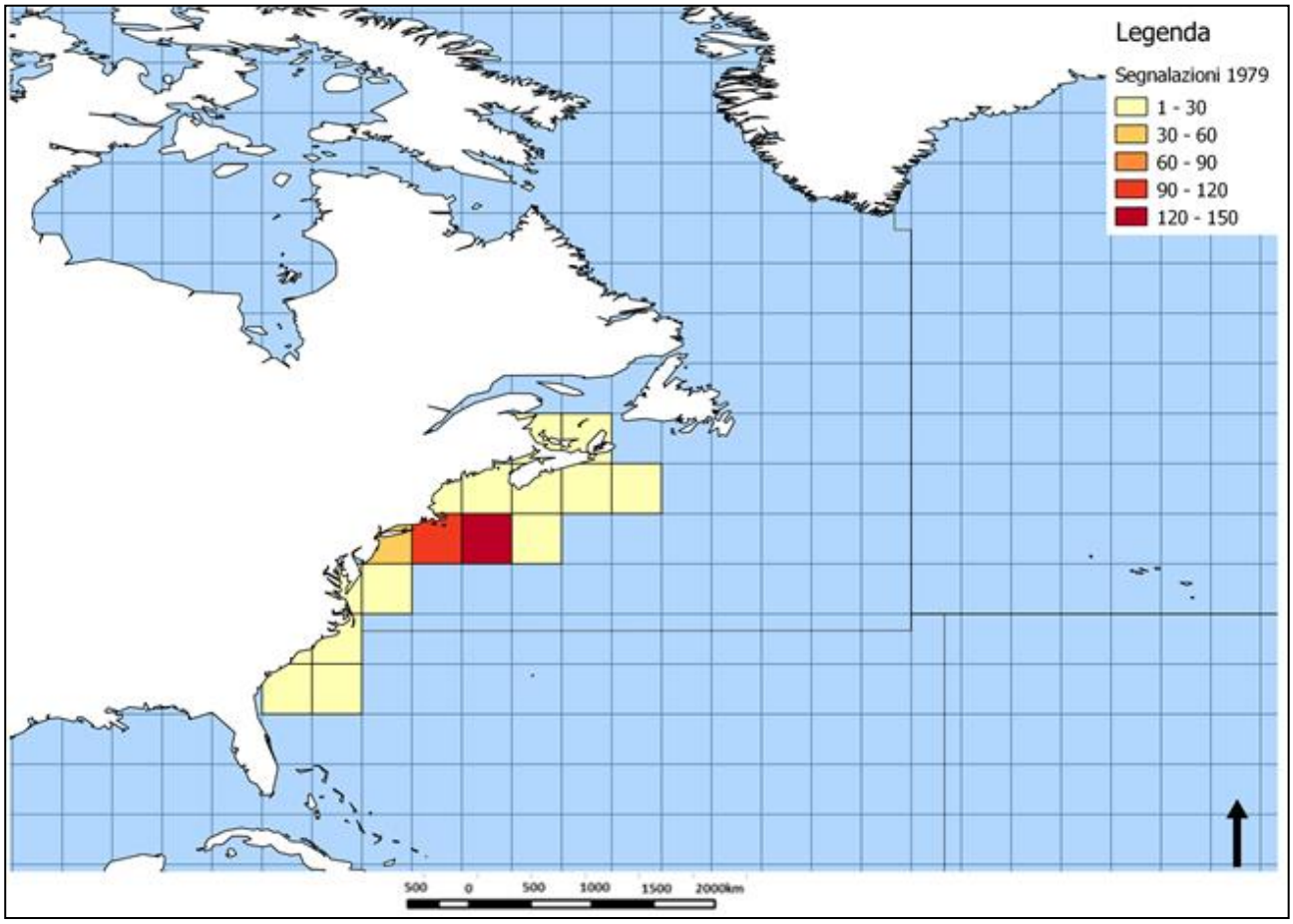


Figura 3.3: Abbondanza di segnalazioni nel 1979 lungo la costa americana.

Come prima analisi si sono considerate tutte le segnalazioni relative alle due coste atlantiche ricercando un segnale che comprendesse tutti i records.
Come primo esempio è riportata una mappa relativa alla costa occidentale; si osserva che nel 1979 (fig. 3.3) lungo la costa americana la maggior parte delle segnalazioni è concentrata lungo le coste del Massachusetts e del Maine.

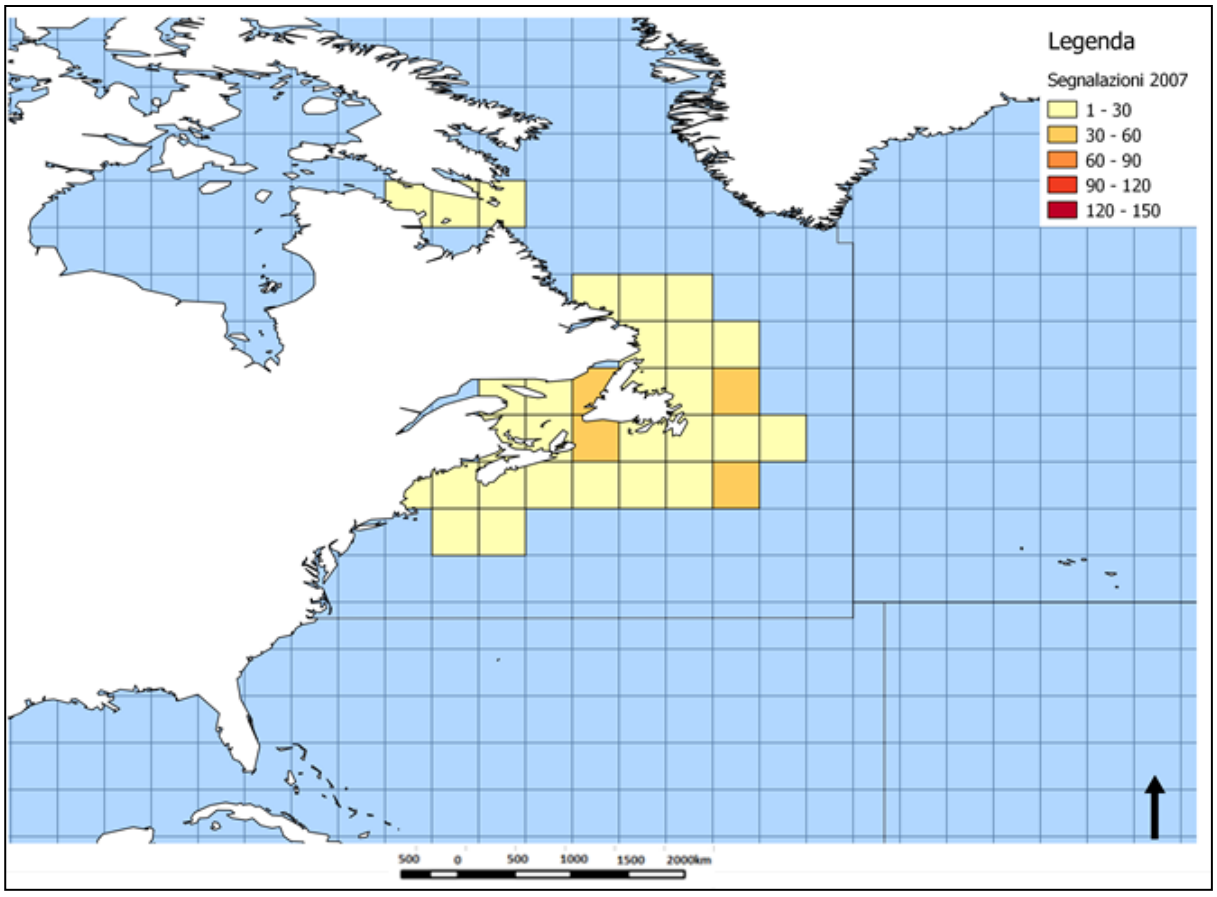


Figura 3.4: Abbondanza di segnalazioni nel 2007 lungo la costa americana.

Nel 2007 (fig.3.4) le segnalazioni si sono spostate più a nord, espandendo l'areale delle specie che si trovano lungo la costa americana a latitudini più elevate, raggiungendo anche le zone del Labrador.

Nel tempo il numero di specie e le zone in cui esse sono concentrate è cambiato, se si osservano queste mappe.
Essendo il database composto dalle stesse specie, delle quali sono presenti segnalazioni in tutto l'arco temporale considerato, si può affermare che esse hanno variato il loro habitat e hanno la tendenza a modificare il loro areale; dalle immagini sopra riportate (fig.3.3 e 3.4), si nota come tendenzialmente questo movimento sia diretto verso zone a latitudine maggiore e le popolazioni si concentrino in queste acque. Questa tendenza di spostamento può risultare così evidente lungo la costa ovest dell'oceano Atlantico poichè le acque non incontrano consistenti ostacoli di tipo terrestre e le correnti marine possono attraversare l'intera costa senza venire deviate, assumendo percorsi complessi o poco lineari che potrebbero alterare le temperature in modo variabile.

Di seguito sono riportate alcune mappe relative alla situazione lungo la costa europea, dove si evidenziano delle differenze rispetto alla costa americana.

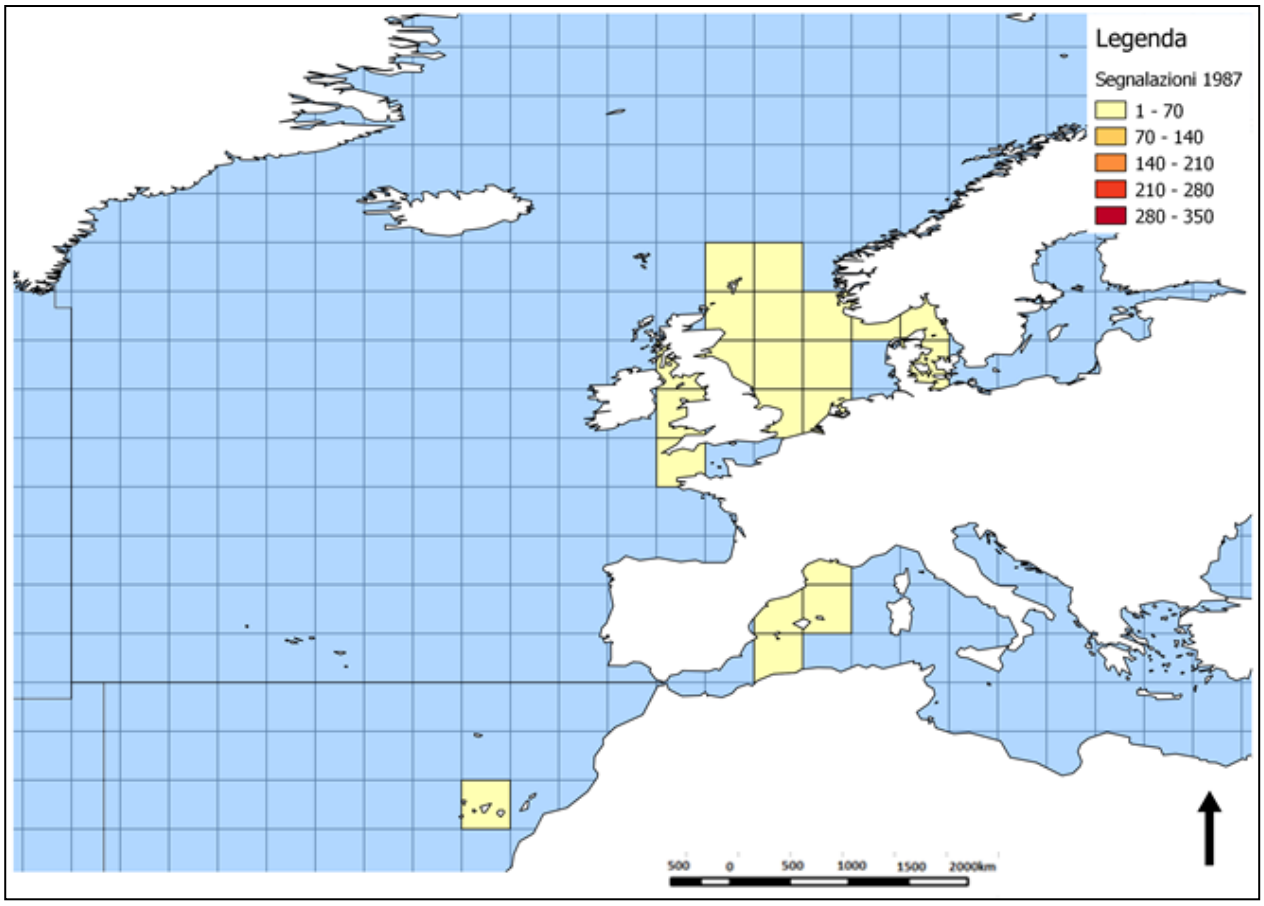


Figura 3.5: Abbondanza di segnalazioni nel 1987 lungo la costa europea.

Nel 1987 (fig.3.5) le segnalazioni lungo la costa europea sono quasi tutte concentrate nel Mare del Nord e raggiungono le coste scandinave, mentre nel 2008 (fig. 3.6) l'areale è decisamente cambiato, trovandosi la maggior parte delle specie distribuite tra le coste brittaniche ed irlandesi.

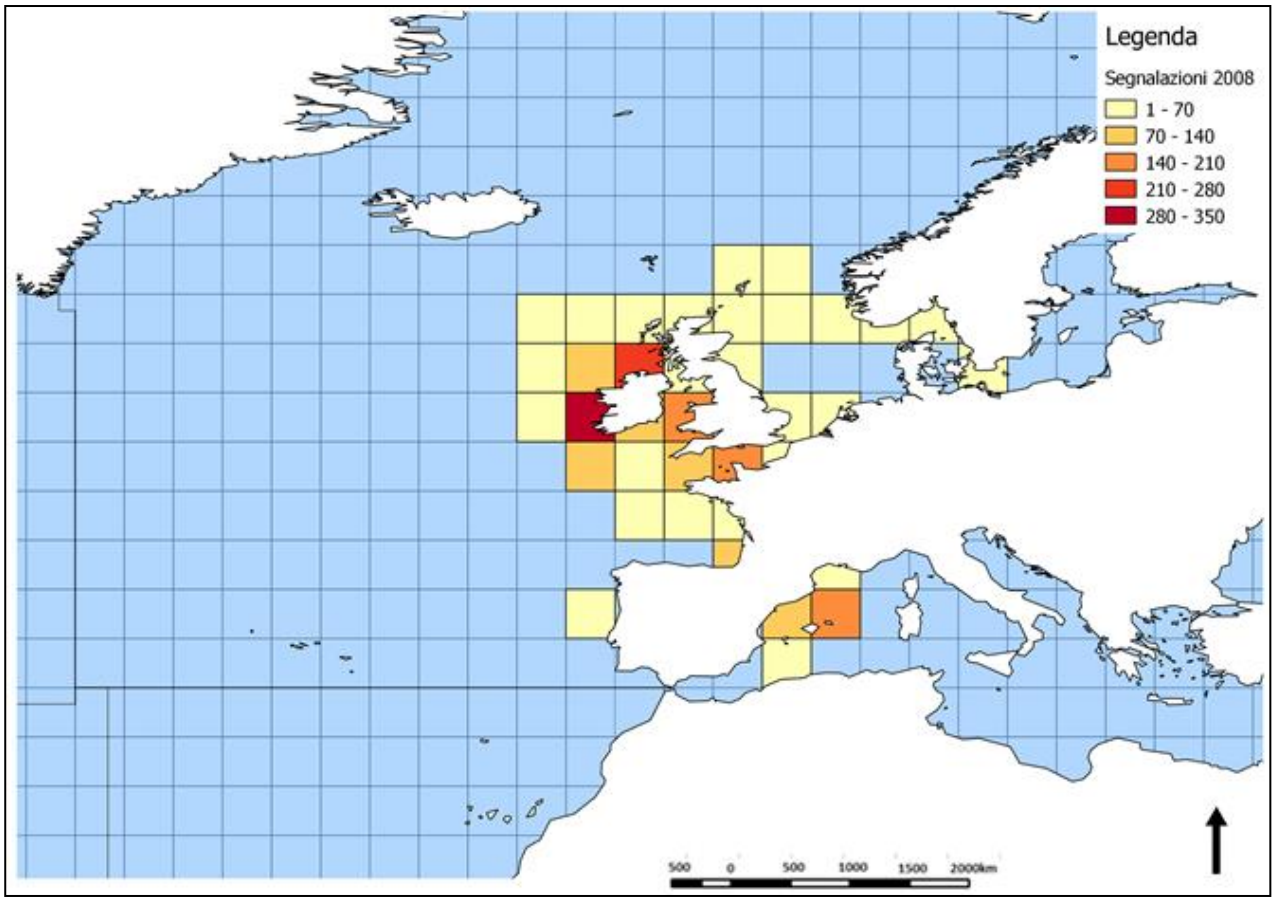


Figura 3.6: Abbondanza di segnalazioni nel 2008 lungo la costa europea.

Questa analisi prende in considerazione la totalità di segnalazioni per tutte le specie; commentare queste immagini risulta spesso complesso perchè non è sempre evidente uno spostamento delle specie. Ciò può essere dovuto sia al numero elevato di segnalazioni sia al fatto che spesso le specie si alternano nel tempo.

Per questo motivo si sono realizzate ulteriori mappe come le precedenti (Figg. 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6) in cui però sono state suddivise le segnalazioni per singola specie.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di queste mappe; come in precedenza le celle vuote non presentano segnalazioni al proprio interno mentre la scala è articolata in modo per cui al giallo corrisponde un numero di segnalazioni inferiori ed al rosso un'abbondanza maggiore.

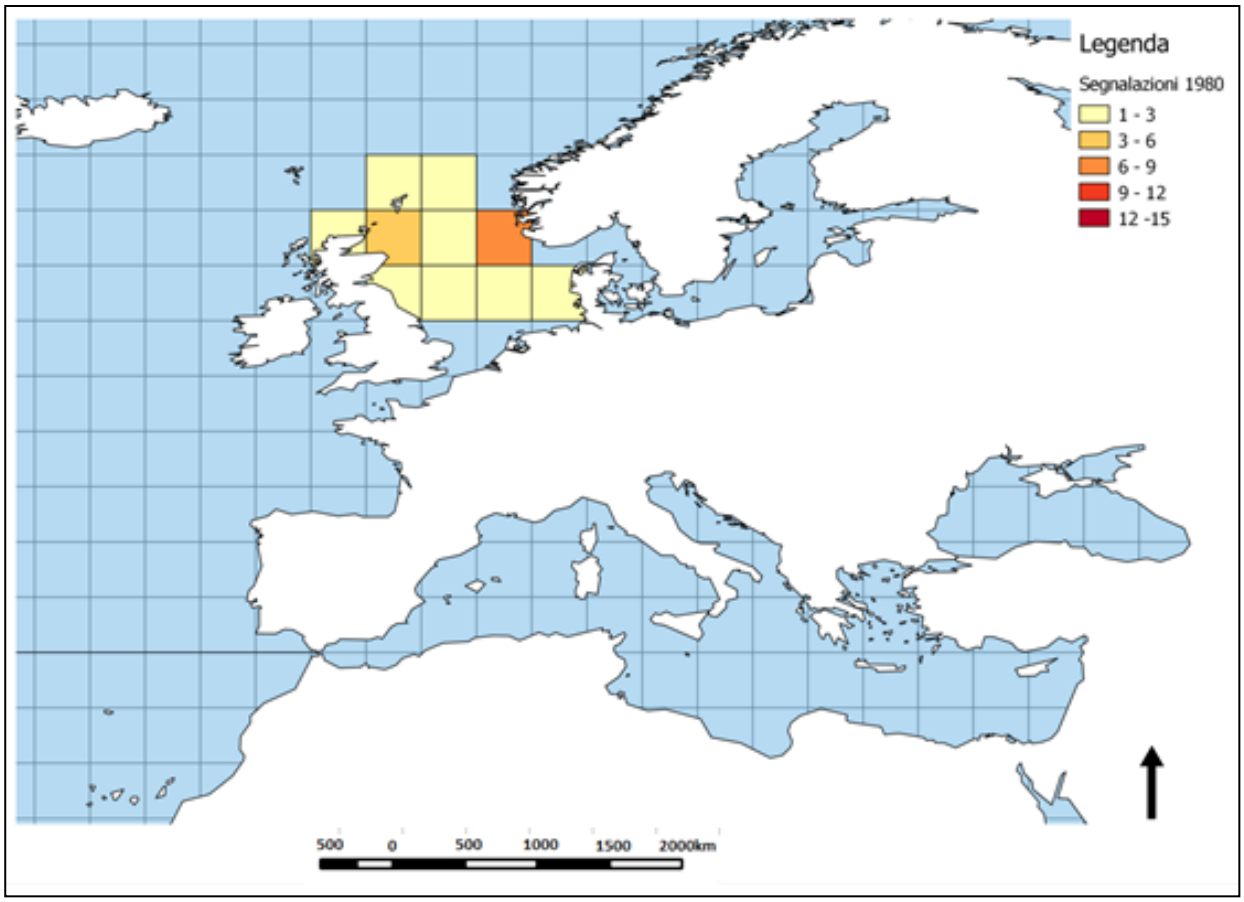


Figura 3.7: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Anarhichas lupus* nel 1980.

In figura 3.7 è evidenziata la distribuzione delle segnalazioni per la specie *Anarhichas lupus* nel 1980; l'areale in questo caso è concentrato nel Mare del Nord ed è molto esteso, nonostante il numero delle segnalazioni non sia molto elevato. Possiamo localizzare i records lungo le coste occidentali della Danimarca e quelle orientali del Regno Unito.

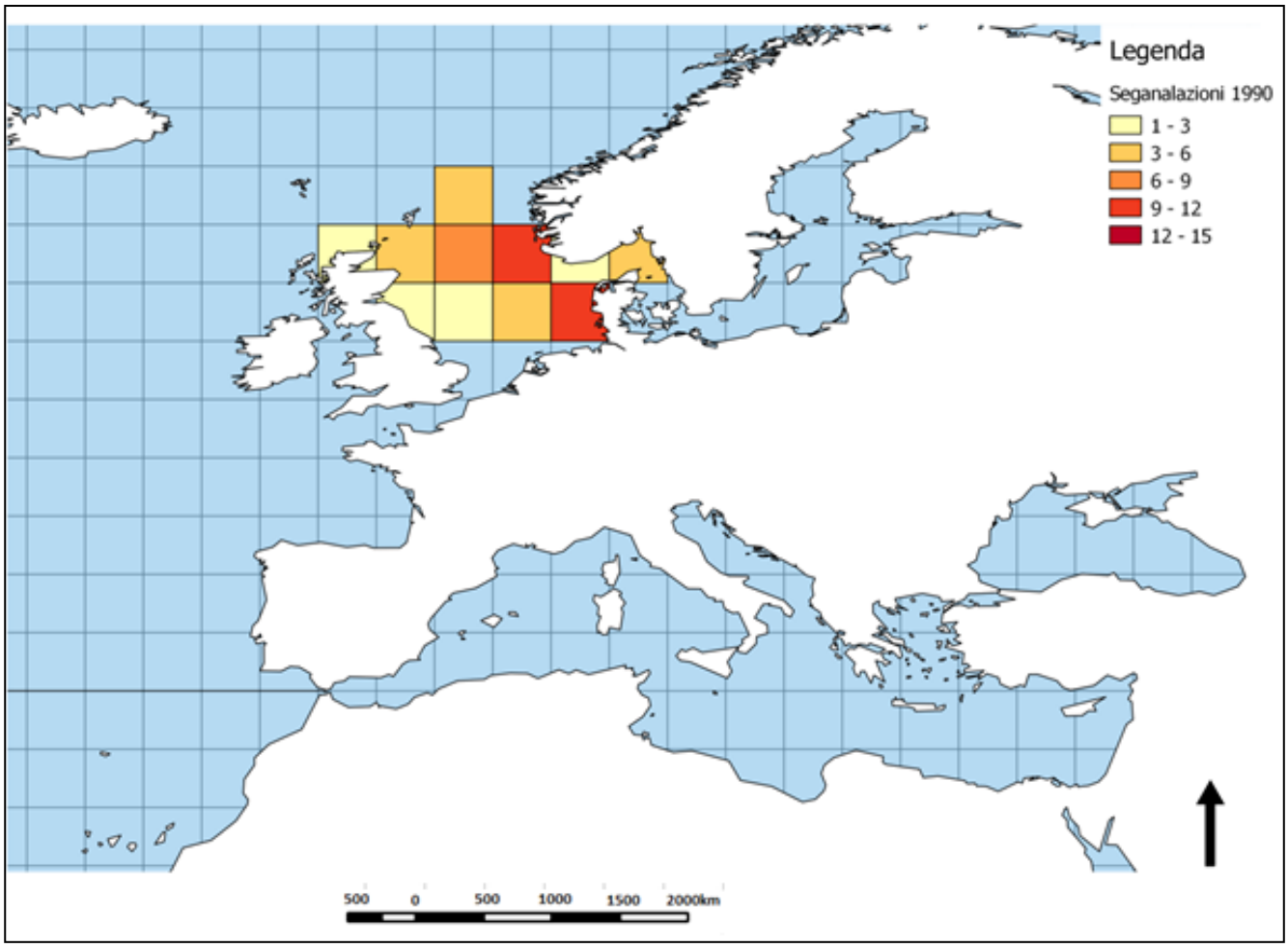


Figura 3.8: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Anarhichas lupus* nel 1990.

In figura 3.8 sono localizzate le segnalazioni per la medesima specie, *Anarhichas lupus*, nel 1990, l'areale in questo caso è rimasto lo stesso ma è aumentato il numero delle segnalazioni.

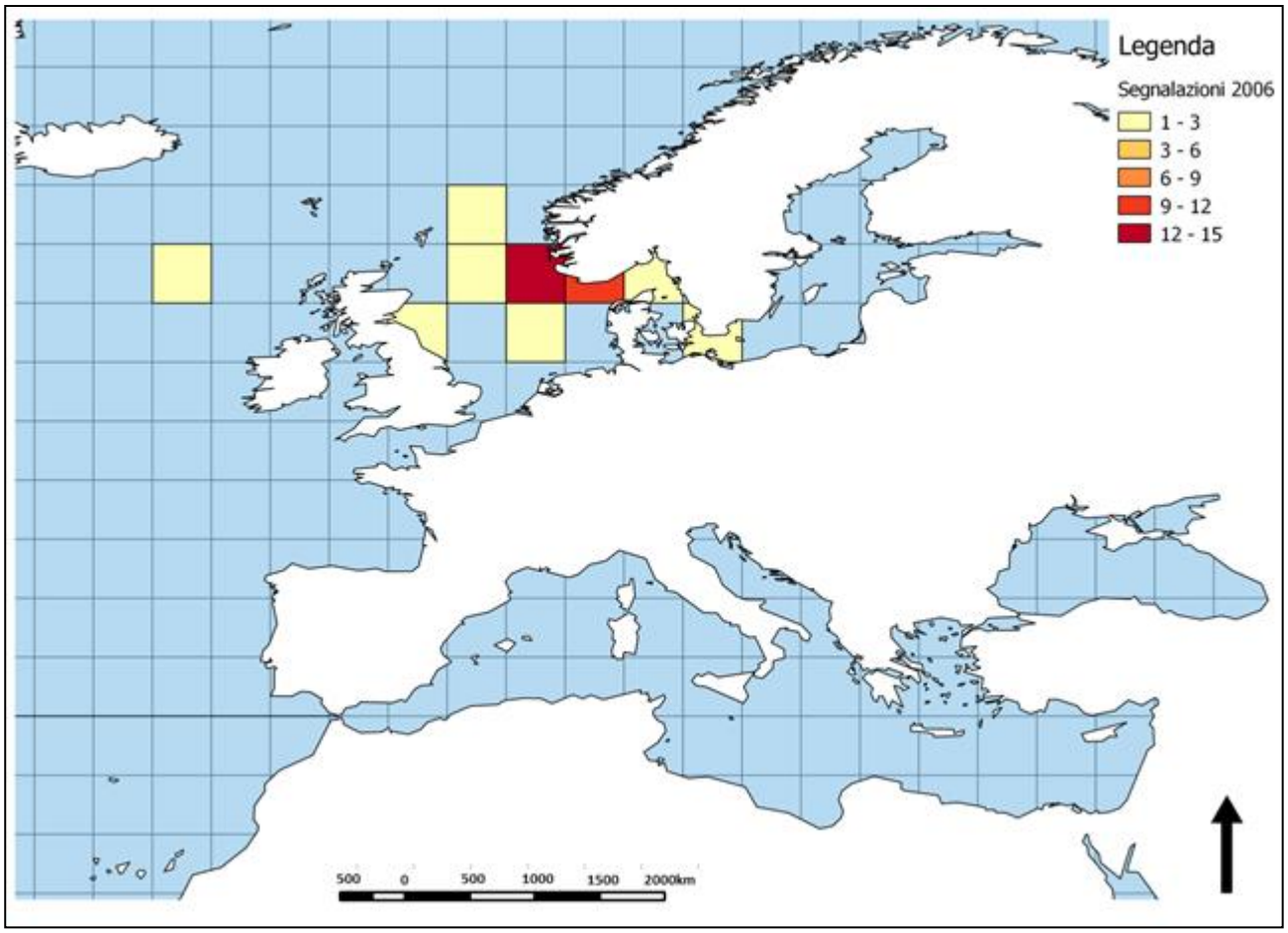


Figura 3.9: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Anarhichas lupus* nel 2006.

In figura 3.9 infine è visibile la distribuzione e l'abbondanza dei records della specie *Anarhichas lupus* nel 2006; in questo caso l'areale risulta alterato ma non è visibile uno spostamento in celle più a nord quanto piuttosto uno schiacciamento del proprio areale con la sparizione dalla fascia meridionale del Mare del Nord e con le segnalazioni concentrate lungo la costa scandinava.

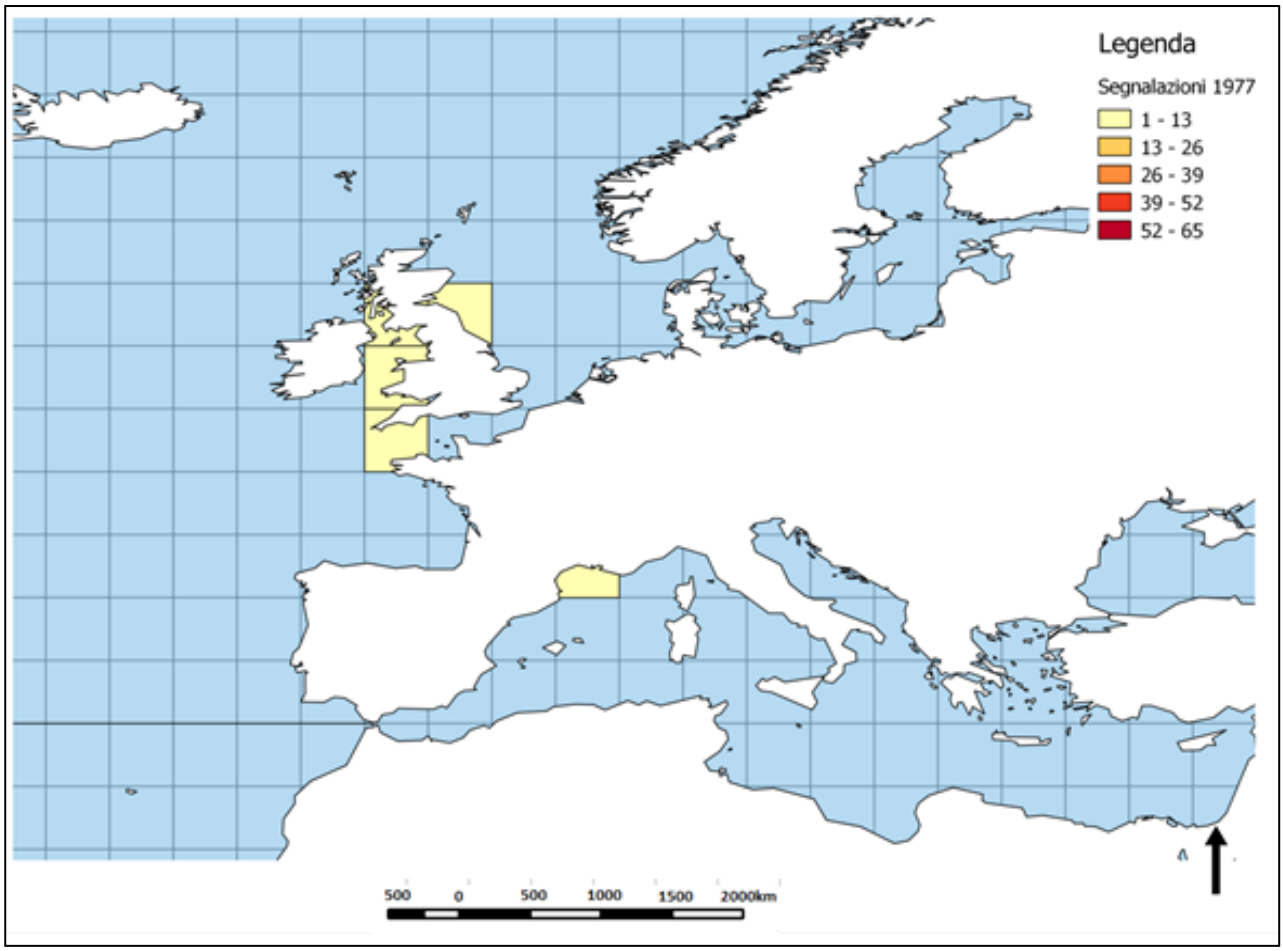


Figura 3.10: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Parablennius gattorugine* nel 1977.

La figura 3.10 mostra la distribuzione delle segnalazioni nel 1977 per la specie *Parablennius gattorugine*; le segnalazioni sono distribuite per lo più sulla costa occidentale del Regno Unito, nel Mar Celtico, e non si spingono fino alla costa settentrionale della Scozia.

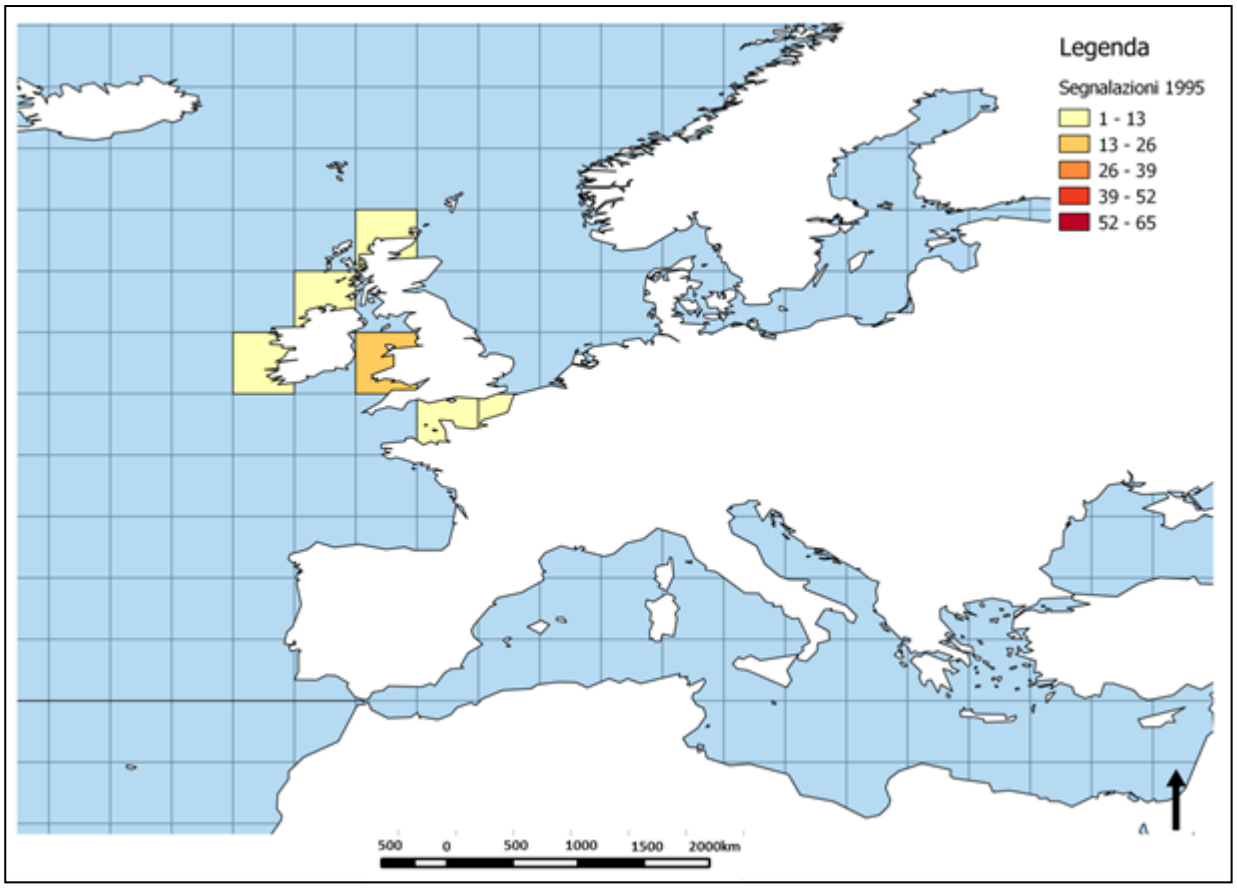


Figura 3.11: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Parablennius gattorugine* nel 1995.

In figura 3.11 sono localizzate le segnalazioni per la specie *Parablennius gattorugine* nel 1995, si evidenzia come la dispersione della specie sia aumentata fino ad allargarsi ad ovest alle coste irlandesi ed anche verso nord lungo la costa all'estremo nord del Regno Unito.

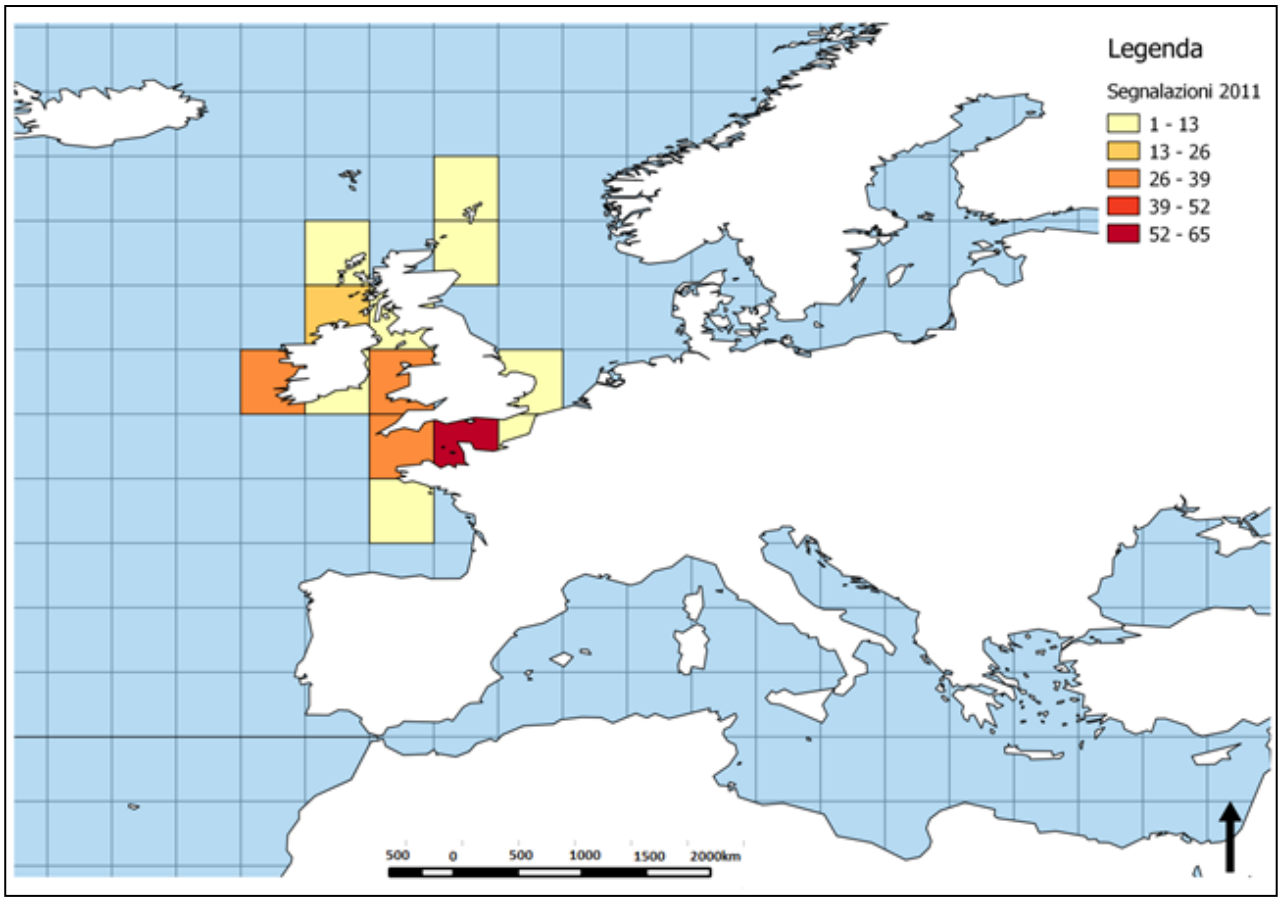


Figura 3.12: Abbondanza di segnalazioni per la specie *Parablennius gattorugine* nel 2011.

Infine in figura 3.12 si può osservare la distribuzione e l'abbondanza delle segnalazioni per la specie *Parablennius gattorugine* nel 2006: è evidente sia l'espansione dell'areale ma anche come la specie, nonostante sia sempre concentrata lungo le coste meridionali del Regno Unito, stia iniziando a spingersi a nord raggiungendo anche le isole Faroe, situate a nord della Scozia.

Questi sono solamente alcuni esempi delle molteplici situazioni che possono verificarsi andando a considerare ogni singola specie in maniera indipendente; purtroppo però non è possibile identificare un segnale univoco per tutto il database in quanto ogni specie è dotata di caratteristiche diverse e può reagire in maniera e tempi diversi ai cambiamenti. Per questo è necessario andare a compattare l'informazione data dai records.

3.4 Baricentro di distribuzione

Poichè l'analisi relativa al numero di segnalazioni, sia complessivamente che suddivisa per singola specie, non ha portato a risultati significativi, risultando complessa considerato il numero elevato di records, l'ampiezza dell'areale e le molteplici differenze che possono riscontrarsi considerando

ogni specie caso per caso, si è deciso di concentrarsi sull'individuazione di un indicatore che potesse raccogliere tutte le informazioni in un unico parametro di riferimento.
Si è scelto dunque il baricentro, che consiste in un punto medio rappresentativo di tutti i records annuali, come evidenziato dalla figura 3.13.
Si è calcolato il baricentro per tutti gli anni dell'intervallo di tempo compreso tra il 1970 ed il 2011 per poterne poi ricostruire la serie storica, dividendo l'area della costa orientale ed occidentale dell'Atlantico.

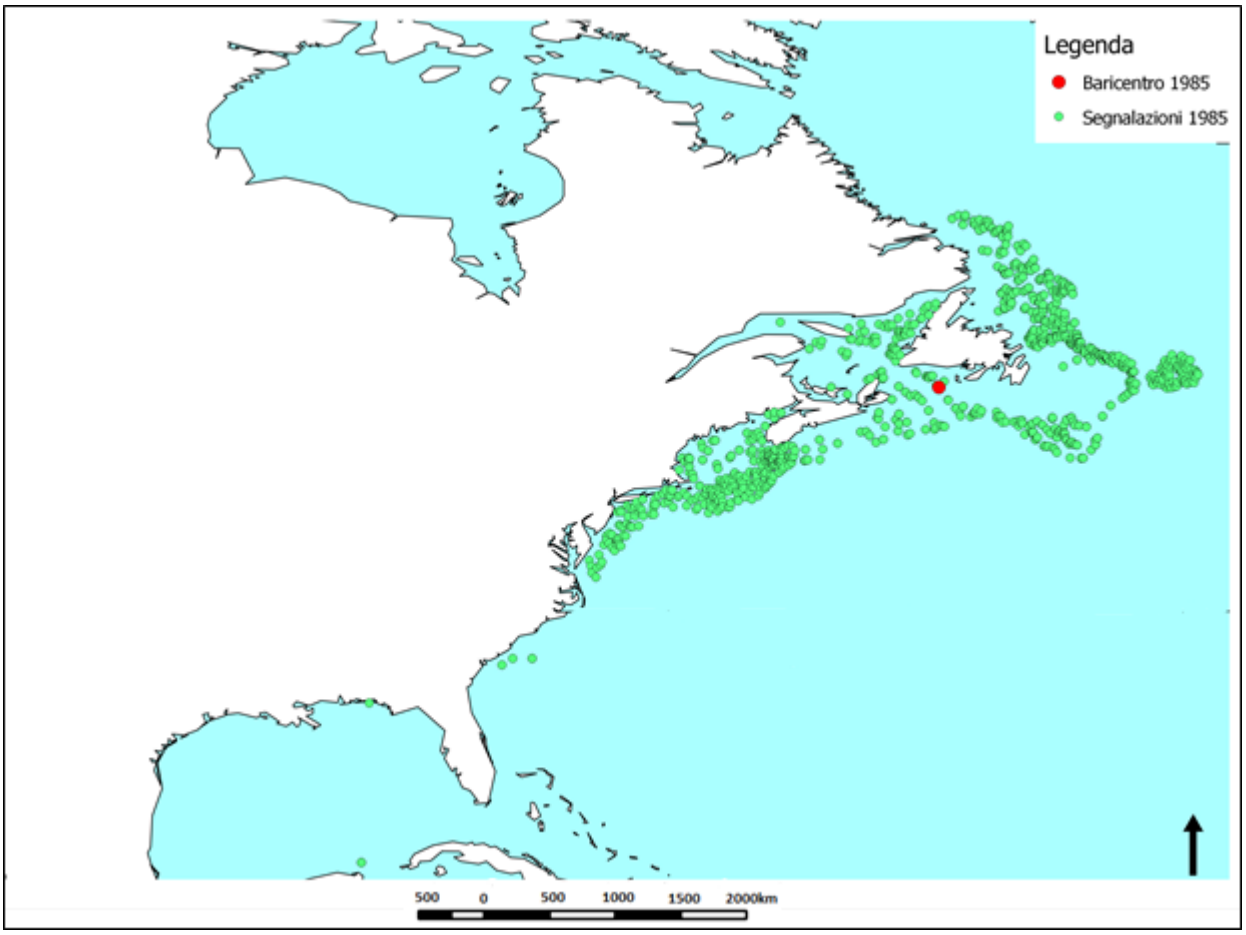


Figura 3.13: Baricentro di distribuzione per la costa americana nell'anno 1985.

Non è sempre stato possibile avere come risultato un punto localizzato lungo la costa, considerata la conformazione geografica della costa europea spesso il baricentro in quest'area è caduto entro la terraferma (ne è riportato un esempio in fig. 3.14); per questo motivo, dovendo considerare gli spostamenti effettuati dalle specie lungo l'asse sud-nord, si è deciso di trascurare la componente X del baricentro, riferita alla longitudine, concentrandosi solamente sulla componente latitudinale.

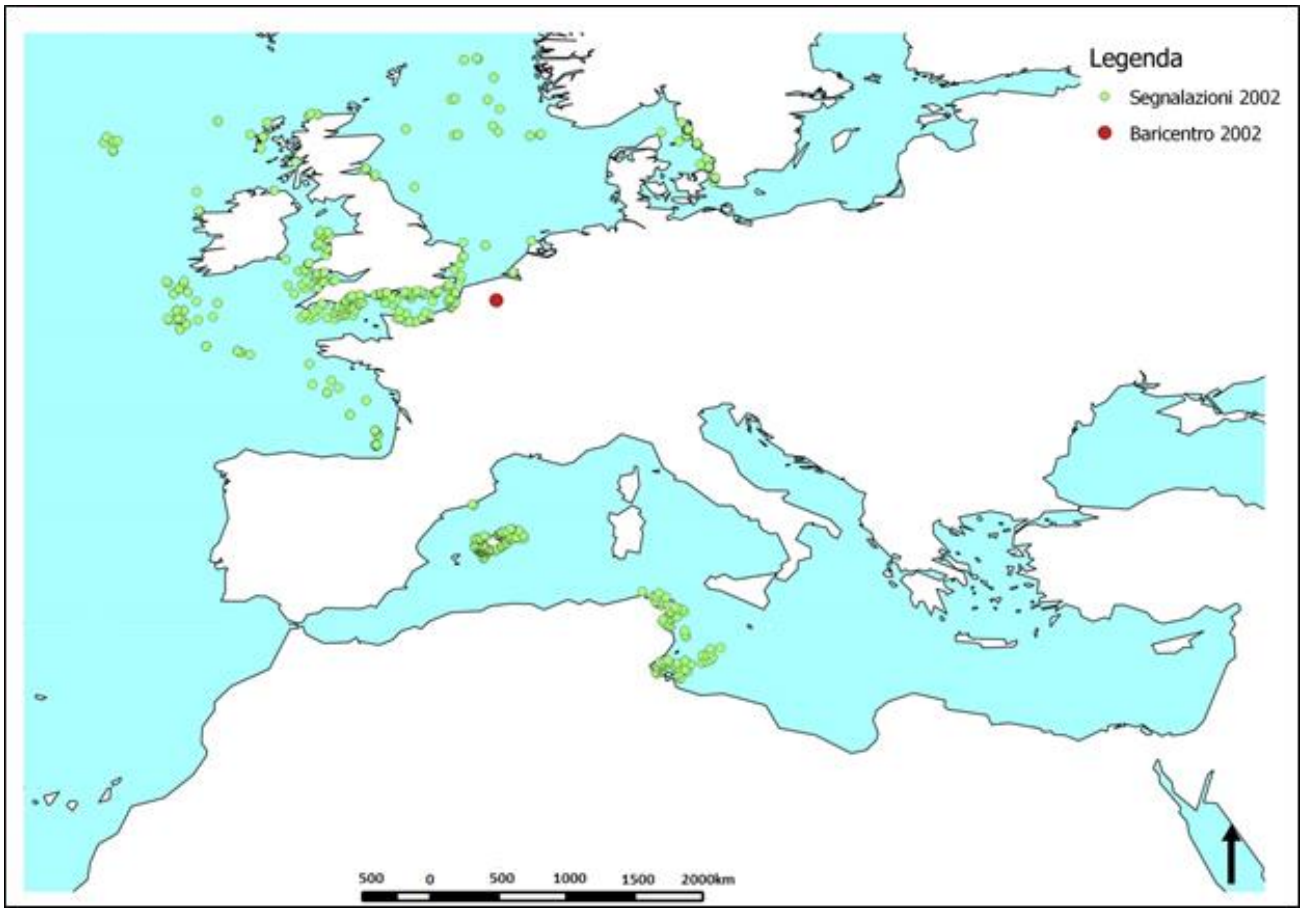


Figura 3.14: Baricentro di distribuzione per la costa europea nell'anno 2002.

In figura 3.15 si riporta il posizionamento del baricentro relativo alla distribuzione complessiva di tutte le specie dell'area, lungo la costa occidentale dell'oceano Atlantico.
Risulta evidente lo spostamento verso nord nel corso del tempo, poichè dal 1970 al 2011 il baricentro va a localizzarsi ad una latitudine molto più elevata.

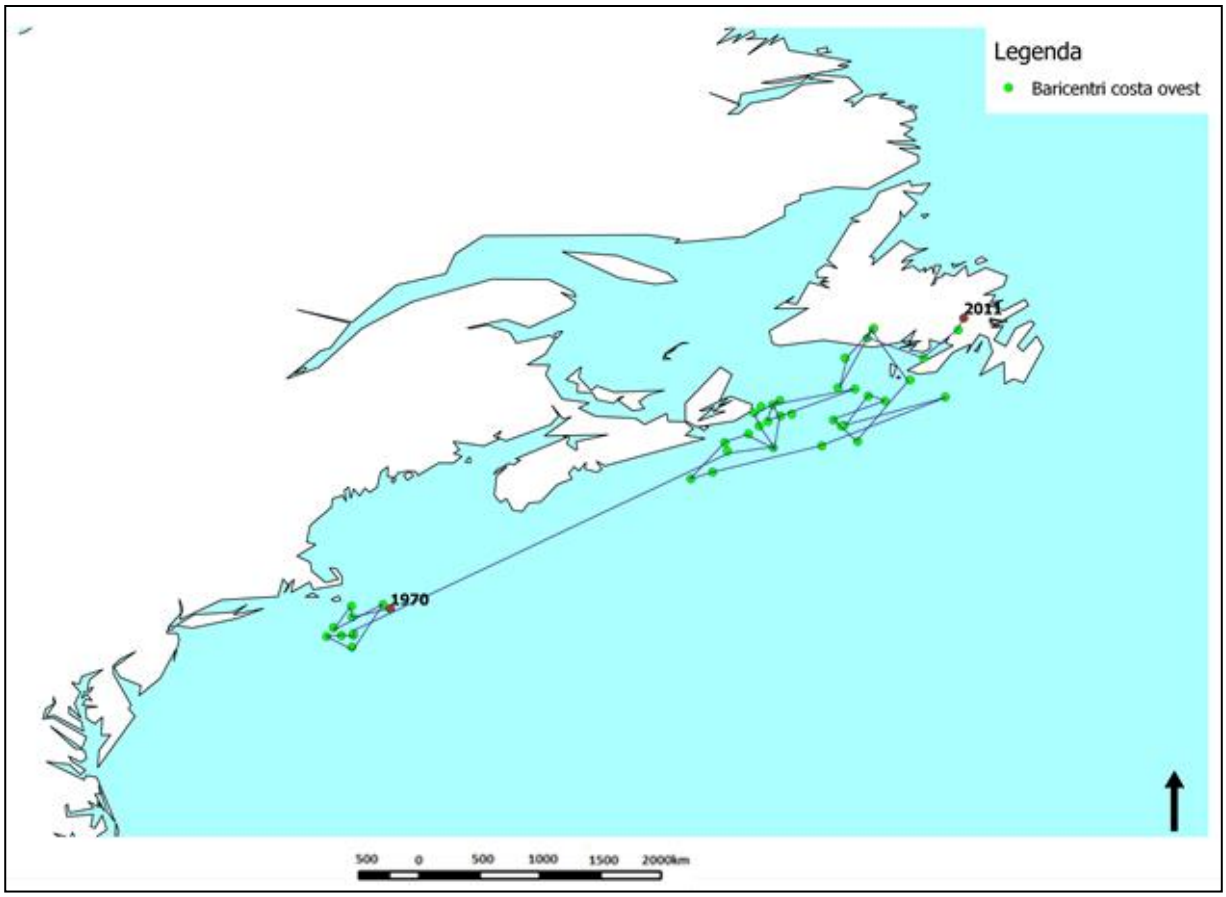


Figura 3.15: Baricentri di distribuzione lungo la costa americana.

Per quel che riguarda i baricentri di distribuzione lungo la costa europea (fig. 3.16) oltre a non essere marcato l'andamento, trovando picchi che si spostano sia latitudinalmente che longitudinalmente, è evidente come la conformazione geografica comporti che spesso il baricentro ricada nelle zone continentali. Si evidenzia dalla mappa come dal 1970 al 2011 la posizione del baricentro si sia comunque spostata più a nord.

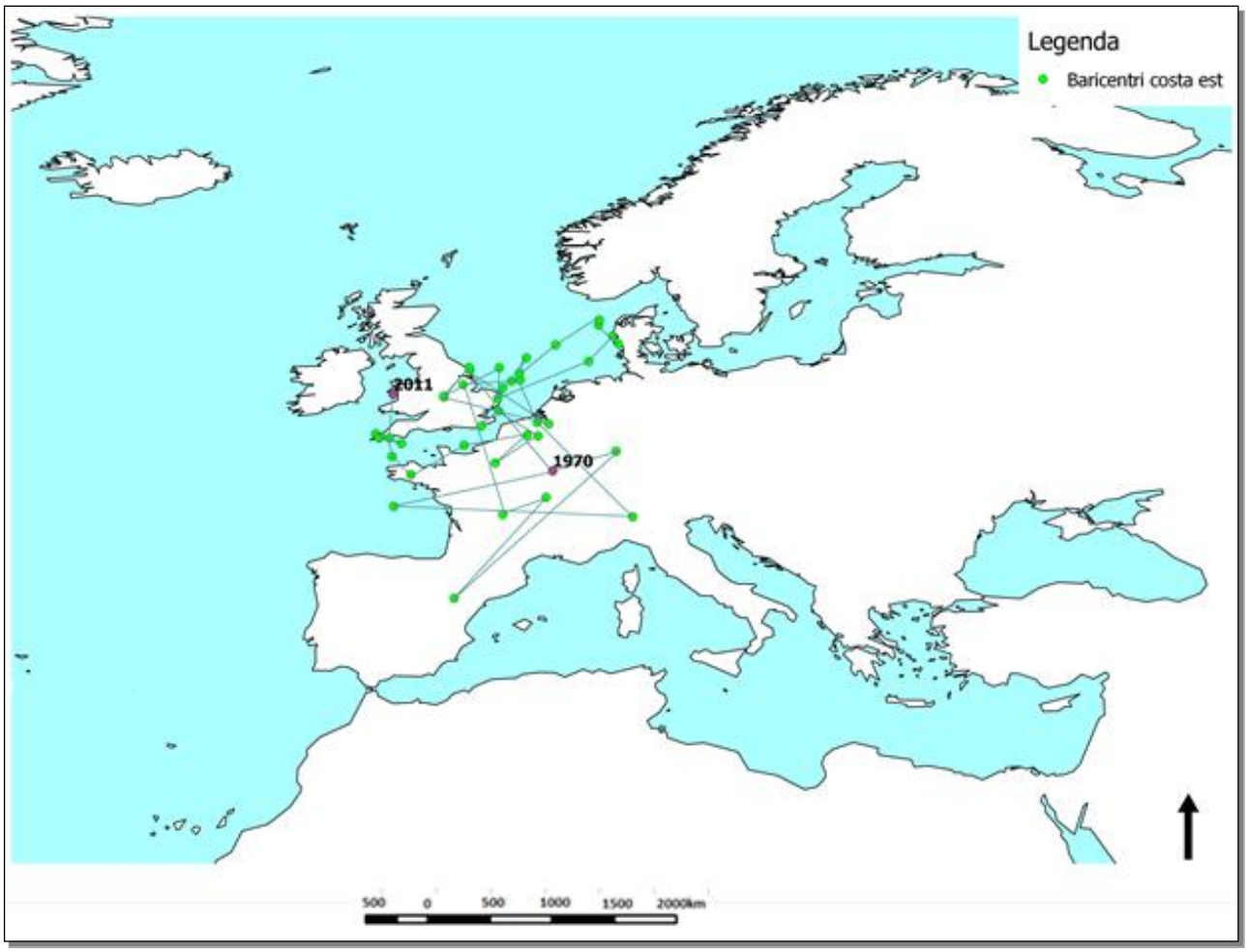


Figura 3.16: Baricentri di distribuzione lungo la costa europea.

In figura 3.17, si riporta l'intera serie temporale della latitudine del baricentro per la costa americana evidenziando la marcata tendenza all'aumento del valore di latitudine, anche se con fluttuazioni più o meno elevate.

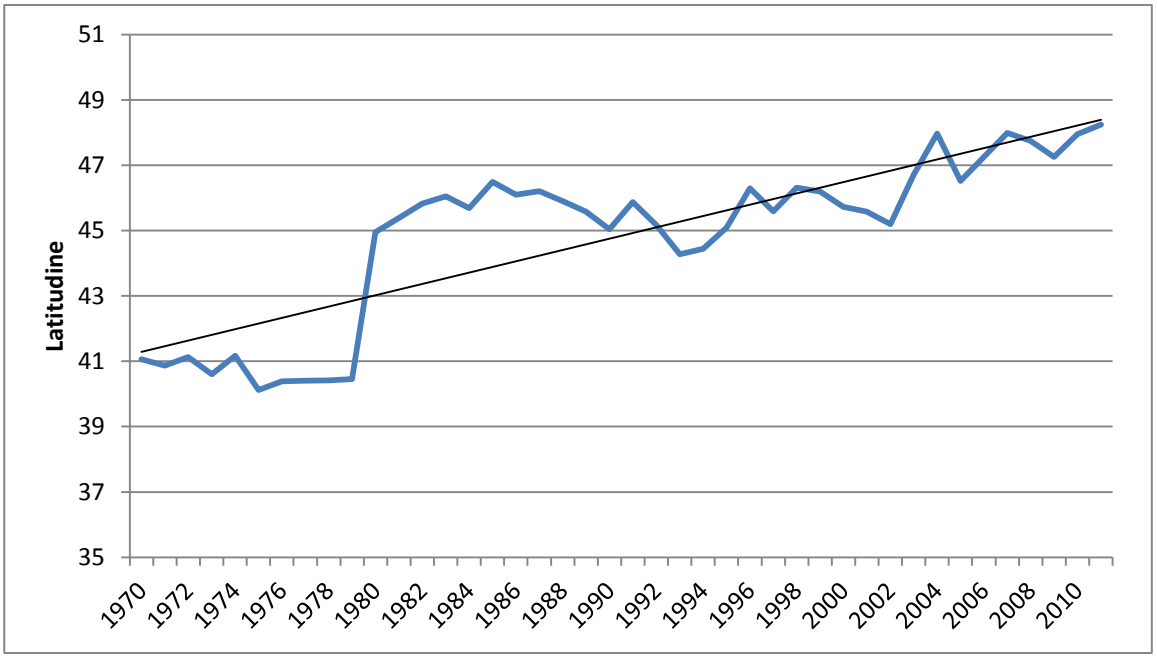


Figura 3.17: Evoluzione temporale della latitudine del baricentro lungo la costa ovest atlantica.

In figura 3.18 è riportata la serie temporale della latitudine del baricentro per la costa europea. Anche per la costa est, si evidenzia un andamento simile, pur con una tendenza meno marcata e fluttuazioni più evidenti (Fig. 3.18). Si evidenzia complessivamente una leggera crescita, ma l'andamento è caratterizzato da diversi picchi, localizzati tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90.

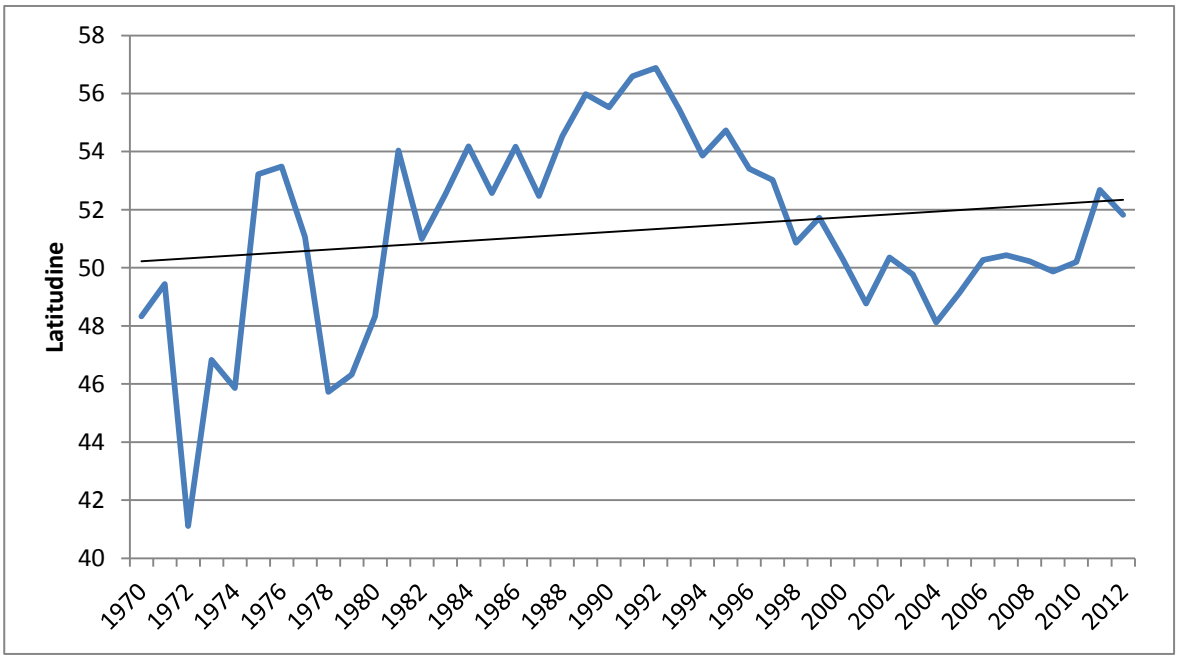


Figura 3.18: Evoluzione temporale della latitudine del baricentro lungo la costa est atlantica.

3.5 Temperatura superficiale

L'analisi degli andamenti della temperatura superficiale lungo le due coste dell'oceano Atlantico evidenzia alcune similitudini con le tendenze registrate per l'evoluzione del baricentro. Anche in questo caso, infatti, il trend di aumento lungo la costa ovest risulta più marcato di quello registrato lungo la costa est (Figg. 3.19 - 3.20). Bisogna comunque sottolineare la differenza dei valori medi tra le due coste.

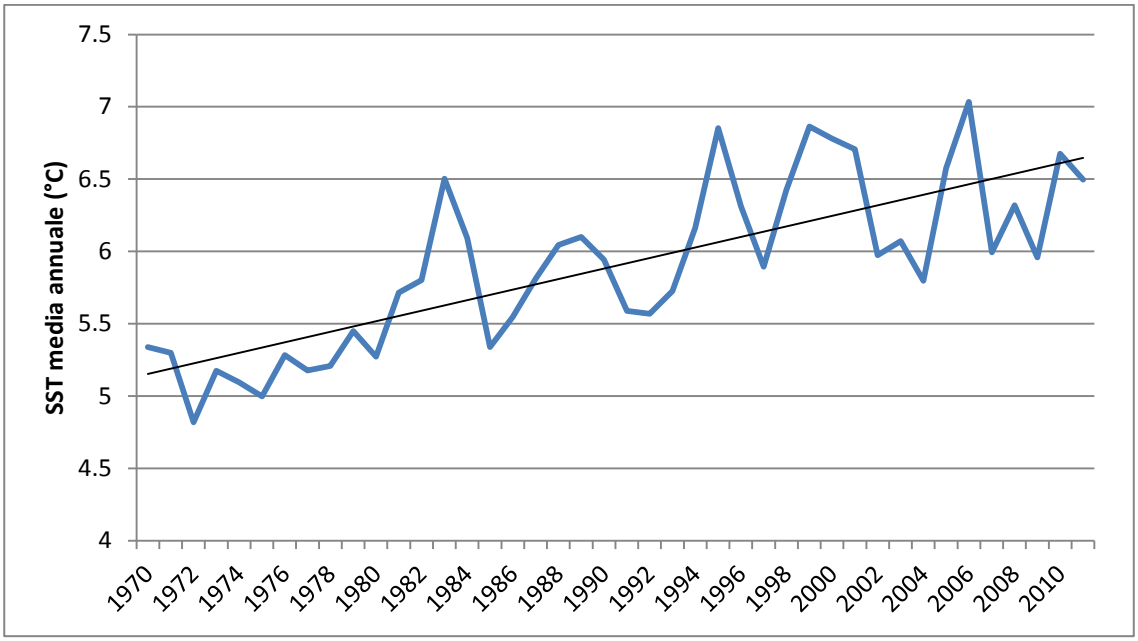


Figura 3.19: Andamento della SST media annuale per la costa ovest dell'Atlantico(LME: Labrador-Newfoundland e Scotian Shelf).

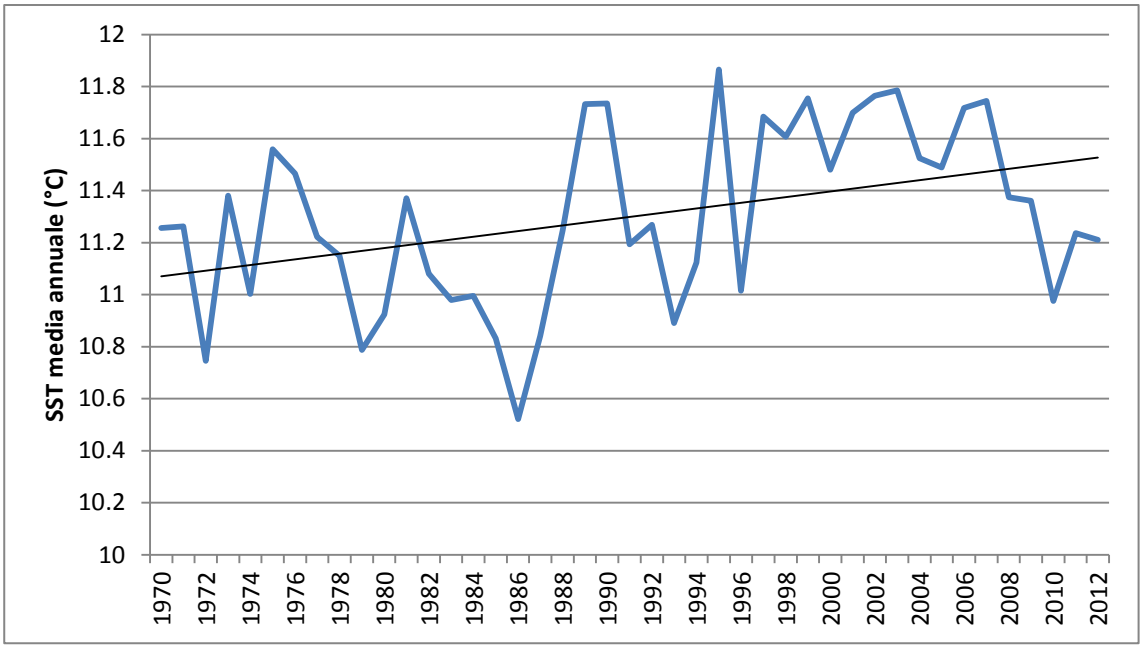


Figura 3.20: Andamento della SST media annuale per la costa est dell'Atlantico(LME: North Sea – Celtic-Biscay Shelf).

Per quanto riguarda il regime termico per le due coste, si può evidenziare come la situazione sia di una crescita marcata lungo la costa americana, dove la SST passa dai circa 5°C negli anni '70 ai 6.5°C attorno al 2010. É presente qualche fluttuazione ma essa non è molto marcata (fig. 3.19).
Lungo la costa europea la situazione ha un andamento meno definito: l'intervallo entro cui varia la temperatura è inferiore e le variazioni sono di minore entità; si passa dagli anni '70 in cui la SST è registrata attorno agli 11°C e raggiunge il picco minimo nel 1986, in cui si è registrata una SST di 10.6°C, al picco massimo di 11.8°C nel 1996 e dal 2008 si assiste ad una fase diminuzione di SST (fig. 3.20).

In ambiente R oltre a questi valori ne sono stati ricavati altri, derivati dalla SST, per comprendere aspetti relativi non solo ai semplici valori di temperatura ma anche alla rapidità delle variazioni di essi durante l'anno; questi parametri consistono nel valore massimo ed il minimo di temperatura raggiunta all'anno, il range tra questi due valori, la temperatura al punto di flesso, punto in cui cambia la concavità della curva annuale di SST, il coefficiente angolare e l'intercetta della retta tangente al punto di flesso, di cui si è già approfondito il significato nel capitolo precedente.
L'andamento di questi valori non sempre segue quello ottenuto per quelli di SST, nonostante essi siano strettamente legati, tra quelli analizzati quello caratterizzato da un trend più marcato e differente dalla SST è il valore massimo raggiunto dalla temperatura durante l'anno.

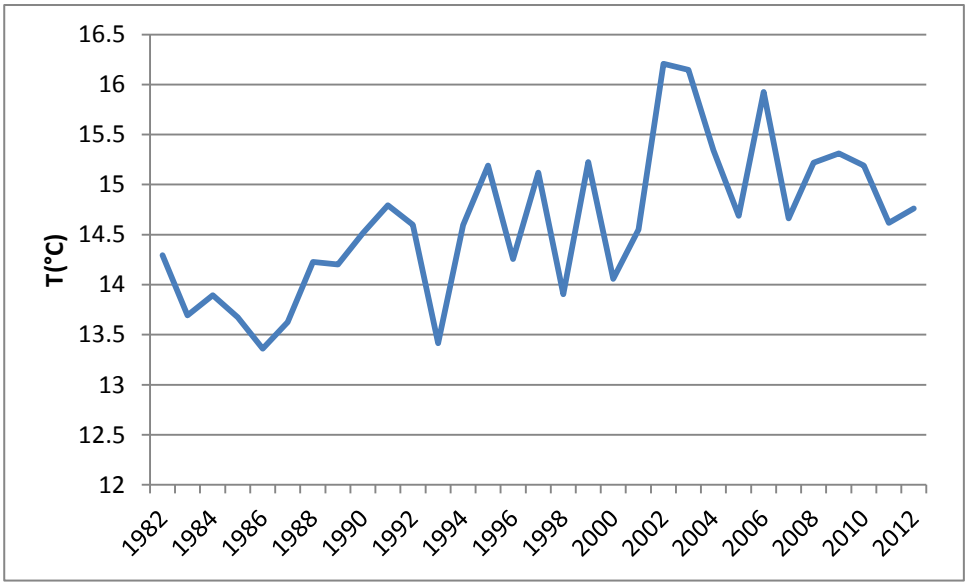


Figura 3.21: Esempio dell'andamento della temperatura massima annuale per il LME North Sea.

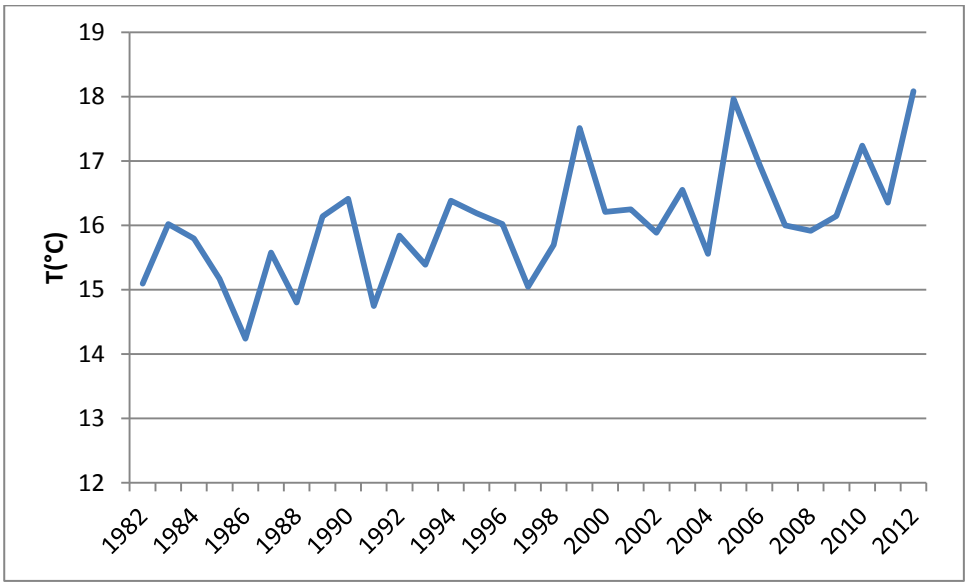


Figura 3.22: Esempio dell'andamento della temperatura massima annuale per il LME Scotian Shelf.

Sopra sono riportati due esempi per due diversi LME (fig.3.21 e 3.22), uno per la costa occidentale ed uno per la costa orientale dell'Atlantico ed, in entrambi i casi, l'andamento della spezzata è di tipo crescente.

Questo valore, per tutti i Large Marine Ecosystem oggetto di studio, segue un trend in crescita; in alcuni esso è più marcato in altri meno.

É possibile dire che le temperature massime raggiunte dalle acque a livello superficiale durante il periodo estivo stiano aumentando nel tempo per quel che concerne le coste atlantiche; per fare degli esempi relativi ai grafici ottenuti si passa dai 15°C ai 18°C sulla costa ovest in corrispondenza della Nova Scotia (fig.3.22), mentre nel Mare del Nord (fig.3.21) si passa da temperature massime di circa 14°C ad un picco di 16°C nel 2005, per poi stabilizzarsi attorno ai 15°C.

Si può affermare quindi che in generale la temperatura massima annuale del Nord Atlantico tenda ad essere in aumento, ma in particolare sulla costa americana il fenomeno è più marcato. Sulla costa est invece questo aumento, oltre ad essere meno marcato, è maggiormente soggetto ad oscillazioni negli anni, dopo aver raggiunto il valore più elevato nel 2002.

La situazione relativa alla temperatura al punto di flesso per le due macro aree della costa est ed ovest atlantica, si avvicina di più a quella già evidenzata sia per la latitudine del baricentro che per SST; infatti nelle figure si nota, come nei valori precedentemente citati, l'esistenza di una differenza tra la costa americana (fig. 3.21) e quella europea (fig. 3.22).

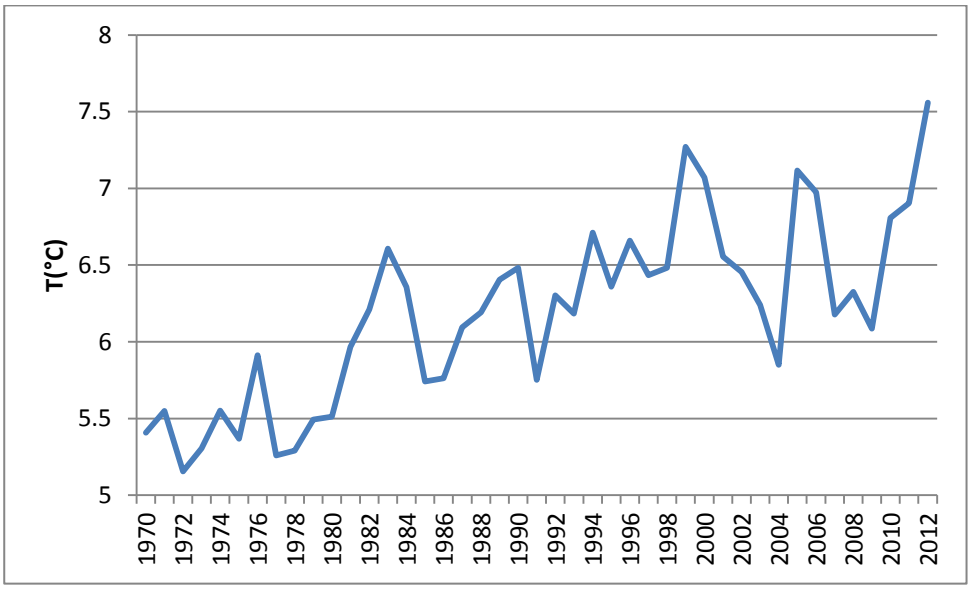


Figura 3.23: Andamento della temperatura al punto di flesso lungo la costa americana.

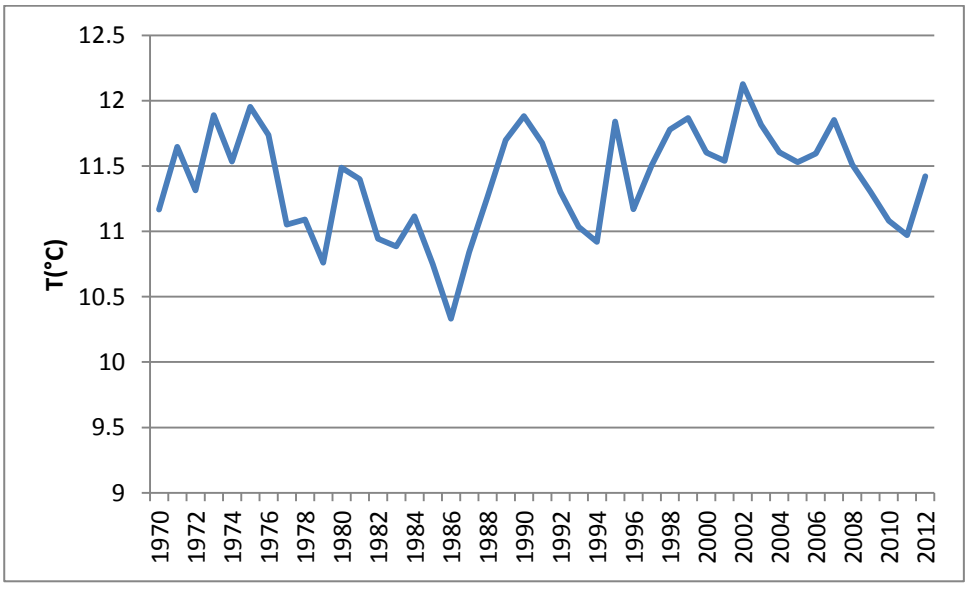


Figura 3.24: Andamento della temperatura al punto di flesso lungo la costa europea.

Nel primo grafico (fig. 3.23) si nota come il trend di crescita sia molto marcato, mentre nella seconda (fig. 3.24) l'andamento sia più oscillatorio, in crescita negli anni '70, per poi raggiungere dei picchi minimi, attorno al 1985, per poi riprendere a crescere fino al 2000 ed infine riprendere una fase meno oscillatoria fino al 2011.

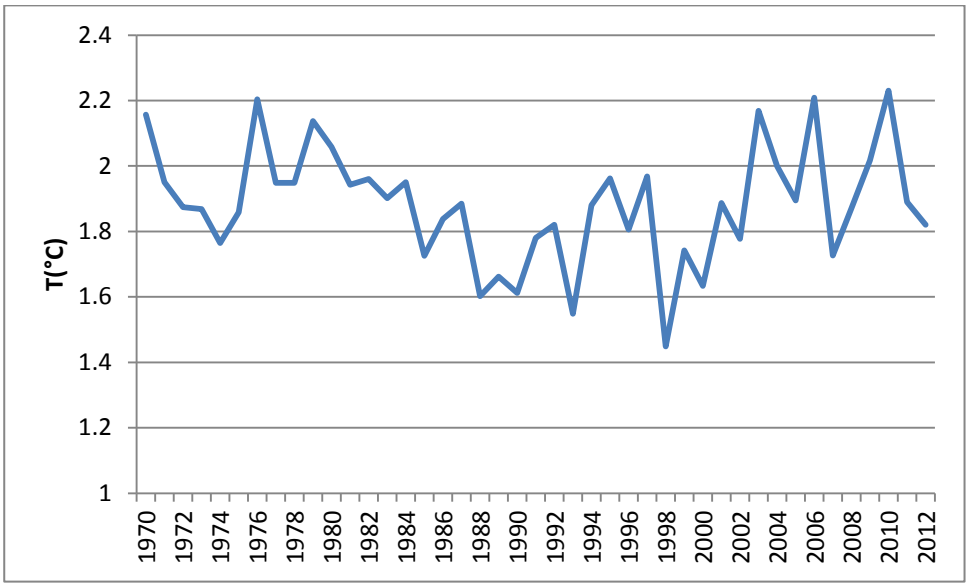


Figura 3.25: Andamento del valore della pendenza della retta tangente al punto di flesso per la costa europea.

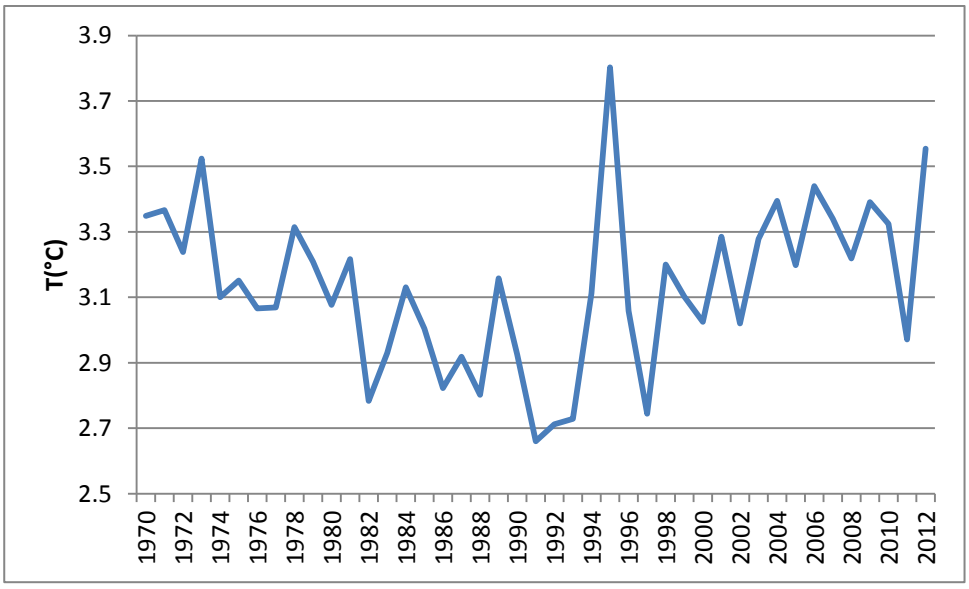


Figura 3.26: Andamento del valore della pendenza della retta tangente al punto di flesso per la costa americana.

L'andamento relativo alla pendenza della retta tangente al punto di flesso (m) è abbastanza differente lungo le due coste: non è possibile identificare una tendenza generale quanto piuttosto da entrambe le figure emerge come vi siano molti picchi (fig. 3.25 e 3.26). A differenza dei parametri commentati in precedenza in questo caso è la costa americana qualla che subisce le fluttuazioni maggiori.

3.6 Relazione tra areali di distribuzione e parametri climatici

Con lo scopo di indagare le possibili relazioni tra i valori di latitudine del baricentro di distribuzione ed i parametri climatici, si è utilizzato l'approccio del General Linear Model (GLM).
Si sono considerati i valori di SST, tutti i parametri relativi alla curva annuale di temperatura e l'indice NAO.

Prima dell'analisi vera e propria è stata testata l'eventuale presenza di collinearità tra le diverse variabili esplicative (drivers) per escludere quelle che manifestano tra di loro una dipendenza lineare.
Di fatti se una variabile esplicativa è linearmente correlata ad altre (caso di collinearità perfetta) significa che le informazioni contenute in essa sono già presenti nelle altre variabili e quindi risulterebbe ridondante inserirla nell'analisi. Ad esempio, le variabili di flesso e massimo gradi (rispettivamente fl e max in figura 3.27) sono correlate tra di loro con un valore di R^2 pari a 0.9. Tale risultato suggerisce che è del tutto indifferente, dal punto di vista matematico, usare una o l'altra variabile dato che contengono la stessa informazione.

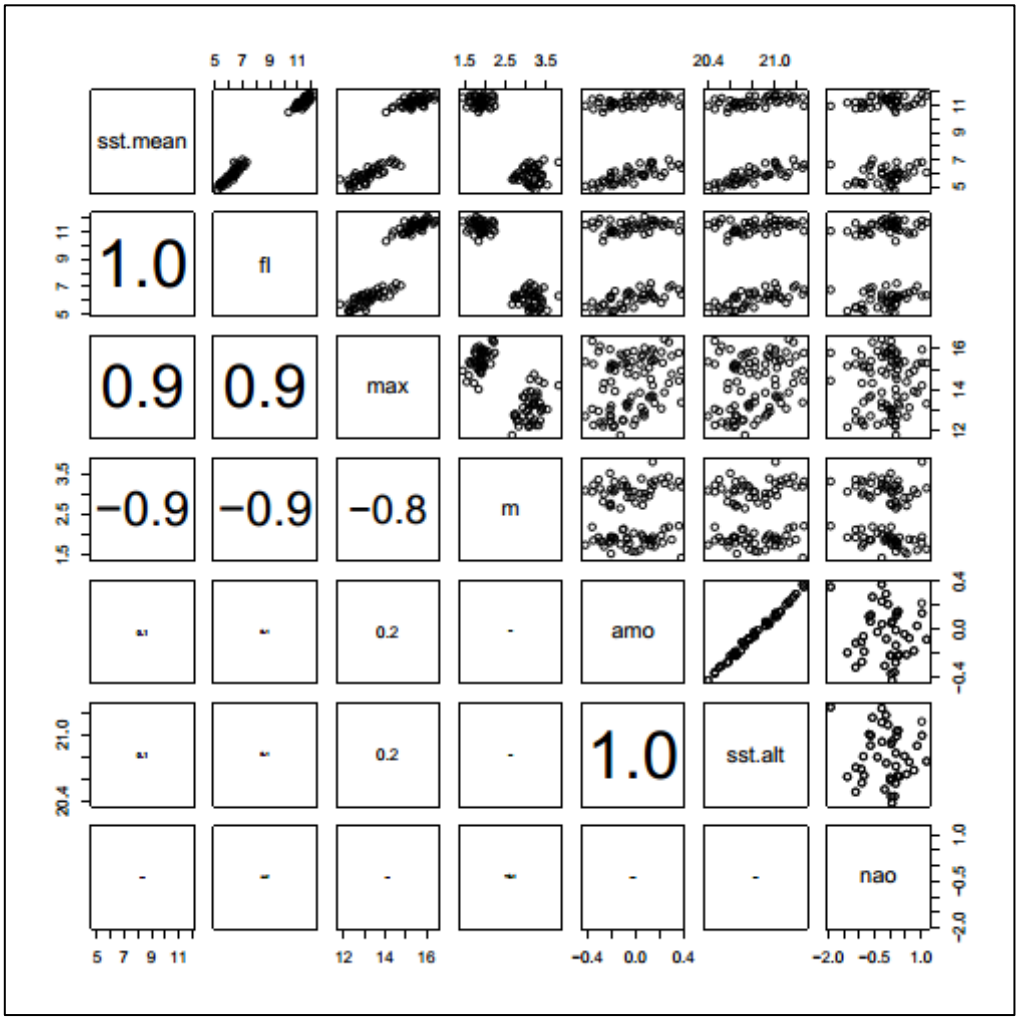


Figura 3.27: Tabella di sintesi della collinearità tra i parametri di temperatura e la latitudine del baricentro.

Alla luce di ciò e dopo alcune prove, le variabili esplicative scelte sono: 'amo', 'fl' e 'nao'. Tra di loro infatti la collinearità è del tutto trascurabile.

I tre modelli sono i seguenti (eq. 1-2-3):

$$LatBaricentro_{ij} = \alpha + f(AMO_i)*factor(costa_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad \text{(eq.1)}$$

$$LatBaricentro_{ij} = \alpha + f(fl_i)*factor(costa_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad \text{(eq.2)}$$

$$LatBaricentro_{ij} = \alpha + f(NAO_i) + \varepsilon_{ij} \quad \text{(eq.3)}$$

Il primo modello (eq. 1) lineare generalizzato è stato costruito per relazionare la latitudine del baricentro, variabile dipendente, alla variabile indipendente indice AMO. Le due coste atlantiche sono state trattate in maniera indipendente (il fattore 'costa' ha proprio la funzione di 'dividere' i risultati per le due aree in esame). In tabella 3.2 gli output numerici del modello.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	51.28279	0.41764	122.7910	< 2e-16***
AMO	-0.06187	2.01222	-0.031	0.97555
as.factor(costa)W	-6.09564	0.59584	-10.230	3e-16***
AMO:as.factor(costaW)	8.65126	2.87342	3.011	0.00347**

--

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

Tab. 3.2: Parametri di significatività della correlazione tra latitudine del baricentro ed indice AMO.

Risulta esserci una relazione tra variabile esplicativa (indice AMO) e la variabile risposta (baricentro) in relazione al fattore 'costa'. Tale rapporto è proporzionale, dato che ai valori più alti di AMO corrispondono anche i valori più alti della latitudine del baricentro (fig. 3.28).
Il segnale relativo alla costa americana (indicato in figura come costa W) è quello più forte, dove la relazione è maggiormente evidente. Il segnale relativo alla costa europea (indicato con costa E) è più debole e la relazione è meno decisa ma comunque presente.

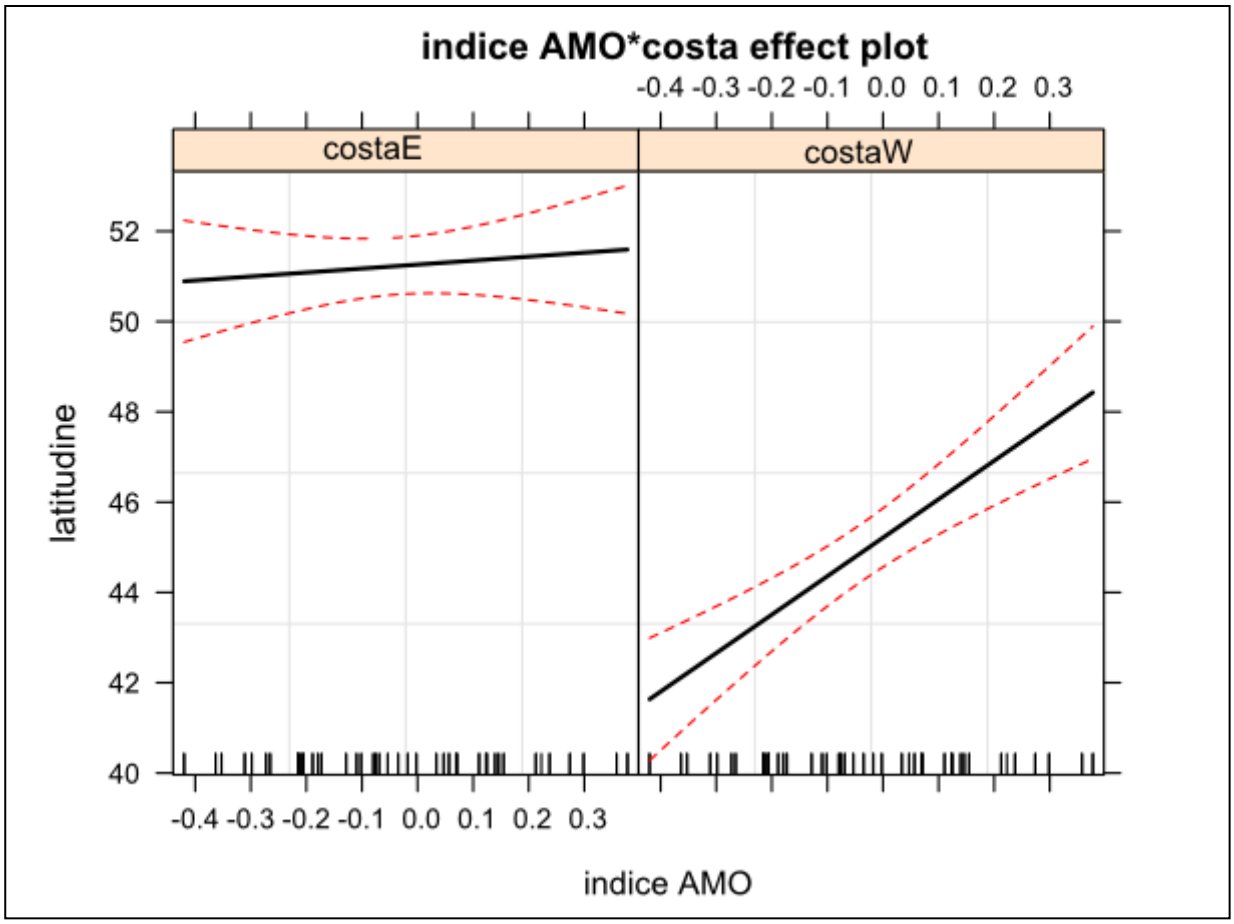


Figura 3.28: Relazione tra l'indice AMO e i valori di latitudine per le due coste atlantiche.

Il secondo modello (eq. 2) mette in relazione la variabile dipendente, baricentro, con la variabile indipendente flesso, indicata da 'fl', anche in questo caso le due coste sono state trattate in maniera distinta; in tabella 3.3 è riassunto il risultato dell'applicazione del modello GLM.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	55.3474	11.8938	4.653	1.26e-05***
fl	-0.3567	1.0436	-0.342	0.73341
as.factor(costa)W	-30.1667	12.7610	-2.364	0.02047*
fl:as.factor(costa)W	3.5524	1.2844	2.766	0.00703**

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

Tab. 3.3: Parametri di significatività della correlazione tra latitudine del baricentro e temperatura del punto di flesso.

Risulta esserci una relazione tra variabile esplicativa (flesso) e la variabile risposta (baricentro) con il fattore 'costa' rilevante. Esiste in questo caso un rapporto differenziale per le due coste, a valori più alti di temperatura del punto di flesso corrispondono anche i valori più alti della latitudine del baricentro, per quanto riguarda la costa americana. Il segnala relativo alla costa europea invece

segue un andamento debolmente decrescente per cui a valori più alti di flesso corrispondono valori più bassi di latitudine del baricentro (fig.3.29).

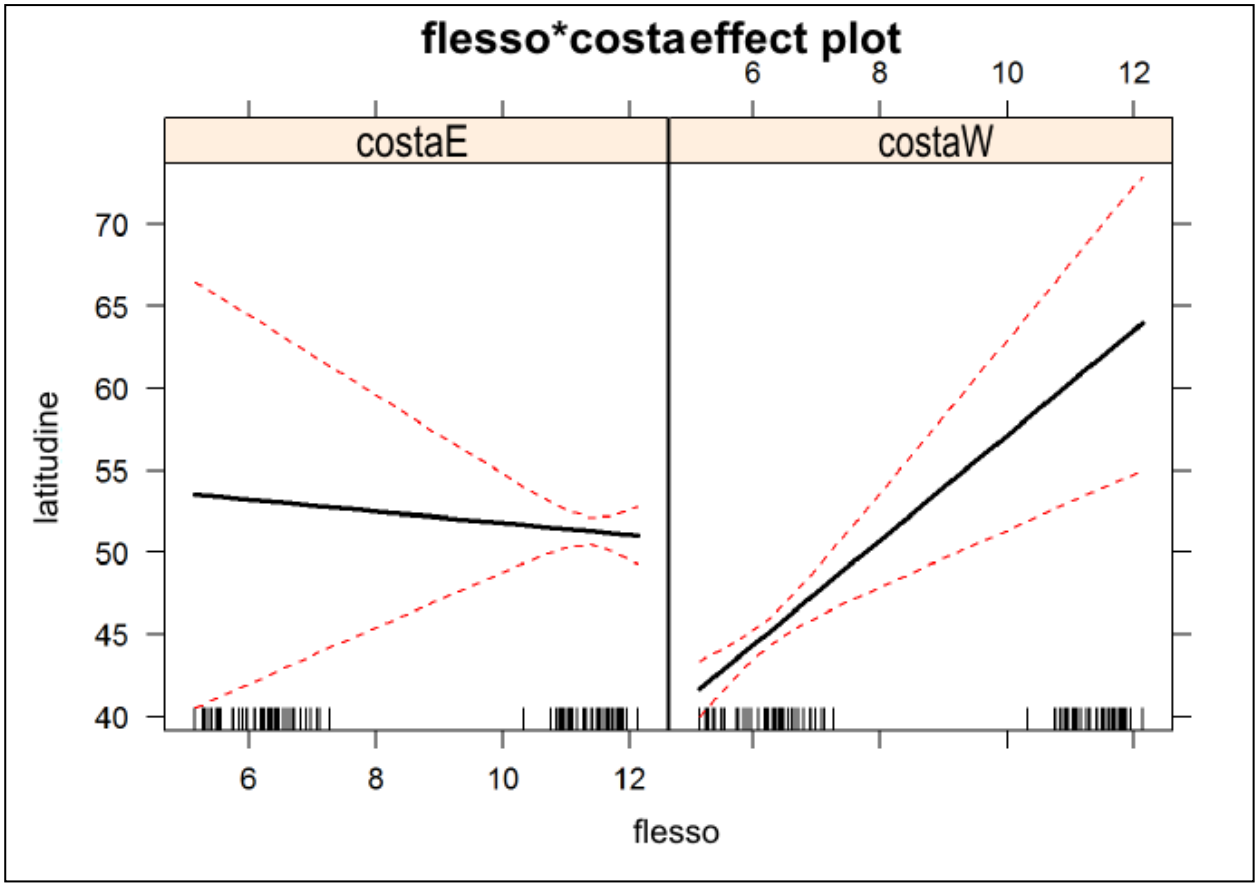


Figura 3.29: Relazione tra la temperatura del punto di flesso e i valori di latitudine per le due coste atlantiche.

Infine il terzo modello (eq. 3) mette in relazione la variabile dipendente con l'indice NAO invernale, variabile indipendente. In questo caso le due coste non sono state trattate in maniera distinta, ma è stata considerata la sola costa europea poichè questo indice è tradizionalmente applicato a quest'ultima.
La tabella 3.3 riassume il risultato dell'applicazione del GLM.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	48.2703	0.4747	101.676	<2e-16***
NAO	1.3655	0.7115	1.919	0.0484*

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

Tab. 3.3: Parametri di significatività della correlazione tra latitudine del baricentro e valore dell'indice NAO.

Questo è l'unico modello che prende in esame un indice non riferibile alla temperatura, essendo infatti legato ai valori di pressione ed alle fluttuazioni meteo climatiche. Anche in questo caso esiste una relazione proporzionale, per cui a valori più elevati dell'indice NAO, corrispondono valori più elevati della latitudine del baricentro (fig. 3.30).

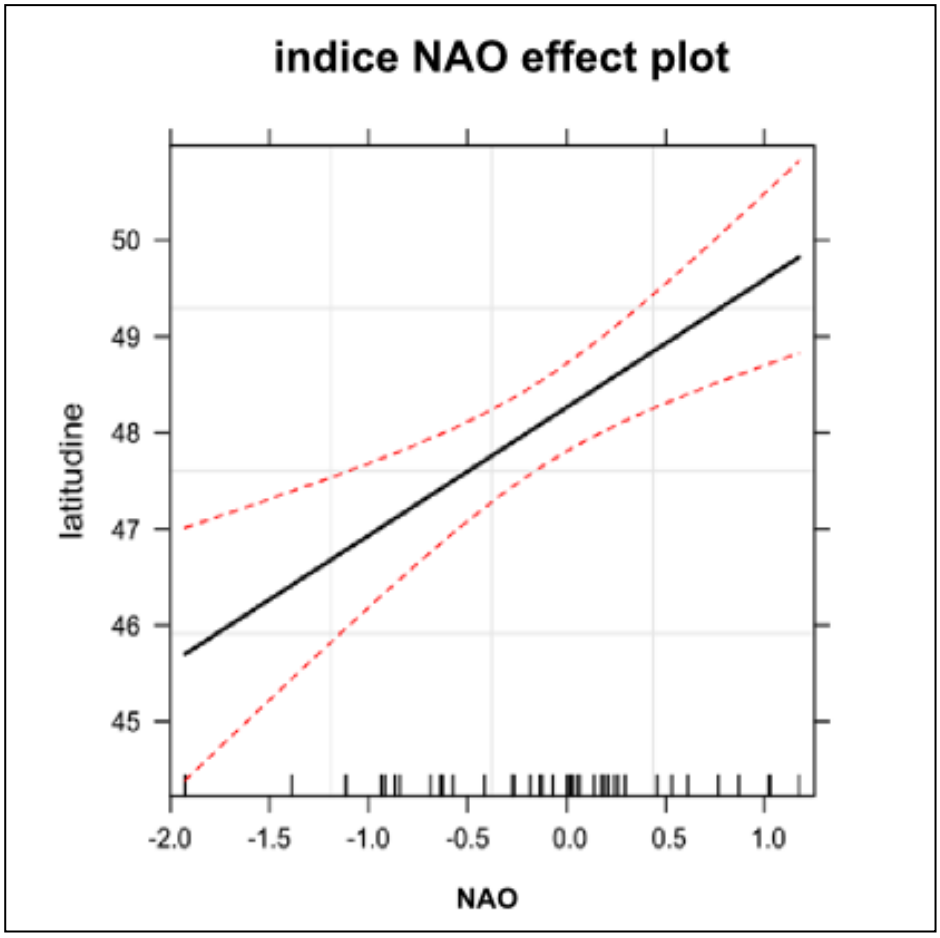


Figura 3.30: Relazione tra l'indice NAO e i valori di latitudinedel baricentro.

4. Discussione

Il presente lavoro di tesi ha avuto come scopo quello di indagare la distribuzione complessiva di alcune specie demersali marine, concentrandosi sulla presenza di spostamenti secondo direzioni preferenziali, ed analizzando l'eventuale esistenza di relazioni con alcuni parametri climatici.
I cambiamenti climatici, infatti, rappresentano uno dei principali driver di variazione degli areali distributivi delle specie in ambiente marino.
Come evidenziato da Cheung (2013), le acque oceaniche stanno subendo un aumento di temperatura, e la variazione delle condizioni chimico-fisiche provoca degli effetti sulla vita degli organismi marini.

In questo lavoro si è voluto provare ad effettuare una sorta di 'generalizzazione' dell'analisi, da un lato utilizzando ampie scale spaziali, soprattutto in termini di estensione latitudinale, dall'altro considerando un gruppo di specie demersali, cercando così di mediare le diverse caratteristiche bio-ecologiche (cicli di vita, esigenze trofiche, ecc). Inoltre, ci si è focalizzati sul gruppo dei pesci, in quanto considerati come capaci di mostrare veloci adattamenti distributivi in relazione alla variazioni delle condizioni ambientali.
É risultato difficile evidenziare un segnale che fosse relativo a tutte le segnalazioni.
In ambiente GIS si è in un primo momento partiti dal considerare l'intero areale e la totalità dei records, ma in questo modo non viene evidenziato un trend comune a tutta l'area costiera, variando la situazione di anno in anno e fornendo spesso un'informazione poco precisa a causa dell'elevato numero di segnalazioni e delle differenze tra diverse zone che si sviluppano andando a considerare un'estensione latitudinale così elevata. Si è deciso anche di considerare ogni specie singolarmente ma considerata la numerosità non è stato possibile avere un segnale univoco: per alcune specie infatti è verosimile individuare un grande spostamento verso latitudini maggiori mentre per altre, caratterizzate da un areale più limitato, è stato individuato uno spostamento di dimensioni ridotte. Alcune specie analizzate hanno modificato il loro confine meridionale ritrovandosi schiacciate in aree sempre più ristrette, non potendo allargarsi verso nord.
Dall'analisi è emerso comunque che, in entrambe le coste dell'Oceano Atlantico, è in effetti in corso uno spostamento dell'areale distributivo di specie demersali, anche se con pattern diversi.
La costa ovest mostra infatti tendenze molto più marcate, mentre gli andamenti registrati lungo la costa est evidenziano maggiori fluttuazioni, con anche periodi di contro-migrazione verso sud.

Si è ritenuto di dover individuare un indicatore che raccogliesse l'informazione data da tutti i records ed è stato individuato nel baricentro di distribuzione. Osservando che le due componenti, latitudine e longitudine, si comportavano in maniera diversa e considerando che tra gli scopi del lavoro di tesi vi è quello di studiare gli spostamenti soprattutto verso zone situate più a nord, ci si è concentrati sulla componente latitudinale.

La serie storica ricostruita per la latitudine del baricentro di distribuzione evidenzia delle diversità tra le due coste atlantiche; lungo la costa americana il segnale è più marcato, l'aumento del valore

latitudinale del baricentro è deciso e, nonostante qualche fluttuazione, queste sono di piccola entità. Sulla costa europea invece l'andamento è molto meno definito: tra il 1970 e il 2011 si è verificato un aumento nel valore della latitudine ma durante l'intervallo temporale si sono verificate oscillazioni importanti; il valore più elevato viene raggiunto verso la fine degli anni' 80.

Avendo così verificato la presenza di uno spostamento nel valore latitudinale del baricentro non si è voluto solamente indagarne l'entità ma anche cercare di spiegarne i motivi, analizzando nel dettaglio le relazioni con alcuni parametri climatici, così da inquadrare l'esistenza di relazioni tra l'evoluzione degli aspetti ecologici e dei parametri fisici, in particolare nel contesto dei recenti cambiamenti climatici.

Si è partiti dalla temperatura superficiale delle acque oceaniche; individuando anche in questo caso delle sostanziali differenze tra le due coste atlantiche, la costa americana presenta un aumento delle temperature più marcato, in accordo anche con Mesias et al., 2007, mentre si osservano molte fluttuazioni, senza un trend ben identificabile, lungo la costa europea.
Una delle possibili spiegazioni potrebbe essere legata alle variazioni osservate nell'andamento della Corrente del Golfo e delle periodiche intrusioni della corrente fredda del Labrador. Infatti il differente percorso della Corrente del Golfo che si sta instaurando negli anni più recenti ha causato un sostanziale raffreddamento delle acque superficiali a ridosso del nord Europa, in diretta connessione con le correnti artiche (Smeed et al., 2014).
Un altro motivo di una tale differenza può essere ricercato probabilmente nella conformazione geografica delle due coste; la costa americana non presenta particolari ostacoli allo spostamento delle specie marine e le correnti, elementi strettamente legati alla temperatura delle acque, seguono l'intera costa in maniera uniforme da sud a nord: si può così pensare che i cambiamenti di SST vadano ad influenzare progressivamente l'intera area.
La situazione sulla costa europea è più complessa, ad esempio le correnti che si formano nel Mare del Nord, una delle zone in cui sono presenti più segnalazioni, seguono un andamento invertito: sono infatti le acque fredde della corrente Nord-Atlantica a scendere dalla Scozia, abbassando la temperatura lungo tutta la costa britannica mentre sulla costa scandinava risalgono acque calde; in una simile situazione non è possibile affermare che una specie che si sposti a nord si stia necessariamente spostando verso acque più fredde.
Considerando ciò sarebbe necessaria un'analisi più dettagliata delle regioni costiere del nord Europa per poter giustificare l'andamento non proprio lineare evidenziato per le specie della costa nord-orientale dell'Oceano Atlantico.
In Perry et al. (2005), si è studiato in particolare il Mare del Nord, tenendo conto delle peculiarità delle correnti che lo attraversano e dell'afflusso di acque fredde dal Mar Baltico; dallo studio sono risultate situazioni peculiari, il trend di 'risalita' delle specie è probabilmente dovuto di fatti al numero più ristretto di specie, scelte ad hoc, e all'estensione minore dell'area considerata rispetto al presente lavoro. Si è confermata comunque, nella stessa misura di questa tesi, una certa tendenza dei pesci a spostarsi a nord, preferendo aree in cui le acque presentino temperature inferiori. Un numero limitato di specie si sposta a sud, sembrando apparentemente in controtendenza rispetto alle affermazioni fin qui fatte, ma si è spiegato che esse seguano delle

correnti di acque fredde probabilmente in arrivo dal Mar Baltico, confermando la maggiore complessità della costa europea rispetto a quella statunitense (Perry et al., 2005).
Altre specie che popolano il Mare del Nord, come ad esempio *Leucoraja erinacea*, pur mantenendo il loro limite settentrionale, tendono a comprimere il loro areale in direzione settentrionale, di fatto riducendone l'estensione (Perry et al., 2005). Tutto ciò potrebbe comportare, in futuro, anche scenari di estinzione di alcune specie come ad esempio *Sebates viviparus* (Perry et al., 2005).
Un'ulteriore considerazione in riferimento alle differenze nella ricostruzione dei valori di SST, può essere ricondotta alla diversa temperatura di base registrata nelle due zone, abbiamo infatti delle temperature generalmente inferiori lungo la costa americana, che registrano valori di 5°-6°C, mentre la zona europea registra valori in media di 11°-12°C. Stiamo analizzando dunque aree dalle caratteristiche climatico-ambientali differenti che per questo motivo possono andare in contro a modificazioni molto dissimili nel tempo.
Oltre alla temperatura si sono calcolati ulteriori parametri, il punto di flesso risulta essere significativo in quanto è indicatore della temperatura nel momento del passaggio tra la stagione fredda e calda. Se si evidenzia una crescita di questo valore esso può essere interpretato sia come un inverno particolarmente mite che può essere indicatore di un'estate particolarmente calda. In entrambi i casi un aumento di temperatura al punto di flesso implica delle alterazioni del sistema climatico che possono influenzare negativamente la vita marina. Le fluttuazioni e la variabilità di questo punto è molto evidente ma anche in questo caso si può evidenziare che venga mantenuta la differenza tra l'andamento rilevato per la costa occidentale fortemente ascendente e quello relativo alla costa europea caratterizzato da forti oscillazioni.

Andando a studiare la relazione tra la latitudine del baricentro di distribuzione e i parametri relativi alla temperatura si sono ottenuti risultati diversi.
I valori dell'indice AMO risultano essere direttamente proporzionali alla latitudine del baricentro evidenziando una relazione positiva tra l'aumento delle temperatura superficiale delle acque e lo spostamento latitudinale del baricentro di distribuzione. Anche in questo caso la relazione è più marcata lungo la costa atlantica americana e risulta invece più debole lungo la costa europea, ciò conferma ed è in linea con la tendenza già evidenziata nelle altre analisi. É possibile dunque notare come esista una relazione per cui ad un maggiore valore dell'indice AMO, cioè ad una maggiore SST media dell'Atlantico settentrionale, le specie di pesci tendano a concentrarsi verso latitudini più elevate, probabilmente ricercando acque dalle temperature inferiori. Questo comportamento può essere interpretabile come un possibile adattamento da parte degli organismi marini ai cambiamenti climatici, che stanno alterando globalmente la SST.
Oltre a questo si è andata a studiare la relazione tra la temperatura al punto di flesso (fl) e la latitudine del baricentro; è risultata una situazione diversa rispetto a quella evidenziata per i parametri precedentemente descritti, infatti si mantiene una relazione di proporzionalità diretta per la costa occidentale mentre abbiamo, seppur debolmente, una relazione inversa per la costa orientale. Questo comportamento potrebbe essere in parte spiegato dalle differenti conformazioni dei due bacini più volte descritte e, soprattutto, alla diversa distribuzione delle acque superficiali. Di fatti è probabile che le alterazioni stagionali legate ai cicli annuali e decadali

di scioglimento e ricongelamento dei ghiacci del mar Artico possano avere dirette conseguenze sulla distribuzione di specie marine e che non sempre uno spostamento verso sud sia identificabile come uno spostamento verso acque meno fredde (Wyllie-Echeverria & Wooster, 1998). La temperatura al punto di flesso può quindi essere un indicatore dei cambiamenti che avvengono a livello annuale e a scale temporali ancora maggiori in aree in cui correnti marine, ghiacci e venti giocano un ruolo determinate sulla temperatura superficiale del mare.
Infine si è voluta investigare la relazione con l'indice NAO con i valori di latitudine del baricentro, questo indice non è legato ai valori di temperatura, quanto invece ai valori di differenza di pressione a livello del mare per l'intera area del nord Atlantico. Poiché è un indice meteo-climatico relazionato all'atmosfera non ci si aspetta un effetto diretto sulle specie ittiche. D'altra parte esso è comunque relazionato ai cicli di piovosità/siccità sulle coste e aree marine costiere europee e nord americane. Tali variazioni è stato dimostrato più volte come possano avere dirette conseguenze per le componenti viventi più sensibili alle variazioni meteo-climatiche veloci come plankton, piccoli pelagici e salmonidi (Gerten & Adrian, 2000, Attrill & Power, 2002, Beaugrand & Reid, 2003).
Il risultato ottenuto è di una relazione proporzionale per cui ai valori più elevato dell'indice NAO, corrisponde una maggiore latitudine del baricentro di distribuzione delle specie marine. Anche questo spostamento può essere interpretato dunque nel contesto dei cambiamenti climatici come una possibile risposta da parte delle prede delle specie ittiche e conseguentemente di quest'ultime.

Il database è stato 'pensato' con l'esigenza che fosse il più eterogeneo possibile, per limitare problemi dovuti all'analisi di sole specie migratorie (ad esempio anadromi o catadromi) o a specie che vivono poco e che quindi non hanno il tempo necessario ad adattarsi e/o spostarsi. L'eterogeneità aumenta il pool di record e può darci un'informazione 'di massima'.
Vi sono infatti nel database specie che presentano cicli vitali più brevi ma anche specie molto longeve, come ad esempio *Megalops atlanticus* e *Dipturus batis;* le variazioni di temperatura possono influenzare in egual modo pesci dal ciclo vitale breve o lungo, le quali, trovandosi in un ambiente non più adatto, si spostano alla ricerca del proprio habitat ideale spostandosi verso acque più fredde.

Dal punto di vista climatico le specie studiate presentano sia affinità termica temperata che subtropicale, con una maggiore presenza di specie ad affinità subtropicale; in entrambi i casi si fa riferimento a pesci i cui areali sono localizzati alle latitudini medie, potendo affermare quindi che gli spostamenti investono principalmente specie che occupano le aree più ricche di biodiversità ma che subiscono allo stesso tempo un maggior impatto umano.

La migrazione verso latitudini elevate potrebbe provocare degli squilibri a livello ecologico, e provocare danni agli 'hot spots' di biodiversità ed un cambiamento nella ripartizione delle specie.
Un altro aspetto può essere legato all'invasione di specie termofile in ambienti un tempo caratterizzati dalla presenza di specie a affinità boreale o addirittura fredda. Le specie costituenti il database risultano avere affinità subtropicale e ci si aspetterebbe che esse non superassero le

medie latitudini ma in realtà tendono ad occupare latitudini sempre più elevate, d'altronde la classificazione climatica delle specie dipende essa stessa da dati di distribuzione. Se il trend di riscaldamento dovesse continuare e le specie si spostassero sempre più massicciamente a nord, ciò causerebbe un'espansione dell'habitat temperato a sfavore del biota freddo, provocando una diminuzione, anche grave, delle presenze delle specie viventi in quelle aree. Per Bombace (2001) alcune di queste alterazioni sono già evidenti, lo studio, concentrato sul Mar Mediterraneo, analizza il pescato nelle diverse aree e ne risulta che specie 'calde' vengono pescate anche in aree più 'fredde' quali il Mar Ligure ed il Golfo del Leone, tra le altre *Thalassoma pavo* e *Pomatomus saltatrix*, mentre le specie 'fredde' risultano oramai molto scarse nelle catture, ad esempio lo spratto, *Sprattus spattus* (Bombace, 2001)

L'habitat svolge un importante ruolo nel ciclo vitale delle specie marine, infatti alcune specie ne utilizzano di diversi per differenti stadi della vita, ad esempio per la riproduzione, il raggiungimento della maturità sessuale o lo svolgimento della fase larvale e per questo motivo la conoscenza dei cambiamenti ambientali che stanno avvenendo è importante per la conservazione delle specie (Moran, 1994).
In questo lavoro di tesi, si è scelto di utilizzare la temperatura, uno dei parametri fisici che definisce le caratteristiche degli areali di distribuzione delle specie per analizzarne i recenti cambiamenti, in particolare ponendo attenzione al contesto dei cambiamenti climatici e del surriscaldamento globale.
Il metabolismo degli organismi marini è fortemente influenzato dalle condizioni della temperatura che può avere grandi ripercussioni sui cicli riproduttivi, per esempio sulla velocità con cui viene raggiunta la maturità sessuale, sul periodo di riproduzione e sulle dimensioni delle uova deposte e, in generale, sulla fitness degli individui; dunque, oltre a cambiamenti riguardanti la distribuzione dei pesci, con molta probabilità si potrebbero individuare dei mutamenti anche nei cicli vitali e nel tempo in cui gli esemplari giovani raggiungono la maturità (Moran, 1994). Tale analisi richiederebbe però delle campagne oceanografiche distinte e calibrate su queste esigenze di ricerca.

Le considerazioni fatte finora possono risultare utili anche per la gestione e la conservazione delle specie marine, di fatti se i trend messi in luce in questo lavoro fossero dimostrati e fosse riconosciuta l'esistenza di un pattern di movimento delle specie verso nord è facile presuppore come, in futuro, tali modificazioni potrebbero avere grosse conseguenze anche sulle attività umane, in primo luogo la pesca commerciale; è fondamentale infatti porsi delle domande su come questi cambiamenti possano evolversi in futuro, se ad esempio alcuni 'hot spots' di biodiversità rischino di essere fortemente alterati e danneggiati da un eccessivo surriscaldamento o se le specie ad affinità fredda possano ritrovarsi in habitat sempre più ridotti e in pericolo di estinzione.
Molti studi infatti evidenziano l'esistenza di una relazione tra l'andamento della temperatura e quello del pescato, come in Tzanatos at al. (2014).
Le specie marine finiscono per doversi scontrare oltre che con uno sforzo di pesca eccessivo anche con forzanti ambientali avverse. I pescatori che pescano nelle zone tradizionali e hanno una minore resa, poiché i pesci si spostano dai loro habitat elettivi a causa di questi cambiamenti,

possono decidere di seguire gli spostamenti delle specie ittiche spingendosi in acque più lontane; alcuni pescatori si ritroverebbero a pescare specie confinate in habitat sempre più ridotti o che sono molto limitate nel loro numero poichè vulnerabili e danneggiate dall'aumento di temperatura, andando ulteriormente ad incidere negativamente sulle specie marine (Tzanatos at al., 2014). Sarebbe opportuno per questi motivi monitorare l'effettivo spostamento dei pesci, avvalendosi di strumenti di pesca come ad esempio sonar o ecoscandagli, al fine di comprendere in chiave gestionale come stiano cambiando gli areali di distribuzione delle specie marine, definire quali siano le zone in cui è necessario una maggiore protezione e controllo, limitando entro queste aree lo sforzo di pesca per non danneggiare e stressare eccessivamente gli stock ittici.

Tutti questi aspetti sono molto importanti da considerare come conseguenze dei cambiamenti climatici, evidenziando l'importanza di doverne indagarne gli aspetti ecologici per ottimizzare la gestione delle popolazioni ittiche e favorirne la sopravvivenza e la conservazione della biodiversità.

5. Conclusioni

Il presente lavoro di tesi si è concentrato sulla distribuzione di specie marine e sui movimenti che si sono verificati a partire dagli anni '70, si è evidenziato come sia presente una tendenza allo spostamento delle specie ittiche in direzione settentrionale, considerando la temperatura come uno dei principali fattori responsabili dell'estensione dell'areale degli organismi marini, si è tentato di spiegare tali movimenti in relazione all'aumento di temperatura, in particolare in termini di SST, che sta investendo l'intera area del nord Atlantico ed il Mare del Nord.

Lungo la costa atlantica americana i trend sono molto più marcati e sia la migrazione dei pesci che l'aumento di temperatura sono decisamente evidenti. Sulla costa europea si ha una situazione più complessa ma che comunque presenta una relazione tra l'aumento dell'indice AMO, buon indicatore della SST nord atlantica, e la latitudine del baricentro di distribuzione delle specie.

L'uso dei sistemi GIS ha permesso di creare delle mappe per la facile visualizzazione della localizzazione dei records e di fare delle operazioni sulla distribuzione e l'abbondanza di quest'ultimi.

La disponibilità di serie storiche di dati di temperatura ha permesso di ricostruirne l'andamento degli ultimi anni anche per macroregioni molto ampie. In futuro potrebbero essere svolti ulteriori studi al fine di validare le ipotesi di questo lavoro, analizzando altre zone oceaniche per confermare la tendenza secondo la quale le specie marine si spostino in conseguenza ai cambiamenti di temperatura. Inoltre potrebbe essere interessante considerare nello specifico gli aspetti del ciclo vitale delle specie marine, osservando se, in un più ristretto numero di pesci andando ad approfondirne gli aspetti ecologici, si verifichino variazioni nei tempi di raggiungimento della maturità sessuale, nella durata della fase larvale oppure nella riproduzione in risposta all'aumento di SST. Infine sarebbe utile approfondire gli aspetti legati al passaggio tra la stagione calda e fredda valutando se il parametro relativo alla temperatura ed alla pendenza del punto di flesso sia in grado di spiegare altri cambiamenti che possono subire le specie marine.

6. Bibliografia

- A. Occhipinti-Ambrogi (2007) *Global change and marine communities: Alien species and climate change*, Marine Pollution Bulletin 55: 342–352.
- A. Strumia (1996) *Geometria delle masse*, Meccanica Razionale, Ed. Nautilus – Bologna.
- Allison L. Perry, Paula J. Law, Jim R. Ellis, John D. Reynolds (2005) *Climate change and distribution shifts in marine fishes*, Science, 308, 1912.
- Ana Sabatès, Paloma Martìn, Josep Lloret and Vanesa Raya(2006) *Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, Sardinella aurita, in the western Mediterranean*, Global Change Biology 12, 2209–2219.
- B.S. Galil (2007) *Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea*, Marine Pollution Bulletin 55 314–322.
- Bin Zhao, Thomas W.N. Haine (2005) *On processes controlling seasonal North Atlantic sea surface temperature anomalies in ocean models*, Ocean Modelling 9, 211–229.
- Boris Worm, Edward B. Barbier, Nicola Beaumont, J. Emmett Duffy, Carl Folke,5,6 Benjamin S. Halpern, Jeremy B. C. Jackson, Heike K. Lotze, Fiorenza Micheli, Stephen R. Palumbi, Enric Sala,8 Kimberley A. Selkoe, John J. Stachowicz, Reg Watson (2006) *Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services*, Science 314, 787.
- C.J.M. Philippart, R. Anadón, R. Danovaro, J.W. Dippner, K.F. Drinkwater, S.J. Hawkins, T. Oguz , G. O'Sullivan, P.C. Reid (2011) *Impacts of climate change on European marine ecosystems: Observations, expectations and indicators*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 400, 52–69.
- Camille Albouy, François Guilhaumon, Fabien Leprieur, Frida Ben RaisLasram, Samuel Somot, Roland Aznar, Laure Velez, Francois Le Loc'h and David Mouillot (2013) *Projected climate change and the changing biogeography of coastal Mediterranean fishes,* Journal of Biogeography (J. Biogeogr.) 40, 534–547.
- Camille Albouy, François Guilhaumon, Miguel B. Araùjo, David Mouillot, Fabien Leprieur (2012) *Combining projected changes in species richness and composition reveals climate change impacts on coastal Mediterranean fish assemblages*, Global Change Biology 18, 2995–3003.
- Carl F. Pinkele and Adamantia Pollis (1983), *Environmental and Regional Identity in the Mediterranean*, The Contemporary Mediterranean World pp. 59-73, Baruch Boxer.
- CIESM (2003) *Mediterranean biological time series*. CIESM Workshops Monographs n°22, 142 pages, Monaco www.ciesm.org/publications/Split03.pdf.
- CIESM (2008) *Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota*. N° 35 in *CIESM Workshops Monographs* [F. Briand, Ed.], 152 pages, Monaco.
- D. A. Smeed, G. D. McCarth, S. A. Cunningham, E. Frajka-Williams, D. Rayner, W. E. Johns, C. S. Meinen, M. O. Baringer, B. I. Moat, A. Duchez and H. L. Bryden(2014) *Observed decline of the Atlantic meridional overturning circulation 2004–2012,* Ocean Sci., 10, 29–38.

- Elizabeth M.P. Madina, Natalie C. Ban, Zoe A. Doubleday, Thomas H. Holmes, Gretta T. Pecl, Franz Smith (2012) *Socio-economic and management implications of range-shifting species in marine systems*, Global Environmental Change 22 137–146.
- Elizabeth R. Selig, Catherine Longo, Benjamin S. Halpern, Benjamin D. Best, Darren Hardy, Cristiane T. Elfes, Courtney Scarborough, Kristin M. Kleisner, Steven K. Katona (2013) *Assessing Global Marine Biodiversity Status within a Coupled Socio-Ecological Perspective,*PLoS ONE 8(4): e60284. doi:10.1371/journal.pone.0060284.
- Evangelos Tzanatos, Dionysios E. Raitsos, George Triantafyllou, Stylianos Somarakis, Anastasios A. Tsonis (2014) *Indications of a climate effect on Mediterranean fisheries*, Climatic Change 122:41–54.
- F. Santos, M. Gomez Gesteira, M. deCastro (2011) *Coastal and oceanic SST variability along the western Iberian Peninsula*, Continental Shelf Research 31 2012–2017.
- FAO 2005-2014, *Fisheries and Aquaculture topics. Large Marine Ecosystems. Topics Fact Sheets*. Text by J.J. Maguire and Jorge Csirke. In FAO Fisheries and Aquaculture Department (2005).
- FAO 2013, *Advances in geographic informations systems and remote sensing for fisheries and aquaculture*, Text by Geoffrey J.Meaden, Jose Aguilar-Menjarrez. In FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER (2013).
- Francis P. Shepard (1973) *Submarine Geology*, 3rd ed.
- G. Bombace (2001) *Influence of climatic changes on stocks, fish species and marine ecosystems in the Mediterranean sea, ArchoOceanogr .Limnol*. 22, 67-72.
- G. Beaugrand and P.C. Reid (2003) *Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate*, Global Change Biology, Volume 9, Issue 6, pages 801–817.
- Gerten D. and Adrian R. (2000) *Climate driven changes in spring plankton dynamics and sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation*, Limnology and Oceanography 45, 1058-1066.
- Gian-Reto Walther, Alain Roques, Philip E. Hulme, Martin T. Sykes, PetrPysek, Ingolf Kuhn, Martin Zobel, Sven Bacher, ZoltanBotta-Dukat, HaraldBugmann, BalintCzucz, Jens Dauber, Thomas Hickler, VojtechJarosık, Marc Kenis, Stefan Klotz, Dan Minchin, Mari Moora, Wolfgang Nentwig, JurgenOtt, Vadim E. Panov, Bjorn Reineking, ChristelleRobinet, VitaliySemenchenko, WojciechSolarz, WilfriedThuiller, Montserrat Vila, KatrinVohland and Josef Settele (2009) *Alien species in a warmer world: risks and opportunities*, Trends in Ecology and Evolution Vol.24 No.12.
- Gian-Reto Walther, Eric Post, Peter Convey, Annette Menzel, Camille Parmesan, Trever J. C. Beebee, Jean-Marc Fromentin, Ove Haegh-Guldberg & Franz Bairlein (2002) *Ecological responses to recent climate change*, Nature vol. 416, 28/03/2002, www.nature.com.
- Hebert P. (2013) *Atlantic Ocean*, Retrieved from http://www.eoearth.org/view/article/150279.
- J.E. Morton (1979) *Molluscs*, 5th ed.
- J.M.J. Hoppema and H.J.W. De Baar (1992) *Relations between North Sea and Atlantic Ocean: A Literature study*.

- James J. Anderson, Eliezer Gurariea, Chloe Bracis, Brian J. Burke, Kristin L. Laidre (2013) *Modeling climate change impacts on phenology and population dynamics of migratory marine species*, Ecological Modelling 264, 83-97.
- Janet A. Nye, Matthew R. Baker, Richard Bell, Andrew Kenny, K. Halimeda Kilbourne, Kevin D. Friedland, Edward Martino, Megan M. Stachura, Kyle S. Van Houtan, Robert Wood(2014) *Ecosystem effects of the Atlantic Multidecadal Oscillation,* Journal of Marine Systems 133, 103–116.
- Johannes Dambach, Dennis Rödder (2011) *Applications and future challenges in marine species distribution modeling,* Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 21: 92–100.
- John I. Antonov et al. (1998) *World Ocean Atlas*, vol. 1, Temperature of the Atlantic Ocean.
- Jorge M. Mesias, James J. Bisagni, A.M.E.G. Brunner (2007)*A high-resolution satellite-derived sea surface temperature climatology for the western North Atlantic Ocean*, Continental Shelf Research 27, 191–207.
- Joseph L. Reid (1994) *On the total geostrophic circulation of the North Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports,* Prog. Oceanog. Vol. 33, pp.i-92.
- Klausmeyer K.R., Shaw M.R. (2009) *Climate Change, Habitat Loss, Protected Areas and the Climate Adaptation Potential of Species in Mediterranean, Ecosystems Worldwide*, PLoS ONE 4(7): e6392. doi:10.1371/journal.pone.0006392.
- M. Goren and B.S. Galil (2005) *A review of changes in the fish assemblages of Levantine inland and marine ecosystems following the introduction of non-native fishes*, J. Appl. Ichthyol. 21, 364–370.
- M.J. Attrill and M. Power (2002) *Climatic influence on a marine fish assemblage*, Nature 417, 275-278.
- Mads Faurschou Knudsen, Marit-Solveig Seidenkrantz, Bo Holm Jacobsen & Antoon Kuijpers (2011) *Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years,* Nat. Commun. 2:178 doi: 10.1038/ncomms1186.
- Marco Anelli Monti (2011) *La struttura della comunità nectonica del Mar Mediterraneo dal 1970 ad oggi: cambiamenti e possibili cause,* Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari, Venezia.
- Marie-Caroline Badjeck, Edward H. Allison, Ashley S. Halls, Nicholas K. Dulvy (2010) *Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods*, Marine Policy 34, 375–383.
- Michael A. Alexander, K. Halimeda Kilbourne, Janet A. Nye (2014) *Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871–2008*, Journal of Marine Systems 133, 14–26.
- Mingfang Ting, Yochanan Kushnir, Cuihua Li (2014) *North Atlantic Multidecadal SST Oscillation: External forcing versus internal variability*, Journal of Marine Systems 133, 27–38.
- N. Streftaris and A. Zenetos (2006) *Alien Marine Species in the Mediterranean - the 100 'Worst Invasives' and their Impact*, Mediterranean Marine Science, Volume 7/1, 87-118.
- Nancy A. Moran (1994) *Adaptation and Constraint in the Complex Life Cycles of Animals*, Annual Review of Ecology and Systematics external link, Vol. 25 pp. 573-600.

- Paola Malanotte-Rizzoli, Kate Hedstrom, Hernan Arango, Dale B. Haidvogel (2000) *Water mass pathways between the subtropical and tropical ocean in a climatological simulation of the North Atlantic ocean circulation*, Dynamics of Atmospheres and Oceans 32, 331–371.
- Rhodes W. Fairbridge (1966) *The Encyclopedia of Oceanography*, Ed. Reinhold.
- Rijnsdorp, A. D., Peck, M. A., Engelhard, G. H., Mollmann, C. and Pinnegar, J. K. (2009) Resolving the effect of climate change on fish populations. –ICES Journal of Marine Science, 66: 1570–1583.
- Scott C. Doney, Mary Ruckelshaus, J. Emmett Duffy, James P. Barry, Francis Chan, Chad A. English, Heather M. Galindo, Jacqueline M. Grebmeier, Anne B. Hollowed, Nancy Knowlton, Jeffrey Polovina, Nancy N. Rabalais, William J. Sydeman, and Lynne D. Talley (2012) *Climate Change Impacts on Marine Ecosystems*, Annu. Rev. Mar. Sci. 4:11–37.
- Scott L Zeger and M. Rezaul Karim (1991) *Generalized Linear Models with Random Effects; a Gibbs Sampling Approach*, Journal of the American Statistical Association Volume 86, Issue 413.
- Stelios Katsanevakis, Argyro Zenetos, Constança Belchior, Ana Cristina Cardoso (2013) *Invading European Seas: Assessing pathways of introduction of marine aliens*. Ocean & Coastal Management 76, 64e74.
- Stelios Katsanevakis, Francesca Gatto, Argyro Zenetos and Ana Cristina Cardoso (2013) *How many marine aliens in Europe?* Management of Biological Invasions, Volume 4, Issue 1: 37–42.
- Sylvain Lenoir, Gregory Beaugrand, Èric Lecuyer (2011) *Modelled spatial distribution of marine fish projected modifications in the North Atlantic Ocean*, Global Change Biology, vol. 17, issue 1, January/February, 92-100.
- T.D. Jickells (1998) *Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone*, Science, Vol. 281 no. 5374 pp. 217-222.
- T. Wyllie-Echevveria and W.S. Wooster (1998), *Year-to-year variations in Bering Sea ice cover and some consequences for fish distributions,* Fisheries Oceanography, Volume 7, Issue 2, pages 159–170.
- W.N. Venables and C.M. Dichmont (2004) *GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research,* Fisheries Research 70, 319–337.
- Walrond C. Carl. (2009) *Coastal fish - Fish of the open sea floor*, TeAra - the Encyclopedia of New Zealand.
- William W. L. Cheung, Reg Watson & Daniel Pauly (2013)*Signature of ocean warming in global fisheries catch;* Nature12156.
- William W.L. Cheung, Vicky W.Y. Lam, Jorge L. Sarmiento, Kelly Kearney, Reg Watson & Daniel Pauly (2009) *Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios*, FISH and FISHERIES , 10, 235–251.
- Wim H. Van der Putten, MirkaMacel and Marcel E. Visser (2010) *Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels*, Phil. Trans. R. Soc. B, 365, 2025–2034.

- Zenetos, M.E. Çinar, M.A. Pancucci- Papadopoulou, J.G. Harmelin, G. Furnari, F. Andaloro, N. Bellou, N. Streftaris and H. Zibrowius (2005) *Annotated list of marine alien species in the Mediterranean with records of the worst invasive species*, Mediterranean Marine Science, Volume 6/2, 63-118.
- Zenetos, S. Gofas, M. Verlaque, M.E. Çinar, J.E. GarcíaRaso, C.N. Bianchi, C. Morri, E. Azzurro, M. Bilecenoglu, C. Froglia, I. Siokou, D. Violanti, A. Sfriso, G. San Martín, A. Giangrande, T. Katagan, E. Ballesteros, A. Ramos Esplá, F. Matrototaro, O. Ocaña, A.Zingone, M.C. Gambi and N. Streftaris (2010) *Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution*. Medit. Mar. Sci., 11/2, 381-493.
- A. Zenetos, S. Gofas, C. Morri, A. Rosso, D. Violanti, J.E. GarcíaRaso, M.E. Çinar, A. Almogi-Labin, A.S. Ates, E. Azzurro, E. Ballesteros, C.N. Bianchi, M. Bilecenoglu, M.C. Gambi, A. Giangrande, C. Gravili, O. Hyams-Kaphzan, P.K. Karachle, S. Katsanevakis, L. Lipej, F. Mastrototaro, F. Mineur, M.A. Pancucci-Papadopoulou, A. Ramos Esplá, C. Salas, G. San Martín, A. Sfriso, N. Streftaris and M. Verlaque (2012) *Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways*. Medit. Mar. Sci., 13/2, 328-352.