

QUANDO LE DISCIPLINE UMANISTICHE INCONTRANO L'ECOLOGIA

Atti della Summer School Internazionale HMAP



HMAP (History of Marine Animal Populations)
Mediterranean and Black Sea - International Summer School 2009

When humanities meet ecology

Historic changes in Mediterranean and Black Sea marine biodiversity
and ecosystems since the Roman period until nowadays

Languages, methodologies and perspectives

31 Agosto - 4 Settembre 2009
Trieste (Italia)

Abbas Salaam International Centre for
Theoretical Physics (ICTP) - Trieste (Italy)

31.08.2009 - 04.09.2009

Atti



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Summer School Internazionale HMAP: Quando le discipline umanistiche incontrano l'ecologia

**Cambiamenti storici della biodiversità marina e
degli ecosistemi del Mediterraneo e Mar Nero
dal periodo romano ad oggi. Linguaggi, metodo-
logie e prospettive**

31 Agosto - 4 Settembre 2009, the *Abdus Salam* International Centre
for Theoretical Physics, Trieste (Italia)

A cura di

Gertwagen R., Fortibuoni T., Giovanardi O., Libralato S., Solidoro C. & Raicevich S.

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questa pubblicazione.

Con la legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del decreto legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, è stato istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.isprambiente.it

ISPRA, Serie Atti 2010

ISBN 978-88-448-0470-1

Coordinamento tecnico-scientifico per ISPRA: Saša Raicevich
ISPRA - STS Chioggia, Loc. Brondolo, 30015 Chioggia
Telefono: [+39] 0415543933
sasa.raicevich@isprambiente.it
<http://www.hmap-medbs-summerschool2009.org>

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Editing e Redazione: Gertwagen R., Fortibuoni T., Giovanardi O., Libralato S., Solidoro C. & Raicevich S.

Elaborazione grafica: ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Coordinamento tipografico
Daria Mazzella
ISPRA - Settore Editoria

Amministrazione
Olimpia Girolamo
ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione
Michelina Porcarelli
ISPRA - Settore Editoria

Impaginazione e Stampa
Tipolitografia CSR - Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma
Tel. 064182113 [r.a.] - Fax 064506671

Finito di stampare gennaio 2011

Da citare come:

Gertwagen R., Fortibuoni T., Giovanardi O., Libralato S., Solidoro C. & Raicevich S. (A cura di), 2010. Quando le discipline umanistiche incontrano l'ecologia: Cambiamenti storici della biodiversità marina e degli ecosistemi del Mediterraneo e Mar Nero dal periodo romano ad oggi. Linguaggi, metodologie e prospettive. Atti della Summer School Internazionale HMAP, 31 Agosto – 4 Settembre 2009, Trieste (Italia). ISPRA, Serie Atti 2010, Roma, pp. 360.

Autori dei contributi agli Atti

Constantin ARDELEANU¹, Laura AIROLDI², Carmen ALFARO GINER³, Vincenzo ARTALE⁴, Michael W. BECK⁵, Tønnes BEKKER-NIELSEN⁶, Chiara BERTOLIN⁷, Ferdinando BOERO⁸, Fulvia BRADASSI⁹, Guido BRESSAN⁹, Dario CAMUFFO⁷, Igor CELIĆ¹⁰, Matthew J. COLLINS¹¹, Oliver CRAIG¹¹, Francesco CUMANI⁹, Tomaso FORTIBUONI^{10, 16}, Gianluca FRANCESCHINI¹⁰, Ruthy GERTWAGEN¹², Otello GIOVANARDI¹⁰, Jennifer HARLAND¹¹, Tsegay Fessehaye KASSA¹³, Kristine KORZOW RICHTER¹⁴, Maja KRŽELJ¹⁵, Paolo LAZZARI¹⁶, Simone LIBRALATO¹⁶, Salvatore MARULLO⁴, Anna RABBITTI¹⁷, Saša RAICEVICH¹⁰, Rosalia SANTOLERI¹⁸, Cosimo SOLIDORO¹⁶, Konstantinos I. STERGIU¹⁹, Francesco TIBONI²⁰, Clive TRUEMAN²¹, Nienke VAN DOORN¹⁴

1 Università "Dunărea de Jos" di Galați (Romania)

2 Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale e Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali in Ravenna, Università di Bologna, Ravenna (Italia)

3 Università di Valencia – Dipartimento di Storia Antica, Valencia (Spagna)

4 Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (Enea), Casaccia, Roma (Italia)

5 The Nature Conservancy and Institute of Marine Sciences, Università della California, Santa Cruz (Stati Uniti d'America)

6 Università della Danimarca Meridionale, Kolding (Danimarca)

7 Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Padova (Italia)

8 DiSteBA – Università del Salento, Lecce (Italia)

9 Università di Trieste – Dipartimento di Scienze della Vita, Trieste (Italia)

10 ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Chioggia (Italia)

11 BioArCh, Dipartimento di Archeologia, Biologia e Chimica, York (Regno Unito)

12 Coordinatore e team leader del progetto HMAP del Mediterraneo e Mar Nero, Università di Haifa e Oranim Academic College, Haifa (Israele)

13 National Fisheries Corporation, Fishing Enterprise, Massawa (Eritrea)

14 Dipartimento di Biologia, Università della Pennsylvania, University Park, Pennsylvania (Stati Uniti d'America)

15 Dipartimento di Scienze del Mare – Università Politecnica delle Marche (Italia) e Centro di Studi Marini – Università di Spalato (Croazia)

16 Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste (Italia)

17 Università di Trieste - Dipartimento di Fisica, Trieste (Italia)

18 Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Roma (Italia)

19 Università Aristotele di Salonicco, Scuola di Biologia – Dipartimento di Zoologia, Hellas (Grecia)

20 AIASub - Associazione Italiana Archeologi Subacquei

21 University of Southampton Waterfront Campus, European Way, Southampton (Regno Unito)

INDICE

Gertwagen R., Raicevich S., Solidoro C. - Introduzione	7
---	---

SEZIONE 1 – QUANDO LE DISCIPLINE UMANISTICHE INCONTRANO L'ECOLOGIA: I SAGGI

Gertwagen R. - Superare il “tempestoso divario” tra dottrine umanistiche e scientifiche negli approcci metodologici della storia dell'ambiente marino e dell'ecologia storica marina	13
Bekker-Nielsen T. - Contestualizzazione delle tecnologie di pesca dei Romani	25
Alfaro Giner C. - Lusso dal mare: la produzione di porpora nell'antichità	35
Tiboni F. - Archeologia Subacquea, Ecologia Storica Marina e Storia dell'Ambiente Marino	51
Collins M.J., Harland J., Craig O., Korzow Richter K., van Doorn N., Trueman C. - Come possono essere utilizzati i resti ossei di pesce per studiare la Storia delle Popolazioni Marine?	61
Boero F. - L'ecologia, una disciplina storica	73
Raicevich S., Fortibuoni T., Franceschini G., Celić I., Giovanardi O. - L'utilizzo della Conoscenza Ecologica Locale per ricostruire la storia delle popolazioni marine. Potenzialità e limiti	81
Stergiou K.I. - Ecosistemi mediterranei, punti di riferimento che cambiano, banche dati	97
Airoldi L., Beck M.W. - Perdita storica degli habitat costieri mediterranei e prospettive di recupero	105
Solidoro C., Lazzari P., Libralato S. - Limiti e potenzialità degli approcci numerici nella ricostruzione e nello studio dei processi biogeochimici del Mar Mediterraneo nel passato	109
Artale V., Marullo S., Santoleri R. - Dal riscaldamento globale a quello regionale: il caso Mediterraneo attraverso osservazioni degli ultimi secoli	117
Camuffo C., Bertolin C. - Il Clima del Mediterraneo nell'ultimo millennio	127

SEZIONE 2 - CAMPI DI RICERCA DEGLI STUDENTI

Ardeleanu C. - Il commercio di storione e caviale nel Basso Danubio – un approccio storico a un problema contemporaneo	135
Bradassi F., Cumani F., Bressan G. - Risposte biologiche delle Corallinaceae ai cambiamenti climatici globali e come utilizzarle nell'insegnamento nella scuola secondaria di primo grado (scuola media)	145
Fortibuoni F. - La pesca in Alto Adriatico dalla caduta della Serenissima ad oggi: un'analisi storica ed ecologica	151
Kassa T.F. - Una panoramica della pesca in Eritrea: passato e presente (1950-2010)	161
Krželj M. - Cambiamenti ecologici a lungo termine nel Mare Adriatico	169
Rabitti A. - Tecniche variazionali e analisi statistiche applicate alla caratterizzazione spazio-temporale dei parametri fisici e biochimici del Mare Adriatico	177

INTRODUZIONE

Ruthy Gertwagen¹

ruthygert@gmail.com

Saša Raicevich²

sasa.raicevich@isprambiente.it

Cosimo Solidoro³

csolidoro@ogs.trieste.it

Questo volume raccoglie gli atti della *Summer School* di 5 giorni (31 Agosto – 4 Settembre 2009) intitolata “Quando le discipline umanistiche incontrano l’ecologia. Cambiamenti storici della biodiversità marina e degli ecosistemi del Mediterraneo e Mar Nero dal periodo romano ad oggi. Linguaggi, metodologie e prospettive” (*When Humanities Meet Ecology. Historic changes in Mediterranean and Black Sea marine biodiversity and ecosystems since Roman period until nowadays. Languages, methodologies and perspectives*). La *Summer School*, organizzata su iniziativa della Prof.ssa Ruthy Gertwagen, coordinatrice e *team leader* del programma Storia delle Popolazioni Marine (*History of Marine Animal Populations*; HMAP) del Mediterraneo e Mar Nero, è stata ospitata presso l’*Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics* (ICTP) di Trieste, ed è stata co-organizzata dal Dr. Saša Raicevich, Dr. Otello Giovanardi e Dr. Tomaso Fortibuoni (ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale; Chioggia), e dal Dr. Simone Libralato e Dr. Cosimo Solidoro (OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale; Trieste). Tale iniziativa è stata finanziata dalla *Sloan Foundation* attraverso il progetto HMAP, ISPRA, e dall’*EU Network of Excellence EUR-OCEANS* grazie ad OGS.

Hanno partecipato alla *Summer School* ventisei studenti provenienti da un vasto spettro di paesi europei (Italia, Grecia, Polonia, Romania, Austria, Croazia e Danimarca), medio-orientali (Israele), dell’Africa settentrionale e Corno d’Africa (Tunisia, Eritrea), e degli Stati Uniti (Maine/Hampshire e Maryland/Washington). Tra gli studenti, che possedevano titoli di studio che variavano dalla laurea al Dottorato, e che talvolta ricoprivano ruoli accademici, solo due provenivano dalle discipline umanistiche. Anche il gruppo di docenti era internazionale (UK, Italia, Spagna, Danimarca, Malta, Grecia e Israele) e apparteneva ad una varietà di discipline, tra le quali storia, storia dell’ambiente ed ecologia storica ma-

1 Coordinatore e *team leader* del programma *History of Marine Animal Populations* del Mediterraneo e Mar Nero - Università di Haifa e Oranim Academic College, Haifa (Israele).

2 ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Chioggia (Italia).

3 OGS – Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, Sgonico (Italia).

rina, archeologia ed archeologia subacquea, zoo-archeologia, ecologia, oceanografia e scienze climatiche.

COS'È IL PROGETTO HMAP DEL MEDITERRANEO E MAR NERO?

Il progetto HMAP (History of Marine Animal Populations - Storia delle popolazioni marine; <http://www.hmapcoml.org>) rappresenta la componente storica del *Census of Marine Life* (Censimento della Vita Marina; CoML), un network globale di ricercatori coinvolti in uno studio di dieci anni nato per valutare e comprendere la diversità, distribuzione ed abbondanza della vita negli oceani (<http://www.coml.org>). CoML è stato ideato nel 1999 in risposta alla crescente consapevolezza relativa al processo globale di erosione della biodiversità marina causata dagli effetti negativi, talvolta tragici, delle interazioni dell'uomo con gli oceani in termini di sovrasfruttamento, distruzione di habitat, inquinamento, invasione di specie aliene e cambiamenti climatici. L'obiettivo finale del progetto è quello di "prevedere, misurare e comprendere i cambiamenti dell'ambiente marino, e fornire informazioni utili alla gestione e conservazione delle risorse marine". Infatti, "ricostruire le dinamiche storiche dello sfruttamento delle risorse e identificare le specie che sono andate perdute nei diversi habitat è un requisito essenziale per sviluppare dei piani di ripristino per gli ecosistemi sfruttati".⁴

Quando gli scienziati si sono resi conto dell'importanza delle discipline umanistiche al fine di ricostruire la storia dell'ambiente marino, questo ambito di ricerca, che precedentemente era prerogativa degli ecologi marini e degli oceanografi, si è aperto per accogliere queste "nuove" discipline. La collaborazione tra ecologi e storici è iniziata nel 1999 sotto l'egida del progetto HMAP, che è stato quindi caratterizzato da un approccio multidisciplinare unico nel suo genere, con lo scopo di integrare scienze umanistiche (storia marittima, archeologia, ecc.) e scienze marine (ecologia, oceanografia, ecc.) all'interno di attività di ricerca di tipo collaborativo, mantenendo al contempo un equilibrio tra studi storici ed ecologici. Questo approccio ha permesso di far emergere una nuova comunità scientifica di storici dell'ambiente marino ed ecologi storici.⁵ Dopo dieci anni di ricerca si può affermare che questo progetto globale ha avuto successo nell'incrementare la comprensione di come la diversità, distribuzione ed abbondanza della vita marina negli oceani siano cambiate nel lungo periodo, analizzando dati che risalgono a periodi sia precedenti che successivi all'impatto dell'uomo sugli oceani. In particolare, è risultato importante focalizzarsi sulle interazioni dinamiche tra fattori naturali e antropici nell'evoluzione degli ecosistemi marini. La conoscenza acquisita è in parte accessibile grazie al database li-

4 Citazione tratta dalle note conclusive di Poul Holm, direttore del progetto HMAP, presentate alla II Conferenza Internazionale di HMAP Oceans Past II, tenutasi a Vancouver (Canada) a maggio del 2009: http://hmapcoml.org/news/documents/CoML_Oceans_Past_Public_Release_05.23.pdf.

5 Il progetto HMAP ha aperto la strada per la creazione di nuove posizioni accademiche, e ha permesso a ricercatori provenienti da diverse università di iniziare nuovi corsi di laurea e dottorato in storia marittima e ambientale presso le seguenti università: Old Dominion (Virginia, USA); Dalhousie (Halifax, Canada); Simon Fraser (Vancouver, Canada); Roskilde (Danimarca); Hull e Exeter (UK); Greenwich; il Trinity College di Dublino (Irlanda); Södertörn (Svezia); Bergen, Tromsø, Stavanger (Norvegia); Brema (Germania); San Pietroburgo (Russia); Perth e Murdoch (Australia).

bero di HMAP, che si può consultare attraverso OBIS (*Ocean Biodiversity Information System*; <http://www.iobis.org>). Allo stesso tempo, HMAP può aiutare a definire gli obiettivi per le future politiche di gestione ambientale al fine di prevenire, tra l'altro, la prosecuzione nel sovrasfruttamento delle risorse marine e per ripristinare gli ecosistemi marini in crisi o profondamente degradati.⁶

Il progetto HMAP del Mediterraneo e Mar Nero è stato inserito nel progetto globale HMAP alla fine dell'autunno 2004, a seguito di un workshop organizzato a Barcellona per stimolare la collaborazione tra scienziati e storici che si interessavano di pesca. Questa iniziativa è stata seguita da un workshop di tre giorni organizzato a Chioggia (Venezia, Italia) nel settembre del 2006, che era incentrato sull'analisi sotto il profilo storico ed ecologico della pesca in Mediterraneo e Mar Nero, dal periodo romano al 19° secolo (*Human-environment interactions in the Mediterranean Sea since the Roman period until the 19th century: an historical and ecological perspective on fishing activities*). Il workshop aveva come obiettivo la presentazione dello stato dell'arte da parte di esperti provenienti da diverse discipline: storici, archeologi, oceanografi, biologi ed ecologi marini. Il sopraccitato testo raccoglie gli atti del workshop, ed è stato pubblicato in italiano con un'introduzione generale e un sommario dei singoli contributi in inglese.⁷ Questa *Summer School* rappresenta quindi la terza iniziativa del progetto HMAP del Mediterraneo e Mar Nero.

PERCHÈ UNA SUMMER SCHOOL?

Essendo iniziato alla fine dell'autunno del 2004, il progetto HMAP del Mediterraneo e Mar Nero è solo al suo stadio iniziale. La storia dell'ambiente e l'ecologia storica marina, che si occupano di periodi ben precedenti la nascita della "scienza moderna", non sono studiati come discipline formali nelle università ed istituti dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo, e nemmeno nelle istituzioni accademiche che si occupano di diverse tipologie di studi legati al mare come l'oceanografia, l'ecologia, la biologia, la storia e l'archeologia subacquea. Ciononostante questa situazione sta cambiando, e gli studi multidisciplinari

⁶ Rispetto agli obiettivi e metodologie del progetto HMAP, si consulti: Poul Holm, Tim D. Smith e David J. Starkey (Ed.), *The Exploited Seas: New Directions for Marine Environmental History*, in *International Maritime Economic History Association, Maritime Studies, Research Unit*, 2001; Per un'esposizione estesa degli obiettivi, metodologie e dati raccolti si consulti il sito web precedentemente indicato: <http://www.hull.ac.uk/hmap/AboutHMAP/AboutHMAP.htm>

⁷ Il Workshop è stato finanziato da *European Census of Marine Life* (EuroCoML), con il contributo di alcune organizzazioni locali: Associazione "Tegnùe di Chioggia", Regione Veneto, Fondazione della Pesca di Chioggia, ICRAM (Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare, STS Chioggia; ora ISPRA). Gli atti del volume dal titolo "Il Mare. Come'era. Le interazioni tra uomo ed ambiente nel Mediterraneo dall'Epoca Romana al XIX secolo: una visione storica ed ecologica delle attività di pesca", sono stati editi dai principali organizzatori del workshop: R. Gertwagen, S. Raicevich, T. Fortibuoni, O. Giovanardi, e sono stati pubblicati in italiano nel 2008 da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) come "Supplementi ai Quaderni dell'ex ICRAM", grazie al finanziamento dell'Associazione "Tegnùe di Chioggia" e della Regione Veneto. Per una descrizione delle motivazioni per cui il Mar Nero viene studiato nell'ambito del progetto HMAP del Mediterraneo si veda, all'interno del medesimo volume, l'Introduzione a cura di R. Gertwagen (pp. 15-24).

di ecologia storica stanno ricevendo un'attenzione crescente. Ad esempio, presso l'Università di Trieste, è stata attivata una tesi di Dottorato sulla ricostruzione della storia della pesca e la valutazione delle sue conseguenze ecologiche sulle popolazioni e comunità marine nel Nord Adriatico negli ultimi due secoli.⁸ Questa attività fa parte della ricerca HMAP del Mediterraneo e Mar del titolo "Interazioni uomo-ambiente e dinamica delle popolazioni animali marine in Laguna di Venezia e Nord Adriatico dal 12° secolo al periodo moderno" (VeLNA).

La partecipazione di solo due studenti provenienti dalle discipline umanistiche, nonostante la *Summer School* fosse stata pubblicizzata presso varie facoltà umanistiche o attraverso siti legati a discipline storiche e archeologiche, evidenzia l'alienazione delle discipline storiche nei confronti di qualsiasi cosa riguardi la scienza, anche se presenta aspetti storici. Il workshop del 2006 aveva evidenziato la distanza tra approcci scientifici ed umanistici e le problematiche relative alle diverse metodologie di ricerca, suggerendo quindi la necessità di una *Summer School*. A causa delle differenze disciplinari tra studenti e relatori che hanno partecipato alla scuola, uno dei principali obiettivi era quello di consolidare i nuovi campi della ricerca storica ambientale e dell'ecologia storica sia nei giovani ricercatori che in quelli più esperti, e di accrescerne le possibili applicazioni al fine di ricostruire i cambiamenti di lungo periodo nella biodiversità marina sin dai tempi remoti (nella fattispecie, dal periodo romano) ad oggi. La combinazione di queste discipline è essenziale anche al fine di implementare le misure di controllo ed i piani di recupero degli ecosistemi e delle specie del Mediterraneo e Mar Nero, due aree che sono state tra le prime a livello globale ad essere intensamente sfruttate. L'importanza della dimensione storica per questi scopi specifici è stata rimarcata esplicitamente dal primo relatore della *Summer School*, Matthew Camilleri della Commissione Generale per la Pesca del Mediterraneo (FAO).

Introducendo l'ecologia storica marina e la storia ambientale marina, la *Summer School* si è concentrata sugli approcci metodologici utilizzati, quello multidisciplinare ed interdisciplinare, e le rispettive differenze. Gli approcci multi- ed interdisciplinare, che permettono di colmare la lacuna tra discipline umanistiche e scientifiche, erano per certi versi sconosciuti ai partecipanti della *Summer School*, poiché è molto raro che siano oggetto di insegnamento nel mondo accademico. È invece più frequente che i ricercatori siano focalizzati esclusivamente, o quasi, sulle attività legate alla loro disciplina principale.

La *Summer School* ha quindi presentato i diversi campi di ricerca legati alle discipline umanistiche e scientifiche in relazione al suo tema principale (storia, archeologia, zoo-archeologia, antropologia, oceanografia, ecologia e climatologia), con l'obiettivo di fornire gli strumenti per ottenere una miglior comprensione dei linguaggi utilizzati da tali discipline, le reciproche esigenze e potenzialità, e creare infine un ponte tra discipline umanistiche

⁸ Il Dottorato, condotto da Tomaso Fortibuoni, ha avuto come tutor il Dr. C. Solidoro (OGS, Trieste) e come co-tutor il Dr. S. Raicevich (ISPRA, Chioggia) (entrambi hanno coordinato l'approccio scientifico) e la Prof.ssa R. Gertwagen (che ha coordinato l'approccio storico). Il progetto di dottorato è stato attivato nel contesto della Scuola di Dottorato "Metodologie di biomonitoraggio dell'alterazione ambientale" (Università di Trieste) ed è stato finanziato dalla Regione Veneto attraverso l'Associazione "Tegnùe di Chioggia", in collaborazione con ISPRA (Chioggia); inoltre è stato co-finanziato dalla *Sloan Foundation* attraverso il progetto globale HMAP. Il progetto VeLNA è coordinato dalla Prof.ssa Ruthy Gertwagen.

e scientifiche. Superare queste differenze permetterà di promuovere studi multi- ed interdisciplinari di storia ambientale ed ecologia storica nel contesto del programma HMAP, con particolare attenzione verso il Mediterraneo e il Mar Nero.

Di conseguenza questo volume presenta i diversi approcci metodologici che caratterizzano le varie discipline. Dato il differente background degli studenti che hanno partecipato alla *Summer School*, ad ogni docente è stato chiesto di presentare le basi del proprio campo di ricerca (che potevano essere di interesse per potenziali collegamenti tra le diverse discipline), di introdurre le metodologie applicate, e di contestualizzarle nei diversi periodi storici. Sebbene focalizzato sul Mediterraneo e Mar Nero, questo volume presenta approcci che possono essere applicati anche in altre aree geografiche. Di conseguenza abbiamo deciso di pubblicarlo sia in inglese che in italiano. Inoltre, il volume include dei brevi articoli presentati da alcuni studenti relativi alle loro attuali attività di ricerca. Gli organizzatori hanno infatti ritenuto si trattasse per loro di una buona opportunità sia per presentare il proprio lavoro di fronte ad un pubblico accademico, sia per avere dei riscontri costruttivi, che per pubblicare i contenuti della loro presentazione come esperienza pratica per le future attività accademiche.

I testi, originariamente scritti in inglese, sono stati tradotti in italiano da T. Fortibuoni, O. Giovanardi, M. Romanelli e S. Raicevich, cercando di rispettare il più possibile i contenuti e la forma del testo originale.

SUPERARE IL “TEMPESTOSO DIVARIO” TRA DOTTRINE UMANISTICHE E SCIENTIFICHE NEGLI APPROCCI METODOLOGICI DELLA STORIA DELL’AMBIENTE MARINO E DELL’ECOLOGIA STORICA MARINA

Ruthy Gertwagen

Università di Haifa e Oranim Academic College, Haifa [Israele]

e-mail: ruthygert@gmail.com

Parole chiave: discipline umanistiche, storia dell’ambiente marino, ecologia storica marina, multidisciplinare, interdisciplinare, metodologia

Questo articolo presenta le discipline note come storia dell’ambiente marino ed ecologia storica marina, e le annesse problematiche metodologiche, determinate principalmente dal fatto che entrambe coinvolgono due diversi settori di studio: le scienze e le dottrine umanistiche. Il denominatore comune per entrambe, però, è la storia. Credo che rilevare e definire tali problematiche possa aiutare a trovare le soluzioni che ci permettano di superarli. Si tratta di un’opportunità unica, visto che queste discipline sono recenti. Poiché, come vedremo, queste nuove discipline coinvolgono a loro volta un ampio spettro di sottodiscipline, l’argomento di discussione e l’approccio suggerito da questo articolo possono essere facilmente estesi ad altri ambiti di studio oltre a quelli della storia dell’ambiente marino e dell’ecologia storica marina. Va, infatti, evidenziato come l’affermarsi della storia dell’ambiente come disciplina sia piuttosto recente, risalendo al massimo a due decenni. Le prime riviste specialistiche di questa materia risalgono ai primi anni ‘90.¹ Sono inoltre poche le istituzioni accademiche che se ne occupano. In alcune di queste, gli storici sono stati costretti a cambiare dipartimento, a causa dell’incapacità del mondo accademico di comprendere la stretta relazione che intercorre tra ambiente, ecologia e storia.²

Va comunque considerato che già negli anni ‘60, con la monumentale opera *“La Méditerranée et le monde méditerranéen à l’époque de Philippe II”* (Il Mediterraneo e il mondo Mediterraneo all’epoca di Filippo II) di Fernand Braudel, è stata descritta la storia dell’ambiente del Mediterraneo e Mar Nero, discutendo il ruolo giocato da questi mari nella storia

¹ Si veda “Environmental history on the Internet”: <http://www.cnr.berkeley.edu/departments/espm/envhist/eh-internet.html#intro>.

² S. Pyne (2005), “Environmental history without historians”, 73. Il prof. Pyne è uno di quegli storici che, occupandosi di storia dell’ambiente, ha dovuto cambiare facoltà e trasferirsi presso la Scuola di Scienze della Vita (School of Life Sciences, SoLS), in particolare nella “Human Dimensions Faculty” (“Lost SoLS”); in Israele solo quest’anno è iniziata la chiamata di ricercatori che si occupano di dottrine umanistiche e scientifiche per dar vita a studi di storia dell’ambiente.

politica, economica e culturale delle popolazioni che ne abitavano le coste e che abitavano nelle zone interne dei continenti che vi si affacciano. In quest'opera Braudel fa riferimento principalmente al 16° secolo, con alcuni cenni sporadici al Medioevo, e al 17° secolo.³ Nel libro "*Les mémoires de la Méditerranée*" (Memorie del Mediterraneo)⁴ Braudel invece si è occupato del mondo Antico, dal Paleolitico. Solo alla fine del ventesimo secolo un'altra opera sul Mediterraneo e Mar Nero ha seguito il lavoro pionieristico di Braudel, adottando una metodologia multidisciplinare. Scritta da Peregrine Horden e Nicholas Purcell, "*The corrupting sea: a study of the Mediterranean history*" (Il mare alterato: uno studio sulla storia del Mediterraneo), una nuova e controversa opera pubblicata a Malden, Massachusetts, nel 2000, rappresenta un enorme lavoro di approfondimento e aggiornamento dei libri di Braudel.⁵ Ad ogni modo, sia Braudel sia Horden-Purcell hanno dedicato solo una minima parte della loro opera all'ambiente e alle risorse marine. Braudel afferma che, ad eccezione delle lagune, "le acque del Mediterraneo difficilmente sono più produttive della terra. I tanto declamati frutti di mare sono solo moderatamente abbondanti... la scarsità di pesce spiega la scarsità di pescatori e di conseguenza di marinai". Secondo Braudel è questa la causa della mancanza di manodopera per il lavoro in nave, così che sulle galee da guerra a metà del 16° secolo erano impiegati, come rematori, prigionieri di guerra e condannati.⁶ Gli storici della pesca, specializzati sia in Alto che Basso Medioevo, hanno sposato la teoria di Braudel secondo la quale durante il Medioevo non si pescava in mare, ma solo nelle lagune e negli estuari.⁷

Una posizione simile fu sostenuta da Horden e Purcell, che affermano che "anche se in seguito all'introduzione dei motori a vapore e diesel la cattura dei pesci in mare aperto è diventata più facile, la loro importanza nella dieta mediterranea è rimasta limitata". Secondo questi autori la maggior parte delle attività di pesca nel passato si concentrava nelle lagune e nelle zone comprese tra gli estuari e il mare.⁸

Va, però, sottolineato che Henri Bresc ha dimostrato la continuità delle attività di pesca per tutto il medioevo nel Mediterraneo occidentale e che, recentemente (2006), Gertwagen ha dimostrato lo stesso per il Mediterraneo orientale nel medioevo e in epoca moderna.⁹

Va infine evidenziato che anche nel libro di J. Donald Hughes, intitolato "*The Mediterranean: An Environmental History. Nature and Human Societies*" (Il Mediterraneo: una storia

3 F. Braudel (1972), *The Mediterranean*, New York.

4 Id. (2001), *Memory and the Mediterranean*; il libro doveva essere pubblicato all'inizio degli anni '70, dal momento che il manoscritto era stato spedito alla casa editrice già nel 1968; varie circostanze, discusse dall'editore nell'introduzione all'edizione francese, pag. 23-34, ne ritardarono la pubblicazione al 1998 e la traduzione in inglese al 2001.

5 Gli autori hanno risposto alle dure critiche rivolte a questo lavoro nel capitolo: P. Horden e N. Purcell (2005), "Four Years of Corruption", pp. 349-375; anche nei vari capitoli di questo libro vengono fatti dei riferimenti critici all'opera di Horden e Purcell.

6 Braudel (1972), *The Mediterranean*, pp. 138-9.

7 Per quanto riguarda gli storici che si occupano del periodo pre medievale si veda la nota 24. Per quanto riguarda gli storici che si occupano di storia moderna si veda: Maria Lucia De Nicolò (2007), "Il pesce nell'alimentazione mediterranea [secc. XVI-XIX]", pp. 35-45, si veda in particolare la bibliografia.

8 Horden e Purcell (2000), *The Corrupting Sea*, pp. 190-2; si veda nell'indice le parole "fish", "fishing".

9 H. Bresc, "Pêche", 525-539 e numeri 1,3; R. Gertwagen, "Approccio multidisciplinare", pp. 144-182.

ambientale. Natura e Società), pubblicato nel 2005 a Santa Barbara, California, Denver, Colorado e Oxford, Inghilterra, la pesca riveste una parte marginale.

COS'È L'ECOLOGIA STORICA MARINA?

L'ecologia storica marina si occupa dello studio dei cambiamenti storici a lungo termine e delle fluttuazioni della composizione di specie, dimensione degli stock e dell'evoluzione degli ecosistemi, in relazione all'intervento antropico: sovrappesca, degradazione degli habitat conseguente a bonifiche e impatto degli attrezzi da pesca, eutrofizzazione, inquinamento, introduzione di specie aliene attraverso - ad esempio - l'acqua di sentina, cambiamenti climatici e specie invasive. Chi si occupa di ecologia storica cerca i dati più vecchi possibile per stabilire un punto di riferimento che coincida con l'inizio dello sfruttamento antropico delle popolazioni marine e degli impatti sugli oceani, inclusi i cambiamenti climatici. In altre parole, l'obiettivo è confrontare lo stato degli ecosistemi alterati con quello vergine, e valutare quindi il degrado degli stock e lo stato attuale degli ecosistemi marini per fare proiezioni sul futuro e identificare obiettivi di ripristino. I dati utilizzati provengono da diverse fonti storiche, archeologiche, zoo-archeologiche, artistiche, aneddotiche, antropologiche e genetiche.

Vi sono almeno due articoli di ecologia storica marina degni di nota. Uno è stato scritto da John K. Pinnegar e Georg H. Engelhard (2007), ed evidenzia la necessità di spostare i punti di riferimento il più possibile indietro nel passato, sottolineando gli errori commessi fino ad oggi avendo considerato in molti studi solo gli ultimi 30 anni di dati. Gli autori parlano delle fonti multidisciplinari da utilizzare, definendo con precisione le problematiche. Sottolineano, inoltre, l'importanza che dovrebbe essere data all'individuazione delle differenze o delle correlazioni tra impatti storici antropici e climatologici su specie ed ecosistemi.¹⁰

Il secondo articolo che vale la pena consultare è stato pubblicato nel 2009 da Heike K. Lotze e Boris Worm, e parla dell'importanza di dotarsi di punti di riferimento indietro nel passato, focalizzando la ricerca sugli impatti antropici, che vanno ben distinti dagli impatti ambientali e climatici. L'articolo propone una sintesi dell'andamento a lungo termine dell'abbondanza dei grandi mammiferi marini, di uccelli e rettili, principalmente in vaste aree dell'Oceano Atlantico, Indiano e Pacifico, così come nel Mar Baltico e in Europa. Gli autori utilizzano dati provenienti da fonti multidisciplinari, paleontologiche, archeologiche, traccianti molecolari, documentazione storica e statistiche di pesca, per estrarre informazioni quantitative al fine di valutare ed interpretare i cambiamenti a lungo termine, per definire a livello globale dei punti di riferimento storici.¹¹

Entrambi gli articoli sono stati scritti da scienziati, che hanno utilizzato documentazione storica e varie evidenze archeologiche e zoo-archeologiche come fonti di dati quantitativi,

10 J.K. Pinnegar e G.H. Engelhard (2007), "The shifting baseline", 1-16; D. Pauly (1995), "Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries", 430.

11 H.K. Lotze e B. Worm (2009), "Historical baselines", pp. 254-262; entrambi gli autori lavorano presso il Dipartimento di Biologia della Dalhousie University (Halifax, Canada).

allo scopo di ricostruire un punto di riferimento nel passato sia per le specie impattate che per gli ecosistemi. Secondo Lotze e Worm, che fanno parte di un'altra componente del *Census of Marine Life*, il *Future of Marine Animal Populations* (FMAP), questi dati sono essenziali anche per fare proiezioni per il futuro basate sui modelli. La metodologia dell'ecologia storica marina si basa sull'elaborazione di modelli che descrivano gli effetti della pesca, dei cambiamenti climatici e di altre forzanti, traendo informazioni da dati biologici (<http://www.fmap.ca/index.php>).

Dal punto di vista metodologico, gli scienziati e gli ecologi marini attingono separatamente da ciascuna disciplina dati ed informazioni, senza però verificare la loro autenticità o il contesto storico. Definire il contesto storico significa, ad esempio, conoscere l'autore del documento e l'ambiente in cui è stato scritto; verificare se si tratta di un documento originale o di una copia; capire se il documento è basato su un racconto o su una testimonianza diretta, ecc. Lotze e Worm, all'inizio del loro articolo, affermano giustamente che "l'importanza di utilizzare una grande varietà di fonti di dati è stata esaminata altrove",¹² ovvero nell'ambito dell'ecologia storica marina. **La metodologia adottata dall'ecologia storica marina è definita multidisciplinare.**

Va, comunque, sottolineato che utilizzare dati senza verificarne l'autenticità e il contesto storico può portare a problemi di interpretazione e all'utilizzo di dati errati nel creare i modelli e nel fare previsioni, fornendo indicazioni sbagliate a coloro che hanno la responsabilità di gestire gli stock sovrasfruttati di pesci e mammiferi marini. L'esempio che segue illustra la problematica relativa all'utilizzo di dati esclusivamente per il loro valore nominale.

Sono stati trovati 196 resti ossei del pesce balestra, *Balistes capriscus* (sinonimo di *carolinensis*), a Atlit Yam, lungo la costa israeliana, un villaggio neolitico sommerso del 7° e 6° millennio a.C. (Alto Olocene). Questo sito è stato abbandonato a causa dell'innalzamento del livello del mare (10000-8000 d.C.). Il *B. capriscus*, i cui resti costituiscono il 92% delle lische presenti nel sito e che contribuiva fino al 15% della domanda proteica degli abitanti, dando un apporto importante all'economia del sito, è un predatore che vive su fondali sabbiosi e rocciosi da 10 a 100 m di profondità. Altre evidenze relative al sito, come l'analisi dei denti degli scheletri trovati, dimostrano come nell'area fossero praticate varie attività come la pesca, anche d'alto mare, l'allevamento di bestiame e l'agricoltura.¹³ L'ampio intervallo di peso (90-3.400 g) e di lunghezza (100-450 mm) dei pesci ritrovati presso Atlit Yam indica come tutte le classi di taglia fossero sfruttate intensamente. Lo stesso si può dire riguardo un altro sito Neolitico, Cape Andreas Kastros a Cipro, presso il quale sono stati trovati abbondanti resti di pesce balestra, rivelando come questa risorsa avesse un importante valore economico anche qui, come probabilmente anche in altri villaggi preistorici del Mediterraneo. Attualmente, il *B. capriscus* si trova in tutto il Mediterraneo e Mar Nero, inclusa la costa israeliana.¹⁴ Questo significa che (apparentemente) le caratteristiche ecologiche del Mediterraneo orientale non sono cam-

¹² *Ibid.*, p. 254.

¹³ E. Galili, M. Weinstein-Evron, I. Hershkovitz, A. Gophen, M. Kislev, O. Lernau, L. Kolska-Horwitz, e H. Lernau (1993), "Atlit Yam", 133-157.

¹⁴ I. Zohar, T. Dayan e E. Spanier (1997), "Predicting Grey Trigger fish body size from Bones", 150-156.

biate in modo radicale rispetto a quelle presenti nel Neolitico, malgrado i cambiamenti climatici, come il riscaldamento globale sopraccitato che ha determinato un innalzamento del livello del mare e la sommersione di Atlit Yam. **Ciononostante**, secondo i dati forniti dalla FAO - Dipartimento Pesca e dal Ministero dell'Agricoltura Israeliano, lo sbarcato annuale relativo al Mediterraneo orientale (escluso il Mar Nero) del pesce balestra è solo l'1% del totale. Secondo i pescatori israeliani questa specie ha un basso valore economico. Nel passato, quindi, il pesce balestra aveva tutt'altra importanza rispetto al presente.

Considerando questi dati in modo superficiale, per i loro valori percentuali, si potrebbe concludere erroneamente che nel passato questa specie nel bacino orientale era più abbondante rispetto ad oggi, ed ipotizzare che la ragione dell'attuale scarsità sia la sovrappesca. Prima di giungere a questa conclusione, però, bisognerebbe considerare la storia di questo pesce su un'ampia scala temporale. Questa interpretazione grossolana, infatti, non prende in esame altre ipotesi, come ad esempio se vi siano stati cambiamenti nelle preferenze alimentari o nell'attenzione per la salute delle popolazioni. Infatti, oggi il *B. capriscus* "è generalmente considerato non commestibile tra le popolazioni del Mediterraneo ed ha un basso valore economico".¹⁵

Va comunque considerato che nella maggior parte dei casi più si va indietro nel passato, più i dati a disposizione saranno qualitativi e non quantitativi; come ci si potrebbe aspettare vi saranno lacune nelle informazioni, sia dal punto di vista spaziale che temporale, sia a livello globale che regionale, come nel caso del Mediterraneo e Mar Nero.¹⁶ Cercare di giungere a generalizzazioni storiche globali può anche indurre false interpretazioni. Le analisi modellistiche dovrebbero quindi essere adattate per tenere in considerazione queste lacune.¹⁷

Inoltre, poiché gli ecologi hanno fra i loro obiettivi anche quello di fornire elementi ai gestori per risanare e ripristinare gli stock sovrasfruttati, fornendo dei dati, la modellistica può solo evidenziare i problemi ma non risolverli, visto che la soluzione può venire solo dal comportamento umano e dall'intera società. Gli ecologi devono quindi pensare in termini storici e, oltre a chiedere dati quantitativi, collaborare attivamente con gli storici per rispondere alle domande "cosa", "come" e "quando" l'umanità ha fatto e causato. Un'altra domanda cui cercare di rispondere è "**perché**" l'umanità ha trattato gli oceani e le popolazioni marine in questo modo, e se c'è stata una volontà politica dietro questo comportamento. Poiché, ottimisticamente, uno dei ruoli della storia è aiutare a evitare gli errori e i danni commessi nel passato, gli ecologi dovrebbero analizzare da un punto di vista storico se l'impatto antropico, sia negativo che positivo, sulle popolazioni marine dai tempi preistorici presenta qualche dinamica ripetuta nel tempo che possa essere utilizzata come lezione per il presente e per il futuro.

15 *Ibid.*, p. 150.

16 R. Gertwagen (2008), "Conclusioni del Workshop", p. 210.

17 Su questo argomento si veda la discussione di S. Libralato, D. Melaku Canu, e C. Solidoro (2008), "Bridging Gaps", pp. 202-9.

COS'È LA STORIA DELL'AMBIENTE MARINO?

La storia dell'ambiente marino condivide gli stessi obiettivi dell'ecologia storica marina, perseguendo questi obiettivi attraverso l'analisi delle relazioni storiche a lungo termine tra società e attività umane e le popolazioni marine e gli oceani. La storia dell'ambiente marino è multidisciplinare come l'ecologia storica marina, però utilizza le diverse discipline in un contesto storico e **interdisciplinare, ovvero in modo che si integrino, spieghino e chiarifichino reciprocamente**; in questo modo permette di ottenere una rappresentazione olistica di vari aspetti delle interazioni tra uomo ed ambiente: economia, politica, antropologia, cultura, ecc.

W. Jeffrey Bolster, nato come storico marino che ha poi esteso i propri interessi alla storia dell'ambiente marino nell'ambito di HMAP, nell'articolo "*Opportunities in Marine Environmental History*" parla in dettaglio di questa disciplina nascente. Bolster asserisce che per fare chiarezza sulla lunga storia dell'impatto antropico sugli ecosistemi marini, facendo riferimento all'importanza delle risorse marine nello sviluppo storico della società, è necessario descrivere la natura mutevole degli ambienti marini, in cui le contraddittorie aspirazioni, valori, comportamenti, culture e costituzioni umane giocano un ruolo centrale. Gli storici, però, dovrebbero sottolineare che "variabili complesse creano situazioni storiche specifiche – non universali, o replicabili, o naturali, ma situazioni specifiche". Quindi gli storici dell'ambiente marino possono arricchire le informazioni raccolte dagli ecologi storici marini e contribuire a far luce sulle attuali dinamiche del rapporto tra uomo e ambiente marino, passo essenziale in fase gestionale. Storicizzare gli oceani, ovvero "considerare gli oceani come protagonisti dinamici nelle vicende umane, darebbe un contributo significativo a capire il ruolo delle persone come attori ecologici". Come già detto, più spostiamo indietro nel tempo i punti di riferimento, meno dati quantitativi sono disponibili, "gli storici possono dimostrare l'entità dei cambiamenti ambientali, ricordando a politici e manager il mondo che abbiamo perso". Anche la modellistica, quindi, si dovrebbe storicizzare.¹⁸

Si potrebbe pensare che il diverso approccio adottato da storici ed ecologi/scienziati nell'affrontare le problematiche storiche relative all'ambiente marino, sebbene la storia sia il comune denominatore, sia rilevante in termini d'obiettivi, domande poste, utilizzo delle fonti e dei dati storici, linguaggio utilizzato, presentazione dei risultati finali e forse anche in termini di auto definizione. Inoltre, secondo Bolster, storici ed ecologi marini sono in disaccordo anche nel modo in cui concepiscono il rapporto tra passato, presente e futuro. Richard Hoffman, insigne storico dell'ambiente del Medioevo, specializzato in ecologia e autorevole studioso della pesca e della cultura del pesce durante il Medioevo europeo, sostiene che la diffusa incapacità degli scienziati naturali di interpretare i dati passati, che sono solitamente frammentari, può portare alla falsa credenza che l'assenza di dati scientifici significa assenza di cambiamento. Lo storico spiega questa sua asserzione con un esempio che riguarda la pesca del salmone del Reno. Secondo i gestori della pesca, nelle

18 W.J. Bolster [2006], "Opportunities in Marine Environmental History", 567-597; a p. 589 Bolster si presenta. Si veda inoltre: <http://explore.noaa.gov/abstract-and-bio-history-of-marine-animal-populations-dr-jeff-bolster>.

aree in cui osservazioni scientifiche moderne hanno evidenziato un rilevante declino, iniziato durante l'industrializzazione avvenuta nel 19° secolo, il salmone del Reno non è stato influenzato dalle attività umane almeno fino al 18° secolo. Hoffman sostiene che nella migliore delle ipotesi quest'affermazione incoraggia un'acquiescenza masochista nell'ignoranza.¹⁹

Si potrebbe aggiungere che questa diversità d'approccio non riguarda solo il campo marittimo, ma più in generale coinvolge ecologi e storici nei confronti dell'ambiente storico. Steve Pyne, nell'articolo "*Environmental history without historians*", definisce chiaramente queste differenze: "Per esperienza e temperamento gli scienziati risolvono i problemi. Gli storici accademici invece evidenziano i problemi, sebbene sembra che recentemente si auto-compiacciano di essere semplicemente dei problematizzatori. Le scienze si stanno muovendo velocemente verso collaborazioni multidisciplinari, verso un entusiasta lavoro di squadra, coinvolgendo chiunque possa contribuire alla causa. **Mirano soprattutto a ottenere un contributo per la ricerca di dati e sui temi della politica e dell'etica. Gli scienziati non sono interessati a come questo contribuisca alla storia per sé, così come gli storici non sono interessati alla complessità della statistica Bayesiana**".²⁰

Ad ogni modo gli storici non hanno il monopolio della storia dell'ambiente marino né sull'ecologia storica marina, malgrado le loro competenze professionali nell'utilizzare ed interpretare i diversi strumenti storici, a meno che non siano dotati anche delle necessarie competenze riguardo alla biologia, distribuzione e comportamento dei pesci; in altre parole, a meno che non siano competenti anche d'ecologia e delle varie discipline ambientali. Gli storici, che sono dei neofiti dell'ecologia marina e dell'ambiente, devono collaborare con gli ecologi marini per capire le informazioni ecologiche e ambientali contenute nei vari documenti storici, a partire dalla terminologia ecologica ed ambientale: dotarsi di un linguaggio comune è un passo fondamentale per superare la distanza fra le diverse discipline. Spesso il nome di una determinata specie è diverso da un luogo ad un altro; gli storici devono collaborare con gli ecologi per verificare l'autenticità delle diverse popolazioni marine identificabili nei resti archeologici e nelle testimonianze artistiche, determinarne il luogo d'origine, o riconoscere i diversi attrezzi da pesca e le rispettive specie bersaglio, ecc. Gli storici hanno bisogno degli ecologi, degli oceanografi e dei climatologi per comprendere l'impatto del clima sui fiumi, sulla salinità del mare e sulla pesca. Senza dubbio gli storici hanno bisogno degli ecologi per riuscire a ricostruire i cambiamenti a lungo termine della biodiversità marina e degli ecosistemi fin dai tempi antichi, allo scopo di implementare misure di risanamento e piani di recupero per gli ecosistemi degradati e le specie sovra-sfruttate, e per proporre misure per evitare in futuro questi danni.

L'articolo "*What can fisheries historians learn from marine science? The concept of Catch per Unit Effort (CPUE)*" di René Taudel Poulsen, uno scienziato, e Poul Holm, storico dell'ambiente marino e coordinatore del progetto globale HMAP, fornisce ulteriori delucidazioni su quello che può essere il contributo degli scienziati per gli storici. Gli autori suggeriscono l'adozione da parte degli storici della pesca dello strumento analitico CPUE (N.d.T.: catture per unità di sforzo, ad esempio kg di pesce catturato per ora di

19 R.C. Hoffman, "Medieval Europeans and their Aquatic Ecosystems", p. 47.

20 S. Pyne, "Environmental history without historians", p. 73.

pesca) adottato dagli scienziati marini, per dare coerenza metodologica alle analisi storiche delle fluttuazioni della pesca. Gli autori sostengono che il concetto di CPUE dovrebbe essere adottato dagli storici della pesca per almeno due motivi. Primo, come strumento utile a valutare le rese della pesca. Secondo, per rilevare cambiamenti dell'abbondanza delle specie bersaglio della pesca. Gli autori riportano come esempio la pesca della molva, del merluzzo e del brosmo (famiglia Lotidae) nel 19° secolo nel Mare del Nord svedese.²¹ Va però tenuto in considerazione che le argomentazioni di Taudel Poulsen e Holm sono valide solo per i periodi storici per i quali sono disponibili dati quantitativi. Come detto prima, però, più si va indietro nel tempo meno dati quantitativi sono disponibili.

Fondamentali differenze concettuali tra gli approcci e nel rapporto tra le varie sotto-discipline non esistono solo nell'ambito di materie molto diverse come la scienza e le discipline umanistiche, ma anche al loro interno. Ad esempio vi è un totale disaccordo a livello concettuale tra storici ed archeologi rispetto l'interpretazione del passato che è dovuto, tra le varie cause, all'uso di un linguaggio diverso e, in alcuni casi, a problemi intenzionali di comunicazione dovuti all'orgoglio dei ricercatori.

Gli storici criticano gli archeologi, così come fanno con gli scienziati che si occupano di ricerche storiche, perché utilizzano le evidenze storiche senza verificarne l'autenticità e il contesto. Fanno riferimento alla storia, come gli archeologi stessi ammettono, solo per sostenere le evidenze materiali. Quando però i resti archeologici sono in disaccordo con le testimonianze storiche, gli storici sostengono giustamente che gli archeologi le ignorano e creano la propria storia. Spesso, fraintendendo la documentazione storica, gli archeologi finiscono, sebbene non intenzionalmente, col distruggere i resti archeologici o con l'inventare una realtà storica (come spazi urbani o l'architettura di edifici) che non è esistita. Questi errori cruciali possono avere un'influenza pesante nella ricostruzione dei diversi resti archeologici e sullo sviluppo di politiche per i siti archeologici. Inoltre, gli archeologi hanno la tendenza ad interpretare la realtà storica basandosi solo su un sito specifico, senza metterlo in relazione con altri siti contemporanei facenti parte di una vasta area geografica, come ad esempio l'intero Mediterraneo.²²

Gli archeologi asseriscono che i resti materiali rappresentano dati quantitativi che non possono essere contestati, anche se sono in disaccordo con le evidenze storiche. Piuttosto i resti archeologici dovrebbero essere considerati come una realtà storica. Sosten-

21 R. Taudel Poulsen e P. Holm [2007], "What can fisheries historians learn from marine science?", pp. 89-112.

22 R. Gertwagen (2000), "The concept of ports", 177-241; in queste pagine l'autrice discute dal punto di vista metodologico le discipline che dovrebbero essere coinvolte nello studio dei porti medievali e il loro utilizzo in un contesto interdisciplinare: storia, geografia, geologia, oceanografia, ingegneria marina (dei porti e delle barche), architettura urbana, archeologia e archeologia marina subacquea. L'autrice possiede le conoscenze accademiche delle varie discipline e utilizza una metodologia multi e interdisciplinare nelle sue ricerche attuali. Gertwagen evidenzia gli errori sostanziali commessi dagli archeologi subacquei, che fanno un uso sbagliato della documentazione storica, o dagli storici che non sono in grado di verificare i risultati degli archeologi a causa dell'ignoranza del lessico tecnico che li spinge a interpretare i documenti in accordo con i dati archeologici, e l'influenza di questi errori nella ricostruzione della politica dei porti medievali.

gono, inoltre, che gli storici utilizzano l'archeologia solo quando gli fa comodo, come una disciplina sussidiaria per definire il contesto storico. Va inoltre aggiunto che gli archeologi non si concepiscono come appartenenti al campo umanista, dal momento che utilizzano metodi scientifici come: statistica, fisica e chimica per la datazione e l'analisi dei materiali; l'anatomia, la medicina e l'antropologia per l'analisi degli scheletri umani; la biologia e la zoo-archeologia per i resti faunistici; la geografia, l'oceanografia, ecc. Infatti, concepiscono la loro appartenenza alle facoltà umanistiche nei vari istituti accademici come arcaica (N.d.T.: il risultato cioè di una consuetudine passata). Spesso gli archeologi pubblicano in riviste accademiche non umanistiche, utilizzando lo stile delle citazioni e delle note tipico delle discipline scientifiche. Questa attitudine incrementa senza dubbio le differenze concettuali tra archeologi e storici.²³

Una discussione via mail tra vari partecipanti alla *summer school* afferenti all'ambito scientifico, rivela come anche tra le varie discipline scientifiche ci siano problemi di comunicazione. Le argomentazioni erano mosse dagli studenti e le risposte e contro-risposte dall'ecologo e storico dell'ambiente prof. Fernando Boero, uno dei docenti della *summer school*.

Uno studente di oceanografia ha raccontato che un suo professore di Fisica dell'Università, afferma che tutte le discipline il cui nome finisce con il suffisso "ica" (Fisica, Chimica, Matematica e Statistica) sono scienze "dure" (o quantitative), mentre al contrario gli altri campi, come l'ecologia, la biologia, ecc. sono considerate scienze "morbide" (o descrittive). Secondo tale docente le scienze "morbide" non sono importanti e non hanno valore per chi si sta specializzando nelle scienze "dure".

Boero ha articolato la sua risposta in due parti. Innanzi tutto ha rifiutato l'approccio sopramenzionato, affermando che dal momento che la vita è la cosa più complessa che esista all'universo, allora biologia ed ecologia, occupandosi di essa, studiano il fenomeno più complesso esistente. Da ecologo, conclude che proprio le scienze che si etichettano come "dure" sono quelle che si occupano dei fenomeni più semplici. Tra queste vi sono la matematica e la modellistica, che, infatti, sono inutili per gli studi di storia; Boero afferma inoltre che questa idea del fisico è il prodotto di vanità e ignoranza nei confronti della biologia e dell'ecologia.

La seconda parte della risposta di Boero fa riferimento alla modellistica come strumento predittivo. La scienza è essenziale per capire processi, eventi, ecc. Uno scienziato può quindi fare previsioni utilizzando i modelli, sebbene con grande cautela, tenendo in considerazione le irregolarità che influenzano il cambiamento, poiché le irregolarità avvengono inevitabilmente. È quindi irrilevante se il modello considera tutte le variabili e le loro connessioni.

Boero contesta inoltre le argomentazioni di un altro partecipante alla *summer school* d'estrazione scientifica, che affermava che la modellistica è uno strumento essenziale per capire la complessità ecologica e biologica, comprese le anomalie, dal momento che si occupa dei processi mentali che stanno alla base della comprensione dei mec-

²³ Comunicazione personale di Gertwagen. Da storica con una preparazione nel campo dell'archeologia, ed essendo una pioniera dell'archeologia medievale in Israele, l'autrice ha scritto questo paragrafo basandosi sulla propria esperienza e sul confronto con i suoi colleghi archeologi.

canismi dietro un fenomeno. Boero afferma che i modelli non sono strumenti per capire o ottenere ulteriori informazioni, dal momento che possono al massimo presentare i fenomeni studiati, formalizzare le conoscenze, e lavorare attraverso lo studio delle correlazioni. I modelli, conclude Boero, non possono contribuire a identificare gli attori e le cause.

Questo scambio d'opinioni rileva l'importanza di questa *summer school*, che aveva come uno dei principali obiettivi far incontrare ricercatori di discipline umanistiche e scientifiche, per raggiungere una miglior comprensione di ciascuna disciplina e sotto-disciplina, e far emergere il bisogno e la potenzialità di colmare la distanza tra approcci umanistici, ambientali ed ecologici.

Questo obiettivo non deve essere considerato troppo ambizioso se si considerano i primi passi, mossi da storici prominenti, che riconoscono il bisogno di cambiare attitudine rispetto alla tradizione utilizzando la scienza, oltre che l'archeologia, per capire come fosse la vita, nella più ampia accezione del termine, nel passato remoto. Il pioniere in questo campo è il sopraccitato Richard Hoffman, il principale storico d'ecologia marina e delle acque interne, specializzato in storia medievale europea. Un altro personaggio di spicco è Michael McCormick dell'Università di Harvard, specializzato in storia Antica, Alto Medioevo ed economia bizantina. Attualmente si sta occupando di storia naturale dell'antico ed alto medioevo, con particolare riferimento alla storia della salute umana e dell'ambiente. Due suoi articoli di storia ed ecologia storica marina sono particolarmente significativi in questo ambito, e cercano di rispondere a domande come: qual era la dieta della gente in quel periodo, quanto mangiavano, da dove venivano, ecc. In uno di questi articoli, di carattere metodologico, l'autore appare come autore singolo: M. McCormick, "Molecular Middle Ages: Early Medieval Economic history in the Twenty-First Century" in *The Long Morning of Medieval Europe. New Directions in Early Medieval Studies*, edito da Jennifer R. Davis e Michael McCormick, Britain, Ashgate, 2008, pp. 83-98. Nel secondo articolo, McCormick ha collaborato con ricercatori di altre discipline: M. Salamon^a, A. Coppa^b, M. McCormick^c, M. Rubini^d, R. Vargiu^b e N. Tuross^a, "The consilience of historical and isotopic approaches in reconstructing the medieval Mediterranean diet", *Journal of Archaeological Science*, vol. 35, issue 6 [giugno 2008], 1667-1672.²⁴

Sebbene alcune conclusioni storiche possano essere messe in discussione, come ad esempio l'importazione nell'area mediterranea del merluzzo atlantico a bassi costi già nel 14° secolo, questo articolo rappresenta un ottimo esempio di collaborazione vincente tra umanisti e scienziati.

Considerando che McCormick è uno storico specializzato sul periodo Tardo Romano e sull'Alto Medioevo, mentre il caso di studio affrontato riguarda il Basso Medioevo, quest'articolo rappresenta una lezione importante per capire che gli storici specializzati in

24 a. Dipartimento di Antropologia, Università di Harvard, 11 Divinity Avenue, Cambridge, MA 02138, USA; b. Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università La Sapienza di Roma, Piazzale A. Moro, 5, Roma I-00185, Italia; c. Dipartimento di Storia, Robinson Hall, Università di Harvard, 35 Quincy Street, Cambridge, MA 02138, USA; d. Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio, Servizio di Antropologia, via Pompeo Magno 2, Roma I-00193, Italia.

un certo periodo dovrebbero collaborare con gli scienziati solo nell'ambito delle proprie conoscenze, per evitare conclusioni generali sbagliate.²⁵ Ad ogni modo il prof. McCormick, da storico economico, con i suoi studi prepara la strada perché altri storici escano da posizioni conservatrici legate alla disciplina storica.

Un'ottima formalizzazione di questo concetto ci viene da Angeli E. Laiou, un'altra storica economica di spicco, specializzata sul periodo Bizantino: "Poiché le discipline scientifiche, come la biologia, la genetica e la fisica, si muovono a grande velocità, la sfida delle nuove generazioni di storici consiste nell'aver perfetta padronanza, o almeno avere una buona conoscenza, di tecniche raffinate, e allo stesso tempo acquisire basi ferme rispetto gli strumenti tradizionali, come la filologia, l'archeologia e l'analisi di testi".²⁶

Lo stesso va ovviamente detto per scienziati e archeologi che si occupano di periodi storici, che devono collaborare con gli storici e non considerare le discipline umanistiche solo come fonte di dati quantitativi. In ultima analisi questa collaborazione è essenziale per gli ecologi e gli studiosi dell'ambiente marino che analizzano l'impatto a lungo termine dell'uomo sugli oceani e le popolazioni marine dai tempi preistorici e storici.

BIBLIOGRAFIA

- BOLSTER W.J. (2006). "Opportunities in Marine Environmental History", *Environmental History* 11: 567-597.
- BRAUDEL F. (1972). *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II*, New York.
- BRAUDEL F. (2001). *Memory and the Mediterranean*, edito da Roslyne deAyala e Paule Braudel, tradotto dal francese da Siâ, Reynolds, New York.
- BRESC H. (2001). "Pêche et habitat en Méditerranée occidentale", *Castrum* 7: 525-539.
- GALILI E., WEINSTEIN-EVRON M., HERSHKOVITZ M., GOPHEN I., KISLEV A., LERNAU M., KOLSKA-HORWITZ O.L. E LERNAU H. (1993). "Atlit Yam: A prehistoric site on the sea floor off the Israeli coast", *Journal of Field Archaeology* 20, vol. 2: 133-157.
- DE NICOLÒ M.L. (2008). "Il pesce nell'alimentazione mediterranea (secc. XVI-XIX)", in *Il mare. Com'era*, cit., pp. 35-45.
- GERTWAGEN R. (2000). "The concept of ports in the Medieval Eastern Mediterranean: Construction and maintenance on Crete to the end of the fifteenth century", *International Journal of Maritime History* 12, No. 1: 177-241.

25 McCormick parte dall'affermazione di Braudel rispetto la povertà della pesca in Mediterraneo, in confronto con la pesca Atlantica; prosegue evidenziando come la crescita demografica avvenuta in Europa settentrionale verso il 1000 d.C. abbia determinato un incremento della richiesta alimentare nei confronti della pesca industriale Atlantica. Ad ogni modo Braudel, come detto sopra, non si è occupato del Medioevo Mediterraneo. Inoltre McCormick non ha tenuto conto della linea commerciale dal Mar Nero di Genovesi e Veneziani, che era alla base dell'importazione di caviale e pesce salato verso l'Europa meridionale e Occidentale. Tutte le conclusioni storiche generali, riguardanti le importazioni dall'Atlantico al Mediterraneo, vanno quindi riconsiderate. "L'aumento del consumo di prodotti alieutici osservato tra la popolazione a Roma (nel Basso Medioevo) rappresenta la prima evidenza oggettiva di una nuova realtà economica che metteva in relazione le economie dell'Atlantico e del Mediterraneo alla fine del Medioevo". Questa discussione va però oltre gli obiettivi di questo articolo.

26 A.E. Laiou, "The Early Medieval Economy", p. 99.

- GERTWAGEN R., RAICEVICH S., FORTIBUONI T., E GIOVANARDI O. (Ed.) (2008). *Il mare. Com'era. Le interazioni tra uomo ed ambiente nel Mediterraneo dall'Epoca Romana al XIX secolo: una visione storica ed ecologica delle attività di pesca. Atti del Workshop internazionale HMAP del Mediterraneo e Mar Nero Chioggia, 27-29 Settembre 2006*, ISPRA, pp. 224.
- GERTWAGEN R. (2008). "Approccio multidisciplinare allo studio dell'ambiente marino e della pesca nel medioevo nel mediterraneo orientale" in *Il mare. Com'era*, cit., pp. 144-182.
- GERTWAGEN R. (2008). "Conclusioni del Workshop" in *Il mare. Com'era*, cit., pp. 210-214.
- HOFFMAN R.C. (2008). "Medieval Europeans and their Aquatic Ecosystems" in *Beiträge zum Göttinger Umwelthistorischen Kolloquium 2007 – 2008*, (Ed.) B. Herrmann, Universitätsverlag Göttingen, pp. 45-64.
- HORDEN P. E PURCELL N. (2000). *The Corrupting Sea: A Study of the Mediterranean History*, Malden, Massachusetts.
- HORDEN P. E PURCELL N. (2005). "Four Years of Corruption: a Response to Critics" in *Rethinking of the Mediterranean* (Ed.) di W.V. Harris, Oxford, pp. 349-375.
- LAIQU A.E. (2008). "The Early Medieval Economy Data, Production, Exchange and Demand" in *The Long Morning of Medieval Europe. New Directions in Early Medieval Studies* (Ed.), J.R. Davis e M. McCormick, Gran Bretagna, Ashgate, pp. 99-104.
- LIBRALATO S., MELAKU CANU D. E SOLIDORO C. (2008). "Bridging Gaps: Utilità dei modelli e di altri metodi numerici per l'analisi dei dati storici" in *Il Mare. Com'era*, cit., pp. 202-9.
- LOTZE H.K. E WORM B. (2009). "Historical baselines for large marine animals", *Trends in Ecology and Evolution* 24, No. 5: 254-262.
- PAULY D. (1995). "Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries", *Trends in Ecology and Evolution* 10: 430.
- PINNEGAR J.K. E ENGELHARD G.H. (2007). "The 'shifting baseline' phenomenon: a global perspective", *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 1 – 16.
- PYNE S. (2005). "Environmental history without historians", *Environmental History* 10, Iss. 1: 72-74.
- TAUDEL POULSEN R. E HOLM P. (2007). "What can fisheries historians learn from marine science? The concept of catch per Unit effort (CPUE)", *International Journal of Maritime History* 19, No. 2: 89-112.
- ZOHAR I., DAYAN T. E SPANIER E. (1997). "Predicting Grey Trigger fish body size from Bones", *International Journal of Osteoarchaeology* 7: 150-156.

CONTESTUALIZZAZIONE DELLE TECNOLOGIE DI PESCA DEI ROMANI

Tønnes Bekker-Nielsen

Università della Danimarca Meridionale, Kolding (Danimarca)

e-mail: tonnes@hist.sdu.dk

Parole chiave: pescatori, garum, gastronomia, Editto di Diocleziano, Apicio

RIASSUNTO

Negli ultimi vent'anni la nostra conoscenza della pesca nel periodo romano è notevolmente migliorata. Infatti, applicando congiuntamente metodologie tipiche della biologia, della storia e dell'archeologia ad una serie di fonti pittoriche, letterarie ed arqueo-zoologiche, è stato possibile stabilire come la pesca nel periodo romano fosse un'industria sofisticata e variegata, ben diversa dalla triste immagine presentata da T.W. Gallant venticinque anni fa (Gallant, 1985). Possiamo ora affermare con certezza che i romani utilizzavano praticamente tutte le tipologie di attrezzi attualmente conosciuti, ad eccezione delle reti a strascico; che le imbarcazioni erano costruite specificatamente per le attività di pesca, e che vi erano barche dotate di contenitori per mantenere il pesce vivo (Boetto, 2006); che i Romani erano in grado di preservare il pescato secondo molteplici tecniche tuttora in uso, come la salagione, l'essiccazione e forse – sebbene non sia ancora stato verificato con certezza – la fumigazione (Højte, 2005), così come mediante la fermentazione per produrre la famosa salsa di pesce conosciuta come *garum*. Sebbene queste conclusioni abbiano di per sé un certo valore, esse rispondono solo parzialmente alla domanda posta dal progetto HMAP, ovvero qual è stato l'impatto antropico sugli stock ittici nel passato. Infatti, stabilire che una determinata tecnologia sia esistita in un periodo remoto, non ci dice se essa fosse effettivamente in uso. Un esempio moderno potrebbe essere rappresentato dall'energia solare e dalle armi nucleari. La prima fornisce energia a basso costo ed è diffusa in diverse nazioni, ma non nel mio paese d'origine, dove la radiazione solare è ridotta. Allo stesso modo numerosi stati possiedono la tecnologia necessaria per produrre armi nucleari, ma per motivi politici, o se preferite morali, tali armi non sono prodotte e non possono essere usate. Analogamente, nell'antichità l'utilizzo di tecniche di pesca dipendeva da fattori geografici, climatici, economici, sociali ed anche da considerazioni di tipo morale.

1. Al fine di contestualizzare le tecnologie di pesca, vediamo innanzitutto quale componente della popolazione praticava tale attività. Com'era essere pescatori in epoca romana? Nella commedia *Rudens*, scritta nel 3° secolo a.C., Plauto ci fornisce una descrizione tetra:

“È difficile essere povero, specialmente quando uno non ha una professione e non ha imparato alcun commercio. [...] Dal nostro abito puoi chiaramente capire quanto

poveri siamo. Questi ami, queste lenze, sono il nostro sostentamento e rifugio. Ogni giorno veniamo dalla città al mare per cercare il nostro magro guadagno; il mare è la nostra *palaestra* ed il nostro *gymnasium*, dove troviamo ricci di mare, datteri, ostriche, patelle, mitili e granchi. Peschiamo con l'amo e tra le rocce, prendendo dal mare il nostro cibo. Se però la fortuna non ci arride, e non peschiamo alcun pesce, allora torniamo a casa ed andiamo a dormire affamati, completamente zuppi d'acqua di mare" (*Rudens*, atto secondo, 290-305).

Per questi uomini la pesca era la principale occupazione, non un'attività secondaria o l'ultima spiaggia. Lavoravano tutto il giorno; nella loro vita il mare sostituiva la *palaestra* e il *gymnasium*, luoghi dove i ricchi gentiluomini passavano il loro tempo. Non sappiamo però in che misura la descrizione di Plauto rispecchi le condizioni sociali del suo periodo, piuttosto che il modello ellenistico sul quale la commedia è basata; di sicuro il pescatore povero è una figura popolare nell'arte ellenistica e nella letteratura (Figura 1). Plauto po-



Figura 1. Statua di vecchio pescatore. Museo del Louvre, MA 1354. Foto: Marie-Lan Nguyen/Wikimedia.

trebbe aver assegnato una condizione servile al pescatore Gripo solo perché gli tornava utile per la sua opera, anche se l'exkursus sulle miserabili condizioni di vita dei pescatori non è strettamente necessario alla trama, e comunque difficilmente avrebbe potuto essere incluso in essa se fosse stato completamente estraneo alla realtà conosciuta da Plauto e dal suo pubblico (Rauh *et al.*, 2008). Ai nostri fini, è importante rilevare che i pescatori si trovavano al più basso livello nella scala sociale: uomini poveri che vivevano al limite e, in alcuni casi, schiavi.

2. Una volta catturato, il pesce deve essere trasportato dall'imbarcazione alla cucina. Ho già evidenziato in un altro lavoro (Bekker-Nielsen, 2005) come questo rappresentasse il maggior limite tecnico nel periodo antico: esso riduceva il numero dei potenziali consumatori, restringendolo a quelli che vivevano ad una certa distanza dal porto di pesca o di sbarco del pescato, e riduceva inoltre il raggio d'azione e la dimensione delle barche da pesca. Questi fattori potevano essere superati trasportando il pesce vivo, togliendo le interiora già in mare – pratica per la quale però non abbiamo testimonianze – oppure essiccando o salando il pesce.

La salagione era una tecnica conosciuta almeno dal 5° secolo a.C., quando viene menzionata nei testi greci. Dal 1° secolo a.C. il pesce salato era considerato una prelibatezza, consumata dalle persone abbienti e si trovava anche sulla tavola di Cleopatra, che usava un pesce salato del Mar Nero per fare scherzi al suo amante (Plutarco, Antonio, 29.4).

Il pesce salato si trova anche nel *De re coquinaria* di Apicio, l'unico libro di cucina antico che si è conservato. In questa raccolta di ricette per il ceto elevato, sono riportati diversi piatti in cui il *salsum* rappresenta l'ingrediente principale, ed alcune ricette per il *salsum sine salso*, ovvero la versione "finta", in cui il pesce salato veniva rimpiazzato da altri ingredienti quali lepre, agnello, capra o pollo, o dove alcune spezie come il cumino venivano usate per riprodurre il gusto del pesce salato (Apicio, 9.13). Il pesce salato era quindi usato non solo come sostituto del pesce fresco, ma come una vera e propria pietanza, grazie al suo valore come condimento e alle proprietà medicinali (Wilkins, 2005). Il pesce salato presentava il vantaggio di poter essere trasportato per lunghe distanze, addirittura dal Mar Nero all'Egitto, come apprendiamo dall'aneddoto di Plutarco. In altre parole la pratica della salagione permetteva di estendere l'areale geografico del consumo di pesce.

In quale misura la salagione abbia permesso di ampliare il consumo di pesce tra le diverse classi sociali, è invece di difficile valutazione. Il pesce salato era meno costoso di quello fresco, ma di quanto? Secondo l'Editto sui Prezzi di Diocleziano (circa 300 d.C.), in cui i prezzi sono riportati per peso, il pesce salato era più economico del pesce fresco e della carne di maiale, vitello e capra. Esistono però una serie di problemi nell'interpretazione di tale editto, ma possiamo affermare con una certa confidenza che il pesce salato aveva un valore economico accessibile per la classe media, mentre il proletariato urbano poteva difficilmente permetterselo.

Anziché salare il pesce, è possibile mantenerlo vivo in vasche, nasse, ceste o contenitori. A partire da circa un secolo a.C., le vasche divennero molto di moda tra l'élite di Roma, ed in particolare nelle residenze estive nel Golfo di Napoli, che divenne il centro romano di ostricoltura e piscicoltura. Su un fiasco proveniente da una località di villeggiatura presso Baiae (Figura 2), i banchi d'ostriche locali sono rappresentati come caratteristici

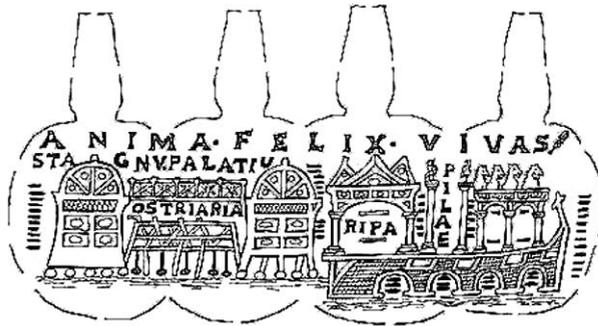


Figura 2. Fiasco romano, oggi al Museo Archeologico Nazionale a Varsavia, che mostra il golfo di Baiae: a sinistra, i letti di ostriche; a destra, il molo (pilae) che protegge il porto di Puteoli.

di tale sito, come la torre Eiffel sui souvenir di Parigi. Dal 2° secolo d.C. le *villae maritimae* degli abbienti erano molto diffuse nel Golfo di Napoli e lungo la costa tirrenica (Lafon, 2001; Figura 3), creando conflitti tra i proprietari ed i pescatori locali (Digest, 1.8.4.pr.). Durante la villeggiatura, i ricchi Romani avevano facile accesso al pesce fresco proveniente dalle vasche di loro proprietà, da quelle nelle vicinanze o direttamente dal mare. Le prime testimonianze di navi dotate di contenitori per mantenere vivo il pesce risalgono al primo secolo d.C. Alcune imbarcazioni dotate di queste strutture furono utilizzate per importare il pesce pappagallo, *Sparisoma cretense*, dal mar Egeo al Tirreno durante il regno di Claudio, 41-54 d.C. (Bullock, 2008). Nel Porto di Claudio presso Ostia è stata trovata una piccola imbarcazione (Figura 4) dotata di questi contenitori per i pesci vivi (Figura 5; Boetto, 2006). Di conseguenza, sappiamo che almeno da quel periodo storico, se non prima, i Romani avevano le conoscenze necessarie per trasportare pesce vivo fino ad Ostia, e da questo porto fino al centro della città. Che diffusione aveva questa tecnica e che impatto aveva sul consumo di pesce? Sebbene siano stati rinvenuti mediante scavi molti *macella* o mercati di carne e pesce risalenti al periodo Romano (Ruyt, 1983), solo in pochi siti sono presenti prove che suggeriscano la presenza di vasche per mantenere il pesce vivo.

Di sicuro i problemi logistici legati al trasporto di pesce vivo da Ostia a Roma erano enormi. Il trasporto via mare sarebbe durato almeno tre giorni e, considerando il viaggio di ritorno, era necessaria almeno una settimana per portare al mercato il pescato di un'imbarcazione. Ma quanto era il pescato di un'imbarcazione? Nelle vasche doveva esserci più acqua che pesce. Nelle vasche alimentate in continuo da acqua marina era certamente possibile accumulare più pesce, ma il passaggio dalle acque salate del Tirreno a quelle dolci del Tevere rappresentava un problema. È interessante notare che le triglie di fango, la specie ittica più apprezzata, si adatta bene ad acque salmastre e dolci. Altre specie meno adatte a tale modalità di trasporto potevano essere pulite dalle interiora e portate al mercato via terra; un carro con due ruote poteva, infatti, raggiungere Roma da Ostia in meno di 4 ore.

A livello tecnico sarebbe stato possibile trasportare il pesce addirittura a maggiori distanze mediante i carri, ma i costi ed i rischi della degradazione del pescato crescevano ogni miglio. Alla fine, quindi, la varietà delle scelte culinarie era dettata dall'economia e dalla geografia. Per coloro che vivevano in prossimità delle coste, diciamo entro 5 chilometri dal mare, il costo del trasporto non rappresentava un fattore importante;

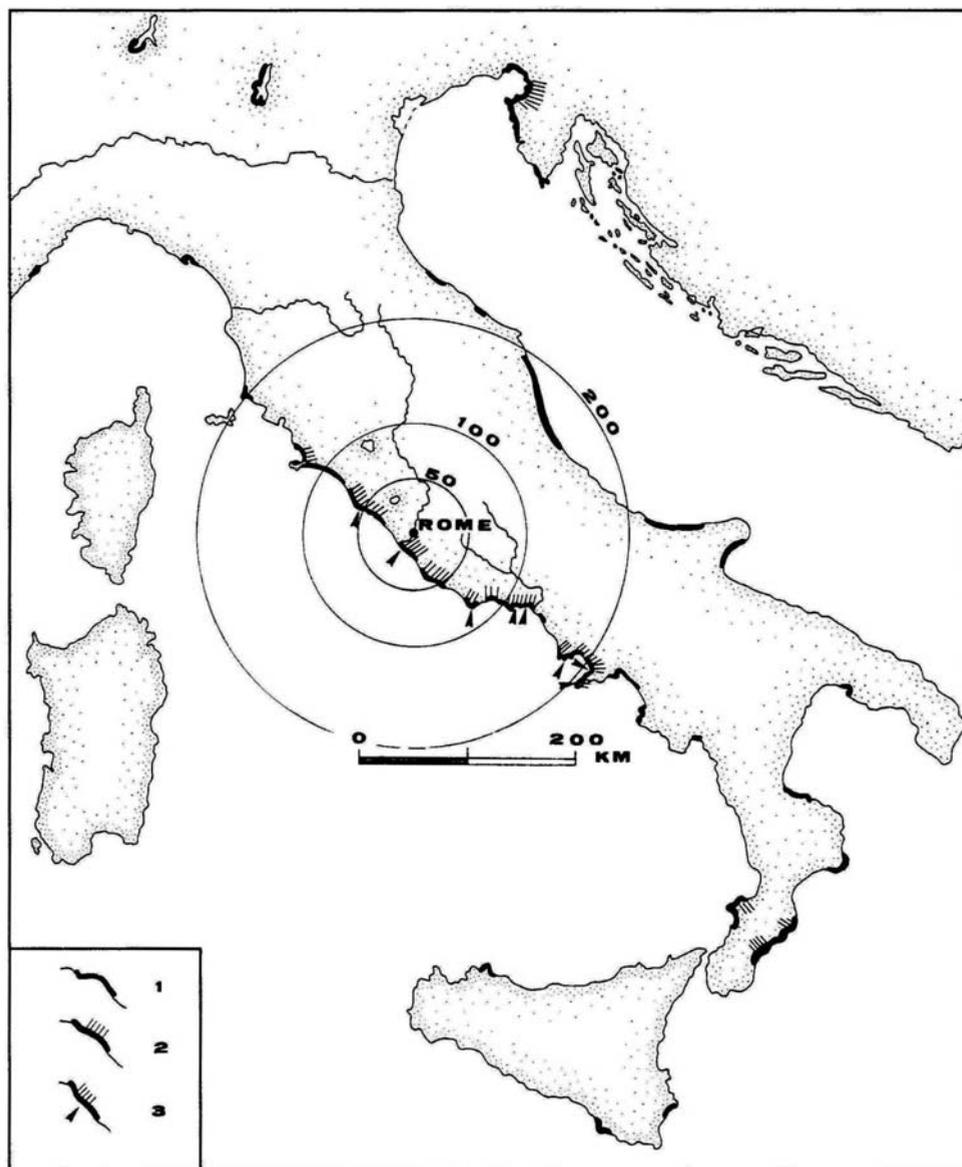


Figura 3. La densità di villae maritimae lungo la costa italiana, 2° secolo d.C. 1: più di una villa ogni 10 km; 2: più di una villa ogni 3 km; 3: più di una villa per km (Lafon 2001, fig. 37).

probabilmente andavano loro stessi [o i loro schiavi] direttamente al *macellum* vicino al porto per acquistare il pesce. Questa zona, che potremmo definire “zona generalizzata di consumo del pesce fresco”, poteva includere tutte le città e i villaggi posti lungo la costa e gli estuari. Nell'immediato entroterra solo la minoranza dei più abbienti po-



Figura 4. Barca da pesca di Fiumicino (foto: RGZM Mainz).



Figura 5. Barca da pesca di Fiumicino, dettaglio del fondo del pozzetto (foto: RGZM Mainz).

teva permettersi di consumare pesce fresco, mentre oltre la distanza di un giorno di viaggio dalla costa – 30-40 chilometri – il pesce fresco non era assolutamente disponibile.

3. Il pesce non si consumava solo fresco o salato, ma veniva anche trasformato in *garum* o *liquamen*, una salsa ottenuta facendolo fermentare in un tino per un lungo periodo. Il liquido trasparente, di colore ambrato, ricavato sulla superficie del contenitore era talvolta definito *flos gari*, “fiore” o crema di *garum*. La seconda e terza scelta del prodotto era di qualità inferiore, conteneva una certa quantità di solidi, ed era nota come *hallec*.

Va rimarcato che il contesto è più importante della tecnologia. La tecnica di produzione del *garum* o *garos* era nota da molto tempo, ma fu solo nell’ultimo secolo a.C. che ebbe inizio la produzione di *garum* su vasta scala. Il procedimento non è complicato, ma richiede organizzazione, pianificazione ed una certa conoscenza dei mercati. Anche se il *garum* poteva essere realizzato in tini, tinozze e barattoli, le cisterne in muratura erano preferite e sono proprio i resti di queste strutture che, rinvenute dal mar Nero (Højte, 2005) fino all’Atlantico (Trakadas, 2005), permettono di identificare i siti di produzione e forniscono l’idea dell’immensa diffusione dell’industria del *garum*. È molto difficile, comunque, fornire una stima del volume della produzione di *garum* dalle semplici cisterne, in particolare perché potevano essere utilizzate per la preparazione di altri prodotti, come il

pesce salato. È forse meglio comparare i volumi di consumo di altri prodotti alimentari come il vino e l'olio che, come il *garum*, venivano trasportati in anfore. Confrontando il numero d'anfore per il trasporto dell'olio e del *garum* in diversi siti dell'impero Romano occidentale, Ejstrud (2005) ha stimato che in media veniva consumato un litro di *garum* ogni tre litri di olio d'oliva. Poiché l'olio d'oliva, diversamente da oggi, non era usato solo per cucinare, ma anche per la cura personale e l'illuminazione, la quantità totale d'olio consumato nelle case dei Romani era significativa e quindi la quantità di *garum*, sebbene rappresenti solo un terzo dell'olio consumato, non è certo trascurabile. Nel libro di cucina di Apicio, il *garum* è presente in oltre la metà delle ricette e nella maggior parte delle salse. Il *garum* era usato in molte pietanze romane, non solo a base di pesce. Mentre i cuochi romani potevano sostituire il pesce d'acqua dolce a quello di mare o – come visto – il fegato delle pecore al pesce salato, non esistevano alternative al *garum*. Inoltre, per la produzione di *garum* potevano essere utilizzate specie che per dimensione o altre caratteristiche non erano utilizzabili per produrre pesce salato o per essere mangiate fresche. Quindi, l'ampia diffusione del *garum* probabilmente ha influenzato significativamente le strategie di pesca, che vennero maggiormente indirizzate verso elevate catture e meno verso lo sfruttamento di determinate specie di interesse.

4. Il nostro pesce, in qualsiasi forma – fresco, salato o trasformato in liquido – ha adesso raggiunto la cucina ed è pronto per essere consumato nelle sale da pranzo delle classi romane più abbienti, o nei ristoranti detti *thermopolia*, dove la maggior parte dei Romani poteva acquistare un pasto caldo. È il momento di prendere in considerazione la demografia, una variabile importante per stimare il consumo di pesce ed il suo sfruttamento.

Negli ultimi due secoli a.C. la popolazione italiana era probabilmente abbastanza stabile, considerato che fu soggetta ad una polarizzazione sociale, con il numero di proletari e di ricchi possidenti terrieri che aumentò, mentre le classi medie ed i piccoli proprietari terrieri diminuirono. La popolazione di Roma, d'altra parte, in quel periodo crebbe a fasi alterne, raggiungendo circa un milione d'abitanti durante il primo impero.

La crescita urbana fu determinata da una serie di fattori, tra i quali i cambiamenti sociali nelle campagne, e fu facilitata dalla natura predatoria dell'economia imperiale, che canalizzò la produzione di grano delle province nei granai di Roma, mantenendo quindi bassi i prezzi del grano e del pane.

Come per i loro predecessori delle società preindustriali, le classi meno abbienti di Roma spendevano una porzione significativa dei loro guadagni per il cibo, ed il prezzo del frumento era una questione politicamente molto sensibile. Quantomeno dal secondo secolo a.C., il prezzo calmierato – cioè artificialmente abbassato – del grano venne utilizzato come un'arma politica, mentre dal primo secolo a.C. il grano venne distribuito gratuitamente. Nella letteratura questa istituzione viene spesso citata come il "sussidio del grano", ma non era un sussidio secondo l'accezione attuale del termine, che indica una donazione agli abitanti poveri.

All'inizio ben 300000 cittadini potevano godere di questo sussidio, ed anche dopo l'intervento di Augusto, che ne ridusse drasticamente il numero, 150000 persone erano nella lista dei beneficiari. Poiché questo numero è riferito non a singoli individui, ma ai padri di famiglia, la porzione di abitanti che godeva di questo diritto si estendeva ben oltre le classi sociali meno abbienti. Ciò non è sorprendente se si prende in considerazione il sistema

elettorale Romano, dove i voti del *Lumpenproletariat* avevano scarso peso. Come in ogni sistema moderno d'assistenza, aiutare la classe medio-bassa era politicamente più conveniente che sostenere i veri bisognosi.

Si potrebbe pensare che il basso costo del grano inducesse la gente comune a mangiare più grano, avena e pane; ma una breve riflessione mostra come fosse più probabile il contrario. La riduzione o l'annullamento del costo dei cereali, la base della dieta, dava maggiore potere d'acquisto nei confronti d'altri beni come vegetali, olio, vino, condimenti, ecc., e forse anche proteine animali, permettendo di ampliare lo spettro nutrizionale e culinario della dieta.

5. Ma fermiamoci un attimo e consideriamo alcune evidenze. Il ruolo dell'uomo negli ecosistemi marini è quello del predatore (Stergiou, 2002). L'impatto dell'uomo sugli stock ittici, ovvero l'importanza dello sfruttamento umano, dipende da due fattori: la tecnologia di pesca disponibile e la dimensione della popolazione predatrice, ovvero il numero di persone che consumano pesce marino. Come abbiamo detto al tempo dei Romani le tecniche di pesca sostanzialmente non cambiarono. La maggior parte degli attrezzi - reti, tridenti, sciabiche, ecc. - erano conosciuti fin dal periodo Ellenico. Per individuare un cambiamento decisivo, dobbiamo quindi guardare altrove.

Dalla precedente disamina si può desumere che, vista la dimensione limitata della popolazione del Mediterraneo nel periodo antico, lo sfruttamento delle risorse rimase in generale ad un livello stabile e sostenibile – quindi, se ci fossero stati casi di sovrasfruttamento, avrebbero avuto carattere locale ed eccezionale (Ivanova, 1994; Trakadas, 2006). Si possono identificare solo tre eventi, precedenti al 300 d.C., che potrebbero aver avuto degli effetti significativi sulle risorse ittiche del Mar Nero e del Mediterraneo. Il primo è la colonizzazione greca avvenuta intorno al 600 a.C., cui è seguita una generale crescita nella popolazione e una redistribuzione dalle aree interne alla costa, che portò ad un aumento degli individui presenti nella “zona generalizzata di consumo del pesce fresco”. Un secondo evento è rappresentato dall'adozione del sistema di salagione su larga scala nella regione del Mar Nero, circa uno o due secoli dopo. Entrambi però ricadono al di fuori del contesto storico di questo lavoro.

Il terzo, e forse più importante evento, fu l'introduzione del *garum*, un nuovo prodotto a base di pesce, che ne accrebbe il consumo pro capite e che si diffuse ampiamente tra la popolazione. Disponibile in varietà a basso ed alto costo, il *garum* poteva essere consumato da una fascia di persone più ampia rispetto al pesce. Imbottigliato nelle anfore, poteva viaggiare per lunghe distanze: in effetti, come dimostrato dalla distribuzione dei frammenti d'anfore, la “zona generalizzata di consumo del *garum*” si estendeva su tutto l'Impero. Di conseguenza aumentò la richiesta di prodotti ittici, ed il fatto che la produzione di *garum* fosse concentrata in determinate aree del Mediterraneo (Stretto di Gibilterra, Golfo di Lione-Mar Ligure, Mar Nero Settentrionale), suggerisce che non tutti gli ambienti marini potevano fornire pesce su scala “industriale” per poter riempire le cisterne nei siti di produzione.

Sebbene manchino prove definitive, è probabile che la pesca “industriale” per la produzione di *garum* ebbe un effetto significativo sugli stock ittici a livello regionale, e forse anche a livello globale (visto che l'industria del *garum* sfruttava specie pelagiche migratrici come gli sgombrici).

Cosa determinò la rapida crescita di produzione di *garum*? Per rispondere dobbiamo considerare la storia sociale. Le mode nel vestire, il cibo e gli stili di vita sono raramente fattori locali; più frequentemente essi passano dalle élite all'intera società. Nell'ultimo secolo a.C., l'élite senatoriale di Roma iniziò ad apprezzare il pesce di mare che era consumato nelle ville del Golfo di Napoli, e di conseguenza il pesce, prima associato alle classi sociali basse - come il povero pescatore citato da Plauto - divenne molto popolare tra le classi abbienti. Di conseguenza, la classe media romana volle imitare quelle superiori, ma si trovò di fronte al problema del prezzo troppo elevato del pesce fresco. Fu così che il pesce salato sostituì quello fresco nelle case dei borghesi, ed il gusto di pesce salato divenne un carattere distintivo dei piatti della buona cucina della classe media. Quando il *garum* si diffuse in tutta Roma tutti, dal semplice cliente al negozio di cucina all'angolo della strada, poterono essere partecipi dell'esperienza del "pesce e sale" della classe dirigente romana, sebbene nella forma della salsa di pesce.

BIBLIOGRAFIA

- BEKKER-NIELSEN T. (Ed.) 2005. *Ancient Fishing and Fish Processing in the Black Sea Region* (Black Sea Studies, 2). Aarhus.
- BEKKER-NIELSEN T. (2005). The Technology and Productivity of Ancient Sea Fishing, in Bekker-Nielsen (Ed.), *Ancient Fishing*. Aarhus, pp. 83-95.
- BOETTO G. (2006). "Roman Techniques for the Transport and Conservation of Fish: the Case of the Fiumicino 5 Wreck", in Hocker, F. e Englert, A. (Eds.) *10th International Symposium of Boat and Ship Archaeology*, Oxford, 123-129.
- EJSTRUD B. (2005). Size Matters. Estimating Trade of Wine, Oil and Fish-Sauce from Amphorae in the First Century AD, in Bekker-Nielsen (Ed.), 171-181.
- GALLANT T. (1985). *A Fisherman's Tale* (Miscellanea Graeca 7). Ghent.
- HØJTE J.M. (2005). The Archaeological Evidence for Fish Processing in the Black Sea Region, in Bekker-Nielsen (Ed.), 133-160.
- IVANOVA N.V. (1994). Fish Remains from Archaeological Sites of the Northern Part of the Black Sea Region (Olbia, Berezan), *Offa* 51, 278-283.
- LAFON X. (2001). *Villa maritima : recherches sur les villas littorales de l'Italie romaine (III^e siècle av. J.-C. / III^e siècle ap. J.-C.)* (Bibliothèque des Écoles françaises d'Athènes et de Rome, 307). Roma.
- RAUH N.K., DILLON M.J. e McCLAIN T.D. (2008). Ochlos nautikos: Leisure culture and underclass discontent in the Roman maritime world, in R.L. Hohlfelder (Ed.), *The Maritime World of Ancient Rome* (Memoirs of the American Academy in Rome, suppl. 6), Ann Arbor, Michigan, 197-242.
- RUYT C. DE (1983). *Macellum: Marché alimentaire des Romains*. Louvain.
- STERGIOU K.I. (2002). Overfishing, tropicalization of fish stocks, uncertainty and ecosystem management: resharpener Ockham's razor, *Fisheries Research* 55: 1-9.
- TRAKADAS A. (2005). The archaeological evidence for fish processing in the Western Mediterranean, in Bekker-Nielsen (Ed.), 47-82.
- TRAKADAS A. (2006). 'Exhausted by fishermen's nets': Roman sea fisheries and their management, *Journal of Mediterranean Studies* 16: 259-272.
- WILKINS J. (2005). Fish as a Source of Food in Antiquity, in Bekker-Nielsen (Ed.), 21-30.

LUSSO DAL MARE: LA PRODUZIONE DI PORPORA NELL'ANTICHITÀ

Carmen Alfaro Giner

Università di Valencia – Dipartimento di Storia Antica, Valencia (Spagna)

e-mail: carmen.alfaro@uv.es

Parole chiave: coloranti vegetali e animali, *Murex trunculus*, *Murex brandaris*, *Purpura haemastoma*, isole di Ibiza e Formentera

*Unde conchylis pretia? Quis virus grave in fuco,
color austerus in glaucio et irascenti similis mari*
(Plinio il Vecchio, *Naturalis Historia*, IX, 60, 36)

INTRODUZIONE: UN BREVE SGUARDO AL RUOLO DEI COLORI NELLE SOCIETÀ ANTICHE

Analogamente a quanto avviene oggi, i colori erano una delle caratteristiche più importanti dei tessuti e dei vestiti degli antichi. Il colore di una veste permetteva ad esempio di distinguere l'età e lo stato sociale di una persona, era caratteristico dei diversi rituali (riti di passaggio legati all'età, matrimoni, funerali), ecc. (Reinhold, 1980). Anche in tempi più recenti il colore ha influenzato sensibilmente diversi aspetti della vita dei popoli: ad esempio, il colore del tartan permetteva di individuare il clan d'appartenenza di uno scozzese. Gruppi sociali sempre più ampi abbinarono un colore a determinati significati religiosi o politici. Un esempio è dato dalle bandiere e gli standardi dei clan, come pure dalle antiche *vexillationes* delle legioni romane o delle truppe celtiche.

Molte religioni utilizzarono, ed utilizzano tuttora, vari colori dando loro un particolare significato, in una sorta di linguaggio non verbale: l'uso del bianco nei templi degli Egizi; le sottili bande rosse che i Greci ponevano sui templi funerari dei loro cari per dare loro forza (Figura 1); le piccole bandiere colorate nei santuari Tibetani, che gli oranti fanno volare con il vento verso la divinità, sono solo alcuni degli esempi più noti.

L'origine di tutto ciò probabilmente deriva dagli elementi della Natura e dal modo in cui essi furono classificati, sulla base dei loro colori, attribuendo loro differenti significati sociali e religiosi. Fin dalla preistoria l'uso di pietre colorate assumeva un particolare significato: erano possedute per ricevere forza, coraggio, protezione, ecc. Molti dei significati attribuiti ai colori derivano dalla "magia simpatetica", una tradizione antica quanto l'uomo. Il simile è in grado di agire sul simile, *similia similibus*. Le antiche pietre scolpite ed il loro simbolismo presupponevano fiducia nei confronti delle proprietà dei colori, cui la gente



Figura 1. *Lekytos raffigurante una scena funeraria.*

credeva ciecamente. Amuleti e talismani di pietra erano molto comuni nella vita quotidiana ai tempi dell'antica Roma e nel medioevo.¹

“I popoli primitivi d'ogni luogo hanno una marcata predilezione per il rosso, forse perché attribuiscono a questo colore poteri sovrannaturali” (Brunello, 1973). Il rosso potrebbe anche essere considerato il colore della vita, la rappresentazione del sangue. Esso esprimeva potenza, forza e salute. Uno degli oggetti naturali più apprezzati, proprio per tale motivo, fu da sempre il corallo rosso. L'imitazione dei colori tramite sostanze naturali diede origine alle tecniche di colorazione.

Non possediamo informazioni archeologiche per i periodi più antichi, però sappiamo che le principali culture mediterranee del IV-III millennio a.C. (in particolare in Egitto ed in Mesopotamia) padroneggiavano già le tecniche di colorazione, ed i significati sociali e religiosi dei colori si cristallizzarono presto. Nel mondo greco, la tarda età del bronzo (secoli XX-XIV a.C.) lasciò chiari segni dell'uso di colori per il vestiario, soprattutto nelle isole di Creta e Thera. Sulle mura di Santorini, la città sepolta sotto le ceneri del vulcano che distrusse l'isola nel XVI secolo a.C., si possono ammirare magnifiche reminescenze di tessuti di alta qualità, trasparenti, simili a seta e adornati da splendidi disegni e ricami (Figura 2). Esistono anche piccoli ma interessanti resti di tessuti risalenti a quell'epoca, colorati con vera porpora marina (Spantikadi-

1 Wilfrid Bonser, “The Significance of Colour in Ancient and Mediaeval Magic: With Some Modern Comparisons”, *JSTOR MAN (Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland)*, 1 18, 1925, pp. 194-198.



Figura 2. Affresco sulle mura di Cantorini, Thera. Dopo N. Marinatos.

Moulherat, in stampa). Fonti scritte del periodo classico descrivevano spesso donne intente a filare lana purpurea, e la cosa è chiaramente rappresentata in ceramiche greche della stessa epoca (Figura 3). Oltre ad apprezzarne il filato, oggi siamo in grado, grazie ad analisi di laboratorio, di sapere con quali colori d'origine marina o vegetale le fibre tessili erano trattate.

TECNICHE D'ANALISI PER IDENTIFICARE LA PORPORA

Quando un oggetto viene a contatto con la tintura di porpora - essendo stato decorato con essa, come nel caso della ceramica, o essendo stato immerso in un apposito bagno di colorante, come nel caso dei tessuti, o in altro modo - le molecole di colorante permangono su di esso. Il passare del tempo può causare la scomparsa del colore, ma le tracce chimiche permangono. Le tecniche d'analisi sono diverse a seconda della natura dell'oggetto trattato con la porpora: per la terracotta o le ceramiche è necessario ricorrere a tecniche di elettroscopia, come la spettroscopia ad infrarossi. La porpora presente nella cipria può essere studiata attraverso fluorescenza ai raggi X (1.5% dibromoindaco). La porpora negli affreschi (come quelli di Santorini) può essere analizzata mediante micro-spettrometria di Raman e cromatografia in fase liquida. La presenza di porpora in tessuti provenienti da Palmyra (Siria) fu analizzata già nel 1934 da Pfister mediante calorimetria di reazione. Al giorno d'oggi, i tessuti sono analizzati tramite spettrometria di massa. Le analisi chimiche possono individuare la presenza di dibromo indigotina, la molecola che rivela la presenza di porpora, composta da due atomi di bromo e uno di indaco, il 6.6' dibromoindaco.



Figura 3. Alabastron. Museo Kera-meikos, Atene; circa 450 a.C. Foto di C. Al faro.

COLORI ED AMBIENTE

L'ambiente marino e terrestre del Mar Mediterraneo e del Mar Nero forniva molte possibilità per trasformare i monotoni colori delle fibre naturali utilizzate (lino, canapa, lana, cotone, ortica, aloe, peli di animali, sparto, bisso marino, ecc.) in tessuti colorati, adatti a farne vestiti con una certa personalità culturale. I Greci e i Romani identificavano le ricchezze offerte dall'ambiente in due divinità adorate per la loro generosità. Erano Tellus e Oceanus, che assieme formavano l'Oecumene (Figura 4).

Per ottenerne colori erano utilizzate molte fonti naturali. Ogni popolo tendeva tuttavia ad utilizzare i colori più facilmente disponibili nell'ambiente in cui viveva, o per i quali erano state sviluppate tecniche di preparazione idonee. Da questo discerne che vi sono molte possibilità che vanno tenute in considerazione, quando si studiano i tessuti antichi.

L'uso di piante o animali locali può indicare una produzione locale, mentre se un tessuto tinto con la porpora viene ritrovato in un sito lontano dal mare o in una zona dove non ci sono i gasteropodi adatti, si tratta di un prodotto importato.

Nell'antichità i colori provenivano dalle seguenti fonti: minerali, piante e animali (terrestri o marini). Nelle culture del Mar Mediterraneo e del Mar Nero i colori più usati per la tinteggiatura di tessuti e vesti erano d'origine vegetale ed animale, e lo stesso si può dire



Figura 4. Gemma Augustea. Museo Kunsthistorisches, Vienna. Dopo Megow.

per l'Europa Centrale. Da queste fonti si può ottenere un ampio spettro di splendidi colori, e le opere realizzate con essi sono talvolta giunte ai nostri giorni in ottimi condizioni, sebbene ciò non sia sempre vero.

La terra forniva i colori fondamentali [rosso, blu e giallo] con i minerali, ma soprattutto tramite le piante [Brunello, 1973]. Tuttavia, i colori d'origine minerale non erano molto usati nel mondo mediterraneo. Alcuni minerali, come ad esempio l'argilla ferrosa, sono tuttora usati in America latina e centrale [dai Boruca del Costarica, ed in Messico, per realizzare i famosi *palli* descritti da Fray Bernardino de Sahagún nel 1547]. Nell'antichità, alcuni minerali erano usati in piccole quantità come mordente nell'applicazione di tinture vegetali. Questi minerali facevano uscire la tintura dalle piante e ne facilitavano il fissaggio sulle fibre.² A questo scopo erano molto usati rame, stagno, sali di ferro, idrossido di potassio e allume [utilizzati anche per tingere le pelli]. Quest'ultimo

² Aristotele riporta che, quando la tintura era estratta dai gasteropodi marini, una volta rimossa la ghiandola che conteneva il colore il resto del corpo carnoso era utilizzato come mordente o per fissare il colore (HA V, 547a 20).

si trova facilmente nei terreni vulcanici ed era oggetto di commerci marittimi con Lipari, Melos, ecc. (Borgard *et al.*, 2005). Plinio il Vecchio parla di due tipi di allume, uno bianco e uno nero (Plinio, NH, XXXV, 183 e segg.), che in realtà è solfato di ferro. Nella cultura greco-romana si utilizzavano anche alcuni tipi di sabbia, però più per pulire che per colorare: come nel caso delle sabbie di Fuller, utilizzate per pulire i vestiti nelle *fulonicae* (impianti per la follatura).

Per quanto riguarda i coloranti vegetali, si può affermare che vi era un'infinità di piante utilizzabili allo scopo (Cardon, 2003; 2007). Basta considerare tre esempi, ossia le piante utilizzate per ricavare il blu (*Isatis tinctoria*, L.), il rosso (*Rubia tinctorum*, L.) ed il giallo (*Carthamus tinctorius*, L.). I tannini vegetali (come quelli estratti dai gusci di noce) erano parimenti molto adoperati in tutto il mondo mediterraneo (Plinio, NH, XVI; 26 e segg.). Talvolta i colori provenivano da animali che vivevano strettamente associati a determinati alberi. Alcuni esempi sono il *Kermococcus vermiglio*, Planch, che si riproduce su *Quercus coccifera* L., e il *Kermes ilicis*, L., che vive su *Quercus ilicis*, L., e su *Quercus suber*, L. Si tratta di insetti Imenotteri parassiti dei vegetali. Essi presentano un marcato dimorfismo sessuale, poiché le femmine – a differenza dei maschi – non hanno le ali e si attaccano agli alberi mediante un becco o una ventosa (Alfaro, 1984). Gli autori antichi conoscevano il fenomeno della metamorfosi: Hor. Sat. II, 6, 102; Plinio il Vecchio, NH XXXVII, 204; Silius Italicus, XVII, 395; Marziale V, 35, 2; 23, 5; Giovenale III, 282-284; Suet. Ner., 30. Ciononostante, classificavano questi animali come coloranti vegetali, ottenuti da vesciche o escrescenze delle piante della famiglia delle querce.

Anche funghi e licheni (il *fucus* degli antichi, il nostro *Lichen rocella*), e perfino alcuni tipi d'alga, erano utilizzati nell'industria tintoria. *Rytiphlaea tinctoria* var. *horridula* J. Agardh, un'alga marina relativamente comune nel Mar Mediterraneo, era usata per dare una colorazione rosso scuro simile a quella della porpora di Tiro, al punto che alcuni autori hanno erroneamente affermato che tale porpora fosse fabbricata partendo da quest'alga (Augier, 1985).

TINTURE D'ORIGINE ANIMALE: IL MARE E LA SUA RICCHEZZA DI COLORANTI

Di tutte le tinture offerte dalla natura e che erano riprodotte artificialmente nell'antichità, una divenne un particolare "status symbol". Mi riferisco alla cosiddetta porpora reale o porpora di Tiro. I laboratori per la fabbricazione della porpora erano diffusi lungo tutta la costa del Mediterraneo ed in quella meridionale del Mar Nero. La difficoltà di produrre questa tintura la rendeva estremamente costosa. Solo le élite potevano permettersela. Paradossalmente, sebbene l'invenzione di questa tintura sia attribuita dalla mitologia all'Ercole di Tiro (il dio punico Melkart), la sua produzione prevedeva un lavoro tra i più duri immaginabili, come vedremo.

La porpora più costosa presentava una tonalità blu scura, piuttosto che rossa. Di questo parlerò in seguito. Numerose fonti affermano questo e indicano che ai tempi del Tardo Romano Impero l'uso di queste porpore era proibito a tutti tranne che ai membri della famiglia reale. L'imitazione di questi colori per opera di persone che volevano emulare le classi d'alto livello era punita per legge.

La produzione di porpora nell'antichità

In quest'articolo ci concentreremo sulla tintura di colore bluastro-rosso ottenuta da particolari animali marini: i gasteropodi della famiglia Muricidae (Lindner, 1989). Nel mondo esistono numerose specie di Muricidae (1000 secondo Lindner, 1989; immagini di molte di esse sono rinvenibili in Cardon, 2003). Alcune specie danno coloranti più forti ed altre più deboli, quasi tendenti al rosa (Naegel e Cooksey, 2002), a seconda del numero e della concentrazione di cromogeni. Nel Mediterraneo e nel Mar Nero meridionale vivono tre specie di Muricidae: *Hexaplex trunculus* L. o *Murex trunculus* (Figura 5), *Bolinus brandaris* L. o *Murex brandaris* (Figura 6) e *Stramonita haemastoma* L. o *Purpura haemastoma* (Figura 7). Tutte hanno una speciale ghiandola, l'epatopancreas, in cui accumulano il colorante. Già nota ad Aristotele e a Plinio, la ghiandola che produce la porpora è stata descritta in dettaglio nella seconda metà del XIX secolo (Lacaze-Duthiers, 1859). Quest'organo, che ha la forma di una piccola *lamina* ed è facile da rimuovere una volta aperta la dura conchiglia, secerne un inchiostro scuro che probabilmente ha funzioni difensive e di riconoscimento. Questi animali erano stati ben studiati da Aristotele (Keller, 1913; D'Arcy Thompson, 1947). I loro nomi scientifici attuali seguono il sistema linneano di classificazione. Molto apprezzati e sfruttati intensamente, per secoli questi gasteropodi contribuiscono a fornire alle vesti delle persone più importanti una lucentezza spettacolare ed un'iridescenza particolarmente ricercata. I viola provenienti dalle coste americane del Pacifico tropicale (*Purpura patulla pansa*, Gould 1853; *Plicopurpura columellaris* Lamarck 1816) hanno questa tonalità. Gli animali da cui sono estratti vivono in aree calde, tra la California meridionale e il nord del Perù (Naegel, 2005), ed erano noti e forse sfruttati in diversi



Figure 5. *Hexaplex trunculus* da Ibiza.
Foto di C. Alfaro.



Figura 6. *Bolinus brandaris* da Cala Olivera (Ibiza). Foto di C. Alfaro.

posti già dai Conquistadores. In Giappone, nella preistoria erano utilizzati due tipi di Muricidae: *Papuna venosa* (Akanishi) e *Thais clavigena* (Ibonishi).³

IL VALORE DELLA PORPORA NELL'ANTICHITÀ

Nell'antichità la porpora aveva un enorme valore. Il motivo probabilmente è che dai modesti Muricidae si possono ottenere quasi tutte le tonalità di colore (Fol, 1877). Grazie alla luce solare e all'ossigeno dell'aria, o forse solo a quest'ultimo, il liquido estratto dalla ghiandola di questi animali vira dal bianco originario al giallo, al verde, al viola rossiccio, al blu e blu scuro tendente al nero.

Con i primi studi sui colori all'inizio del XVI secolo (Colonna, 1616) venne proposta una classificazione delle gamme base dal nero al bianco. La porpora era l'unico colore che, virando dal bianco al blu quasi nero, era in grado di dare questa gamma di colori. Dietro l'apprezzamento per questa tintura probabilmente vi erano sottintesi magico-religiosi, che meglio spiegano il suo uso da parte di famiglie reali e, nei tempi moderni, da parte dei prelati della Chiesa. La cosa più importante in proposito è che il blu scuro era considerato la somma di tutti gli altri colori. Questo tipo di ragionamento era frequente nel mondo

³ Il colore estratto da piante e animali aveva un ruolo importante nelle antiche società cinesi e giapponese mentre, per motivi religiosi legati alla morte degli animali, la porpora estratta da animali marini era poco utilizzata. Con l'avvento del Buddismo, all'inizio del VII secolo a.C., l'utilizzo di piante per ricavare la porpora si consolidò, e in particolare la specie *Lithospermum officinale* L. var. *erythrorhizon* (Yamaguchi 2008, 243).



Figura 7. *Stramonita haemastoma* da Cala Olivera (Ibiza). Foto di C. Alfaro.

della magia [poiché il tre è un numero magico e così pure il quattro, lo sono anche il sette e il nove perché includono i precedenti]. La stessa cosa si poteva dire per alcuni oggetti bianchi. Anche le perle bianche, presentando iridescenze di tutti i colori, erano molto amate.

La produzione di porpora era una delle attività commerciali più importanti nell'antichità e la porpora rappresentava un lusso supremo. Alla base del lusso c'erano le varie sfumature della porpora e il sorprendente effetto che si poteva ottenere con diverse fibre tessili, come si può vedere negli indumenti in cui fili purpurei erano mescolati con altri sottilissimi in oro, ottenendo vesti d'estrema bellezza (Alfaro, 2005). Lo si può vedere nei campioni di tessuto che si sono conservati (Spantikadi e Moulherat, in stampa; Andronikos, 1977; Cardon, 2003) e nelle grandiose rappresentazioni di vestiti che risalgono a varie epoche, da Creta e Tera (Marinatos, 1984) e dalla corte dei re di Macedonia nel IV secolo a.C. (tessuto proveniente dalla tomba di Filippo II a Pella) alla corte nel tardo impero romano, con le sublimi vesti rappresentate nei mosaici di Ravenna raffiguranti la famiglia imperiale di Giustiniano e sua moglie Teodora (Ralph-Johannes, 2005).

LA SCIENZA E LA PORPORA: IL CONTRIBUTO DI ARISTOTELE

Per ottenere profitti e valorizzare tutte le squisite sfumature che può assumere la porpora, fu necessario acquisire notevole esperienza e capacità tecniche per la sua lavorazione. Nel Mediterraneo tradizione e sviluppo tecnologico si evolsero parallelamente già dalla tarda Età del Bronzo, raggiungendo l'alto livello necessario per sfruttare appieno questa importante risorsa marina. Ma fu soprattutto in epoca classica e durante il primo ellenismo che l'uso di questo colorante si diffuse dalle coste meridionali del Mar Nero alle coste dell'Atlantico, e nacquero innumerevoli botteghe per la preparazione della porpora.

Sorsero anche posti ove si preparavano imitazioni della porpora, come la famosa porpora di Getulia di cui parlano gli autori classici (Orazio, Ep. II, 2, 181; Ovidio, Fasti II, 319; Mela, Chorographia, III, 104; Plinio, *NH* VI, 37 e 2002-2005; Silius Italicus). Getulia era una località sulla costa della Mauretania Tingitana e corrisponde all'attuale Mogador (Dedekind, 1898; Herber, 1938; Desjacques e Koeberlé, 1955; Tejera e Chàvez, 2004), ed era divenuta importante ai tempi del re Giuba II (I secolo d.C.).

Gli scienziati greci fornirono descrizioni meticolose della vita degli animali che producevano la porpora e del modo con cui erano sfruttati. I lavori da biologo di Aristotele (HA, PA, GA) definirono le conoscenze scientifiche di base, arricchite in seguito da successive informazioni. Nel suo lavoro egli prese accuratamente nota delle osservazioni dei suoi informatori, ossia quelli (tra cui Alessandro Magno, suo discepolo) che gli portarono animali da esaminare. Aristotele aveva prodotto due collane di lavori, una lunga e una breve, dedicate alla vita, all'ambiente e all'influenza dell'ambiente sugli animali. La serie breve comprende i trattati *Sulle parti degli animali* e *Sulla generazione degli animali*. La serie lunga è molto più ampia, e include le versioni definitive dei suoi lavori di biologia: *Trattato sulle parti degli animali*, *Sul movimento degli animali*, *Sull'anima*, *Sensazione e sensibile*, *Memoria e reminiscenza*, *I sogni*, *Sul sonno e la veglia*, *La divinazione mediante i sogni*, *Sul movimento degli animali e Sulla generazione degli animali* (330-322 a.C.). Ambedue le serie iniziano con *Le parti degli animali* (330 a.C.) che egli considerava fondamentale (Louis, 1990).

Le fonti di Aristotele come biologo erano altri autori come Omero, Esiodo, Ippocrate, Platone, Erodoto (Egitto), Museus, Stesicore, Simonide di Ceo, Ctesia (India), ed Eschilo. Anche altre persone con una certa esperienza contribuirono al lavoro di Aristotele: cacciatori, pescatori (in particolare provenienti da Assos e Mitilene), pastori, piscicoltori, apicoltori e macellai. Il confronto con specialisti (dottori e veterinari), il senso comune, la tradizione (forse all'origine di alcuni errori) e la sua personale esperienza fecero il resto. Nella sua opera di dieci volumi *Historia animalium* (347-342 a.C.) si possono trovare informazioni provenienti da Plutarco ("Storie"), Ateneo ("Il simposio dei sofisti"), Aristofane di Bisanzio e soprattutto da Plinio il Vecchio ("Storia naturale").

Il grande merito dell'opera *Historia animalium*, sebbene, come già evidenziato, sia un lavoro poco ordinato, è di proporre una prima classificazione sistematica degli animali (incluso gli uomini), un'impresa davvero enorme. Aristotele iniziò col suddividere gli animali in due grandi gruppi: quelli muniti di sangue, o *enaima* (corrispondenti agli attuali Vertebrati), da quelli senza sangue, o *anaïma* (invertebrati), che sono quelli che c'interessano. Egli poi divise gli *anaïma* in quattro sottogruppi: a) molluschi, corrispondenti solo a quelli ora classificati come Cefalopodi; b) malacostraca, comprendente la maggior parte dei Crostacei più evoluti; c) eutoma, comprendente vermi ed insetti; d) ostracodermi, che includeva tutti gli animali muniti di conchiglia, quali Bivalvi, Gasteropodi, Echinodermi, ecc. Aristotele denominò questi gruppi "generi maggiori", le loro divisioni furono chiamate "generi", quest'ultimi furono poi suddivisi in "specie". Questo sistema di classificazione rimase in uso fino all'adozione di quello concepito da Carlo Linneo nel XVIII secolo. Uno dei principali successori in questa attività di classificazione fu Plinio il Vecchio (*Naturalis Historia*), che descrisse con molti più dettagli anche i sistemi adottati per produrre la porpora (Specialmente in IX, 125-141). Aristotele inaugurò anche la tradizione di scrivere sull'anatomia dei Muricidae, studiandone con i pescatori di Lesbo (Louis, 1964) le abitudini, le

modalità di vita e riproduzione, così come i metodi di cattura per trarne la porpora. A queste scoperte seguirono quelle di Plinio il Vecchio. Le informazioni fornite dai due autori sulla vita di questi animali su differenti fondali marini e sul duro lavoro necessario per estrarne il liquido colorante rappresentano un complesso ed interessante capitolo della storia della porpora.

FONTI EPIGRAFICHE

Esistono numerose fonti letterarie ed epigrafiche che forniscono varie informazioni sulla porpora. Sebbene non forniscano una visione complessiva sulla materia, queste fonti contengono utili informazioni su: il colore e la società che lo utilizzava, l'importanza economica del prodotto, certi aspetti del lusso e della religione ed i criteri adottati nel valutare alcuni usi del prodotto. Alle fonti letterarie si aggiungono quelle epigrafiche. Oltre agli epitaffi tombali che rappresentano i commerci ad opera di persone che lavoravano con la porpora (come il famosissimo *C Pupius C L Amicus purpurarius*, al Museo di Parma, CIL XL; 1069a; o anche alcune donne, come *Beabia Veneria* di Gadir, CIL II, 1743) vi è, cosa spesso dimenticata, un'enorme quantità d'informazioni sull'Antichità, come quelle sui diritti di pesca nell'epigrafia greca, sia di epoca classica che del primo Ellenismo, come pure della Grecia nel periodo romano (Bruneau, 1969; Fernandez Nieto, 2003). Importanti informazioni posso trovarsi anche in testi legali e giuridici. Nel 304 l'imperatore Diocleziano, per controllare la forte inflazione, promulgò una legge che venne incisa su lastre di marmo esposte nei fori delle città: il cosiddetto "Editto sui Prezzi" (*Edictum de pretiis et rerum venalium*, cf. Mommsen-Blumner, 1893), che contiene molte informazioni sulla porpora. Informazioni molto interessanti provengono anche da vari codici del Basso Impero (il *Codex Iustinianus*, del 529 d.C., o *Corpus Iuris Civilis*, che include le precedenti leggi, come quelle scritte da Gaio e il Codice Teodosiano).

Vi è anche un breve lavoro sul controllo della produzione di alcuni oggetti di valore ai tempi del Basso Impero. Questo documento è conosciuto col nome di *Notitia Dignitatum*, perché si riferisce agli "impiegati" responsabili dei controlli su tali produzioni. La *Notitia* parla, tra l'altro, dei *procuratores baphiourum*, ossia coloro che assicuravano che nelle *baphia* (le botteghe in cui si produceva la porpora) fossero rispettate, nel corso della lavorazione, alcune leggi miranti a salvaguardare determinate tonalità di colore (in quanto esclusive della famiglia imperiale). Questa fonte ci ha consentito di conoscere la collocazione geografica di queste botteghe nei settori occidentale ed orientale dell'Impero. Anche i papiri sono una preziosa fonte di notizie sulla porpora. Tra gli ultimi papiri dell'Egitto ellenistico e romano vi è una gran quantità di ricette per preparare o imitare la porpora. Questi papiri furono studiati da Pfister nel XX secolo, il quale cercò anche di riprodurre le formule. Pfister inoltre analizzò i tessuti tessili provenienti dalla stessa area e che contenevano resti di coloranti vegetali e, talvolta, di origine marina. Abbiamo già parlato di questo in precedenza, quando abbiamo trattato le diverse tecniche per analizzare i colori.

ARCHEOLOGIA AD IBIZA (ISOLE BALEARI): LABORATORI PER LA PRODUZIONE DI PORPORA

Ogni ricerca presuppone una metodologia, una modalità di approccio alla materia e la comprensione dei vari aspetti che costituiscono l'insieme. Qualsiasi siano le linee guida che si vogliono seguire, se si vogliono ottenere risultati omogenei è importante che l'approccio di studio, in particolare in questo caso, le segua pedissequamente. Nel nostro caso abbiamo seguito per nove anni un programma di ricerca, basandoci su una precisa ipotesi di lavoro. Il sopraccitato testo del *Notitia Dignitatum* (IV secolo), rappresenta un compendio delle varie produzioni di quel periodo, scritto per consentire ai governatori di controllare le fabbriche che producevano ogni tipo di cosa, tra cui la porpora. Queste fabbriche erano gestite da *Procuratores*, ossia manager. Tra i nomi delle persone incaricate di svolgere diverse mansioni citati nel testo, vengono fornite informazioni sui *Procuratores baphii*. "Bafiké" in greco è l'arte di colorare, e per i Romani il *baphium* era un posto dove si produceva la porpora. I *Procuratores* erano responsabili di assicurare che la fabbricazione della porpora in queste strutture ottemperasse alle norme stabilite dallo Stato: venivano condotti stretti controlli affinché la cosiddetta porpora reale fosse prodotta solo per la famiglia reale e per i parenti stretti, come si diceva in precedenza. Tra i *baphia* occidentali il *Notitia* ne menziona uno nelle Isole Baleari, citando un *Procurator baphii insularum Balearicum*.

La produzione di porpora nel Mediterraneo occidentale era mediata dalla presenza dei Fenici. Ibiza e Formentera erano stati territori fenici e poi punici fin dal IV secolo a.C. In altre parole, erano strettamente collegate al Nord Africa e alla colonia fenicia di Cartagine. Basandoci su queste premesse, abbiamo definito la seguente ipotesi: il *Baphium* delle Baleari si trovava solo sulle isole di Ibiza e Formentera, e non sulle più grandi Maiorca e Minorca. Ibiza e Formentera costituiscono le Isole Pitiuse occidentali, caratterizzate da una tradizione nella salatura del pesce che risale all'epoca dei fenici, e da altre testimonianze della lavorazione del *Murex*, evidenze che ci hanno indotto a formulare questa ipotesi. Poiché l'area geografica è abbastanza piccola, la ricerca è stata molto focalizzata ed è stato possibile condurre un'analisi esaustiva.

ISPEZIONE DEL TERRITORIO E GLI SCAVI

In questi casi la ricerca archeologica deve partire da una sistematica ispezione del territorio, basandosi su fonti scritte, riferimenti vari e sulla presenza di determinati oggetti. Inizialmente abbiamo visitato i siti per i quali disponevamo di informazioni sulla presenza di *Murex* (Alfaro, 2002). Nel 2001 i siti erano sei. Contemporaneamente iniziammo a scavare nel sito di *Pou des Liéo* (*Canal d'en Marti*), luogo in cui abbiamo definito il metodo di lavoro utilizzando gli elementi malacologici ivi rinvenuti. I resti strutturali erano spettacolari. Vi era un'installazione complessa che sembrava una fornace per la pece, ma che non si rivelò tale poiché non vi era alcun segno di pece utilizzata per la calafatura. La struttura consisteva in due vasche, una circolare, più grande, che presentava resti d'incinerazione, calce e ciottoli; l'altra, connessa alla prima mediante un foro, era utilizzata per contenere un'anfora in cui raccogliere il liquido che si produceva, una sorta di sbiancante utilizzato nella preparazione della lana da tingere. Il materiale archeologico raccolto dai de-

positi di conchiglie ad Ibiza era molto modesto ma, nel contempo, molto interessante. Abbiamo lavorato nove anni ottenendo importanti risultati per quanto riguarda lo studio della diffusione, in un territorio piuttosto ristretto (l'isola è lunga 45 km), dei siti ove si produceva porpora.

Abbiamo trovato che la produzione era diffusa lungo tutta la costa dell'isola (in particolare sul versante orientale, vicino alla forte corrente che trasporta i banchi di tonno, catturati in altri periodi dell'anno) e sulle spiagge della vicina Formentera. Si trattava di piccole botteghe o luoghi di raccolta dove è stato ritrovato un numero tale d'animali che ci ha indotto a pensare che si trattasse di zone di produzione della porpora piuttosto che semplici posti di consumo dei molluschi, come avviene per altri siti. Queste botteghe erano generalmente situate a circa sei metri sul livello del mare, in zone riparate dal vento e prossime a quiete insenature. Il colore prodotto poteva essere utilizzato localmente per la tintura della lana (sia grezza che già filata) prima che fosse venduta. Nel corso del Basso Impero, il controllo era effettuato da un *procurator* che dipendeva dalla casa imperiale e che probabilmente risiedeva ad Ibiza. Ibiza era un porto importante, fondato dai Fenici, presso di cui la lana veniva imbarcata per le sue varie destinazioni. Il numero di botteghe suggerisce che di sicuro non tutta la produzione era destinata al mercato locale (Alfaro e Costa, 2008). La scoperta di questa attività di colorazione ci ha spinto ad intraprendere una nuova ricerca sulla produzione locale di lana. Un passo di Timeo ci dice che la lana di Ibiza era di buona qualità. Le prove letterarie ed archeologiche sono scarse, ma l'evidenza che localmente si producesse molta porpora, e la nostra convinzione che la tintura lasciasse l'isola sotto forma di lana colorata (Alfaro e Tébar, 2004), ci hanno persuaso ad intraprendere ulteriori ricerche. Abbiamo in programma di lavorare con l'Università di Reims e con R. González Villaescusa. Dopo una fase preliminare, speriamo che i nostri sforzi portino i frutti desiderati tramite l'analisi del terreno e dei resti archeologici, che sono spesso trascurati.

LA DIFFUSIONE DELLA PORPORA NEL MEDITERRANEO

L'uso della porpora è una questione culturale. La sua produzione richiede, in primo luogo, che un colorante difficile da ottenere, costoso ed esclusivo, sia molto apprezzato dai cittadini. D'altra parte è necessario possedere tecniche idonee ad estrarre ed utilizzare il colorante, tecniche che possono essere state tramandate di generazioni in generazione. Ma è lo sfruttamento di questi siti di produzione della porpora e la nascita delle relative botteghe che ha seguito l'espansione verso ovest di Fenici, Greci e Punici o, al contrario, è la disponibilità di questi animali marini così ambiti che ha rappresentato un ulteriore motivo che ha spinto alla colonizzazione delle isole e delle coste della penisola iberica?

La vita dei Muricidae è legata a particolari condizioni: protezione del loro ciclo riproduttivo, un ambiente ricco di cibo e, forse, anche particolari temperature dell'acqua. Gli antichi biologi e i naturalisti erano molto attenti nei confronti della prima di queste condizioni. Aristotele (HA V, 547a 14-16 e 20-21) e Plinio (NH IX, 42) ha indicato quali sono i periodi dell'anno durante i quali gli animali possono essere raccolti e quelli in cui invece no perchè si stanno riproducendo. Il suo consiglio rispetto i periodi di cattura (quella che oggi chiameremmo "stagione chiusa") dipendeva dal fatto che subito prima e dopo la riproduzione, il colorante poteva non essere della qualità desiderata.

È curioso osservare che i siti di produzione della porpora lungo le coste spagnole fossero concentrati in zone caratterizzate da una lunga presenza Fenicia. Potrebbe essere proprio la presenza di questi molluschi ad aver rappresentato una delle tante attrazioni dell'area per Fenici e Punici? Naturalmente un simile fenomeno si osserva anche nel Mediterraneo centrale, ad esempio a Mozia. L'ipotesi che il lungo periodo di sfruttamento di questi gasteropodi nel Mediterraneo orientale possa aver determinato l'esaurimento di aree un tempo ricche di Muricidae nei pressi di città quali Tiro, Sidone, Biblos, Sarepta, ecc. è accattivante, ma difficile da confermare sulla base delle attuali conoscenze.

Vi è ancora molto lavoro da fare, e sono pochi gli scavi sistematici pianificati nei molti siti del Mediterraneo e del Mar Nero meridionale (l'area settentrionale potrebbe essere troppo fredda, in inverno, per questi animali) dove vi è presenza di botteghe.

La passione per le ricche vesti colorate in tonalità bluastre e rossastre con la porpora d'origine marina perdurò anche durante l'Impero bizantino. La seta aveva già fatto da tempo la sua comparsa nell'area attraverso le vie dall'oriente, ma ora l'afflusso di questi prodotti era assai più abbondante. Il lusso delle corti d'imperatori come Costantino, Giustiniano e Teodoro, oppure degli imperatori ed imperatrici che si definivano "nati nella porpora", dimostra come le attività economiche legate alla produzione della porpora fossero un simbolo del potere imperiale e delle classi dominanti, in particolare nel Mediterraneo orientale.

BIBLIOGRAFIA

- ALFARO C. (1984). *Tejido y cestería en la península Ibérica. Historia de su técnica e industrias desde la prehistoria hasta la Romanización*, Biblioteca Prehistorica Hispana, XXI, Madrid.
- ALFARO C. (2002). "Ebussus y la producción de púrpura en el Imperio romano", in M. Khanoussi, P. Ruggeri e C. Vismara (Ed.), *Atti del XIV Convegno di Studio sull'Africa Romana*, Roma, pp. 681-696.
- ALFARO C. E TÉBAR E. (2004). "Aspectos históricos, económicos y técnicos de la producción de púrpura en la Ibiza romana", in C. Alfaro, J.P. Wild e B. Costa, *Purpureae Vestes. Textiles y Tintes del Mediterráneo en época romana*, Valencia, pp. 195-210.
- ALFARO C. (2005). "Gold Textiles from a Roman Burial at Munigua [Mulva, Seville]", *NESAT VII*, Oxford, pp. 1-4.
- ALFARO C. E COSTA B. (2008). "New contributions to the study of purple dye production in Ibiza: the finds of Cala Olivera", in C. Alfaro e L. Karali (Ed.) *Vestidos, textiles y tintes. Estudios sobre la producción de bienes de consume en la Antigüedad. Purpureae Vestes II*, Valencia, pp. 195-208.
- ANDRONIKOS M. (1977). "The Royal Graves at Vergina", *Athens Annals of Archaeology* 10: 40-72.
- AUGIER H. (1985). "Utilisation des végétaux marins à travers les ages: vision historique, contemporaine et prospective", in *Exploitation de la mer de l'Antiquité à nos jours, I La mer, lieu de production*, Vèmes Rencontres internationales d'Archéologie et d'histoire. Antibes, octobre 1984, Juan-les-Pins, pp. 11-43.

- BAKER J.T. (1974). "Tyrian Purple: an ancient dye, a modern problem", *Endeavour*, vol. XXXIII, n° 118: 1-17.
- BESNIER M. (1910). Daremberg e Saglio, *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines* Vol. IV.1, pp. 769-778, s.v. *Purpura*.
- BORGARD P., BRUN J.-P. E PICON M. (Ed.) (2005). *L'Alun de Méditerranée, Actes du Colloque International, Naples 2003*, Collection du Centre Jean Bérard, 23, Naples, Aix-en-Provence, 2005.
- BRUNEAU P. (1969). "Documents sur l'industrie délienne de la pourpre", *Bulletin de Correspondence Hellénique* 93: 759-791.
- BRUNELLO F. (1973). *The Art of Dyeing in the History of Mankind*, Vicenza.
- CARDON D. (2003). *Le monde des teintures naturelles*, Paris; (2007), *Natural Dyes. Sources, Tradition, Technology and Science*, Londra.
- CARDON D. (2007). *Natural Dyes. Sources, Tradition, Technology and Science*, Londra.
- CARILE A. (2000). "Produzione e usi della porpora nell'impero bizantino", in A. Carile (Ed.), *Imagine e realtà nel mondo bizantino*, Bologna.
- COLONNA F. (1616). *Opusculum de Purpura*, Roma.
- D'ARCY THOMSON W. (1947). *A Glossary of Greek Fishes*, Londra.
- DAVID D. E HERBER J. (1938). "La pourpre de Gétulie", *Hesperis* XXV, 97-99.
- DEDEKIND A. (1898). "Sur la fausse pourpre des anciens", *Archives de Zoologie Experimentale* VI: 70-78.
- FERNÁNDEZ NIETO F.J. (2003). "Titularidad y cesión de los derechos de la pesca marítima en la antigua Grecia", *Symposion. Vorträge zur griechischen und hellenistischen Rechtsgeschichte*, Vienna 2006, pp. 207-232.
- FOL W. (1877). Daremberg et Saglio, *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines*, Vol I, 2, pp. 1325-1331, s.v. *Color*.
- KELLER O. (1913). *Die antike Tierwelt*, Vol. II: *Vögel, Reptilien, Fische, Insekten, Spinentiere, Tausendfüßler, Krebstiere, Würmer, Weichtiere, Stachelhäuter, Schlauchtiere*, Leipzig.
- LACAZE-DUTHIERS H. (1859). "Mémoire sur la pourpre", *Annales des Sciences Naturelles*, 4^e Série, Zoologie, XII: 5-84.
- LINDNER G. (1989). *Guide des coquillages marins. Descriptions, repartition systématique*, Neuchâtel-Paris 1989.
- LOUIS P. (1964). *Aristote. Histoire des Animaux*, Budé Paris, Introduction.
- MARINATOS N. (1984). *Art and Religion in Thera. Reconstructing a Bronze Age Society*, Atene.
- MOMMSEN T. E BLÜMNER H. (1893). "*Der Maximaltarif des Diokletian*", Berlin.
- MORETTI L. (1977). In AA.VV., *Storia e civiltà dei Greci*. 8. *La società ellenistica*, Milano.
- NAEGEL L.C.A. E COOKSEY C.J. (2002). "Tyrian Purple from Marine Muricids, specially from *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853)", *Journal of Shellfish Research* 21: 193-200.
- NAEGEL L.C.A. (2005). "The effect of periodically "milking" to obtain Tyrian purple from *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) on the frequency of expulsion and mortality", *Journal of Shellfish Research* 24: 85-90.
- RALPH-JOHANNES L. (2005). *Bisanzio la seconda Roma*, Newton & Compton editori, 2005 Roma.
- REINHOLD M. (1970). *History of Purple as a status symbol in Antiquity*, Col. Latomus 116, Brussels.

- SPANTIDAKI J. E MOULHERAT C. [in stampa]. "Vestiges de textiles pourprés découverts en Grèce antique", in *Purpureae Vestes III*, Valencia-Napoli.
- TÉBAR E. E WILSON A. (2008). "Classical and Hellenistic textile production at Euesperides (Benghazi, Lybia): preliminary results", in C. Alfaro e L. Karali (Ed.) *Vestidos, textiles y tintes. Estudios sobre la producción de nienes de consume en la Antigüedad*, *Purpureae Vestes II*, Valencia, pp. 49-59.
- TEJERA A. E CHÁVEZ E. (2004). "La púrpura getúlica de la Mauritania Tingitana", in C. Alfaro, J.P. Wild, B. Costa (Ed.), *Purpureae Vestes I. Textiles y tintes del Mediterráneo en época romana*, *Purpureae Vestes I*, Valencia, pp. 237-240.
- TREADGOLD W (1997). *A History of the Byzantine State and Society*, Stanford.

ARCHEOLOGIA SUBACQUEA, ECOLOGIA STORICA MARINA E STORIA DELL'AMBIENTE MARINO

COME POSSONO COLLABORARE ARCHEOLOGIA SUBACQUEA, ECOLOGIA STORICA MARINA E STORIA DELL'AMBIENTE MARINO?

Francesco Tiboni

AIASub - Associazione Italiana Archeologi Subacquei

e-mail: francesco.tiboni@alice.it

Parole chiave: archeologia subacquea, geofisica e archeologia, relitti, ossa di pesce

INTRODUZIONE: COS'È L'ARCHEOLOGIA SUBACQUEA?

L'*archeologia subacquea* studia diversi aspetti della vita dell'uomo nel passato in relazione al mare e all'ambiente acquatico attraverso i resti materiali lasciati dalle antiche civiltà. Essendo spesso associata alla scoperta di relitti e al recupero di tesori, però, l'archeologia subacquea è generalmente identificata nello studio di antiche imbarcazioni e della navigazione. L'archeologia subacquea è quindi spesso assimilata all'*archeologia navale* e alla *storia del commercio marittimo*.

La pietra miliare dell'archeologia subacquea, in particolare per quanto riguarda lo studio dei relitti e della loro diffusione nel Mediterraneo, è il ritrovamento alla fine degli anni '60 del relitto Ulu Burun (Kas, Turchia), datato 14° secolo a.C. (Bass, 1986; 1989; Pulak, 1966; 1988). Le informazioni ottenute attraverso lo studio del relitto e del suo carico hanno permesso agli archeologi e agli storici di capire come persone e beni si muovessero già ai tempi pre- e proto-storici nel Mediterraneo, e di formulare la prima ipotesi sul commercio marittimo e sui contatti tra le diverse culture dell'epoca. Questa scoperta ha aumentato l'interesse dell'archeologia nei confronti dei siti subacquei, e ha dimostrato che i relitti non devono essere visti semplicemente come una sorta di "istantanea" di un oggetto affondato, ma come un mezzo per capire meglio le relazioni tra le diverse culture e per ottenere una migliore conoscenza dell'evoluzione del sapere umano. Dopo questa scoperta il mare non è più stato visto solo come una componente del paesaggio, ma come un elemento importante da studiare ed analizzare di per sé.

Infatti, dopo la scoperta del relitto Ulu Burun storici ed archeologi si sono dedicati allo studio di molti altri relitti (Dell'Amico, 2005), siti e strutture costiere. I vari ritrovamenti, che tra le altre cose includono oggetti e strutture di legno, cuoio e fibre organiche utilizzate per creare tessuti, possono fornire importanti informazioni sulle tecnologie del passato, sui cambiamenti culturali e sulla struttura sociale di un insediamento o di un'intera cultura (Bradley, 1990; Steffy, 1994; Dean, 2009). Inoltre, la nascita della cosiddetta "archeologia marina" ha permesso di ottenere una più completa descrizione dell'evoluzione nel tempo del mare, e ha aiutato gli archeologi a studiare meglio le relazioni intercorse nei secoli tra uomo e mare (Janni, 1996).

Va sottolineato che George Bass, il pioniere dell'archeologia subacquea, ha cercato di mettere in evidenza che questa è semplicemente una branca dell'archeologia, una specie di variazione tecnica. In altre parole, l'archeologia subacquea è nata e si è evoluta parallelamente all'*archeologia sperimentale*, poiché l'unica differenza tra archeologia terrestre e subacquea è rappresentata dalle condizioni ambientali in cui gli archeologi si trovano a lavorare. Bass (1966) ha scritto "l'archeologo si è adattato ad ogni tipo d'ambiente presente su questo pianeta, ma nessuno gli è così estraneo come quello che incontra sotto la superficie delle sue acque".

Dopo la pubblicazione nel 1966 di questo primo manuale, le tecniche sono state rinnovate e migliorate grazie all'adozione di tecnologie e metodi di ricerca sviluppati originariamente per l'industria, la biologia, la geologia e l'oceanografia (Dean, 2009). Grazie a questi nuovi metodi e procedure l'archeologia subacquea è oggi una scienza multidisciplinare, e ogni esplorazione archeologica è il risultato dell'interazione tra diverse scienze. È questo il motivo per cui, a partire dalle ultime decadi del 20° secolo, gli archeologi subacquei hanno iniziato a collaborare con storici, biologi e geologi, instaurando una stretta relazione spesso utile per ottenere da una parte una corretta interpretazione degli eventi storici, dall'altra per avere un'idea più precisa dell'evoluzione dell'ambiente marino sulla base della distribuzione della fauna e dei cambiamenti ecologici e geologici del mare.

Questo articolo, quindi, esamina i diversi campi multidisciplinari che hanno a che fare con la ricerca archeologica subacquea, la collaborazione interdisciplinare tra essi e le problematiche coinvolte.

ARCHEOLOGIA SUBACQUEA E AMBIENTE MARINO

Iniziamo analizzando il rapporto tra archeologia subacquea e biologia marina.

Da un punto di vista archeologico, molti reperti si conservano bene in un sito che si trova sotto la superficie dell'acqua, specialmente se sono stati coperti dalla sabbia subito dopo l'immersione. Nell'ambiente sommerso, infatti, la sabbia o uno strato di muffa proteggono i reperti dall'erosione delle onde, specialmente in acque basse, dal decadimento chimico e da vari animali marini che si nutrono di materiali organici. Sul fondo del mare la scarsità d'ossigeno e il fatto che l'ossidazione e la decomposizione sono molto lenti fanno sì che diversi tipi di resti si conservino meglio che sulla superficie terrestre. In particolare i resti organici si conservano meglio negli ambienti anaerobici (come mostrato in figura 1); quindi, una conoscenza approfondita dell'ambiente sommerso può aiutare gli archeologi a capire come un sito si sia formato e sviluppato, e a spiegare perché alcuni elementi di un sito subacqueo, ad esempio le parti in legno di un antico relitto, siano stati trovati durante gli scavi, e perché invece altri si siano danneggiati o non si siano conservati (Palma, 2005).

Negli ultimi anni, infatti, sono stati condotti molti studi presso siti archeologici sommersi con lo scopo di spiegare gli effetti che l'ambiente marino può avere sui reperti e sui prodotti umani ivi presenti, affrontando in particolare due diverse problematiche: l'effetto dei microrganismi sul materiale organico tipo legno, argilla, cuoio, animali o lische di pesce, e l'effetto sul materiale inorganico, come il metallo (Murphy, 1990; Martin, 1995; Redknap, 1997; Palma, 2005).

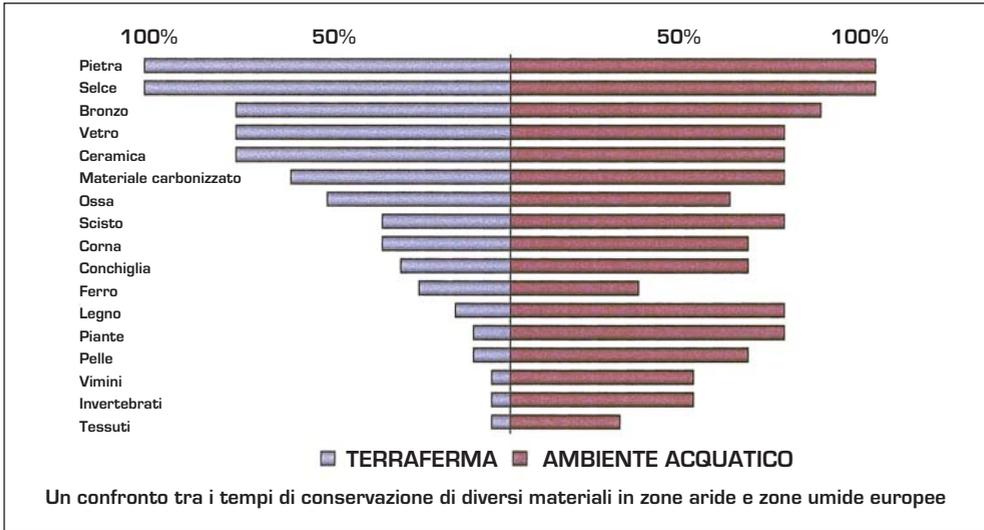


Figura 1. Conservazione dei materiali.

Nei siti dove si trovano relitti o costruzioni, come palafitte o diversi tipi di diga (frangiflutti, moli e banchine), la presenza di microrganismi come il “verme delle navi” *Teredo navalis* (Bivalvia), alghe e funghi, è molto comune, soprattutto in acque temperate. Questi microrganismi determinano una lenta e progressiva distruzione di tutti i materiali esposti. Una rappresentazione ai raggi-X di un antico pezzo di legno proveniente da un relitto sommerso fornisce un’idea precisa di come i microrganismi distruggano il legno creando in esso dei tunnel (Figura 2).

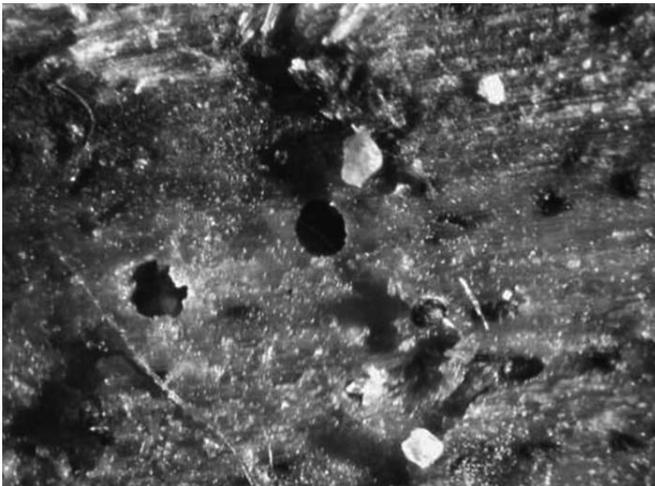


Figura 2. Immagine al microscopio dell’effetto di *Teredo navalis*.

Inoltre, per quanto riguarda i relitti in legno, è facile immaginare come gli effetti di una progressiva erosione del materiale organico coincida con la formazione del sito, trasformando una barca intera in uno scheletro di legno (Figura 3).

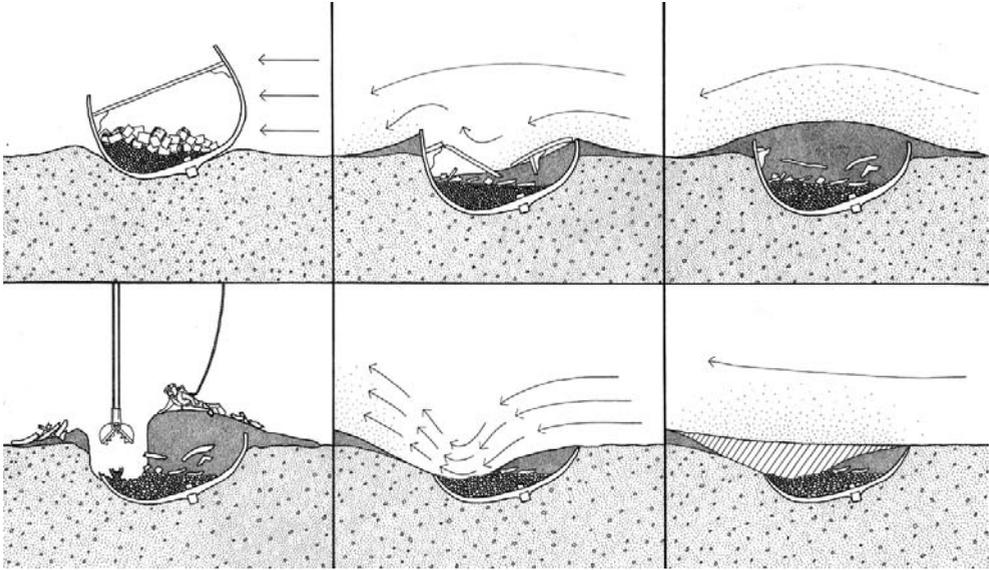


Figura 3. Formazione di un relitto.

In altre parole un'accurata analisi di ogni singolo reperto può aiutare i biologi a capire come i microrganismi agiscono sui diversi materiali, e gli archeologi a comprendere le dinamiche della formazione di un sito subacqueo (Murphy, 1990; Redknapp, 1997).

Un altro aspetto da considerare è invece l'effetto che ha nel tempo la presenza di manufatti come relitti, anfore o strutture sommerse sulla biosfera locale (Parker, 1981; MacLeod, 1995). Le anfore esposte presso un relitto, ad esempio, in genere determinano la presenza di fauna e flora, essendo spesso utilizzate come tane da alcune specie, come polpi e murene (Fig. 4).

Anche i relitti moderni di metallo, come le navi affondate durante le due guerre mondiali nel Mediterraneo, nel tempo si sono trasformate in isole sommerse, abitate da pesci, coralli e alghe (Figura 5).

In alcuni casi la presenza di microrganismi determina una completa trasformazione del sito: ricerche condotte recentemente in Italia meridionale hanno evidenziato che nell'area di Crotona i carichi di alcuni relitti sono stati trasformati dal mare in scogli sommersi, spesso difficili da riconoscere.

La salvaguardia di un sito non è, quindi, l'unico motivo che giustifica la stretta collaborazione tra le due scienze; l'analisi ecologica di un sito e lo studio della sua componente biologica, infatti, è oggi utilizzata spesso per determinarne l'età. La procedura prevede lo studio della presenza e della crescita delle alghe, o dall'analisi delle diatomee (Bat-

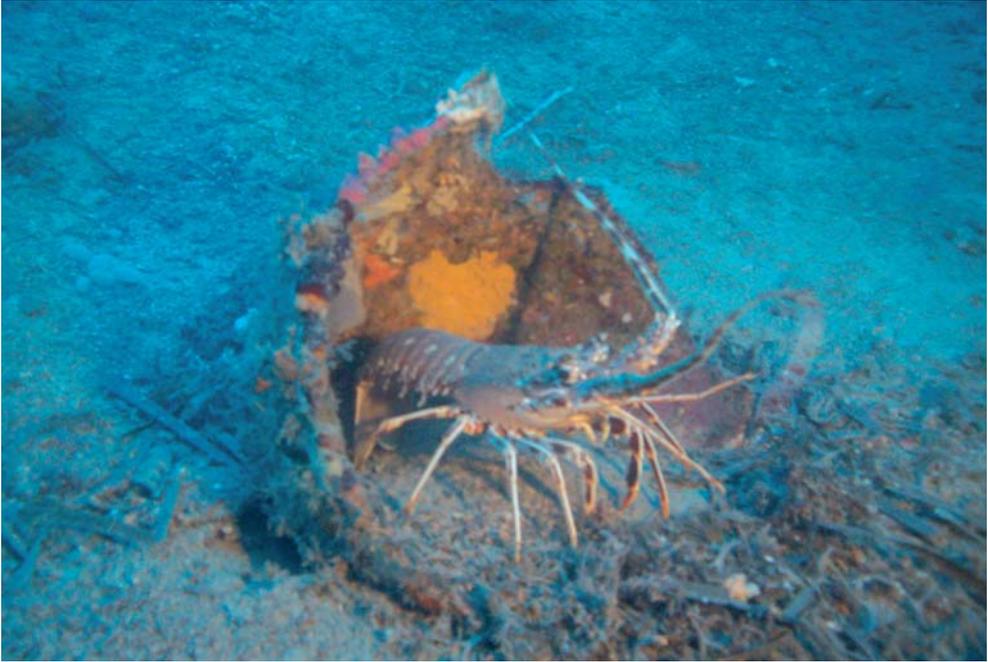


Figura 4. Aragosta in una ceramica romana (foto di F. Tiboni).



Figura 5. Anfora romana che è entrata a far parte di una scogliera artificiale (foto di F. Tiboni).

tarbee, 1988), per valutare le condizioni di deposizione e per elaborare un adeguato programma di conservazione dei reperti in loco (Davidde, 2002), come richiesto da una recente convenzione dell'UNESCO sull'eredità culturale sommersa e sui reperti archeologici.

ARCHEOLOGIA MARINA E STORIA

Molti ricercatori sostengono (Janni, 1996) che l'utilizzo di testi storici, in particolare quelli che parlano della pesca nell'antichità e dei commerci marittimi, debba essere alla base dello studio di quello che viene chiamato *paesaggio marino* antico, almeno per gli studi che trattano un periodo successivo all'era greca o romana. L'intensificarsi delle attività di archeologia marittima e subacquea dopo la seconda metà del 20° secolo ha però fornito nuove evidenze archeologiche che confutano questa visione tradizionale.

La recente evoluzione delle scienze archeologiche marittime, che ha visto l'introduzione dell'uso di strumenti e tecniche geofisiche, ha dimostrato che lo studio delle testimonianze umane che si trovano sott'acqua ci permette di confrontare e cambiare molte delle nostre convinzioni nate dallo studio dei testi, così come di ottenere le informazioni mancanti. Ad esempio, i documenti scritti minimizzano il ruolo dei marinai non romani (Punici, Etruschi e Greci) nell'impero Romano. In particolare gli storici romani hanno ignorato il ruolo degli Etruschi, mentre i relitti etruschi trovati vicino la Toscana o le coste meridionali della Francia testimoniano l'importanza di questa popolazione nel Tirreno.

Ci si chiede quindi perché ci siano queste contraddizioni tra documenti storici ed evidenze archeologiche. La spiegazione andrebbe cercata nella tipologia di documenti e considerando la mentalità dei romani. Per esempio la necessità dell'Impero Romano di celebrare la propria potenza e di evocare origini mitiche non permetteva agli storici ufficiali di descrivere con precisione la reale forza d'altre popolazioni impegnate in attività marittime, come quelle succitate. Poiché l'Impero Romano era centralizzato, gli storici romani dovevano narrare la politica imperiale, tra cui le varie imprese marittime che avevano luogo nel *Mare Nostrum*. In altre parole questi testi non possono essere considerati come unica e credibile fonte d'informazioni per capire l'evoluzione del *paesaggio marino*, ma per ottenere una più autentica e completa rappresentazione è necessario prendere in considerazione anche le evidenze archeologiche.

D'altra parte uno studio combinato condotto da storici con il supporto delle evidenze dirette fornite dall'archeologia permette ad archeologi e storici di ottenere un'idea più precisa di come gli antichi greci e romani sfruttassero il mare e le risorse aliutiche (Rieth, 1998). Lo studio dei contenitori di ceramica per trasportare *garum*, pesce salato e vino, e l'analisi di fonti storiche, ha recentemente permesso di ottenere informazioni sulla presenza e distribuzione di alcune specie marine, il loro utilizzo come alimento e la loro importanza economica nelle antiche civiltà (Peacock, 1986; Caravale, 1997). Questi studi hanno evidenziato l'importanza delle produzioni e del commercio ad opera di popolazioni non romane, e hanno fatto luce sul ruolo delle costruzioni navali e le tradizioni commerciali pre-romane.

Inoltre, scavi presso insediamenti costieri hanno fornito importanti elementi per capire come e quando i pesci erano allevati, dov'erano venduti e mangiati e chi era impiegato in questa attività (Trakadas, 2003).

La presenza in alcuni relitti di reti da pesca, testimoniata dal ritrovamento di piccoli pesi di piombo e anelli metallici, d'ami e arpioni di metallo, ci permette di sostenere che molte delle barche affondate nel Mediterraneo erano solite pescare durante il loro viaggio (Del-l'Amico, 2005). Alcune di esse, come suggerisce un contenitore di legno ritrovato presso un relitto a Fiumicino (Boetto, 1999; 2000; 2007), avevano un preciso utilizzo economico e commerciale. Si pensa che questo contenitore fosse una specie di "acquario" utilizzato per trasportare il pesce vivo dal mare ai mercati locali. Sfortunatamente non sono stati trovati resti di lische di pesce in questi siti; di conseguenza l'identificazione delle specie ittiche pescate dai diversi natanti, oppure trasportate e commerciate presso i mercati locali, può quindi essere fatta solo attraverso documenti scritti o evidenze artistiche come mosaici, disegni o dipinti.

RICERCA MULTIDISCIPLINARE SULLA PREISTORIA

La collaborazione tra archeologia e scienze marine come l'ecologia, la biologia, l'archeometria e la geologia è molto fertile per studi che riguardano la preistoria, principalmente a causa della mancanza di fonti scritte; in quei casi gli studi sperimentali delle antiche condizioni ambientali rappresentano il modo migliore per interpretare correttamente le attività antropiche marine. Negli studi preistorici ogni ritrovamento archeologico può essere considerato non nella sua singolarità, ma come parte di un ambiente complesso, sia naturale che antropico, e può essere utilizzato per analizzare sia le azioni umane sia le forzanti naturali in un particolare luogo e in un particolare momento (Boyce *et al.*, 2004; Dean, 2006).

Gli esempi che seguono illustrano la collaborazione tra archeologia preistorica e scienze marine. Il primo caso studio riguarda le grotte costiere vicino Cagliari, in particolare i siti Neolitici vicino la cosiddetta "Sella del Diavolo". Gli archeologi hanno trovato in quelle grotte ossa che testimoniano la pesca di animali grandi, come delfini e tonni, e conchiglie della specie *Cardium edulis* raccolte durante l'età della pietra. Questi molluschi, come il pesce, facevano parte della dieta delle popolazioni che vivevano nelle grotte (Atzeni, 2003). Uno studio combinato di alcuni particolari reperti trovati in questi siti ha fornito agli archeologi importanti informazioni sugli abitanti delle antiche grotte della Sardegna: il loro stile di vita, la loro alimentazione a base di specie marine, la struttura sociale dei diversi gruppi. Ciò ha evidenziato la presenza di pescatori specializzati che utilizzavano conchiglie e resti ossei di pesce come ornamenti per celebrare le catture, enfatizzando il loro stato sociale/economico (Orsoni, 1880; Atzeni, 1962).

Va evidenziato che durante il Neolitico l'uso di conchiglie era comune non solo per l'alimentazione e la produzione di collane, ma anche per decorare una particolare tipologia di ceramica, la "ceramica cardiale". Questa particolare ceramica era diffusa soprattutto nel Mediterraneo settentrionale nel 6° millennio a.C. (Atzeni, 1981).

Riassumendo, lo studio di queste grotte ha permesso agli archeologi di scoprire che lungo la costa della Sardegna abitavano popolazioni di "cacciatori-raccoglitori" che si dedicavano anche allo sfruttamento del mare, e che i pescatori probabilmente rivestivano un ruolo importante nella società.

Un altro caso studio riguarda un sito preistorico sulle Alpi, in Italia settentrionale, caratterizzato dalla presenza di palafitte. Lo studio, ad opera di biologi, di vecchi gusci, insetti o pollini, ha permesso agli archeologi di ottenere informazioni sull'alimentazione e la salute degli antichi abitanti. Le ricerche biologiche hanno anche aiutato gli archeologi a dare una precisa definizione delle tante strutture di legno presenti presso questi insediamenti, che non potevano essere interpretate come elementi strutturali dei villaggi ma che erano, ad esempio, trappole per i pesci (Girod, 2002).

Inoltre, una corretta analisi di alcune testimonianze presenti negli ambienti di acqua dolce sotto le palafitte di legno ha permesso agli archeologi di capire che molti di questi insediamenti preistorici erano costruiti a una certa distanza dalla terraferma, in zone profonde di laghi e fiumi. Quindi, grazie a questi nuovi studi scientifici, gli archeologi hanno potuto superare definitivamente la teoria originale secondo la quale le palafitte erano costruzioni costiere, create dalle popolazioni antiche solo sulle rive (Magny, 1984; Pedrotti *et al.*, 2004; Schlichterle, 1995).

Un altro studio congiunto di un sito Mesolitico scoperto recentemente nella laguna di Venezia, vicino la cosiddetta "Isola delle Statue" tra Marghera e Venezia, ha fornito una prova inconfutabile della presenza nell'area di un piccolo gruppo di pescatori e raccoglitori mesolitici (Tiboni, 2010). L'analisi della struttura del suolo, con la presenza di selci nella stratigrafia associati a carbone sotto uno strato di sabbia contenente gusci di *Cardium edulis*, ci ha permesso di capire che si trattava di una piccola base, probabilmente utilizzata in un periodo limitato di tempo. Si trovava sulla riva di un antico fiume dell'ottavo millennio a.C., che è stato sommerso prima della fine del quarto millennio a.C. a causa dell'ingressione marina e lagunare.

La collaborazione tra noi, gli archeologi, e geologi e biologi marini ha permesso di dimostrare che questo sito rappresenta una delle prime testimonianze della presenza umana nel territorio di Venezia, e di proporre un'interessante interpretazione dell'evoluzione dell'ambiente durante l'Età della Pietra.

NOTE FINALI

Fin qui abbiamo enfatizzato l'importante ruolo della biologia marina nell'aiutare gli archeologi subacquei ad interpretare i siti. Ad ogni modo negli ultimi tempi è cresciuta la consapevolezza che viceversa l'archeologia può dare un prezioso contributo ai biologi, fornendo informazioni sull'ambiente marino e sullo sfruttamento del mare. La collaborazione tra archeologia e biologia ha dato vita ad un nuovo campo di ricerca chiamato zoo-archeologia o archeologia forense (Blau Ubelaker, 2009). Questo campo interdisciplinare, che si occupa dello studio di ossa e resti organici antichi, ha aumentato la possibilità di ottenere dati riguardo l'alimentazione nell'antichità e l'evoluzione biologica dell'uomo e dell'ambiente. Sfortunatamente, sebbene sia studiata in molte università europee, l'archeologia forense non è ancora molto diffusa in Italia, dove l'archeologia è ancora considerata una branca della storia dell'arte e non una scienza.

BIBLIOGRAFIA

- ARNAULD P. (1998). "La navigation hauteriere en Mediterranee ancienne d'apres les donnees des geographes anciens: quelques exemples" in Rieth E. (Ed.) *Mediterranee Antique: pêche, navigation, commerce*, 75-87.
- ATZENI E. (1962). "The Cave of San Bartolomeo, Sardinia", *Antiquity* XXXVI: 84-189.
- ATZENI E. (1981). "Aspetti e sviluppi culturali del neolitico e della prima età dei metalli in Sardegna" *Ichnussa*. Milano, pp. 32-36.
- ATZENI E. (2003). *Cagliari Preistorica*, Cagliari.
- BASS G. (1966). *Underwater Archaeology*, Londra.
- BASS G. (1986). "A Bronze Age shipwreck at Ulu Burun (Kas): 1984 Campaign", *American Journal of Archaeology* 90: 269-296.
- BASS G., PULAK C., COLLON D., E WEINSTEIN J. (1989). "The Bronze Age shipwreck at Ulu Burun: 1986 Campaign", *American Journal of Archaeology* 93: 1-29.
- BLAU S. E UBELAKER D.H. (2009). Handbook of Forensic Archaeology and Anthropology, *World Archaeological Congress Research Handbooks*.
- BOETTO G. (1999). "Le navi di Fiumicino: un contributo alla ricostruzione della topografia del porto di Claudio e della geomorfologia costiera", *Meded* 58, 41.
- BOETTO G. (2000). "New Technological and Historical Observations on the Fiumicino I Wreck from Portus Claudius (Fiumicino, Rome)", *Down the River into the Sea. Proceedings of the VIII International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Gdansk 1997* (J. Litwin Ed.), 99-102, Gdansk.
- BOETTO G. (2007). "Fishing vessels in antiquity: the archaeological evidence from Ostia (Rome)", *Net and fishing gears in classical antiquity*, Cadice.
- BOWENS A. (Ed.) (2009). "Underwater Archaeology. The NAS guide to principles and practice", Londra.
- BRADLEY R. (1990). *The Passage of Arms: an archaeological analysis of Prehistoric Hoards and Votive Deposits*, Cambridge.
- BATTARBEЕ R.W. (1988). "The use of diatom analysis in archaeology: a review", *Journal of Archaeological Science* 15: 621-44.
- CARVALE A. E TOFFOLETTI I. (1998). *Anfore antiche*, Roma.
- DAVIDDE B. (2002). "Underwater archaeological parks: a new perspective and a challenge for conservation – the Italian panorama", *The International Journal of Nautical Archaeology* 31.1: 83-8.
- BOYCE J.L., REINHARDT E.G., RABAN A. E POZZA M.R. (2004). "Marine Magnetic survey of a submerged Roman Harbour, Cesarea Marittima", *The International Journal of Nautical Archaeology* 33.1: 122-36.
- DELL'AMICO P. (2000). "Le origini antiche e lo sviluppo della nave", *Rivista Marittima – Supplemento giugno 2000*, Roma.
- DEAN M. (2006). "Echoes of the past: geophysical surveys in Scottish water and beyond", in Jones R.E. e Sharpe L. (Ed.), *Going over old ground – Perspective on archaeological geophysical and geochemical survey in Scotland*, 80-7. BAR, British Series 416, Oxford.
- DELL'AMICO P. (2005). *Relitti del Mediterraneo*, La Spezia.

- GIROD A. (2002). "I molluschi acquatici e terrestri del Bronzo Antico e del Bronzo Medio al Lavagnone (BS). Un approccio Metodologico", *Notizie Archeologiche Bergomensi* 10: 65-84.
- JANNI P. (1996). *Il mare degli antichi*, Bari.
- MACLEOD I.D. (1995). "In Situ corrosion studies on the Duart Point Wreck", *The International Journal of Nautical Archaeology* 24.1: 53-9.
- MARTIN C.J.M. (1995). "Assessment, stabilisation and management of an environmentally threatened seventeenth-century shipwreck off Duart Point, Mull" in A. Berry e I. Brown (Ed.) *Managing Ancient Monuments: an Integrated Approach*, 181-9. Clywe-land.
- MURPHY L.E. (1990). "BSL17: Natural Site Formation Process of a Multiple-Component Underwater Site in Florida", *Submerged Resources Center Professional Report No. 12*, National Park Service, Santa Fe, New Mexico.
- PALMA P. (2005). "Monitoring of shipwreck sites", *The International Journal of Nautical Archaeology* 34.2: 323-331.
- PARKER A.J. (1981). "Stratification and contamination in ancient Mediterranean Shipwrecks", *The International Journal of Nautical Archaeology* 10.4: 309-35.
- PULAK C. (1988). "The Bronze Age shipwreck at Ulu Burun: 1985 Campaign", *American Journal of Archaeology* 92: 1-37.
- PULAK C. (1996). "Dendrochronological Dating of the Uluburun Shipwreck", *The Institute of Nautical Archaeology Quarterly* 23.1: 12-13.
- MAGNY M. (1984). "Les palafittes aujourd'hui: bilan et perspective, un siècle d'archéologie lacustre", *Revue Archéologique de l'Est* 35, II: 41-61.
- ORSONI F. (1880). "Recherches préhistorique dans les environs de Cagliari" in *Matériaux pour l'Histoire primitive et naturelle de l'homme*, XVI année XI, 57.
- PEACOCK D.P.S. e Williams D.F. (1986). "Amphorae and the Roman economy: an introductory guide", Londra.
- PEDROTTI A., FELBER M. e DELLA TORRE U. (2004). "Le palafitte dell'arco alpino meridionale", in *Auf den Spuren der Pfahlbauer*, pp. 66-71, Berna.
- REDKNAP M. (Ed.) (1997). *Artefacts from wrecks: Dated Assemblages from the Late Middle Ages to the Industrial Revolution*, Oxford.
- RIETH E. (Ed.), 1998. *Mediterranee Antique: pêche, navigation, commerce*, Parigi.
- SCHLICHTERLE H. (1995). "Neue Fundstellen im Federseemoor bei Bad Buchau, Oggelshausen, Alleshäusen und Seekirch, Kreis Biberach", in *Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg*, pp. 57-62, Baden.
- SPENCE C. (Ed.) (1994). *Archaeological Site Manual*, Londra.
- STEFFY J.R. (1994). *Wooden ship building and the interpretation of shipwrecks*, Londra.
- TIBONI F. (2010) [in uscita]. "Le selci di isola delle Statue", in *Atti del III convegno Nazionale dell'AIASUB - Manfredonia 2007*, EdiPuglia.
- TRAKADAS A. (2003). "The Archaeological evidence for Fish Processing in the Western Mediterranean" in *Ancient Fishing and Fish Processing in the Black Sea Region*, Danimarca, pp. 47-82.

COME POSSONO ESSERE UTILIZZATI I RESTI OSSEI DI PESCE PER STUDIARE LA STORIA DELLE POPOLAZIONI MARINE?

Matthew J. Collins¹, Jennifer Harland¹, Oliver Craig¹, Kristine Korzow Richter², Nienke van Doorn², Clive Trueman³
e-mail: mc80@york.ac.uk

Parole chiave: ZooMS, collagene, spettrometria di massa, identificazione, impronta genetica delle proteine

Riassunto

I resti di pesce, come ad esempio ossa, denti, scaglie e otoliti, sono molto comuni nei ritrovamenti archeologici e paleontologici. Fino a poco tempo fa la ricerca si è concentrata principalmente sull'identificazione di questi resti analizzandone le caratteristiche morfologiche, procedura in genere piuttosto difficile. In alcuni casi più del 95% dei resti ossei di pesce non sono in condizioni tali da consentire una diagnostica, poiché sono facilmente frammentabili e i frammenti non permettono di ricostruirne la morfologia, passo necessario per l'identificazione delle specie. Negli ultimi decenni, comunque, è aumentato l'interesse nei confronti delle analisi molecolari. Il DNA è stato utilizzato per distinguere tra specie e popolazioni ittiche, ma il DNA non è uno degli elementi principali che si ritrova nei frammenti archeologici. A parte gli otoliti, i resti di pesce sono un insieme di minuscoli frammenti di cristallite minerale (apatite) e proteine fibrose (collagene). La cristallite minerale va incontro a rapide trasformazioni diagenetiche, ma nel materiale fresco gli isotopi inorganici possono permettere di ricostruire cambiamenti delle masse d'acqua. La proteina di collagene si decompone invece lentamente, e quando è ancora presente (può conservarsi anche per più di 500000 anni) la sua composizione isotopica può permettere di valutare il livello trofico di un pesce, e potenzialmente di ricostruire i cambiamenti della struttura degli ecosistemi. Il collagene può essere analizzato utilizzando un nuovo metodo che abbiamo nominato ZooMS (*Zooarcheology by Mass Spectrometry*), che ne prevede l'isolamento e la frammentazione enzimatica e la caratterizzazione dei frammenti attraverso spettrometria di massa a bassa energia di ionizzazione. Il metodo ZooMS può essere utilizzato per l'identificazione dei resti ossei e scaglie di pesce in resti archeolo-

1 BioArCh, Dipartimento di Archeologia, Biologia e Chimica, York (Regno Unito).

2 Dipartimento di Biologia, Università della Pennsylvania, University Park, Pennsylvania (Stati Uniti d'America).

3 Università di Southampton, European Way, Southampton (Regno Unito).

gici. Questo metodo può essere applicato anche a parti lavorate, fatto particolarmente importante poiché la lavorazione in genere distrugge indizi fondamentali per l'identificazione delle specie.

INTRODUZIONE: OSSA DI PESCE

L'archeologia marina negli ultimi tempi è stata oggetto di crescente interesse sia da parte del mondo accademico che della stampa [ad esempio, Roberts, 2007; Rick e Erlandson, 2008]. I resti archeologici di pesce includono principalmente accumuli di ossa, denti, scaglie ed otoliti. Questi resti possono fornire informazioni sulle modalità di pesca [Barrett *et al.*, 1999], le dinamiche economiche e del commercio [Barrett *et al.*, 2008], la dieta, la disponibilità di risorse, le relazioni sociali [O'Day *et al.*, 2002], la distribuzione, diversità e mobilità delle specie [Speller *et al.*, 2005], ed i cambiamenti climatici intercorsi nel passato [Enghoff *et al.*, 2007]. Questi studi possono avere diverse applicazioni, tra cui l'analisi dell'importanza economica del pesce e la diversa diffusione delle specie nel passato. Comunque, malgrado la potenziale importanza che i pesci hanno per la ricostruzione della storia delle popolazioni marine, il 95% dei resti archeologici di pesce non sono diagnostici, trovandosi sotto forma di frammenti troppo piccoli per poter essere utilizzati per l'identificazione delle specie.

Questo breve articolo illustra quali informazioni si possono potenzialmente ottenere dai resti ossei di pesce nell'ambito di studi storici e archeologici dello sfruttamento delle risorse marine.

Resti archeologici

I resti archeologici di pesce tradizionalmente sono identificati attraverso analisi morfometriche, basate sul confronto con collezioni di riferimento. Lische di pesce, otoliti (le "ossa auricolari" dei pesci di carbonato di calcio), denti e scaglie possono essere identificate a diversi livelli di precisione tassonomica, ma in alcuni casi le lische si conservano mentre gli otoliti no, e viceversa. Fino a poche decadi fa erano pochi gli scavi archeologici che adottavano una strategia di campionamento rigorosa adeguata alla raccolta di resti di pesce [Wheeler e Jones, 1989]. Una buona raccolta richiede, infatti, una setacciatura ad umido con maglia di almeno 1 mm; ma se i resti di pesce sono raccolti solo a mano durante gli scavi, allora si potranno identificare solo le parti più grandi, un errore presente in alcune vecchie pubblicazioni. Con l'introduzione della setacciatura di routine dei depositi archeologici è possibile recuperare una gran quantità di frammenti fini d'ossa. Molti di questi frammenti provengono da resti di pesce, e l'elevata frammentazione in molti casi ne rende impossibile l'identificazione. Ad ogni modo la piccola percentuale di frammenti che possono essere identificati è in genere molto informativa.

La ricerca zoo-archeologica tradizionale si basa sull'accesso a collezioni di riferimento e sulla professionalità di esperti, e può fornire informazioni dettagliate sui *taxa* sfruttati, le loro dimensioni, i metodi di pesca, la stagionalità, i cambiamenti temporali, ecc. Le dimensioni dei pesci ritrovati possono essere valutate attraverso il confronto con campioni attuali o attraverso analisi metriche dettagliate, e possono fornire informazioni sugli habitat

sfruttati e sulla stagione di cattura. La presenza di segni di macellazione (preparazione per il consumo alimentare) e una diversa presenza di alcuni elementi possono fornire informazioni sulla conservazione del pesce, il commercio e lo scambio, a volte lungo grandi distanze. Cambiamenti temporali dei *taxa* e delle classi dimensionali sfruttate possono fornire informazioni sui cambiamenti delle tecniche di pesca, delle condizioni ambientali o sul sovra-sfruttamento delle risorse.

Composizione dei frammenti ossei di pesce

Le lisce (e le scaglie) di pesce sono composte di due elementi principali, tessuto osseo minerale e collagene (Figura 1). L'elemento organico principale delle lisce è il collagene di Tipo I. Si tratta di una proteina fibrosa composta da 3 catene, ciascuna costituita da poco più di 1000 aminoacidi, legati in un'elica lunga 300 nm (Figura 1). La distanza tra le microfibre dipende dal fatto che vi è uno spazio tra le molecole ($67/300 = 4.8$), quindi per ogni ripetizione di 67 nm una parte ha cinque molecole in sezione (la regione di sovrapposizione), mentre l'altra parte ne ha quattro (la regione di separazione). Queste fibre sfalsate formano dei fasci costituiti da centinaia e migliaia di triple eliche di notevole lunghezza. Quando l'osso mineralizza si riempie gradualmente di minerali che occupano sia il volume libero tra le fibre sia gli spazi vuoti, e comprimono le fibre stesse a causa della crescita tra le zone di sovrapposizione, distorcendole (Burger *et al.*, 2008).

Vi è un crescente interesse nei confronti dell'applicazione di analisi molecolari ai tessuti duri dei pesci, utilizzate sia per l'identificazione delle specie che per studiarne le migrazioni. Molte di queste metodologie sono state utilizzate sia per studi contemporanei che per analizzare popolazioni ittiche antiche.

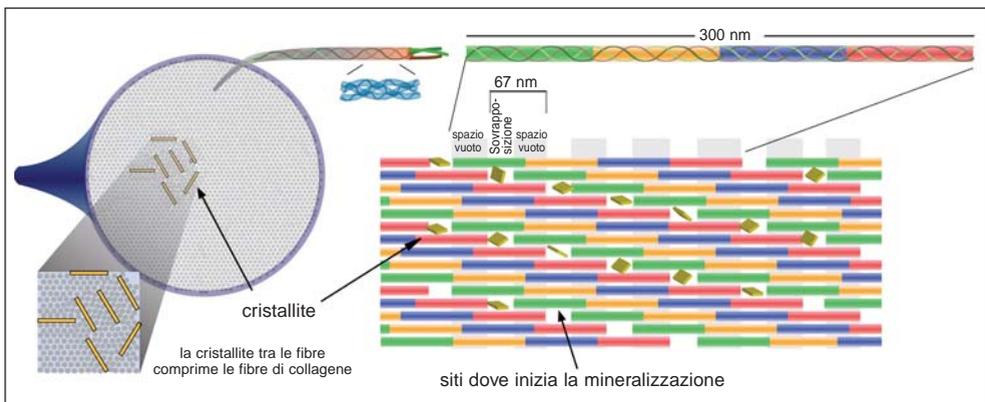


Figura 1. Struttura schematica del collagene. Il collagene è composto da tre catene avvolte in una tripla elica stretta, tra cui vi sono degli spazi vuoti nei quali si pensa che l'apatite inizi a precipitare. I minerali precipitano anche tra le fibre (Burger *et al.*, 2008), determinando una compressione delle singole triple eliche.

ANALISI DEGLI ISOTOPI

L'analisi degli isotopi stabili leggeri presenti nel collagene delle lisce di pesce permette di ricostruire le principali fonti di proteine nella dieta degli animali assunte durante la formazione dei tessuti. Questa tecnica offre la possibilità di superare alcune cause d'incertezza tipiche di altri metodi utilizzati per stabilire indirettamente il livello trofico e le fonti alimentari delle specie. Si possono utilizzare molti isotopi, ma il rapporto tra isotopi di carbonio [^{13}C su ^{12}C , $\delta^{13}\text{C}$], che varia in funzione della temperatura e salinità, e il rapporto tra gli isotopi dell'azoto [^{15}N su ^{14}N , $\delta^{15}\text{N}$], che varia in funzione del livello trofico, sono i più utilizzati (Figura 2).

Variatione degli isotopi d'azoto e cambiamenti del livello trofico

Gli isotopi stabili dell'azoto sono particolarmente utili per l'analisi dei cambiamenti della dieta dei predatori marini (Wainright *et al.*, 1993; Hirons *et al.*, 2001). Le statistiche di pesca dell'Atlantico nord-orientale indicano come individui e specie di piccole dimensioni siano diventate progressivamente molto abbondanti negli ultimi 50 anni. Di fatto i pesci demersali carnivori, che vivono a lungo e hanno livello trofico elevato, sono stati sostituiti da invertebrati a ciclo vitale breve e da pesci pelagici planctivori di basso livello trofico. Pauly *et al.* (1998) hanno definito quest'alterazione della struttura e funzionamento degli ecosistemi "fishing down the foodweb". Una profonda comprensione

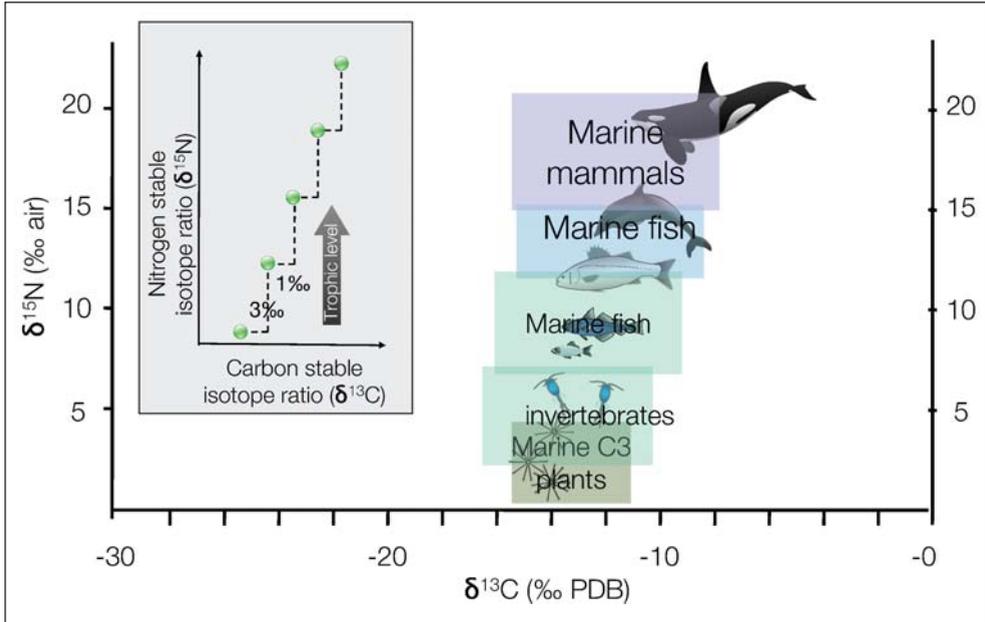


Figura 2. Rappresentazione del cambiamento trofico negli ecosistemi marini – aumento del 3‰ del $\delta^{15}\text{N}$ e aumento dell'1‰ del $\delta^{13}\text{C}$. Reti trofiche "lunghe" portano ad un arricchimento del $\delta^{15}\text{N}$, mentre reti trofiche "corte" determinano valori bassi di $\delta^{15}\text{N}$ nei predatori apicali.

di questo fenomeno, però, è resa difficile dalla scarsa disponibilità di dati (Polunin e Pinengar, 2002). RegISTRAZIONI delle statistiche di pesca e dati sulla dieta dei pesci sono raramente disponibili per periodi oltre i 50 anni e in genere sono riferiti ad aree geografiche limitate; anche in casi eccezionali dati dettagliati che si estendano al 19° secolo sono rari (Thurstan *et al.*, 2010). Il rapporto tra isotopi d'azoto, misurato come rapporto tra ^{15}N e ^{14}N in relazione ad uno standard ($\delta^{15}\text{N}$), mostra un chiaro arricchimento di ^{15}N (~2-4‰) nei tessuti di un consumatore rispetto le proprie prede, e quindi un progressivo arricchimento di ^{15}N all'aumentare del livello trofico. Una diminuzione del livello trofico medio di una comunità marina, quindi, dovrebbe tradursi in una progressiva diminuzione del valore di $\delta^{15}\text{N}$. Il confronto tra le concentrazioni d'isotopi in campioni preistorici, storici e moderni dovrebbe quindi fornire utili informazioni sugli andamenti temporali della struttura degli ecosistemi in relazione agli impatti antropici recenti. Cambiamenti evidenti degli isotopi nei predatori possono essere legati a cambiamenti ambientali a lungo termine che hanno avuto un impatto sugli organismi alla base della rete trofica. Per dimostrare che vi è stata una semplificazione della rete trofica a causa del sovra-sfruttamento, è fondamentale confrontare misure di $\delta^{15}\text{N}$ in organismi di diversi livelli trofici e in diversi periodi e aree geografiche.

Studi isotopici per identificare le rotte di migrazione del pesce

Diversi isotopi si possono utilizzare per studiare le rotte di migrazione. Lo Stronzio 87/86 cambia in funzione delle caratteristiche geologiche e può quindi essere diverso a seconda dell'area. Gli isotopi del carbonio e dell'azoto variano sia spazialmente che temporalmente in funzione della produzione primaria, della temperatura, della salinità, della complessità della rete trofica e dell'eutrofizzazione. Gli isotopi d'ossigeno e idrogeno riflettono le caratteristiche delle masse d'acqua e della dieta. Alcuni esempi d'uso degli isotopi per studiare le migrazioni del pesce includono l'uso d'isotopi di stronzio per studiare gli spostamenti dei pesci anadromi (Koch *et al.*, 1992), e isotopi di carbonio e azoto per studiare le migrazioni del merluzzo atlantico (McCarthy e Waldron, 2000).

Studi isotopici archeologici

Il collagene presente nei resti ossei di pesce è considerato il miglior substrato per l'analisi di campioni archeologici dal momento che si conserva bene e non è soggetto a diagenesi. L'analisi degli isotopi leggeri stabili nel collagene di tali strutture fornisce informazioni sulle principali fonti di proteine nella dieta degli organismi nel momento in cui i tessuti si sono formati. Questa tecnica offre la possibilità di superare alcune delle cause d'incertezza associate ad altri metodi indiretti per la definizione del livello trofico dei pesci e la descrizione delle fonti di cibo. Molti isotopi, infatti, possono essere misurati, ma il rapporto tra isotopi di carbonio (^{13}C su ^{12}C , $\delta^{13}\text{C}$), che varia in funzione della temperatura e della salinità, e il rapporto tra isotopi d'azoto ($\delta^{15}\text{N}$), che varia in funzione del livello trofico, sono probabilmente i più utili poiché sono semplici da misurare nel collagene presente nelle ossa il quale, come già accennato, è poco interessato dalla diagenesi (Dobberstein *et al.*, 2009). La quantità di collagene richiesta per l'analisi degli isotopi di carbonio e azoto è relativamente piccola (circa 1-5 mg), benché per la spettrometria di massa ne servano quantità maggiori.

Variazioni degli isotopi e cambiamenti delle fonti di alimento

Un'importante domanda a cui rispondere al fine di studiare lo sfruttamento delle specie marine nel passato è dove venivano pescate e come è cambiato il loro consumo. Mentre l'analisi degli isotopi del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) nel collagene delle ossa umane è stata applicata con successo per studiare cambiamenti su ampia scala del consumo di risorse marine (Tauber, 1981; Barrett *et al.*, 2001; Richards *et al.*, 2003), l'analisi dei resti ossei di pesce può fornire informazioni su dove l'esemplare è stato pescato, cioè la sua origine prima del commercio o scambio e della successiva deposizione nei siti archeologici. Si è osservato come sia gli isotopi del carbonio che quelli dell'azoto siano in grado di distinguere a livello spaziale le popolazioni ittiche attuali (ad esempio, Deutsch e Berth, 2006) in funzione del rapporto tra dieta e ambiente (sebbene i segnali mostrino variazioni secolari a lungo termine). Selezionando singole specie ittiche e individui d'età e dimensioni note è possibile studiare i cambiamenti ambientali (in particolare la temperatura e la salinità) analizzando le variazioni di isotopi. Considerando che le fluttuazioni decennali o su scala temporale maggiore tra differenti masse d'acqua sono relativamente piccole, la variazione degli isotopi dovrebbe poter essere messa in relazione alla loro origine geografica. Seguendo questo principio, l'analisi degli isotopi del carbonio in reperti medievali contenenti lisce di merluzzi (N.d.T.: *Gadus morhua*) provenienti dall'Europa settentrionale ha mostrato come il merluzzo conservato potrebbe essere stato trasportato dalle zone artiche della Norvegia al Baltico alla fine del primo millennio a.C. (Barrett *et al.*, 2008). Mettendo in relazione le rotte del commercio con i centri di consumo e valutando l'entità dei consumi, gli studi isotopici, combinati con l'identificazione delle specie (e ancora meglio, marcatori di popolazione), hanno la potenzialità di far emergere e quantificare alcuni tra i principali impatti antropici sugli stock su ampia scala temporale.

IDENTIFICAZIONE

Pesci moderni

Vi è una crescente necessità di identificare la specie a partire dai tessuti dei pesci; gli scienziati che si occupano di alimentazione hanno bisogno di verificare l'origine tassonomica dei prodotti ittici, mentre gli ecologi e coloro che si occupano di gestione della pesca necessitano di conoscenze dettagliate sulle interazioni tra preda e predatore.

Quasi tutti le specie ittiche sfruttate commercialmente adottano una strategia riproduttiva conosciuta come "*bet hedging*", che prevede che gli adulti siano estremamente fecondi ma non investano risorse nelle cure parentali. Una femmina di merluzzo, ad esempio, può produrre più di 20 milioni di uova in ciascuna stagione riproduttiva, ma dopo la deposizione uova e larve sono lasciate in balia dei processi ambientali ed ecologici. La mortalità di queste forme giovanili è elevata, e piccoli cambiamenti del tasso di mortalità quindi controllano le dimensioni della popolazione di adulti. Per questi motivi le prime fasi del ciclo di vita sono le più delicate. A volte fattori ambientali ed ecologici danno luogo a condizioni ottimali per la sopravvivenza quando le uova e le larve si trovano nelle acque superficiali. In quei casi un numero relativamente consistente di giovanili sopravvive fino all'età adulta, e la coorte che ne risulta dominerà la popolazione adulta fino al ripetersi fortuito di condizioni ambientali ottimali. Questa strategia riproduttiva permette di man-

tenere dimensioni delle popolazioni stabili fintanto che il tempo che intercorre tra anni “abbondanti” è relativamente corto rispetto al ciclo di vita della specie.

La principale causa di mortalità delle uova, larve e dei giovanili è la predazione. Piccoli cambiamenti dell'intensità di predazione sui giovanili di specie commerciali hanno quindi la capacità di esercitare un controllo sulle dimensioni della popolazione adulta ben più forte di cambiamenti dello sforzo di pesca. Sfortunatamente valutare l'intensità di predazione sugli individui giovanili di una data specie è critico, poiché gli individui giovanili sono difficili da identificare negli stomaci dei predatori. La predazione è quindi un punto debole nei modelli ecosistemici per la gestione della pesca, rendendo complicate le predizioni sul reclutamento delle popolazioni (che è la base per la valutazione degli stock e per la definizione delle quote).

Identificazione archeologica

Le analisi zoo-archeologiche tradizionali possono essere una scienza imprecisa: l'esito delle identificazioni e la precisione tassonomica possono cambiare molto tra diversi specialisti. Gli otoliti sono usati spesso dai biologi della pesca per studiare diversi aspetti delle popolazioni ittiche attuali, e sebbene vi siano dei casi in cui la loro analisi abbia dato esiti positivi nel campo dell'archeologia (ad esempio, Van Neer *et al.*, 2002), questi metodi vedono un uso limitato per lo studio di resti archeologici a causa della cattiva conservazione o della frammentazione cui sono soggetti gli otoliti.

L'identificazione degli alti resti ossei di pesce è più difficile. Un confronto tra “test ciechi” (*blind test*) effettuati da esperti (Gobalet, 2001) ha evidenziato come gli zoo-archeologi non siano assolutamente concordi nelle loro identificazioni. Oltre alla difficoltà di ottenere campioni attuali di pesce di adeguata dimensione per un confronto, l'identificazione di alcune famiglie può essere problematica. Le ossa di alcuni *taxa* possono essere particolarmente difficili da identificare a livello di specie. Per esempio, per quanto riguarda la famiglia delle carpe, solo le ossa infrarangee possono essere facilmente riconosciute a livello di specie – eppure l'identificazione a livello di specie di tutti i frammenti permetterebbe di fare inferenze sui metodi di pesca, le abitudini trofiche, la salute degli ecosistemi sia marini che di acqua dolce e, nel caso della carpa comune (*Cyprinus carpio* L.), sull'introduzione e la diffusione dell'acquacoltura medievale (Hoffmann, 1994).

Anche le scaglie di pesce sono notoriamente difficili da identificare a livello di specie o famiglia; però, poiché i resti di pesce ne contengono un gran numero, sono tra i reperti più comuni nei siti archeologici. Sono state utilizzate per ricostruire cambiamenti decennali degli stock di sardine e acciughe e del salmone rosso (Finney *et al.*, 2002) nell'arco di millenni. Comunque, sebbene alcune scaglie possano essere identificate a diversi livelli di definizione tassonomica, questa importante risorsa è spesso ignorata.

METODI ALTERNATIVI D'IDENTIFICAZIONE

Microscopia

Per quanto riguarda lo studio dell'alimentazione degli animali, molti campioni sono stati sottoposti, in misura diversa, a trattamento termico, mentre la lavorazione ha ridotto i resti in frammenti ossei. Abili microscopisti sono in grado di riconoscere frammenti ossei di pesci da quelli di altre forme viventi (De la Haba *et al.*, 2007), seguendo un metodo validato inter-

nazionalmente (*Classical microscopy protocol: Commission Directive 2003/126/EC*). Questo metodo è stato implementato nell'ambito di un più vasto insieme di tecnologie utilizzate per distinguere frammenti ossei di pesce da quelli di altre specie nell'alimentazione degli animali (per una disamina si veda van Raamsdock *et al.*, 2007), sebbene non sia in grado di distinguere le diverse specie. Analisi istologiche dettagliate sono state utilizzate dagli archeologi (Cuijpers e Lauwerier, 2008) per distinguere diverse specie, ma questi metodi non sono mai stati applicati ai pesci.

Metodi molecolari

Esiste un'ampia gamma di metodi non-morfometrici per l'identificazione di frammenti ossei archeologici, tra cui l'uso dell'immunologia (Lowenstein *et al.*, 2006), che viene offerta come un servizio commerciale (pRIA, <http://www.videoem.com/pria>). Non è stato ancora commercializzato nessuno strumento per eseguire test immunologici sul pesce, malgrado il loro utilizzo in ambito alimentare, probabilmente a causa del numero potenzialmente molto alto di specie per cui potrebbero essere necessari (Mackie *et al.*, 1999). Al contrario, alcuni ricercatori stanno ora studiando le potenzialità di metodi di spettrometria di massa applicati al DNA e alle proteine (Carrera *et al.*, 2007). Anche in archeologia la più importante innovazione recente si basa sull'utilizzo di metodi basati sul DNA (Yang *et al.*, 2004; Speller *et al.*, 2005; Desse-Berset, 2009; Pagès *et al.*, 2009).

Lo studio delle sequenze di DNA fornisce un metodo inequivocabile per distinguere i resti ossei dei pesci. Purtroppo, però, la conservazione del DNA dipende dalla storia termica del sito (Poinar e Stankiewicz, 1999; Smith *et al.*, 2003). Infatti, i metodi basati sul DNA si sono rivelati poco efficienti se applicati a campioni vecchi che provengono da zone caratterizzate da climi caldi (Hlinka *et al.*, 2002). Un metodo alternativo si basa sull'analisi delle proteine, e si propone come un metodo più economico per l'identificazione dei resti di pesce più vecchi.

ZooMS; analisi dei peptidi o dell'impronta genetica?

Il collagene, impiegato con successo in studi degli isotopi stabili, può essere utilizzato anche per il riconoscimento. Questo è alla base della nuova metodologia che abbiamo sviluppato per l'identificazione dei campioni, ZooMS (*Zooarcheology by Mass Spectrometry*, Zooarcheologia con Spettrometria di Massa) (Figura 3). L'analisi dell'impronta genetica (*DNA fingerprinting*) utilizza enzimi per separare il DNA in siti specifici, identificando differenze tra le varie sequenze in funzione della differente massa. ZooMS lavora nello stesso modo, ma utilizzando il collagene osseo. ZooMS si basa sulla rottura del collagene in una serie di peptidi, e misura differenze di massa tra peptidi attraverso la spettrometria per identificare le specie ittiche, così come le impronte del DNA sono utilizzate per riconoscere gli individui. A differenza del DNA, presente in genere in bassissime quantità e che si contamina facilmente, il collagene è alla base delle ossa e delle scaglie dei pesci. Non è necessario amplificare il segnale e le masse possono essere misurate ad una velocità di un campione ogni pochi secondi. Il fatto che non serva amplificare il segnale, oltre a diminuire il rischio di contaminazione, riduce i costi e i tempi. Questa tecnica permette inoltre di identificare la presenza di diverse specie in una mistura. Test ciechi su ossa di pesce polverizzate, mischiate e messe in autoclave per 20 minuti a 146°C (equivalente ad un invecchiamento di 90000 anni a 10°C) hanno identificato le componenti presenti in più del 5% del campione in 16/16 dei campioni preparati dal *Veterinary Laboratories Agency*.

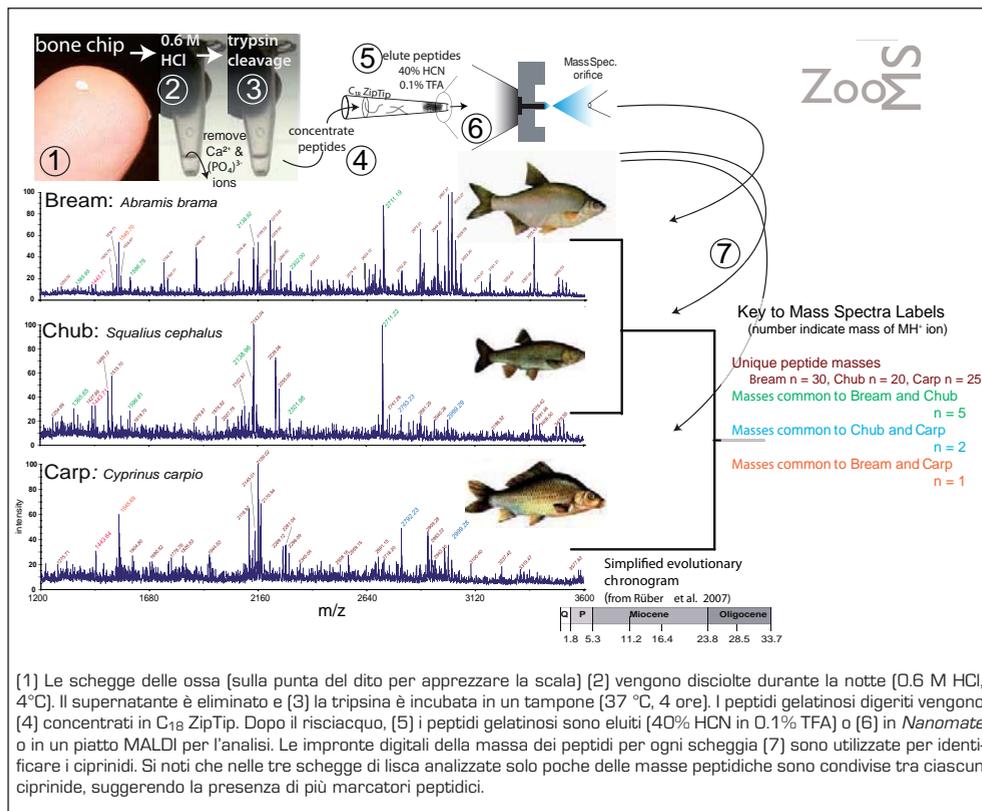


Figura 3. Rappresentazione schematica del metodo ZooMS (Zooarcheology by mass-spectrometry).

Le quantità di campione richieste per il metodo ZooMS sono così piccole da essere difficili da maneggiare (sia letteralmente che metaforicamente). Sono sufficienti 2 mm³ di ossa (50 mg) anche quando il collagene si è ridotto al 0.1% del livello originario. Attualmente stiamo lavorando su particelle di 250 micron e scaglie di pesce singole.

RIASSUNTO

Sia gli ecologi della pesca che gli archeologi si stanno orientando verso strumenti e tecniche molecolari. Non tutti gli strumenti però possono lavorare nello stesso modo sia su resti archeologici che su campioni attuali: il DNA può essere presente ma si degrada molto facilmente. L'apatite minerale va incontro ad una rapida alterazione diagenetica, scambiando elementi con l'ambiente di sepoltura e cambiando sia in termini di elementi in traccia che di composizione isotopica. Il collagene osseo si degrada continuamente ed è progressivamente perso dalle lische, ma finché è presente contiene una serie affidabile di marcatori molecolari utilizzabili sia per identificare la lisca, sia per studiarne lo stato trofico e (in alcuni casi) l'origine geografica del campione.

BIBLIOGRAFIA

- BARRETT J.H., BEUKENS R.P., E NICHOLSON R.A. (2001). Diet and ethnicity during the Viking colonization of northern Scotland: evidence from fish bones and stable carbon isotopes. *Antiquity* 75: 145-154.
- BARRETT J., JOHNSTONE C., HARLAND J., VAN NEER W., ERVYNCK A., MAKOWIECKI D., HEINRICH D., HUFTHAMMER A., ENGHOFF I., AMUNDSEN C., CHRISTIANSEN J., JONES A., LOCKER A., HAMILTON-DYER S., JONSSON L., LÖUGAS L., ROBERTS C., E RICHARDS M. (2008). Detecting the medieval cod trade: a new method and first results. *Journal of Archaeological Science* 35: 850-861.
- BARRETT J., NICHOLSON R., E CERÓN-CARRASCO R. (1999). Archaeo-ichthyological evidence for long-term socioeconomic trends in Northern Scotland: 3500 BC to AD 1500. *Journal of Archaeological Science* 26: 358-388.
- BURGER C., ZHOU H.W., WANG H., SICS I., HSHAO B.S., CHU B., GRAHAM L., E GLIMCHER M.J. (2008). Lateral packing of mineral crystals in bone collagen fibrils. *Biophysical Journal* 95: 1985-92.
- CARRERA M., CAÑAS B., PIÑEIRO C., VÁZQUEZ J., E GALLARDO J.M. (2007). De novo mass spectrometry sequencing and characterization of species-specific peptides from nucleoside diphosphate kinase B for the classification of commercial fish species belonging to the family Merlucciidae. *Journal of Proteome Research* 6: 3070-80.
- CUJJPERS S., E LAUWERIER R. (2008). Differentiating between bone fragments from horses and cattle: a histological identification method for archaeology. *Environmental Archaeology* 13: 165-179.
- DE LA HABA M., PIERNA J., FUMIERE O., GARRIDO-VARO A., PEREZ-MARIN J.G.D., DARDENNE P., E BAETEN V. (2007). Discrimination of fish bones from other animal bones in the sedimented fraction of compound feeds by near infrared microscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 15: 81-88.
- DESSE-BERSET N. (2009). First archaeozoological identification of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill 1815) in France. *Comptes Rendus Palevol* 8: 712-714.
- DEUTSCH B., E BERTH U. (2006). Differentiation of western and eastern Baltic Sea cod stocks (*Gadus morhua*) by means of stable isotope ratios in muscles and otoliths. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 538-539.
- DOBBERSTEIN R., COLLINS M., CRAIG O., TAYLOR G., PENKMAN K., E RITZ-TIMME S. (2009). Archaeological collagen: Why worry about collagen diagenesis? *Archaeological and Anthropological Sciences* 1: 31-42.
- ENGHOFF I., MACKENZIE B., E NIELSEN E. (2007). The Danish fish fauna during the warm Atlantic period (ca. 7000-3900 bc): Forerunner of future changes? *Fisheries Research* 85: 285-298.
- FINNEY B.P., GREGORY-EAVES I., DOUGLAS M.S.V., E SMOL J.P. (2002). Fisheries productivity in the northeastern Pacific Ocean over the past 2,200 years. *Nature* 416: 729-33.
- GOBALET K.W. (2001). A critique of faunal analysis; inconsistency among experts in blind tests. *Journal of Archaeological Science* 28: 377-386.
- HIRONS A., SCHELL D., E FINNEY B. (2001). Temporal records of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in North Pacific pinnipeds: inferences regarding environmental change and diet. *Oecologia* 129: 591-601.

- HLINKA V., ULM S., LOY T., E HALL J. (2002). The genetic speciation of archaeological fish bone: a feasibility study from southeast Queensland. *Queensland Archaeological Research* 13: 71-78.
- HOFFMANN R. (1994). Remains and verbal evidence of carp (*Cyprinus carpio*) in medieval Europe. 7th Meeting of the ICAZ Fish Remains Working Group. Fish exploitation in the past, 6-10 Settembre 1993 Leuven (Belgio); *Annales-Musee Royal de l'Afrique Centrale-Sciences Zoologiques* (Belgio); *Annalen-Koninklijk Museum voor Midden-Afrika-Zoologische Wetenschappen*.
- KOCH P.L., HALLIDAY A.N., WALTER L.M., STEARLEY R.F., HUSTON T.J., E SMITH G.R. (1992). Sr isotopic composition of Hydroxyapatite from recent and fossil salmon - the record of lifetime migration and diagenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 108: 277-287.
- LOWENSTEIN J.M., REUTHER J.D., HOOD D.G., SCHEUENSTUHL G., GERLACH S.C., E UBELAKER D.H. (2006). Identification of animal species by protein radioimmunoassay of bone fragments and bloodstained stone tools. *Forensic Science International* 159: 182-188.
- MACKIE I.M., PRYDE S.E., GONZALES-SOTELO C., MEDINA I., PERÉZ-MARTÍN R., QUINTEIRO J., REY-MENDEZ M., E REHBEIN H. (1999). Challenges in the identification of species of canned fish. *Trends in Food Science & Technology* 10: 9-14.
- MCCARTHY I.D., E WALDRON S. (2000). Identifying migratory *Salmo trutta* using carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 14: 1325-1331.
- O'DAY S., VAN NEER W., E ERVYNCK A. (2002). Behaviour behind bones: the zooarchaeology of ritual, religion, status and identity. *Atti della "9th ICAZ Conference, Durham 2002"*. Oxbow Books Ltd. 350 pp.
- PAGÈS M., DESSE-BERSET N., TOUGARD C., BROUSSE L., HÄNNI C., E BERREBI P. (2009). Historical presence of the sturgeon *Acipenser sturio* in the Rhône basin determined by the analysis of ancient DNA cytochrome b sequences. *Conservation Genetics* 10: 217-224.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., DALSGAARD J., FROESE R., E TORRES F. Jr. (1998). Fishing Down Marine Food Webs. *Science* 279: 860-863.
- POINAR H.N., E STANKIEWICZ B.A. (1999). Protein preservation and DNA retrieval from ancient tissues. *Atti della "National Academy of Sciences of the United States of America"* 96: 8426-8431.
- POLUNIN N., E PINNEGAR J. (2002). Trophic ecology and the structure of marine food webs. *Handbook of Fish Biology and Fisheries* 1: 301-320.
- RICHARDS M.P., SCHULTING R.J., E HEDGES R.E.M. (2003). Sharp shift in diet at onset of Neolithic. *Nature* 425: 366-366.
- RICK T., E ERLANDSON J. (2008). Human impacts on ancient marine ecosystems: a global perspective. Rick T.C., e Erlandson J.M. (Ed.), University of California Press. 336 pp.
- ROBERTS C. (2007). *The unnatural history of the sea*. Island Press. 456 pp.
- SMITH C.I., CHAMBERLAIN A.T., RILEY M.S., STRINGER C., E COLLINS M.J. (2003). The thermal history of human fossils and the likelihood of successful DNA amplification. *Journal of Human Evolution* 45: 203-217.
- SPELLER C., YANG D., E HAYDEN B. (2005). Ancient DNA investigation of prehistoric salmon resource utilization at Keatley Creek, British Columbia, Canada. *Journal of Archaeological Science* 32: 1378-1389.

- TAUBER H. (1981). ^{13}C evidence for dietary habits of prehistoric man in Denmark. *Nature* 292: 332-333.
- THURSTAN R.H., BROCKINGTON S., & CALLUM M.R. (2010). The effects of 118 years of industrial fishing on UK bottom trawl fisheries. *Nature Communications*.
- VAN NEER W., ERVYNCK A., BOLLE L., & MILLNER R. (2002). Fish otoliths and their relevance to archaeology: an analysis of medieval, post-medieval, and recent material of plaice, cod and haddock from the North Sea. *Environmental Archaeology* 7: 61-76.
- VAN RAAMSDONK L., VON HOLST C., BAETEN V., BERBENC G., BOIXB A., & JONG J.D. (2007). New developments in the detection and identification of processed animal proteins in feeds. *Animal Feed Science and Technology* 133: 67-83.
- WAINRIGHT S., FOGARTY M., GREENFIELD R., & FRY B. (1993). Long-term changes in the Georges Bank food web: trends in stable isotopic compositions of fish scales. *Marine Biology* 115: 481-493.
- WHEELER A., & JONES A.K.G. (1989). *Fishes*. Cambridge manuals in archaeology. University Press (Cambridge). Reports from the EAU, York. Report 94, pp. 54-54.
- YANG D.Y., CANNON A., & SAUNDERS S.R. (2004). DNA species identification of archaeological salmon bone from the Pacific Northwest Coast of North America. *Journal of Archaeological Science* 31: 619-631.

L'ECOLOGIA, UNA DISCIPLINA STORICA

Ferdinando Boero

DiSTeBA – Università del Salento, Lecce [Italia]

e-mail: boero@unisalento.it

Parole chiave: *ecologia, fisica, invidia della fisica, modellizzazione, predizioni ecologiche, storia*

RIASSUNTO

In questo lavoro sono descritte le differenze fra discipline a-storiche e storiche. L'ecologia è descritta come una scienza storica, governata sia da vincoli che da contingenze, e per questo poco prevedibile.

LE PIUME DI DARWIN

L'origine delle specie (Darwin, 1859) è il pilastro fondante della moderna teoria dell'evoluzione. La biologia evoluzionistica ricostruisce la storia della vita (attraverso la paleontologia) e analizza come la vita è cambiata durante la sua storia (con l'ecologia, la genetica, ecc.), ed è quindi una disciplina squisitamente storica.

Darwin (1859) spiega la differenza fra sistemi storici e a-storici con un esempio molto efficace: *“getta in aria un pugno di piume e tutte cadranno al suolo secondo leggi definite. Ma quanto è semplice questo problema a confronto con l'azione e la reazione delle innumerevoli piante ed animali che hanno determinato, nel corso dei secoli, il numero relativo e le varietà di alberi...”*.

È evidente che Darwin si riferisce alla teoria della gravitazione universale, formulata da Copernico, rivista da Galileo, e infine rifinita da Newton. Le leggi che governano l'interazione fra corpi di diverse dimensioni (come stelle e pianeti, o un pianeta e corpi molto più piccoli) possono essere formalizzate, e permettono perciò di ottenere precise previsioni sulle dinamiche delle interazioni. Non importa quante volte siano riprodotte queste interazioni, il risultato sarà sempre lo stesso, nell'ipotesi in cui non ci siano disturbi esterni. Se le piume di Darwin fossero state gettate in aria durante un uragano, le leggi che governano la loro caduta al suolo sarebbero state molto più “complesse” che se fossero state gettate in condizioni sperimentali, per esempio in una stanza condizionata, senza correnti d'aria. In presenza di un uragano probabilmente non ci sarebbero calcoli in grado di predire la caduta delle piume di Darwin, mentre nella stanza controllata il loro comportamento sarebbe facilmente prevedibile.

L'uragano è la storia, come lo sarebbe l'apertura della porta della stanza controllata durante l'esperimento. La storia è il cambiamento nel tempo, e Darwin lo rende chiaro parlando del *“corso dei secoli”*.

L'azione e la reazione delle innumerevoli piante e animali nel corso dei secoli è semplicemente ecologia storica, che può eventualmente portare all'evoluzione. Tutto questo va poi visto in relazione ai cambiamenti delle condizioni fisiche, come i cambiamenti climatici e le derive continentali, con l'azione umana e con tutti gli altri disturbi che possono interagire con l'azione e la reazione delle piante e animali (per non parlare dei protisti, batteri e funghi).

SCIENZE DURE VS. SCIENZE MORBIDE

La scienza *dura* usa la matematica, la scienza *morbida* racconta storie. La distinzione potrebbe derivare dall'affermazione di Kant che "*in ogni particolare dottrina della natura ci può essere solo tanta scienza quanta matematica*" (Kant 1786-2004, p. 6). In altre parole, più il nostro approccio alla comprensione della natura è formalizzato secondo regole matematiche, più è scientifico. Le leggi della fisica sono matematiche e permettono di attribuire valori alle variabili misurate e di farle interagire fra loro, cosicché misurandole al tempo 0 possiamo predire il loro valore al tempo 1. La posizione delle piume può essere misurata prima di gettarle, e la forza e la direzione del lancio possono essere misurate, permettendoci di predire dove e quando le piume cadranno. Possiamo ripetere la stessa azione un milione di volte, e per un milione di volte il risultato sarà lo stesso. In tutto questo non c'è storia. La matematica regola completamente la realtà, permettendone la comprensione e la predizione. Naturalmente nell'ambito della fisica quantistica queste affermazioni trionfanti non sono giustificate, ma alla nostra scala di percezione sicuramente lo sono.

Ora introduciamo in questo sistema la storia e i capricci del comportamento umano, della meteorologia e del clima. Gettiamo le piume nel mondo reale. Il numero delle leggi che regolano il loro comportamento diventa troppo alto. È vero che ciascuna forza che agisce sulla piuma può essere misurata in un dato momento, ma è anche vero che il principio di indeterminazione di Heisenberg (1927) ci dice che più noi sappiamo sulla posizione di una piuma, meno conosciamo sulla sua velocità, e viceversa. Quando le cose accadono, possono accadere strane cose, possiamo congelare la storia per analizzarla (per conoscere la posizione), ma poi perdiamo il contatto con gli eventi (per conoscere la velocità). Inoltre, se i corpi che interagiscono sono più di due, il loro comportamento (ovvero la storia del sistema) è intrinsecamente imprevedibile (Poincaré, 1890). Questa imprevedibilità intrinseca è stata postulata, e dimostrata matematicamente, dalla teoria del caos (Lorenz, 1963).

Tornando a Kant, è ormai evidente che solo i sistemi semplici possono essere studiati con la matematica, ovvero i sistemi trattati dalla fisica classica. La fisica quantistica ci insegna che la precisione è irraggiungibile anche in questi sistemi, ma nella vita di tutti i giorni possiamo trascurare questo problema. Gli ascensori funzionano. Forse non funzionano esattamente nello stesso modo ogni volta che ci portano su e giù, ma non ci preoccupiamo molto dei piccoli errori che invece preoccuperebbero un fisico quantistico. Quando aumenta il numero dei corpi che interagiscono fra loro, e di conseguenza il numero delle interazioni, anche la nostra scala di percezione entra in crisi e la formalizzazione delle interazioni non porta ai risultati attesi. Torniamo alla seconda parte della frase

di Darwin, e leggiamola alla luce del principio di indeterminazione, del problema dei tre corpi e della teoria del caos. “*L'azione e la reazione delle innumerevoli piante e animali che hanno determinato, nel corso dei secoli, il numero relativo e le varietà di alberi...*” sono intrinsecamente imprevedibili, e anche se possiamo isolare ciascuna azione e reazione dal sistema e provare a misurarle in condizioni sperimentali, una volta che ri assembliamo le varie parti perderemo la capacità di capire. Aristotele, tre secoli prima di Cristo, aveva già postulato che l'intero è maggiore della somma delle parti. Non è possibile sperare di capire il tutto solo studiando ciascuna componente.

Da questo quadro è evidente che le scienze *dure* sono le più facili e possono essere formalizzate, mentre le scienze *morbide*, dove la matematica non è così potente, sono più difficili.

L'INVIDIA DELLA FISICA DA PARTE DELLE SCIENZE STORICHE

L'invidia della fisica affligge chi pratica le scienze "mollie" e la sua ansia di vederle diventare "dure". L'economia è una di queste scienze (Mayer, 1980) e diversi premi Nobel in economia hanno prodotto un modo fortemente matematizzato di trattare gli affari umani, promettendo un potere di predizione che era evidentemente molto ottimistico. Il loro fallimento è esemplificato dalla cattiva gestione (e dal fallimento) dell'economia mondiale a causa dell'aver applicato ciecamente il loro approccio. Anche l'ecologia soffre di invidia della fisica (Egler, 1986). L'applicazione del riduzionismo fisico, molto potente per sistemi semplici, a-storici, ha come conseguenza la rimozione della storia dai sistemi storici, riducendoli a sistemi a-storici. Così facendo, tuttavia, le loro proprietà vengono cambiate concettualmente e i risultati ottenuti non trovano riscontro con le caratteristiche dei sistemi reali.

CONTINGENZE E VINCOLI

Le leggi della fisica non sono altro che vincoli al funzionamento di un sistema. L'identificazione dei vincoli permette la formulazione di leggi. Una legge è una regola universalmente valida: se una legge è nota, la sua applicazione porta a predizioni del tipo: *se... allora. Se* le condizioni iniziali sono queste ed io applico questa forza, *allora* le conseguenze saranno queste. Nella teoria del caos le leggi non sono così stringenti, ma ci sono comunque, e sono chiamate attrattori. Un attrattore può essere definito, a grandi linee, come un vincolo che forza un sistema a variare in un intervallo di possibilità definite (gli inverni sono freddi, le estati calde). In un certo modo gli attrattori incorporano il principio di indeterminazione di Heisenberg nella fisica classica. Diminuiscono la precisione delle leggi della fisica, dando comunque la possibilità di effettuare previsioni, anche se imprecise. Nei sistemi storici le contingenze sono l'altra faccia della medaglia. Esse permettono al sistema di muoversi entro i limiti degli attrattori, ma determinano l'imprecisione di ogni previsione sul loro comportamento. Le contingenze possono anche portare un sistema vincolato in una diversa direzione, cambiando conseguentemente la forma dei suoi attrattori.

In un certo modo, identificare i vincoli significa identificare le regolarità nel comportamento di un sistema, mentre identificare le contingenze significa identificare le irregolarità.

rità. Il messaggio più conosciuto della teoria del caos è che il battito d'ali di una farfalla in un luogo può causare un uragano in un altro luogo. Si tratta di una frase molto suggestiva, ma il battito d'ali delle farfalle di solito non causa molti problemi. Può succedere, comunque, che una di esse possa diventare la goccia che fa traboccare il vaso.

REGOLARITÀ E IRREGOLARITÀ

Le nostre percezioni sull'estetica sono spesso basate sulle regolarità: ne siamo attratti, anche concettualmente. Ci piace essere in grado di predire cosa succederà e le regolarità ce lo permettono, rinforzando la nostra autostima. Se però il mondo fosse fatto di sole regolarità, sarebbe un posto molto noioso, e le cose procederebbero sempre nello stesso modo. Il mondo non è noioso grazie alle irregolarità e, come evidenziato da Boero *et al.* (2008), "le irregolarità regolano il mondo (a volte)". Regolarità e vincoli, insieme alle irregolarità e alle contingenze, concorrono nel fare la storia e sono tutte rilevanti per la comprensione del mondo. L'invidia della fisica, la ricerca della *durezza* nella scienza, hanno portato a studiare più le regolarità ed i vincoli che le irregolarità e le contingenze, le "ammorbidenti" di ogni scienza.

COSA FANNO GLI STORICI

Gli storici hanno due principali obiettivi. Devono ricostruire gli eventi del passato (storia) e dovrebbero identificarne le cause. In gergo scientifico, ricostruiscono gli eventi storici e identificano i processi che li hanno generati. Gli storici raccolgono informazioni, le riferiscono ad un periodo, le assemblano e ricostruiscono le condizioni del passato (eventi e processi storici). Naturalmente i loro approcci possono essere errati e possono sbagliare ad identificare le forzanti della storia. In qualche caso, per esempio, la storia può essere vista come una sequenza di individui potenti (re, imperatori, generali, politici) che, con le loro imprese, fanno la storia. La storia può anche essere vista in termini di tecnologia, dalla scoperta di come padroneggiare il fuoco, all'invenzione della ruota, all'uso dei numeri arabi, all'invenzione della scrittura, o dell'agricoltura, alla scoperta di nuovi continenti, o all'invenzione delle macchine a vapore e dei computer e così via. A loro modo, questi avanzamenti tecnologici hanno cambiato gli attrattori della storia: re ed imperatori fecero quello che fecero solo grazie a queste tecnologie. La storia può anche essere vista come una sequenza di impatti dell'uomo sull'ambiente, cui sono conseguiti collassi ecologici che hanno causato le guerre che hanno costellato la nostra storia.

Naturalmente tutti questi modi di guardare la storia hanno il loro valore e, insieme, concorrono a delineare cosa è successo nel passato.

STORIA PREDITTIVA

È possibile ottenere informazioni sul futuro da informazioni sul passato? In un certo modo sì, dal momento che, ad esempio, possiamo imparare dal passato che tutti gli imperi cadono, a parte quelli che sopravvivono tuttora. Sappiamo comunque che la loro durata è

variabile e che non esiste una regola generale sulla durata degli imperi. Alcuni si fondavano su una persona, come l'Impero di Gengis Kahn (e suo figlio e nipote), altri su un sistema, come l'Impero Romano. Confrontando questi due estremi, possiamo dedurre che se un Impero è fondato su una persona(e), la sua vita sarà corta, essendo vincolata ai limiti biologici della vita umana, mentre se si fonda su un sistema la sua vita potrebbe essere più lunga. Ma la breve vita dell'Unione delle Repubbliche Socialiste Sovietiche (URSS) (1917-1991), fondata su un sistema e non su una singola persona, mostra come nella storia non esistano leggi generali: la storia è intrinsecamente imprevedibile. Il compito degli storici non è predire la storia futura.

La componente predittiva della storia, infatti, non è etichettata come storia, ma è rappresentata dall'economia che, come abbiamo già detto, è passata attraverso una serie di fallimenti, dal momento che prometteva l'impossibile.

L'economia promette di conoscere il futuro, la storia promette di affrontare il futuro con saggezza.

STORIA ECOLOGICA

L'ecologia, in quanto scienza *dura*, ha dedicato molti sforzi all'identificazione di leggi e regolarità con l'obiettivo di diventare predittiva. L'ecologia predittiva, infatti, potrebbe essere uno strumento molto prezioso per la gestione degli ecosistemi. Sarebbe magnifico se fossimo in grado di predire che *se* facciamo una determinata azione, *allora* la situazione evolverà in un certo modo. Se fosse possibile ne saremmo molto avvantaggiati, così come lo saremmo se questo fosse possibile in economia. Sfortunatamente i sistemi ecologici ed economici sono molto sensibili alle contingenze ed i loro attrattori sono deboli.

Oltre a misurare alcune variabili, provando poi a trovare gli algoritmi che predicono la loro interazione, o i numeri magici che descrivono il loro comportamento futuro, potremmo anche trattare queste discipline per quello che sono, rinunciando a trasformarle in scienze a-storiche e arrendendoci alla loro natura storica. L'ecologia fornisce un potente insieme di strumenti concettuali che permettono l'identificazione dei pattern e dei processi ecologici. Questi strumenti possono consentire la descrizione delle attuali condizioni ecologiche in un dato luogo di qualunque dimensione, da un singolo punto ad una ecoregione.

CAUSE PROSSIME E ULTIME DI CAMBIAMENTO

Una volta che abbiamo descritto un sistema ecologico possiamo provare a capire cosa lo mantiene così com'è, quali sono le forzanti che lo hanno determinato e quali forzanti lo mantengono stabile o lo fanno variare in maniera regolare. Queste forzanti sono sia dirette (l'erosione costiera è dovuta all'azione delle onde sui sedimenti costieri) che indirette (lo sbarramento dei fiumi e la riforestazione determinano un minor approvvigionamento di sedimenti ai fiumi, cui consegue una minore possibilità di ripascimento naturale delle spiagge). Sia le forzanti dirette che quelle indirette sono importanti e sono fortemente correlate all'erosione. Il processo erosivo quindi è dovuto a cause multiple, che agiscono a scale temporali e spaziali multiple. E tutte queste scale concorrono a determinarlo.

STORIA ECOLOGICA DELL'ADRIATICO

In passato, prima degli anni '80, l'Adriatico era il mare più produttivo dell'intero Mediterraneo, grazie all'elevato flusso di nutrienti provenienti dal fiume Po. Oggi l'Adriatico è in difficoltà e la produzione della pesca, la principale misura della sua produttività, non è alta come in passato, specialmente se confrontiamo l'efficienza degli attrezzi da pesca odierni con quella di trenta anni fa. Osservando la situazione attuale ci si può chiedere quali forzanti l'abbiano determinata. Boero e Bonsdorff (2007) hanno descritto la Storia Ecologica Adriatica come una sequenza di periodi. Il periodo ad alta produttività terminò ai primi anni '80, quando il mare era popolato da sciame della medusa *Pelagia noctiluca*. Il periodo delle meduse fu seguito dal periodo delle "maree rosse", causato da fioriture di dinoflagellati. Nel frattempo le crisi anossiche caratterizzarono la parte settentrionale del bacino e la pesca divenne sempre più efficiente. Per esempio i molluschi bentonici diminuirono e cominciarono ad essere raccolti con le draghe idrauliche, fino a che la specie locale collassò per essere poi sostituita intenzionalmente da una specie tropicale. Dopo le maree rosse l'Adriatico fu caratterizzato dalle mucillagini.

Il sistema cambiò: all'inizio le popolazioni dominanti appartenevano ai vertebrati (pesci), poi agli invertebrati (meduse), successivamente ai protisti (dinoflagellati che producevano maree rosse), infine ai monera (batteri che producono le mucillagini). Oggi questi eventi avvengono in rapida successione, quasi ogni anno, ed il sistema non è più produttivo come prima.

Tutti questi eventi sono stati studiati isolatamente e considerando solo le cause dirette. Boero e Bonsdorff (2007) hanno ipotizzato che gli anni della *Pelagia* siano stati l'innescò di questo cambiamento del funzionamento dell'Adriatico, poiché la predazione di queste meduse ha alterato la struttura dell'ecosistema, semplificandolo e determinandone la degradazione.

CONCLUSIONI

La consapevolezza che l'ecologia è una disciplina storica non dovrebbe portare ad abbandonare gli approcci a-storici. Essi sono molto importanti, così com'è importante cercare di produrre modelli predittivi degli ecosistemi. È comunque importante anche ricostruire la storia ecologica degli ecosistemi e, utilizzando le intuizioni raggiunte grazie ad approcci che considerano le cause prossime, e provare poi a capire le cause finali che hanno portato l'ecosistema allo stato attuale, anche per ipotizzare scenari futuri. Le previsioni ecologiche non possono essere che deboli ed imprecise, poiché la matematica è in genere inadeguata a fornirle, e sarebbe in grado solo di conferire una patina di precisione che è solo illusoria, come nel caso delle previsioni precise degli economisti vincitori del Nobel. La scienza di raccontare storie (e la storia) è stata ridicolizzata dagli scienziati orientati agli approcci matematizzati, mentre ora è il loro turno di essere etichettati come lettori del futuro con tanto di turbante e sfera di cristallo. Entrambi gli approcci, comunque, sono utili ed i narratori di storie non devono ripetere l'errore degli scienziati con la sfera di cristallo. Le scienze *dure* e quelle *morbose* possono felicemente coesistere, ognuna con la sua dignità, rafforzandosi a vicenda e contribuendo ai nostri tentativi di capire il mondo.

BIBLIOGRAFIA

- BENNIS W.G., E O'TOOLE J. (2005). How business schools lost their way. *Harvard Business Review* 83(5): 96-105.
- BOERO F., E BONSDORFF E. (2007). A conceptual framework for marine biodiversity and ecosystem functioning. *Marine Ecology* 28(Suppl. 1): 134-145.
- BOERO F., BOUILLON J., GRAVILI C., MIGLIETTA M.P., PARSONS T., E PIRAINO S. (2008). Gelatinous plankton: irregularities rule the world [sometimes]. *Marine Ecology Progress Series* 356: 299-310.
- DARWIN C. (1859). On the origin of species by means of natural selection. or the preservation of favoured races in the struggle for life. John Murray, Londra. 502 pp.
- EGLER F.E. (1986). Physics envy in ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 67(3): 233-235.
- HEISENBERG W. (1927). Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. In *Zeitschrift für Physik*. 43, S. pp. 172–198.
- KANT I. (1786). *Metaphysical foundations of natural sciences*. Friedman M. (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge [stampato nel 2004]. 119 pp.
- LORENZ E.N. (1963). Deterministic non periodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 20: 130-141.
- MAYER T. (1980). Economics as a hard science: realistic goal or wishful thinking? *Economic inquiry* 18(2): 165-168.
- POINCARÉ H. (1890). Sur les équations de la dynamique et le problème de trois corps. *Acta Mathematica* 13: 1–270.

L'UTILIZZO DELLA CONOSCENZA ECOLOGICA LOCALE PER RICOSTRUIRE LA STORIA DELLE POPOLAZIONI MARINE. POTENZIALITÀ E LIMITI

Saša Raicevich¹, Tomaso Fortibuoni^{1,2}, Gianluca Franceschini¹, Igor Celić¹, Otello Giovanardi¹

e-mail: sasa.raicevich@isprambiente.it

Parole chiave: *Conoscenza Ecologica Locale, Conoscenza Ecologica dei Pescatori, Sindrome del cambiamento dei punti di riferimento*

RIASSUNTO

La Conoscenza Ecologica Locale è uno strumento che sta diventando sempre più importante nello studio delle dinamiche recenti delle popolazioni marine. In particolare, i pescatori sono considerati i depositari di una grande quantità di informazioni che riguardano sia l'ecologia delle specie e le loro fluttuazioni nel tempo e nello spazio, che lo sviluppo delle attività di pesca, come i cambiamenti delle tecniche di cattura e dello sbarcato. Di fatto la disponibilità di queste informazioni è fondamentale, al fine di confrontare lo stato attuale delle risorse marine con quello precedente. In questo articolo sono introdotte e discusse, sulla base della letteratura recente e di alcuni casi studio particolari, le basi teoriche e l'approccio pratico per raccogliere e analizzare la Conoscenza Ecologica Locale.

INTRODUZIONE

Gli ecologi marini e gli scienziati della pesca negli ultimi decenni si sono resi conto della necessità di riscoprire una prospettiva storica nello studio dei cambiamenti a lungo termine dell'ambiente marino (Jackson *et al.*, 2001; Pandolfi *et al.*, 2003; Rosenberg *et al.*, 2005; Sàenz-Arroyo *et al.*, 2006; Bolster, 2006; Lotze *et al.*, 2006; Ainsworth *et al.*, 2008; Lotze e Worm, 2009). Infatti, secondo alcuni autori lo stato attuale dell'ambiente marino e delle risorse biologiche è il risultato dei profondi cambiamenti che storicamente sono stati indotti da fonti antropiche di disturbo (ad esempio pesca, inquinamento, eutrofizzazione, alterazione degli habitat, ecc.) e fluttuazioni naturali (Jackson *et al.*, 2001; Lotze *et al.*, 2006; Cardinale *et al.*, 2010). Questa argomentazione è stata sollevata per la prima volta da Daniel Pauly (1995) che, nella nota intitolata "*Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries*" (Aneddoti e la sindrome del cambiamento dei punti di riferi-

1 Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Chioggia (Italia)

2 Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste (Italia)

mento della pesca), ha sottolineato come il tasso di cambiamento della biodiversità potrebbe essere così alto che la percezione del suo stato attuale da parte dei giovani biologi marini potrebbe essere diversa (e semplificata) rispetto alla percezione dei ricercatori delle precedenti generazioni. Questo implica la cosiddetta “*shifting baseline syndrome*” (SBS) (sindrome del cambiamento dei punti di riferimento) e la necessità di ricostruire punti di riferimento storici per le risorse aliutiche e, in generale, per la biodiversità marina.

Viste queste premesse, l'ecologia storica marina è attualmente una disciplina emergente nelle scienze marine (Bolster, 2006; Lotze e Worm, 2009). La più grossa difficoltà che gli ecologi si trovano ad affrontare in questo contesto è il recupero, la validazione, l'integrazione e l'analisi di dati storici. Infatti, la raccolta sistematica di dati sull'ambiente marino realizzata secondo un approccio metodologico robusto risale solo alle ultime decadi, mentre per il periodo precedente dati quantitativi non sono molto comuni (Jackson *et al.*, 2001; Pitcher, 2001; Lotze e Worm, 2009).

Ad esempio, dati provenienti da statistiche di pesca possono essere disponibili almeno dall'inizio degli anni '50 ma, sebbene abbiano di per sé un loro valore, sono caratterizzati da delle limitazioni intrinseche, essendo dati strettamente dipendenti dall'attività di pesca (Watson e Pauly, 2001; Pauly e Palomares, 2005). Di conseguenza la loro standardizzazione non è banale, essendo le catture influenzate non solo dalla consistenza degli stock ittici sfruttati, ma anche dalle richieste di mercato, dalla capacità e sforzo di pesca, così come dai differenti obiettivi e strategie di pesca degli operatori, ecc. Per poter indagare i cambiamenti storici della biodiversità marina è possibile utilizzare una vasta gamma di altre fonti, tra le quali fonti paleoecologiche, archeologiche, e storiche (Lotze e Worm, 2009). L'ecologia storica è quindi caratterizzata da un approccio multidisciplinare e può trarre beneficio da studi condotti sia nell'ambito delle discipline scientifiche che umanistiche (Holm, 2003).

Anche quando si considera il periodo più recente, i dati disponibili possono talvolta portare a interpretazioni errate dei cambiamenti nella consistenza degli stock ittici (Johannes *et al.*, 2000) e, allo stesso modo, è possibile che manchino delle descrizioni adeguate dei cambiamenti delle fonti antropiche di disturbo. Ad esempio, in molte aree non sono disponibili informazioni precise su come sono cambiati capacità e sforzo di pesca, così come i cambiamenti della tecnologia di pesca e delle aree sfruttate possono essere poco descritti, riducendo la capacità dei ricercatori di comprendere in modo corretto la distribuzione delle specie, i cambiamenti temporali e le cause che hanno determinato l'alterazione delle risorse biologiche marine.

Tra le varie discipline utilizzate per colmare questo vuoto di conoscenza stanno ricevendo sempre maggiore attenzione l'antropologia (lo studio dell'uomo in relazione alle caratteristiche fisiche dell'ambiente, alle relazioni ambientali e sociali ed alla cultura; Garcia-Quirjano, 2007) e l'etno-biologia (lo studio di come la cultura umana utilizza ed interagisce con le piante e la fauna locale; Reyes-García *et al.*, 2006). Queste discipline adottano un approccio metodologico che permette di raccogliere ed interpretare informazioni provenienti da osservatori diretti, quali ad esempio i pescatori e le comunità indigene e locali, la cui conoscenza può essere molto utile per studiare i cambiamenti dell'ambiente marino e del suo sfruttamento, soprattutto in aree caratterizzate da una scarsa disponibilità di dati scientifici (Moreno-Báez *et al.*, 2010).

Sebbene la conoscenza ecologica acquisita su basi empiriche da persone senza conoscenze scientifiche sia spesso stata considerata aneddotica e, quindi, caratterizzata da un'intrinseca inaffidabilità (Pauly, 1995; Mackinson, 2001), diverse ricerche recenti hanno preso in considerazione i risultati della sua applicazione (Mackinson e Nottestad, 1998; Neis *et al.*, 1999; Huintington, 2000; Murray *et al.*, 2006; Ommer *et al.*, 2007; Papworth *et al.*, 2009), dimostrando loro come possano dare un importante contributo negli studi di ecologia ed ecologia storica (Berkes *et al.*, 2000; Johannes *et al.*, 2000; Bergmann *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2005; Sàenz-Arroyo *et al.*, 2005; Murray *et al.*, 2006; Moreno-Báez *et al.*, 2010).

Questo lavoro si prefigge di descrivere le caratteristiche, le potenzialità e le limitazioni della Conoscenza Ecologica Locale (CEL) e del suo utilizzo in studi di ecologia marina, prestando particolare attenzione nei confronti della Conoscenza Ecologica dei Pescatori (CEP). Lo scopo è fornire alcune indicazioni metodologiche per la sua raccolta, e stimolarne l'uso nel contesto degli studi di ecologia storica.

CONOSCENZA, CONOSCENZA ECOLOGICA LOCALE E CONOSCENZA ECOLOGICA SCIENTIFICA

La creazione della conoscenza è un processo cognitivo (un processo fatto di esperienze ed eventi) che coinvolge la memoria. Quest'ultima ha una natura complessa e gli eventi "positivi" tendono a essere ricordati meglio. La mente umana utilizza delle regole euristiche per processare le informazioni provenienti dal mondo esterno, e tende a minimizzare la dissonanza cognitiva (ovvero l'esperienza negativa di avere un'opinione contraria o di comportarsi in modo contrario rispetto ad un'opinione precedentemente acquisita). Di conseguenza, i modelli mentali (interpretazioni di esperienze e fatti) sono spesso molto persistenti, a meno che non siano acquisite delle esperienze forti che inducono il soggetto a modificarli.

La CEL è stata definita come un insieme o un sistema di conoscenze e comprensione che emerge nel tempo da una varietà di esperienze individuali e collettive e di osservazioni mediate dalla cultura, in riferimento a fattori ambientali, caratteristiche comportamentali e dinamiche ecologiche (Shackeroff e Campbell, 2007). Questo termine viene spesso utilizzato come sinonimo di Conoscenza Ecologica Tradizionale (CET), che ha però un significato lievemente diverso. Infatti, per CET si intende "l'insieme delle conoscenze e delle credenze tramandate tra generazioni attraverso la trasmissione culturale, relative alle relazioni tra gli organismi viventi (tra cui gli esseri umani) e l'ambiente"; la CET è considerata come "un attributo delle società in continuità storica con le pratiche passate di uso delle risorse; in genere si tratta di società non industriali o tecnologicamente meno avanzate, in particolare comunità indigene o tribali" (Berkes, 1993). Di conseguenza, il termine CET enfatizza gli aspetti della conoscenza acquisita attraverso l'esperienza e trasmessa attraverso le generazioni nelle società non industriali (Berkes *et al.*, 2000).

Per semplicità, quindi, per focalizzarci sulla conoscenza ecologica acquisita dalle comunità locali a prescindere dal fatto che siano "industriali" o meno, in questo lavoro useremo il termine CEL, in quanto più generale. Per lo stesso motivo cercheremo di evitare, quando non particolarmente rilevante nel contesto, l'uso del termine Conoscenza Ecologica dei Pescatori (CEP), soprattutto parlando delle caratteristiche generali della CEL.

Esistono alcune differenze sostanziali tra la CEL e la Conoscenza Ecologica Scientifica (CES, talvolta chiamata scienza "occidentale"; si vedano Berkes *et al.*, 2000 e Shackeroff e Campbell, 2007) che devono essere prese in considerazione quando la prima viene utilizzata come fonte di informazioni per la seconda, e per il reciproco confronto e interpretazione (García-Quijano, 2007; Rochet *et al.*, 2008).

Di fatto la CEL, essendo radicata nella tradizione culturale e nell'esperienza, ed essendo acquisita attraverso un processo non formalizzato, è generalmente aneddotica e qualitativa, ed è riferita ad aree locali e a processi di lungo periodo. È quindi priva di particolari formalismi, è incentrata sull'uomo e fornisce generalmente una visione olistica. Al contrario la CES trova fondamento nel metodo scientifico, e di conseguenza è basata sul principio della verifica delle ipotesi mediante l'acquisizione di dati attraverso esperimenti condotti *ad hoc*. Questo approccio, introdotto da Galileo e che è alla base della scienza moderna, cerca di fornire una descrizione generale dei fenomeni per definire i paradigmi che giustificano le evidenze sperimentali. Le teorie così ottenute restano valide finché non vengono a loro volta falsificate, e di conseguenza vengono proposti ed accettati dalla comunità scientifica dei nuovi paradigmi (Kuhn, 1962). La presunta "oggettività" della scienza si riflette nel fatto che essa pretenderebbe di non essere influenzata da problematiche umane.

Alla luce di queste marcate differenze è lecito chiedersi come sia possibile che la CEL possa fornire informazioni valide alla CES, o in altre parole: *perché gli scienziati dovrebbero preoccuparsi della CEL, se questa forma di conoscenza in genere non è obiettiva, quantitativa e standardizzata?*

Una risposta pratica potrebbe essere: perché è meglio di niente! Oppure, più formalmente: in aree caratterizzate da scarsa disponibilità di dati, se le uniche informazioni disponibili possono essere raccolte mediante la CEL è meglio utilizzarla (soprattutto prima che le persone depositarie delle informazioni richieste muoiano). Inoltre, se sono disponibili pochi dati che hanno bisogno di essere corroborati da informazioni collaterali per un migliore uso e interpretazione, la CEL può fornire tali informazioni (García-Quijano, 2007). Ad ogni modo, questa interpretazione è un po' semplicistica, perché in realtà sia la CEL che la CES rappresentano una forma di conoscenza umana, ed entrambe sono quindi affette da un certo grado di soggettività; di conseguenza dovrebbero meritare la stessa attenzione (Shackeroff e Campbell, 2007). Comunque, questa generale sfiducia nei confronti della CEL da parte dei ricercatori ha origine nella mancanza di familiarità che hanno gli scienziati nei confronti delle discipline umanistiche, quali la storia, l'antropologia, ecc., poiché sono spesso considerate discipline esclusivamente speculative, e quindi non "scientificamente valide".³

³ Questa problematica probabilmente trae origine dalla mancanza di conoscenza delle metodologie utilizzate dagli umanisti; comunque devo ammettere che, avendo avuto l'occasione di collaborare con gli storici coinvolti nel progetto HMAP, ho spesso trovato le loro ricostruzioni storiche più convincenti di alcune pubblicazioni scientifiche che si basano esclusivamente sulla presenza/assenza di cambiamenti statisticamente significativi di un qualche parametro ambientale, al fine di ottenere delle conclusioni generali, talvolta non completamente discusse o addirittura illogiche [S. Raicevich].

POTENZIALITÀ E LIMITAZIONI DELLA CONOSCENZA ECOLOGICA LOCALE NELL'AMBITO DELLA SCIENZA MARINA

Come precedentemente affermato, gli ecologi marini possono trarre beneficio dall'utilizzo della CEL, ed in particolare dall'esperienza dei pescatori. Infatti, essi possiedono un'esperienza di lungo periodo sulle specie marine/estuarine/d'acqua dolce che, a seconda dell'età del pescatore, può raggiungere i 60 anni. Inoltre la pesca può essere considerata come un campionamento estensivo della fauna marina (e quindi i pescatori sono degli esperti "campionatori"), sebbene questo tipo di campionamento (cioè la pesca a fini commerciali o di sussistenza) non sia condotto mediante un "appropriato" disegno sperimentale.

Le informazioni ecologiche che possono essere raccolte in questo contesto variano dalla descrizione dei cambiamenti temporali nella presenza, abbondanza, dimensione e distribuzione spaziale delle specie marine, così come osservazioni sulla loro ecologia e comportamento, ad informazioni sulle modalità di sfruttamento delle risorse marine (ad esempio descrizioni delle barche ed attrezzi da pesca, dello sforzo di pesca, ecc.). Di converso, antropologi ed etnobiologi utilizzano la CEL per ottenere informazioni sull'evoluzione delle interazioni tra uomo e ambiente, e per valorizzare la conoscenza ecologica acquisita dalle comunità locali e dai pescatori attraverso l'esperienza, i dettagli sulla struttura e funzionamento delle comunità di pescatori, tradizioni, abitudini culturali e credenze popolari.

Prima di presentare diverse metodologie pratiche per la "creazione" della CEL, è necessario evidenziare che esistono molte limitazioni, in parte superabili se si conoscono le caratteristiche di tale fonte e mediante l'adozione di metodi adeguati, che possono ridurre la qualità delle informazioni raccolte.

Innanzitutto, le dichiarazioni false. Infatti, è possibile che gli intervistati (ad esempio i pescatori) forniscano deliberatamente delle informazioni errate, soprattutto quando sospettano che ne possano derivare conseguenze "negative" in termini di gestione delle risorse (limitazioni dello sforzo di pesca, tasse, ecc.) a causa del contenuto delle interviste. D'altra parte, è possibile che forniscano informazioni sovrastimate sulle catture delle specie o sulle loro taglie al fine di apparire migliori rispetto i loro colleghi⁴. Talvolta è possibile che gli intervistati forniscano informazioni sbagliate a causa di amnesie personali o generazionali (Papworth *et al.*, 2009).

Un problema più subdolo, e spesso trascurato, è legato al fatto che la percezione dei pescatori della dimensione delle popolazioni ittiche sfruttate sia differente dal loro stato "reale". Ciò è possibile in quanto l'esperienza dei pescatori è basata sulle attività commerciali, e non su esperimenti condotti *ad hoc* mediante un opportuno campionamento sperimentale. Di conseguenza le catture per unità di sforzo (CPUS; ad esempio il numero o il peso del pesce catturato in un'ora di pesca) potrebbero non essere linearmente proporzionali alla dimensione della popolazione sfruttata (Figura 1). Ad esempio, se un pescatore sfrutta una specie gregaria ed è in grado di identificarne i banchi, può continuare ad ottenere catture elevate anche se la risorsa sta diminuendo. Questo fenomeno è definito iper-stabilità, e può riscontrarsi anche nel caso in cui vi sia un utilizzo densità-dipendente degli habitat da parte delle

4 Una sintesi di questo comportamento si può trovare su una maglietta dei pescatori sportivi dell'Alaska, che hanno re-interpretato la famosa proposizione di Cartesio "*Cogito ergo sum*" ("Penso quindi sono") nel nuovo motto "Pesco, quindi mento".

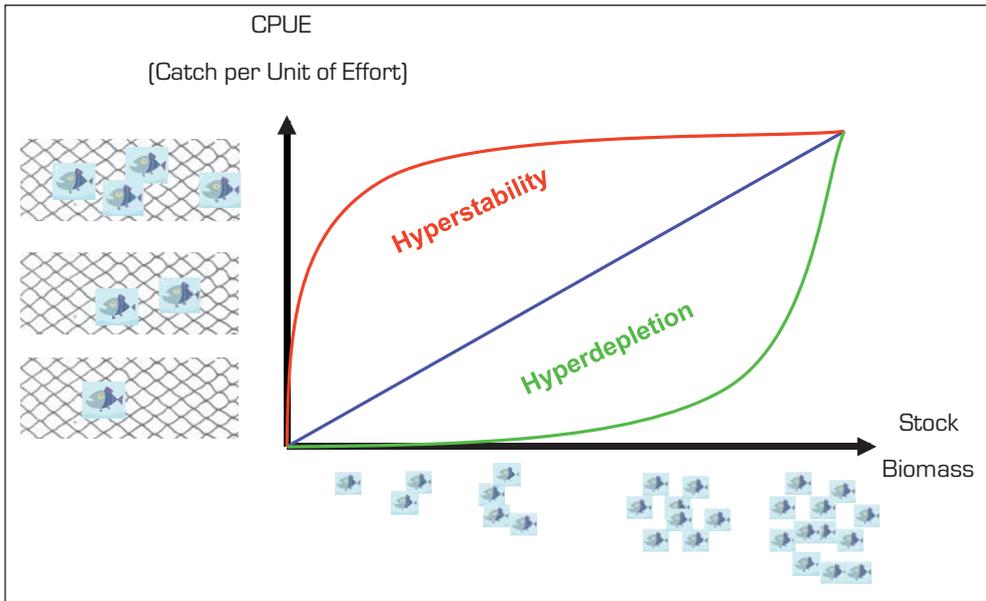


Figura 1. Relazione teorica tra la dimensione di uno stock (Stock size) e la cattura per unità di sforzo (CPUE) osservata dai pescatori. Una diminuzione dello stock può non corrispondere a una diminuzione proporzionale della CPUE. Infatti, si potrebbe presentare iperstabilità (linea rossa, hyperstability, la CPUE si mantiene elevata anche se lo stock diminuisce) o iperdiminuzione (hyperdepletion, linea verde; la CPUE diminuisce repentinamente anche se l'abbondanza dello stock è elevata).

specie sfruttate (Hilborn e Walters, 1992; Sadovy e Domeier, 2005). Al contrario, quando la specie bersaglio si concentra principalmente in habitat difficilmente raggiungibili dai pescatori, che la catturano quindi solo occasionalmente in altre aree, è possibile che si osservi una marcata riduzione della CPUE anche se la risorsa in realtà non ha subito un forte declino (iper-riduzione; Hilborn e Walters, 1992; Sadovy e Domeier, 2005).

Inoltre la CPUE varia a seconda dei cambiamenti tecnologici degli attrezzi e delle attrezzature da pesca, così come in funzione delle aree sfruttate e del cambiare delle principali specie bersaglio in funzione del valore di mercato. Nel lungo periodo, quindi, l'assenza di cambiamenti temporali della CPUE può essere determinata da cambiamenti tecnologici e non dalla stabilità della dimensione delle popolazioni sfruttate (Pauly *et al.*, 2002).

LA “CREAZIONE” DELLA CONOSCENZA ECOLOGICA LOCALE

La raccolta (o creazione, *sensu* Fogerty, 2008) della CEL, nonché la sua interpretazione a fini scientifici, non è un processo banale (García-Quijano, 2007). Gli approcci e le metodologie adottati per documentare la CEL provengono generalmente dagli studi antropologici e delle scienze sociali. In particolare, le linee guida disponibili basate su tali discipline sono spesso riferite a casi-studio relativi alle comunità indigene e alle loro conoscenze ecologiche. Di conseguenza

tengono in elevata considerazione l'instaurarsi di una comunicazione favorevole tra gli intervistatori/osservatori e gli intervistati, e applicano regole etiche molto rigide, che verranno discusse successivamente in questo scritto. È importante rilevare che questo approccio ha un proprio valore anche quando si ha a che fare con pescatori del mondo "occidentale", poiché molte dinamiche sono in un certo qual modo simili e questo approccio aiuta anche a minimizzare il rischio che vi siano risposte false da parte degli intervistati.

Prima dell'inizio della raccolta dei dati è necessario condurre delle attività preparatorie. In particolare è necessario definire con precisione gli obiettivi della raccolta dei dati e le metodologie da applicare, come ad esempio il tempo disponibile ed il personale che sarà coinvolto. Come regola generale, il coinvolgimento di antropologi/etnobiologi (cioè la costituzione di un gruppo multidisciplinare) permette che siano contemplate e bilanciate esigenze relative sia a problematiche scientifiche che antropologiche.

In particolare è necessario identificare chi sono i portatori di interesse (ad esempio rappresentanti di cooperative, commercianti di pesce, ecc.), il cui contributo è generalmente molto utile per poter contattare gli informatori da intervistare. Le caratteristiche di questi ultimi devono essere definite prima dell'inizio della ricerca. Ad esempio, uno studio potrebbe essere basato sulla raccolta di informazioni dai soli comandanti delle imbarcazioni da pesca, poiché l'esperienza dei pescatori può essere diversa a seconda delle mansioni svolte all'interno dell'equipaggio (Bunce *et al.*, 2000). Una volta che sono stati definiti l'area di studio e i luoghi di raccolta delle informazioni, è necessario definire in dettaglio i parametri e sotto-parametri che saranno acquisiti (ad es. quali specie, attività di pesca, tipologie di catture saranno indagate), coerentemente agli obiettivi della ricerca stessa.

METODOLOGIE PER LA RACCOLTA DI DATI SUL CAMPO

Esistono diverse metodologie che possono essere utilizzate per documentare la CEL. Seguendo un gradiente che va da un approccio qualitativo ad uno quantitativo, vi sono le osservazioni, le testimonianze orali, le interviste semi-strutturate e quelle strutturate, dette "survey" (per una descrizione completa di tali metodi si consultino i manuali "*Socioeconomic manual for coral reef management*" di Bunce *et al.*, 2000, ed il capitolo "*Oral histories, a guide to its creation and use*" di Fogerty, 2008).

Osservazioni

Le osservazioni sono descrizioni qualitative di quello che un membro del gruppo di lavoro vede in una determinata zona, e sono ottenute mediante osservazione attenta e registrazione di quanto avviene. Questo approccio fornisce informazioni dirette su attività difficili da descrivere, soprattutto in riferimento alla cultura materiale delle persone/comunità oggetto di studio.

Requisiti: è necessario un osservatore esperto, una macchina fotografica, binocoli e, se possibile, un registratore.

Approccio: determinare le attività che si vogliono descrivere; camminare nell'area che si vuole indagare; presentarsi e fare domande.

Potenzialità: permette di ottenere informazioni molto affidabili, generalmente non descritte da portatori di interesse; permette al gruppo di lavoro di prendere confidenza con

la comunità e i portatori di interesse, e quindi può aiutare a stabilire delle buone relazioni con tali gruppi.

Limiti: il contenuto delle osservazioni è limitato all'orario in cui vengono condotte, difficile da realizzare in mare; genera dati che non possono essere analizzati statisticamente.

Testimonianze orali

Le testimonianze orali sono resoconti letterali o quasi letterali di storie, aneddoti o biografie personali degli intervistati, che utilizzano il proprio linguaggio e terminologie per dare informazioni approfondite ed esplicative, ma qualitative, su determinati argomenti (rilevanti per gli intervistati); permette di identificare le terminologie ed i linguaggi locali.

Requisiti: un facilitatore con un'ottima conoscenza del linguaggio locale; registratore audio. Approccio: incoraggiare gli intervistati a rispondere alle domande usando il loro linguaggio, esprimere opinioni e memorie.

Potenzialità: forniscono informazioni approfondite, in particolare su fatti storici e memorie personali.

Limiti: può generare dei grossi volumi di dati di nessun interesse; necessita di molto tempo sia per gli intervistatori che per gli intervistati; genera dati che non possono essere analizzati statisticamente.

Interviste semi-strutturate

Le interviste semi-strutturate consistono in una serie di domande a risposta aperta o argomenti di discussione condotte per ottenere informazioni di tipo qualitativo. Garantisce flessibilità all'intervistatore nel ricercare risposte, e genera informazioni qualitative approfondite su alcuni punti particolarmente rilevanti per gli intervistati.

Requisiti: un facilitatore, un blocco per gli appunti, registratore audio.

Approccio: si consiglia di cominciare con domande più ampie; verificare i dettagli forniti dagli intervistati; non lasciare domande senza risposte.

Potenzialità: interazione reciproca; incoraggia gli intervistati a partecipare.

Limiti: generalmente i dati raccolti non possono essere analizzati statisticamente.

Surveys (interviste strutturate)

I *surveys* generalmente sono basati su domande altamente strutturate a risposta chiusa (ad esempio domande a risposta multipla, vero/falso) utilizzate per ottenere informazioni quantitative su specifiche tematiche; i dati ottenuti possono essere rappresentativi dell'intero gruppo degli intervistati.

Requisiti: questionario ben strutturato.

Approccio: seguire il questionario senza porre diverse domande contemporaneamente.

Potenzialità: forniscono dati quantitativi che possono essere considerati rappresentativi dell'intero gruppo degli informatori (ad esempio la comunità di pescatori).

Limiti: è richiesto molto tempo per raggiungere un campione significativo; disincentiva le persone a essere coinvolte nella raccolta dei dati.

Gli ecologi marini sono generalmente più interessati all'utilizzo di interviste semi-strutturate e strutturate, perché possono fornire dati analizzabili statisticamente. In questo ambito, durante le interviste si rivela molto utile l'uso di tecniche di visualizzazione, come

mappe per rappresentare la distribuzione spaziale delle specie o degli habitat, calendari stagionali e serie temporali (i cosiddetti “transetti storici”, si veda Bunce *et al.*, 2000 per ulteriori dettagli).

Quando si crea la CEL è necessario definire la dimensione del campione (numero di informatori da intervistare) e la metodica di campionamento. Questo tema è particolarmente importante soprattutto quando si conducono interviste semi-strutturate e soprattutto strutturate, poiché il numero di intervistati deve essere rappresentativo dell'intero gruppo oggetto di studio nell'area indagata (alcune informazioni pratiche per la stima della dimensione del campione possono essere trovate in Bunce *et al.*, 2000; si veda anche il paragrafo seguente “Esempi sul campo” per alcuni esempi numerici). La strategia di campionamento (cioè la selezione degli intervistati) viene generalmente definita sulla base delle caratteristiche della comunità studiata e degli obiettivi della ricerca. Un campione non casuale, cioè una selezione opportunistica degli intervistati, viene adottato quando non sono necessarie particolari analisi statistiche e, ad esempio, viene contattato solo un gruppo limitato di informatori che sono considerati particolarmente collaborativi. Talvolta può essere utilizzato un campionamento di tipo a “valanga”: esso implica che, partendo da un gruppo limitato di intervistati affidabili e collaborativi, vengano contattati altri informatori sulla base delle indicazioni del primo gruppo di intervistati. Un campionamento casuale viene applicato quando gli intervistati vengono contattati in modo casuale tra l'insieme di tutti i potenziali partecipanti (ad esempio tutti i comandanti di pescherecci di un porto). Questo approccio può essere ulteriormente perfezionato prendendo in considerazione alcuni fattori di stratificazione (ad esempio considerando la distribuzione per età dei possibili intervistati, al fine di condurre interviste su gruppi di persone bilanciati per classi di età o esperienza di pesca). Nella pratica l'approccio casuale, anche se maggiormente valido sotto il punto di vista statistico, ha alcuni aspetti negativi, poiché non tutti gli informatori hanno la stessa attitudine a collaborare, e quindi i dati raccolti potrebbero essere di qualità inferiore rispetto a quelli ottenuti, ad esempio, attraverso l'approccio a “valanga”.

PRINCIPI GUIDA NELLA CREAZIONE DELLA CONOSCENZA ECOLOGICA LOCALE

Per la creazione della CEL devono essere presi in considerazione diversi principi guida (Fogerty, 2008). Oltre a quelli legati ad aspetti metodologici, i più importanti sono quelli relativi alle relazioni che si creano con le comunità locali, i portatori di interesse e gli informatori. Non ci si deve sorprendere che questi principi siano stati definiti per curare gli aspetti etici delle relazioni tra ricercatori “occidentali” e le comunità indigene e locali. A nostro avviso, inoltre, questi principi hanno una valenza generale, e dovrebbero quindi essere applicati anche nel contesto dei paesi “sviluppati”. In generale i ricercatori devono essere consapevoli che devono rispettare le comunità intervistate, essendo chiari nel presentare gli obiettivi della ricerca, comportandosi in modo gentile, incoraggiandoli e soprattutto non giudicandoli. Inoltre secondo Fogerty (2008) è importante che per ogni intervista sia stipulato un accordo formale tra il narratore e l'istituzione dell'intervistatore, che descriva gli obiettivi della ricerca e l'uso finale delle informazioni così ottenute; sarebbe anche opportuno restituire all'intervistato il testo scritto e la registrazione dell'intervista.

Inoltre, i ricercatori dovrebbero organizzare degli incontri pubblici per comunicare i risultati della ricerca e discuterne i contenuti sia con chi ha partecipato alle interviste che con l'intera comunità esaminata. Infatti, Shackeroff e Campbell (2007) hanno evidenziato come troppo spesso la CEL sia considerata esclusivamente una conoscenza da ottenere dalle comunità locali, e non creata mediante un'effettiva comunicazione bidirezionale; di conseguenza la conversazione diventa spesso più simile ad una specie di interrogazione, una sessione dominata dall'intervistatore.

ESEMPI SUL CAMPO

Abbiamo selezionato, tra i molti disponibili, alcuni casi studio relativi all'applicazione della CEL in ecologia marina, al fine di dimostrare il potenziale di questo approccio e fornire alcuni dettagli ulteriori sugli approcci metodologici precedentemente introdotti in questo articolo.

Ad esempio, nel contesto del progetto Storia delle Popolazioni Marine (*History of Marine Animal Populations*) del Mediterraneo e Mar Nero, il nostro gruppo di ricerca ha raccolto alcune testimonianze orali e interviste semi-strutturate (tuttora in corso) con pescatori della marineria di Chioggia, la più grande del Nord Adriatico. Un breve estratto video di tre interviste (con sottotitoli in inglese) è disponibile presso il sito del progetto HMAP (www.hmap-coml.org), mentre un video più esteso (senza traduzioni) e ulteriori contenuti delle interviste sono inclusi nel volume "Un altro mare" (Fortibuoni *et al.*, 2009). Le interviste sono state concepite per ottenere informazioni, da pescatori appartenenti a differenti generazioni (dai 40 gli 84 anni di età), sul cambiamento delle catture della pesca nel tempo. Queste testimonianze orali, sebbene qualitative, hanno evidenziato la presenza di cambiamenti molto marcati nella percezione della biodiversità marina. Inoltre hanno mostrato come molte specie abbiano mostrato una forte riduzione (o addirittura siano scomparse) nelle ultime due/cinque decadi nel Nord Adriatico e nella Laguna di Venezia. Va però osservato che gli intervistati hanno dato diverse interpretazioni rispetto alle cause di questo fenomeno, parlando di sovrasfruttamento dovuto alla pesca, cambiamenti degli attrezzi di pesca, inquinamento, distruzione delle aree *nursery* e degli habitat elettivi delle specie sfruttate.

Nonostante la natura meramente qualitativa di queste testimonianze orali, quest'attività è stata particolarmente utile per ottenere informazioni sui cambiamenti delle tecnologie di pesca e sull'identificazione delle specie che presumibilmente sono collassate. Di conseguenza, il valore di queste informazioni è fondamentale per il prosieguo della ricerca, che prevede l'utilizzo di un approccio più strutturato dal punto di vista statistico. Consigliamo quindi ai ricercatori interessati allo studio della CEL di iniziare con un approccio di questo tipo, anche per "tarare" e incrementare le capacità relazionali dei ricercatori che partecipano alla squadra di intervistatori. Inoltre, i video ottenuti da alcune interviste registrate si sono dimostrati molto efficaci nel comunicare a un pubblico non scientifico la "sindrome del cambiamento dei punti di riferimento", e quindi ad accrescere la consapevolezza pubblica dei cambiamenti della biodiversità indotti dall'uomo che è, di fatto, uno degli obiettivi del progetto *Census of Marine Life* (Censimento della Vita Marina).

Un approccio più strutturato è stato applicato da Sàenz-Arroyo *et al.* (2005), nel contesto di uno studio sul cambiamento dei punti di riferimento dei pescatori del Golfo della Cali-

fornia. Gli autori hanno realizzato delle interviste mediante questionari semi-strutturati e strutturati (*survey*) in 11 differenti comunità: 108 pescatori sono stati intervistati con un campionamento bilanciato in funzione della loro età (15-30; 31-54; >54 anni). Agli intervistati è stato chiesto di valutare se, in funzione delle loro esperienze di pesca, alcune specie (popolazioni) hanno mostrato un declino nel tempo. I risultati hanno mostrato la presenza di un rapido cambiamento intergenerazionale nella percezione dell'ambiente marino, dove i pescatori più anziani hanno descritto un maggiore declino di specie e aree di pesca. È stata inoltre osservata una generale coerenza tra gli intervistati appartenenti alle medesime classi di età, confermando quindi questo andamento. Un'altra parte della ricerca, focalizzata sulla cernia *Microperca jordani* (una specie a rischio di estinzione), ha permesso di osservare la presenza di un declino delle catture massime giornaliere (numero di cernie catturate in una giornata di pesca) e delle dimensioni massime degli esemplari tra pescatori più anziani e pescatori più giovani. È importante notare che questa ricerca ha permesso di ottenere dati quantitativi confrontabili mediante un semplice approccio statistico. La coerenza tra dati ottenuti da pescatori appartenenti alla stessa generazione indica la presenza della "sindrome del cambiamento dei punti di riferimento" nei pescatori.

Neis e colleghi (1999) hanno utilizzato l'approccio della CEL per descrivere cambiamenti dell'ecologia (stagionalità e distribuzione), capacità e sforzo di pesca, e CPUS del merluzzo (*Gadus morhua*) e del lompo (*Cyclopterus lumpus*) nelle aree costiere di Terranova (Canada). Allo scopo hanno usato questionari, interviste semi-strutturate, tecniche di visualizzazione (mappe) e interviste sulle conoscenze tassonomiche con 56 pescatori, nella forma di interviste dirette seguite da interviste telefoniche. La selezione degli intervistati, che includevano sia pescatori "esperti" che comandanti di pescherecci, è stata realizzata mediante un campionamento di tipo a "valanga", applicando una stratificazione che teneva in considerazione la dimensione dell'imbarcazione su cui operavano (< o > 35 tonnellate); ogni intervista è durata tra le 1,5 e le 4 ore. Questo studio ha mostrato che possono essere raccolte informazioni di elevato dettaglio per descrivere i cambiamenti della capacità e sforzo di pesca delle imbarcazioni, così come mappe ad elevata risoluzione della distribuzione spaziale e stagionalità delle specie indagate. Inoltre è stata descritta una marcata diminuzione della CPUS in corrispondenza della crescita della capacità di pesca. Si rileva infine che le interviste, vista la loro lunga durata, sono state particolarmente impegnative, e che per poter procedere ad alcune elaborazioni è stato fondamentale disporre di dati di tipo "fishery-independent" (N.d.R.: ovvero di dati acquisiti mediante attività di campionamento *ad hoc*; nel caso della pubblicazione citata questi dati erano già disponibili da precedenti lavori).

LA FRONTIERA DELLA RICERCA SULLA CONOSCENZA ECOLOGICA TRADIZIONALE NELLE SCIENZE MARINE

Gli esempi precedenti forniscono alcune prove dei possibili usi della CEL nelle scienze marine. Nondimeno, devono essere condotti ulteriori studi per definirne in modo chiaro potenzialità e limiti di questo approccio nelle scienze marine. Papworth *et al.* (2009) hanno infatti evidenziato che la SBS non è stata ancora studiata in modo approfondito. Ad

esempio, il lavoro precedentemente menzionato di Sàenz-Arroyo *et al.* (2005) ha evidenziato come sia necessario che vi siano due condizioni perché si possa parlare in modo certo di SBS: i) devono essere presenti dei cambiamenti nel sistema indagato; ii) i cambiamenti percepiti devono essere coerenti con i dati biologici. Anche se lo studio di Papworth *et al.* (2009) mette in discussione, sebbene in modo indiretto, l'uso della CEL al fine di individuare una SBS in aree dove non sono disponibili dati "fishery-independent", esistono diverse prove in letteratura che confermano una coerenza tra CEL e dati biologici. Ad esempio, Rochet *et al.* (2008) hanno dimostrato come vi sia una buona coerenza tra quanto percepito dai pescatori e i dati scientifici nel canale della Manica, indicando che i pescatori hanno anche un'elevata capacità di percepire segnali di allarme del cambiamento in questo ecosistema. Comunque, secondo quanto indicato in uno studio di Ainsworth e Pitcher (2005) condotto in British Columbia (Canada), ci si può aspettare di trovare una limitata corrispondenza tra indicazioni dei pescatori e valutazioni formali di alcuni stock ittici quando si considera un elevato numero di specie, sebbene gli autori riportino che la qualità delle informazioni può essere buona a seconda dell'esperienza del pescatore riguardo le specie indagate. Di conseguenza la verifica della coerenza tra CEL e dati scientifici riceverà sicuramente maggiore attenzione in futuro, anche al fine di comprendere quali siano i fattori principali (ad esempio, numero e tipologia degli intervistati) e l'approccio metodologico migliore perché la CEL sia effettivamente informativa per la scienza marina. Allo stesso modo altre interessanti ricerche confermano il potenziale di questo approccio. Alcuni esempi sono l'identificazione dell'habitat elettivo di alcune specie ittiche (Bergmann *et al.*, 2004), l'individuazione delle invasioni di specie ittiche aliene (Azzurro, 2009), l'inclusione della LEC nella definizione di modelli ecologici in aree con scarsa disponibilità di dati (Ainsworth *et al.*, 2008), studi che utilizzano approcci statistici più sofisticati per lo studio dell'ecologia e il comportamento delle specie marine (Mackinson *et al.*, 2001) o per analizzare le caratteristiche della conoscenza cognitiva dei pescatori in riferimento al funzionamento degli ecosistemi marini (Özesmi e Özesmi, 2004; Prigent *et al.*, 2008).

CONCLUSIONI

La Conoscenza Ecologica Locale è uno strumento molto promettente che può essere utilizzato per studiare i cambiamenti nella biodiversità marina. Si tratta, comunque, di una conoscenza "labile", essendo preservata (e nascosta) nell'esperienza umana. Murray *et al.* (2006) hanno dimostrato come la Conoscenza Ecologica dei Pescatori si stia trasformando in una "Conoscenza globale di sfruttamento delle risorse" visto che i pescatori, a causa della globalizzazione, stanno diventando sempre meno legati alle relazioni socio-ecologiche associate alle specie e stock tradizionalmente sfruttati. Si tratta di un'importante sfida per tutti gli scienziati coinvolti in questa tipologia di ricerca: l'urgente necessità di "creare" la CEL prima che il tempo la faccia scomparire, e la necessità di conservarla per le future generazioni. Ciò deve essere fatto per contrastare la SBS, permettendo alle generazioni presenti e future di possedere una conoscenza precisa dello stato della biodiversità marina nel passato, allo scopo di contrastare l'attuale processo di perdita della biodiversità a livello globale.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano i progetti HMAP e CoML, la Sloan Foundation, la Regione Veneto e l'Associazione Tegnue di Chioggia, che hanno sostenuto le nostre ricerche di ecologia storica e conoscenza ecologica dei pescatori nella laguna di Venezia e Alto Adriatico. Inoltre ringraziano tutti i pescatori che hanno collaborato e ispirato le nostre attività, raccontandoci di un paesaggio marino che, purtroppo, è profondamente cambiato.

BIBLIOGRAFIA

- AINSWORTH C.H., E PITCHER T.J. (2005). Using Local Ecological Knowledge in ecosystem models. Fisheries Assessment and Management in Data-Limited Situations. Alaska Sea Grant College Program. AK-SG-05-02, 289-304.
- AINSWORTH C.H., PITCHER T.J., E ROTINSULU C. (2008). Evidence of fishery depletions and shifting cognitive baselines in Eastern Indonesia. *Biological Conservation* 141: 848-859. Disponibile su: www.reefbase.org.
- AZZURRO E. (2009). Unusual occurrences of fish in the Mediterranean Sea: an insight into early detection. In *Fish Invasions of the Mediterranean Sea: Change and Renewal*, D. Golani & B. Applebaum-Golani (Eds.). Pensoft Publisher, Sofia-Moscow, pp. 99-126.
- BERGMANN M., HINZ H., BLYTH R.E., KAISER M.J., ROGERS S.I., E ARMSTRONG M. (2004). Using knowledge from fishers and fisheries scientists to identify possible groundfish 'Essential Fish Habitats'. *Fisheries Research* 66: 373-379.
- BERKES F. (1993). Traditional Ecological Knowledge in perspective. In *Traditional Ecological Knowledge concepts and cases*, Inglis T.I. (Ed.). International Program on Traditional Ecological Knowledge, Canadian Museum of Nature, Ottawa. pp. 1-10. Disponibile su: http://www.idrc.ca/en/ev-9321-201-1-DO_TOPIC.html.
- BERKES F., COLDING C., E FOLKE C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10(5): 1251-1262.
- BOLSTER W.J. (2006). Opportunities in marine environmental history. *Environmental History* 11(3): 567-597.
- BUNCE L., TOWNSLEY P., POMEROY R., E POLLNAC R. (2000). Socioeconomic manual for coral reef management. IUCN, The World Conservation Union. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia: NOAA. Disponibile su: www.reefbase.org.
- CARDINALE M., HAGBERG J., SVEDÅNG H., BARTOLINO V., GEDAMKE T., HJELM J., BÖRJESSON P., E NORÉN F. (2010). Fishing through time: population dynamics of plaice (*Pleuronectes platessa*) in the Kattegat-Skagerrak over a century. *Population Ecology* 52: 251-262.
- FOGERTY J.E. (2008). Oral history: a guide to its creation and use. In *The historical ecology handbook*, Egan D., Howell E.A., e Meine C. (Ed.). pp. 101-119.
- FORTIBUONI T., GIOVANARDI O., E RAICEVICH S. (2009). Un altro mare. Edito da Associazione "Tegnue di Chioggia" - onlus. 221 pp.
- GARCÍA-QUIJANO C.G. (2007). Fishers' knowledge of marine species assemblages: bridging between scientific and local ecological knowledge in Southeastern Puerto Rico. *American Anthropologist* 109(3): 529-536.

- HILBORN R., & WALTERS C.J. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York. 570 pp.
- HOLM P. (2003). History of marine animal populations: a global research program of the Census of Marine Life. *Oceanologica Acta* 25: 207–211.
- HUNTINGTON H.P. (2000). Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecological Applications* 10(5): 1270-1274.
- JACKSON J.B.C., KIRBY M.X., BERGER W.H., BJORN DAL K.A., BOTS FORD L.W., BOURQUE B.J., BRADBURY R.H., COOKE R., ERLANDSON J., ESTES J.A., HUGHES T.P., KIDWELL S., LANGE C.B., LENIHAN H.S., PANDO J.M., PETERSON C.H., STENECK R.S., TEGNER M.J., & WARNER R.R. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293(5530): 629-37.
- JOHANNES R.E., FREEMAN M.M.R., & HAMILTON R.J. (2000). Ignore fishers' knowledge and miss the boat. *Fish and Fisheries* 1: 257-271.
- KUHN T.S. (1962). The structure of scientific revolutions. University of Chicago Press (Chicago).
- LOTZE H.K., & WORM B. (2009). Historical baselines for large marine animals. *Trends in Ecology and Evolution* 24(5): 254-262.
- LOTZE H.K., LENIHAN H.S., BOURQUE B.J., BRADBURY R.H., COOKE R.G., KAY M.C., KIDWELL S.M., KIRBY M.X., PETERSON C.H., & JACKSON J.B.C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312: 1806-1808.
- MACKINSON S. (2001). Integrating local and scientific knowledge: an example in fisheries science. *Environmental Management* 27(4): 533-545.
- MORENO-BÁEZ M., ORR B.J., CUDNEY-BUENO R., & SHAW W.W. (2010). Using fishers' local knowledge to aid management at regional scales: spatial distribution of small-scale fisheries in the Northern Gulf of California, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 86(2): 339-353.
- MURRAY G., NEIS B., & JOHNSEN P. (2006). Lessons learned from reconstructing interactions between local ecological knowledge, fisheries science, and fisheries management in the commercial fisheries of the Newfoundland and Labrador, Canada. *Human Ecology* 4: 549-571.
- NEIS B., SCHNEIDER D.C., FELT L., HAEDRICH R.L., FISCHER J., & HUTCHINGS J.A. (1999). Fisheries assessment: what can be learned from interviewing resource users? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 1949-1963.
- OMMER R.E., PERRY R.I., & NEIS B. (2007). Bridging the gap between social and natural fisheries science: why is this necessary and how can it be done? *American Fisheries Society Symposium* 49: 587-595.
- ÖZESMI U., & ÖZESMI S.L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling* 176: 43-64.
- PANDOLFI J.M., BRADBURY R.H., SALA E., HUGHES T.P., BJORN DAL K.A., COOKE R.G., MCARDLE D., MCCLENACHAN L., NEWMAN M.J.H., PAREDES G., WARNER R.R., & JACKSON J.B.C. (2003). Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301(5635): 955-958.
- PAPWORTH S.K., RIST J., COAD L., & MILNER-GULLAND E.J. (2009). Evidence for shifting baseline syndrome in conservation. *Conservation Letters* 2: 93–100.

- PAULY D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends in Ecology and Evolution*, 10: 430.
- PAULY D., E PALOMARES M.L. (2005). Fishing down marine food web: it is far more pervasive than we thought. *Bulletin of Marine Science* 76(2): 197–211.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., GUÉNETTE S., PITCHER T.J., SUMAILA U.R., WALTERS C.J., WATSON R., E ZELLER D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418(8): 689-695.
- PITCHER T.J. (2001). Fisheries managed to rebuild ecosystems? Reconstructing the past to salvage the future. *Ecological Applications* 11(2): 601-617.
- PRIGENT M., FONTANELLE G., ROCHET M.J. E TRENKEL V.M. (2008). Using cognitive maps to investigate fishers' ecosystem objectives and knowledge. *Ocean and Coastal management* 51(6): 450-462.
- REYES-GARCÍA V., VADEZ V., TANNER S., MCDADE T., HUANCA T., E LEONARD W.R (2006). Evaluating indices of traditional ecological knowledge: a methodological contribution. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 21.
- ROCHET M.J., PRIGENT M., BERTRAND A., CARPENTIER A., COPPIN F., DELPECH J.P., FONTANELLE G., FOUCHER E., MAHÉ K., ROSTIAUX E., E TRENKEL V.M. (2008). Ecosystem trends: evidence for agreement between fishers' perceptions and scientific information. *ICES Journal of Marine Science* 65: 1057-1068.
- ROSA I.M.L., ALVES R.R.N., BONIFÁCIO K.M., MOURÃO J.S., OSÓRIO F.M., OLIVEIRA T.P.R., E NOTTINGHAM M.C. (2005). Fishers' knowledge and seahorse conservation in Brazil. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 1: 12.
- ROSENBERG A.A., BOLSTER W.J., ALEXANDER K.E., LEAVENWORTH W.B., COOPER A.B., E MCKENZIE M.G. (2005). The history of ocean resources: modeling cod biomass using historical records. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(2): 84-90.
- SADOVY Y., E DOMEIER M. (2005). Are aggregation-fisheries sustainable? Reef fish fisheries as a case study. *Coral reefs* 24(2): 254-262.
- SÁENZ-ARROYO A., ROBERTS C.M., TORRE J., CARINO-OLVERA M., E HAWKINS J.P. (2006). The value of evidence about past abundance: marine fauna of the Gulf of California through the eyes of 16th to 19th century travellers. *Fish and Fisheries* 7: 128-146.
- SÁENZ-ARROYO A., ROBERTS C.M.M., TORRE J., CARINO-OLVERA M., E ENRIQUEZ-ANDRADE R.R. (2005). Rapidly shifting environmental baselines among fishers of the Gulf of California. *Proceedings of the Royal Society B* 272: 1957-1962.
- SHACKEROFF J.M., E CAMPBELL L.M. (2007). Traditional Ecological Knowledge in conservation research: problems and prospects for their constructive engagement. *Conservation and Society* 5(3): 343-360.
- WATSON R., E PAULY D. (2001). Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414: 534-536.

ECOSISTEMI MEDITERRANEI, PUNTI DI RIFERIMENTO CHE CAMBIANO, BANCHE DATI

Konstantinos I. Stergiou

Università Aristotele di Salonicco, Scuola di Biologia – Dipartimento di Zoologia, Hellas (Grecia)

e-mail: stergio@bio.auth.gr

Parole chiave: Mediterraneo, ecosistemi marini, punti di riferimento che cambiano, banche dati, FishBase

I pesci e la pesca erano molto importanti nella vita e nell'economia delle popolazioni antiche del Mediterraneo (si vedano da esempio Curtis, 2005; Bekker-Nielsen, 2005). Ciò è evidente non solo dal grande uso che ne veniva fatto come alimento, cosa a tutti nota, ma anche dall'importanza che rivestiva come fonte di ispirazione nella pittura e nelle arti (ad esempio, affreschi, mosaici, sculture, contenitori per cosmetici e monete), nonché nella letteratura. Infatti, i pesci furono una delle due grandi passioni degli antichi Ateniesi (Davidson, 1997).

Tra i dipinti più importanti vi sono gli affreschi minoici come i "delfini", nel palazzo della regina a Cnosso (Creta; Figura 1), il "pesce volante", proveniente da scavi dell'età del bronzo a Phylakopi nell'isola greca di Milos (<http://en.wikipedia.org/wiki/Phylakopi>), ed il "piccolo pescatore di Thera" (si veda successivamente la Figura 3), proveniente dall'isola di Santorini, arcipelago delle Cicladi, che risalgono tutti a circa 3600 anni fa. Gli artisti minoici realizzarono rappresentazioni così ricche di dettagli e con colori così vividi (Economidis, 2000; Sherrat, 2000; Eleftheriou, 2004) da consentire agli studiosi di identificare la mag-

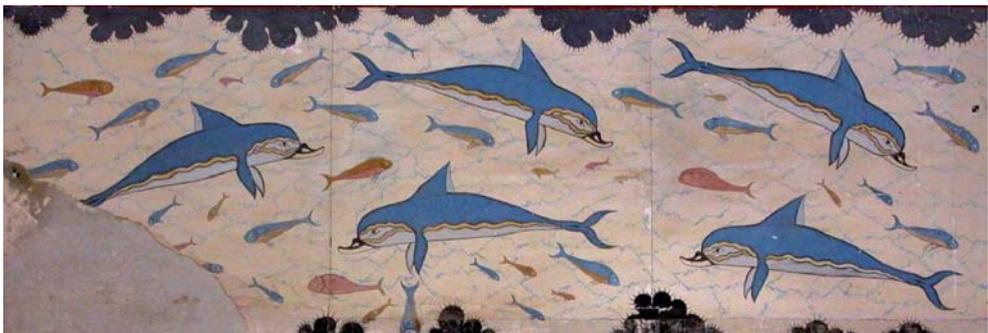


Figura 1. "Questo affresco descrive un Mediterraneo che 3600 anni fa pullulava di vita. Oggi i Minoici non ci sono più, e il mare è stato impoverito da un eccessivo sfruttamento..." (da Halley e Stergiou, 2005) (foto fornita da T. Pitcher).

gior parte degli animali raffigurati (echinodermi, cefalopodi, pesci e delfini) al livello di specie (Economidis, 2000; Eleftheriou, 2004). Per questo motivo gli affreschi, oltre ad avere un valore artistico e storico, sono importanti anche dal punto di vista ecologico (come sarà più chiaro successivamente).

I primi scritti sui pesci sono riconducibili ad autori greci e latini, più o meno noti. Questi scritti fanno di solito parte di testi di "storia naturale" o dedicati ai pesci, in cui vi sono numerose descrizioni su diversi aspetti della vita marina, sulla biodiversità, sui pesci, sui metodi di pesca e sulla vita dei pescatori. Così Aristotele (384-322 a.C.), il più grande erudito di tutti i tempi, nel suo libro sugli animali ("Storia degli animali") descrive vari aspetti del ciclo vitale dei pesci e di altri organismi marini. Ad esempio, egli fu il primo a dire che il livello trofico (che descrive la posizione degli organismi nella rete trofica) dei pesci aumenta con le dimensioni, dal momento che ha scritto che i pesci grossi mangiano quelli più piccoli (Stergiou, 2005).

Altri esempi sono dati dalle numerose osservazioni di Aristotele sull'habitat, la dieta e la riproduzione di specie come *Mullus spp.*, *Diplodus annularis*, *Gobius cobitis* e *Parablennius sanguinolentus* (Tipton, 2006 e 2008). Ancora oggi queste specie sono presenti nelle acque costiere della Grecia, come lo erano ai tempi di Aristotele, ma probabilmente sono meno abbondanti.

Anche Plinio il Vecchio (23-79 d.C.), un filosofo e naturalista vissuto ai primi tempi dell'Impero Romano, scrisse un trattato di storia naturale ("*Naturalis historia*"). Questo libro, molto importante in un'epoca "pre-scientifica", contiene informazioni anche sui pesci.

Il poeta greco Oppiano, vissuto in Cilicia nella seconda metà del II secolo d.C., scrisse un poema sulla pesca intitolato "*Halieutika*", che ha ricevuto grande attenzione scientifica. In questo testo si possono trovare informazioni sulle abitudini, l'habitat, l'alimentazione e i

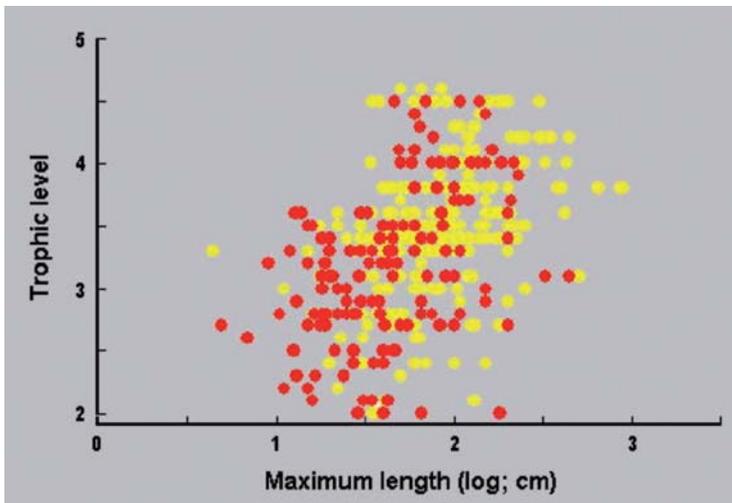


Figura 2. Relazione tra lunghezza massima e livello trofico per diverse specie (valori ricavati da www.fishbase.org).

parassiti sia di pesci che di crostacei e molluschi (Egerton, 2001). In effetti, quando Opiano scrive (cf. pag. 203 in Egerton, 2001) che “i pesci differiscono per abitudini, modalità riproduttive e migrazioni, né hanno tutti la stessa distribuzione. Alcuni vivono presso coste basse, nutrendosi sulla sabbia e di qualsiasi cosa cresca sulla sabbia [...] altri si alimentano nel fango e nelle secche [...] il terribile Trigone, la triglia rossa, il sugarello [...]” fornisce chiare informazioni sull’habitat ed il livello trofico di diversi pesci.

Informazioni sui pesci possono essere ricavate anche da lavori d’altri scrittori meno noti (Archippo, vissuto nel V-IV secolo a.C., scrisse la commedia “Pesci”; Dorion, del I secolo a.C., scrisse il libro “Sui pesci”; Nouminios scrisse il libro sulla pesca intitolato “*Halieutikos*”; Euthidimos scrisse “Sul salato”; infine Antiphanes scrisse “Pesca”) (Faklaris, 1999).

Informazioni sui pesci si possono trovare non solo nei libri “specialistici” di “storia naturale”, ma anche in altre fonti scritte sparse qua e là. Alcuni esempi sono le opere del tragediografo Eschilo (V-IV secolo a.C.), padre della tragedia greca (ad esempio informazioni sulle migrazioni dei tonni e sul loro avvistamento), come pure il libro “Storie” dello storico greco Polivios (203-120 a.C.) [ad esempio, informazioni sulla pesca del pescespada] (http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BB%CE%B9%CE%B5%CE%AF%CE%B1#cite_note-6).

Un altro ottimo esempio è dato da Lucio Anneo Seneca (3 a.C. – 65 d.C.), un filosofo (ma non solo) romano che racconta di una grossa triglia rossa, *Mullus barbatus*, donata a Tiberio (Gummere, 1925, nell’Epistola XCV, da Tripton 2008) “una triglia di dimensioni mostruose fu donata all’imperatore Tiberio. Si dice che pesasse 4 libbre e mezzo”. Ancora, Ateneo (II-III secolo d.C.), nel suo libro “I Deipnosofisti”, afferma che la sardina (*Sardina pilchardus*) ha all’incirca le stesse dimensioni del lanzardo (*Scomber japonicus*) (<http://www.mirsini.gr/index.php?id=639>).

Il pesce tuttora riveste un ruolo importante nella nostra società. I pesci sono i soggetti per molti pittori (ad esempio, Alexander Adriaenssen, 1587-1661; Alexander Dalziel, 1781-1832; Edouard Manet, 1832-1883; De Chirico, 1888-1978; Tsoklis, 1930-), nelle sculture, in testi scritti (libri, quotidiani, riviste di pesca; vedi Stergiou, 1984), nonché in film, trasmissioni televisive, ecc. Il ricercatore greco Dimitrios Moutopoulos possiede un enorme archivio di film greci dalla fine degli anni ’40 in poi, da cui ha estratto tutte le scene relative a pesci o alla pesca. Questo lavoro rappresenta un importante contributo alla storia moderna del pesce e alla loro rappresentazione nella cinematografia greca.

Ma qual è il valore per l’ecologia marina di queste informazioni/fonti? Il loro valore può essere apprezzato se si considerano gli effetti della pesca sugli ecosistemi marini e l’esigenza di individuare punti di riferimento (si veda Pauly, 1995) per valutare l’entità di questi effetti. Vi è una diffusa consapevolezza che le risorse di pesca sono sovrasfruttate e che gli ecosistemi marini, che sostengono tali risorse, sono minacciati. La pesca rimuove i grandi predatori (si veda ad esempio, Christensen *et al.*, 2003; Myers e Worms, 2003), che generalmente hanno un livello trofico elevato (Froese e Pauly, 2000; Stergiou e Karpouzi, 2002) (Figura 2). Inoltre, la pesca ha molti altri effetti, sia diretti che indiretti, sugli ecosistemi marini, sia a livello di comunità (ad esempio, distruzione della struttura e dell’eterogeneità dei popolamenti bentonici, alterazione nell’abbondanza relativa delle specie, diminuzione della diversità delle specie, cambiamenti dei tassi di competizione e predazione, diminuzione della variabilità delle catture), sia a livello di popolazione (ad esempio, diminuzione delle dimensioni medie degli individui, diminuzione della diversità di classi di età, diminuzione della taglia ed età di prima riproduzione, alterazione del rapporto

tra sessi, diminuzione del potenziale riproduttivo, diminuzione della diversità genetica), che determinano una riduzione nell'ecosistema del rapporto produzione/biomassa e fanno regredire gli ecosistemi ad uno stadio di immaturità (Stergiou, 2002; Stergiou e Christensen, 2010). Questi fenomeni inducono adattamenti ecologici e cambiamenti evolutivi, e favoriscono specie caratterizzate da un breve ciclo vitale, piccole dimensioni, piccola taglia di prima maturità, elevati tassi di crescita ed alta produttività (Stergiou, 2002; Stergiou e Christensen, 2010). Infatti, le dimensioni massime delle specie ittiche e la taglia di prima maturità diminuiscono in parallelo all'aumento dei livelli di sfruttamento. Pertanto, informazioni storiche ed artistiche possono essere utili per definire punti di riferimento storici cui confrontare le caratteristiche attuali delle varie specie.

Un esempio è rappresentato dall'affresco del "piccolo pescatore" di Santorini, dal quale si può ricostruire la distribuzione di taglia dei pesci tenuti in mano dal pescatore. La distribuzione di taglia dei 12 esemplari di lampuga (*Coryphaena hippurus*) è stata ricostruita da Stergiou (2005), sulla base dell'affermazione di Economidis (2000) che "se l'altezza del ragazzo è di circa 120 cm, allora la lunghezza dei dieci pesci più piccoli varia tra 27 e 37 cm mentre, per quanto riguarda i due esemplari più grossi, quello nella mano destra è lungo circa 50 cm e quello nella mano sinistra è lungo circa 60 cm". Tuttavia, bisogna osservare che l'altezza media degli uomini micenei era di 167 cm (cf. Fitton, 2002), e quindi la lunghezza dei pesci catturati probabilmente varia tra 42 e 89 cm, e l'esemplare più grosso è di 89 cm anziché 60, come ritenuto da Economidis (2000). Inoltre, la moda della distribuzione di taglia è 50-55 cm (Figura 3). Questa moda appare superiore a quella delle catture odierne di giovanili di lampuga nell'area mediterranea (Potoschi, 2005). Purtroppo, con campioni di dimensioni limitate ($n = 12$), difficilmente rappresentativi delle popolazioni biologiche, ed in assenza di informazioni sull'attrezzo di cat-

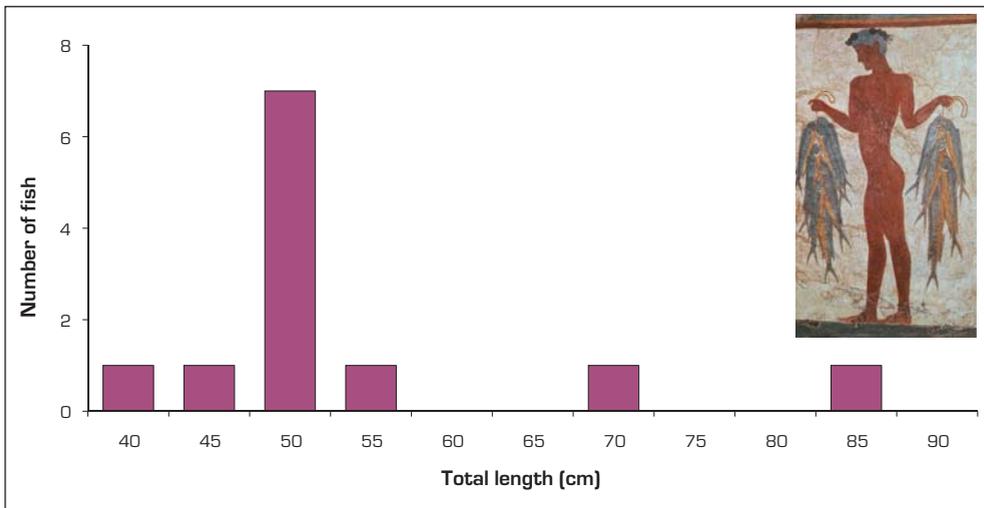


Figura 3. Distribuzione di taglia delle 12 lampughe (*Coryphaena hippurus*) che il giovane pescatore tiene in mano. Stergiou (2005) ha ricostruito la distribuzione di taglia di questi 12 individui basandosi sulle assunzioni di Economidis (2000). Dettagli nel testo.

tura (ognuno dei quali ha una sua propria selettività) è difficile pervenire a conclusioni certe; è però probabile che in entrambi i casi di confronto si siano usati i “cannizzi”, utilizzati per la cattura di giovanili. Dai dati di Potoschi emerge come la taglia media di cattura sia 40 cm (n = 310). Sembra quindi che la moda della distribuzione di taglia delle catture di questa specie nel Mediterraneo sia diminuita negli ultimi 3600 anni, presumibilmente a causa di una pesca eccessiva.

In quest'ottica anche l'osservazione di Ateneo può essere letta in termini ecologici. Infatti, attualmente la lunghezza massima riportata per la sardina è di 27.5 cm, circa la metà di quella del lanzardo (64 cm; www.fishbase.org). Poiché la sardina è molto più sfruttata dello sgombro, si può ipotizzare che, a meno che gli antichi pescatori non catturassero solo sgombri di piccole dimensioni, la lunghezza massima delle sardine sia drasticamente diminuita negli ultimi 2000 anni, fatto che non apparirebbe irragionevole se si considera che (a) la sardina è una delle specie più sfruttate nel Mediterraneo, a differenza del lanzardo, e che (b) la lunghezza media delle sardine è diminuita drasticamente nel Mediterraneo orientale verso la fine degli anni '90 a causa della pesca (Volgaridou e Stergiou, 2003). Ad ogni modo, è verosimile ipotizzare che l'autore si riferisse ad un'altra specie, l'*Alosa fallax nilotica*, conosciuta come “grande sardina”.

Analogamente, la triglia di cui parla Seneca pesava circa 1.5 kg (poiché 1 Lb romana = 0.327 kg), mentre al giorno d'oggi il peso massimo noto per *Mullus barbatus* (o per *Mullus surmuletus*) è di 1 kg circa (www.fishbase.org). Sembra quindi che anche le specie di *Mullus* spp. siano diminuite di taglia negli ultimi 2000 anni.

Tutte queste antiche testimonianze scritte, pittoriche e archeologiche (come ad esempio la ricostruzione delle dimensioni o dell'età degli animali attraverso l'analisi dei resti scheletrici; Zohar *et al.*, 2001) hanno un elevato valore scientifico per definire i “punti di riferimento” e ricostruire la storia delle popolazioni marine (cf. Holm, 2003).

Tuttavia, tutte queste informazioni frammentarie, che potrebbero sembrare irrilevanti, sono realmente utili solo se inserite in un contesto dinamico ed interattivo, in grado di incorporare questi dati e fornirne le basi per opportuni confronti. In quest'epoca elettronica il contesto adatto è rappresentato dalle banche dati on-line. Una delle banche dati delle specie ittiche più importanti è FishBase (www.fishbase.org). FishBase è un sistema d'informazione globale sui pesci, utile per la ricerca, per l'istruzione a qualsiasi livello, come fonte di informazioni e in generale per la sensibilizzazione (Froese e Pauly, 2000; Stergiou 2004a e 2004b). FishBase contiene un'enorme quantità di dati di vario genere a tutti i livelli di organizzazione biologica per le 31.400 specie di pesci note. Questi dati derivano da oltre 43.700 pubblicazioni (letteratura grigia, libri, giornali scientifici, atti di convegni, rapporti tecnici, ecc.) grazie al lavoro di 1.750 collaboratori. FishBase, che fu sviluppato alla fine degli anni '80 (Froese e Pauly, 2000), ed Ecopath (www.ecopath.org; Christensen *et al.*, 2000), sviluppato nello stesso periodo, contribuirono ad ampliare gli obiettivi della scienza della pesca. Questi strumenti, infatti, hanno permesso di affrontare studi globali (si vedano ad esempio Pauly *et al.*, 1998; Froese e Binohlan, 2001; Christensen *et al.*, 2003; Pauly e MacLean, 2003) in quanto hanno contribuito a trasformare frammenti di informazione in precise conoscenze, permettendo di dare risposta a “grandi questioni” (ovvero questioni concernenti ampie scale spaziali o temporali e un elevato numero di specie; cf. CIESM, 2003; Stergiou, 2004a).

Informazioni storiche sui valori massimi di lunghezza, peso ed età, sull'abbondanza, l'habitat e il livello trofico, sulla distribuzione di taglia ricostruita da affreschi, opere artistiche, fonti scritte o resti archeologici, come pure i dati raccolti di routine nel corso degli ultimi secoli possono essere raccolti in FishBase, dopo un'attenta valutazione da parte di esperti (sociologi, storici, ecologi, tassonomi, archeologi, pittori e studiosi della pittura, ecc.).

Le stesse considerazioni possono essere fatte per altre banche dati, come ad esempio SeaLifeBase (www.sealifebase.org), che include informazioni su molte specie marine e non solo pesci (106.500 specie, 24.500 nomi comuni, 3.300 figure; tutte queste informazioni provengono da 13.900 pubblicazioni grazie al lavoro di 150 collaboratori).

Le informazioni raccolte in queste banche dati possono essere utilizzate per definire "punti di riferimento" storici e identificare cambiamenti delle principali caratteristiche biologiche/ecologiche, e quindi per valutare gli effetti a lungo termine della pesca sulle popolazioni marine. La definizione di punti di riferimento permette di affrontare la "*Shifting baseline syndrome*" (sindrome dei punti di riferimento che cambiano) descritta per la prima volta da Pauly (1995), conosciuta anche come "*Old timer's syndrome*" (sindrome dell'anziano), ovvero "[...] ricordare alle persone com'erano le cose in passato, non per deprimerle, ma per metterli in guardia dall'adattarsi ad un mondo degradato ed impedire che un giorno vivano in un mondo esteticamente monotono" (Randy Olson, www.shiftingbaseline.org). Essere coscienti del degrado progressivo del mondo sensibilizzerà scienziati, amministratori e l'opinione pubblica, e pertanto contribuirà alla protezione e al recupero delle popolazioni marine. Tuttavia, affinché queste banche dati possano contenere informazioni tanto diverse, devono essere continuamente implementate, aggiornate e finanziate.

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia Dr. O. Giovanardi, Dr. M. Romanelli e Prof. R. Gertwagen per gli utili commenti e suggerimenti.

BIBLIOGRAFIA

- BEKKER-NIELSEN T. (2005). The technology and productivity of ancient sea fishing. In ancient fishing and fish processing in the Black Sea Region, Bekker-Nielsen T. (Ed.), Aarhus. pp. 83-96.
- CHRISTENSEN V., GUENETTE S., HEYMANS J.J., WALTERS C., WATSON R., ZELLER D., E PAULY D. (2003). Hundred-year decline of North Atlantic predatory fishes. *Fish and Fisheries* 4: 1-24.
- CHRISTENSEN V., WALTERS C.J., E PAULY D. (2000). *Ecopath with Ecosim: A user's guide*. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver (Canada) and ICLARM, Penang (Malaysia). 130 pp.
- CIESM (2003). Mediterranean biological time series. CIESM Workshop Monograph Series 22: 1-142 [CIESM publications, Monaco, disponibile online all'indirizzo www.ciesm.org/publications/split03.pdf].

- CURTIS R.I. (2005). Sources for production and trade of Greek and Roman processed fish. In ancient fishing and fish processing in the Black Sea Region, Bekker-Nielsen T. (Ed.), Aarhus. pp. 31-46.
- DAVIDSON J.N. (1997). Courtesans and fishcakes: the consuming passions of classical Athens. Diane Publication Co. 371 pp.
- ECONOMIDIS P.S. (2000). The 'little fisherman' and the fish he holds. In The wall paintings of Thera. Atti del "1st International Symposium, Nomikos P.M. Conference Center, 30 August - 4 September 1997", Sherratt S. (Ed.), Atene. Volume II: pp. 555-562.
- EGERTON F.N. (2001). A History of the ecological sciences, Part 3. Hellenistic natural history. Bulletin of the Ecological Society of America July 2001: 201-205.
- ELEFThERIOU A. (2004). Marine biodiversity in the Aegean Bronze Age. History of Marine Animal Populations, Mediterranean Workshop (Barcellona, Spagna), Settembre 2004 (Libro degli abstracts): pp. 10.
- FAKLARIS P.B. (1999). Αι αφύαι, ο θεόπαις, λάβραξκαι ο ορφώς. Newspaper to Vima tis Kiriakis 18-7-1999.
- FITTON J.L. (2002). Minoans. The British Museum Press (Londra).
- FROESE R., E BINOHLAN C. (2001). Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity, and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. Journal of Fish Biology 56: 758-773.
- FROESE R., E BINOHLAN C. (2003). Simple methods to obtain preliminary growth estimates for fishes. Journal of Applied Ichthyology 19: 376-379.
- FROESE R., E PAULY D. (Ed.) (2000). FishBase 2000: Concepts, design and data sources. ICLARM, Los Baños, Laguna, Filippine.
- GALL B.S. (2004). Of fish bones and mosaics - the fisheries of the ancient Mediterranean. History of Marine Animal Populations, Mediterranean Workshop (Barcellona, Spagna), Settembre 2004 (Libro degli abstracts): pp. 4-5.
- GUMMERE R.M. (1925). Seneca. Ad lucilium epistulate morales. Vol. 3. Harvard University Press (Cambridge, Massachusetts).
- HALLEY J.M., E STERGIU K.I. (2005). The implications of increasing variability of fish landings. Fish and Fisheries 6: 266-276.
- HOLM P. (2003). History of marine animal populations: a global research program of the census of marine life. Oceanologica Acta 25: 207-211.
- MYERS R.A., E WORM B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature 423: 280-283.
- PAULY D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. Trends in Ecology and Evolution 10: 430.
- PAULY D., E MACLEAN J. (2003). In a perfect ocean - The state of Fisheries and ecosystems in the North Atlantic Ocean. Island Press (Washington). 175 pp.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., DALSGAARD J., FROESE R., E JR. TORRES F. (1998). Fishing down marine food webs. Science 279: 860-863.
- POTOSCHI A. (2005). Studio sulla biologia e consistenza di popolazione di specie minori di grandi pelagici: *Seriola dumerili* Risso 1810; *Coryphaena hippurus* Linneo 1758; *Euthynnus alletteratus* Rafinesque 1810; *Sarda sarda* Bloch 1793. Mari Ionio e Tirreno meridionali. Rapporto tecnico per il Ministero delle Politiche Agricole, Direzione Generale Pesca (www.politicheagricole.it).

- POTOSCHI A., CANNIZZARO L., MILAZZO A., SCALISI M., E BONO G. (1999). Sicilian dolphin-fish (*Coryphaena hippurus* L. 1758) fishery. *Scientia Marina* 63(3-4): 439-445.
- SHERRATT S. (Ed.) (2000). The wall paintings of Thera. Atti del "1st International Symposium, Nomikos P.M. Conference Center, 30 August – 4 September 1997", Atene, Volume II.
- STERGIOU K.I. (1984). Capelin (*Mallotus villosus*) and climatic change in the Barents Sea. Tesi di Laurea, Istituto di Oceanografia, Università McGill. 242 pp.
- STERGIOU K.I. (2002). Overfishing, tropicalization of fish stocks, uncertainty and ecosystem management: resharping Ockham's razor. *Fisheries Research* 55: 1-9.
- STERGIOU K.I. (2004a). The balance and conservation of the North Atlantic ecosystems? In *In a Perfect Ocean – the State of Fisheries and ecosystems in the North Atlantic Ocean*, Pauly D., e MacLean's J. (Ed.) (Island Press). *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13(4): 455-457.
- STERGIOU K.I. (2004b). FishBase: The Global Information System on fishes. *Greek Fishing News* 06/2004: 141-144.
- STERGIOU K.I. (2005). FishBase Symposium: Fish and More. In *FishBase Symposium: Fish and More*, Stergiou K.I., e Bobori D. (Ed.). Università Aristotele di Salonicco, University Studio Press, Salonicco (Grecia). pp. 1-4.
- STERGIOU K.I., E KARPOUZI V.S. (2002). Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 217-254.
- STERGIOU K.I., E CHRISTENSEN V. (2010). Fishing down food webs. In *Thinking Big*, Christensen V., e MacLean J. (Ed.) (In stampa).
- TIPTON J.A. (2006). Aristotle's study of the animal world: the case of the kobios and phucis. *Perspectives in Biology and Medicine* 49(3): 369–383.
- TIPTON J.A. (2008). Aristotle's observations of the foraging interactions of the red mullet (Mullidae: *Mullus* spp.) and sea bream (Sparidae: *Diplodus* spp.). *Archives of Natural History* 35(1): 164–171.
- VOULGARIDOU P., E STERGIOU K.I. (2003). Trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Eastern Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 67(Sup.): 269-280.
- ZOHAR I., DAYAN T., GALILI E., E SPANIER E. (2001). Fish processing during the early Holocene: A taphonomic case study from coastal Israel. *Journal of Archaeological Science* 28: 1041–1053.

PERDITA STORICA DEGLI HABITAT COSTIERI MEDITERRANEI E PROSPETTIVE DI RECUPERO

Laura Airoidi¹ e Michael W. Beck²
e-mail: laura.airoidi@unibo.it

Parole-chiave: biodiversità, gestione della fascia costiera, storia marina

Questo contributo rappresenta un estratto della pubblicazione "Airoidi L., and Beck M.W. (2007). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 45: 345-405", che è stata utilizzata come punto di riferimento per la relazione tenuta presso la Summer School.

RIASSUNTO

In questo lavoro abbiamo esaminato le stime relative agli andamenti a larga scala della distribuzione e stato degli habitat costieri del Mar Mediterraneo e Mar Nero. L'analisi ha evidenziato, in numerosi paesi, un declino significativo delle aree umide costiere, degli habitat a fanerogame, dei reef biogenici e dei complessi di macroalghe. In alcune regioni gli habitat di maggior pregio hanno mostrato forme severe di degrado o addirittura sono stati portati ad una sorta di estinzione virtuale, ben prima del 1900. Attualmente, meno del 15% degli ambienti costieri può essere considerato in "buono" stato. I frammenti degli habitat originali rimangono tuttora minacciati e la maggior parte delle attuali politiche gestionali continuano a portare questi ecosistemi verso l'estinzione funzionale. Nell'articolo sono inoltre discusse le prospettive di recupero di alcuni degli habitat menzionati.

Negli ambienti terrestri la comprensione e il contrasto degli effetti della perdita e frammentazione di habitat rappresentano gli obiettivi principali della scienza e delle attività di conservazione e gestione (Brooks *et al.*, 2002). La perdita di habitat è inoltre riconosciuta come una delle principali minacce anche per l'ambiente marino (Gray, 1997), sebbene tale tematica non sia stata finora oggetto di studio e di attività di conservazione simili a quelle realizzate nel contesto terrestre (Airoidi *et al.*, 2008).

In questo studio abbiamo raccolto ed esaminato le stime relative agli andamenti su larga scala della distribuzione e stato degli habitat costieri lungo la costa europea, includendo nel-

1 Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale e Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Scienze Ambientali in Ravenna, Università di Bologna, Ravenna (Italia)

2 The Nature Conservancy and Institute of Marine Sciences, Università della California, Santa Cruz (Stati Uniti d'America)

l'analisi il Mar Mediterraneo ed il Mar Nero (Airoldi e Beck, 2007). In questa regione le informazioni su tali habitat sono molto variegata, sia in termini di disponibilità che qualità.

La nostra sintesi si è incentrata principalmente sulle informazioni che erano coerenti e comparabili all'interno dell'area indagata. Queste informazioni sono state incrementate dai dati provenienti da indagini a livello nazionale e locale e, talvolta, da informazioni provenienti da singole baie, estuari o porzioni di aree costiere. Questi ultimi dati, visto l'elevato livello di risoluzione, hanno fornito esempi chiave per la valutazione dei cambiamenti intercorsi a livello costiero e delle relative cause; non è stato possibile, infatti, ottenere dati così precisi per l'insieme delle aree considerate. Quando possibile, le informazioni sono state estratte da pubblicazioni scientifiche, ma nella maggior parte dei casi esse provenivano da report di agenzie e *database on-line* che hanno rappresentato la più frequente fonte di informazione.

I dati raccolti mostrano che, nei secoli passati, le bonifiche, lo sviluppo costiero, il sovrasfruttamento e l'inquinamento hanno quasi eliminato le aree umide, le praterie di fanerogame, i banchi di bivalvi, i *reefs* biogenici e altre tipologie di habitat costieri produttivi e ad elevata biodiversità. È stato stimato che in media ogni giorno, nel periodo compreso tra il 1960 ed il 1995, un chilometro di costa è stato "sviluppato" (ovvero urbanizzato), con i tassi di sviluppo urbano più elevati osservati lungo la costa Euro-Mediterranea (EUCC - The Coastal Union 1998). Più del 50% della costa mediterranea è dominata dal cemento, con più di 1500 Km di costa artificiale, dei quali circa 1250 Km sono stati deteriorati in seguito allo sviluppo di darsene e porti (EEA 1999b).

Nella maggior parte degli stati per cui era disponibile la documentazione è stata stimata una riduzione delle zone umide superiore al 60% della superficie originale, con picchi superiori all'80% in paesi come l'Italia e la Francia (Nivet e Frazier, 2004).

Informazioni relative alle praterie di fanerogame sono invece più limitate, sebbene vi siano indicazioni di perdita rispetto la presenza originale di *Posidonia oceanica* con valori compresi tra il 40% e l'80% (Meinesz *et al.*, 1991, Green e Short, 2003). Inoltre, sono stati osservati dei forti declini di fucoidi ed altri complessi di macroalghe, talvolta fino alla scomparsa lungo le parte della costa del Mediterraneo e Mar Nero (Munda 1993; Benedetti-Cecchi *et al.*, 2001; Thibaut *et al.*, 2005).

Un numero limitato di fattori dominanti hanno portato a questa perdita di habitat (Airoldi e Beck, 2007). L'impatto maggiore sulle zone umide è stato determinato dalle bonifiche e dallo sviluppo costiero. Invece gli impatti maggiori su fanerogame e macroalghe sono attualmente legati alla degradazione della qualità delle acque, mentre in passato le attività di pesca e malattie hanno determinato gli effetti maggiori. Lo sviluppo delle coste rimane tuttora una importante fonte di disturbo delle fanerogame marine. Per ciò che concerne gli habitat biogenici, la maggior parte del disturbo è stato determinato dalla pesca e dal sovrasfruttamento, cui si sono cumulati gli effetti di morie a causa di parassiti, in particolare per le ostriche. La sviluppo lungo le coste e la costruzione di protezioni contro l'erosione marina hanno avuto invece il maggior impatto sugli habitat di sedimenti incoerenti, con l'elevata probabilità che a vasta scala si sia avuto un forte disturbo da parte delle attività di pesca a strascico.

Il concetto di "cambiamento dei punti di riferimento", formulato recentemente per la mancanza di prospettiva storica nell'analisi degli effetti della pesca, diventa quindi estremamente rilevante anche nel contesto della generale perdita di habitat.

La maggior parte delle perdite di habitat sono avvenute in un periodo relativamente recente, in particolare a partire dallo scorso secolo. Comunque, in alcune regioni, gli ambienti estuarini e costieri erano già stati intensamente degradati o portati all'estinzione virtuale ben prima del 1900 (Lotze *et al.*, 2006). I banchi originari di ostriche, ad esempio, erano ecologicamente estinti già nel 1950 lungo molte aree costiere, ed in alcune baie anche precedentemente. Questi banchi di bivalvi rappresentano uno degli habitat maggiormente minacciati, sebbene siano state introdotte alcune iniziative per loro protezione (Beck *et al.*, articolo sottomesso). Ciononostante vi è una serie di azioni che potrebbero essere efficaci a scala locale, regionale e globale al fine di invertire questo declino e rivitalizzare tali habitat. Esse includono il miglioramento della protezione, il ripristino dei servizi e struttura degli ecosistemi, l'introduzione di pratiche sostenibili di pesca, la riduzione dell'introduzione e diffusione di specie aliene, e la creazione di sistemi collaborativi tra diversi portatori di interesse al fine di favorire la conservazione, gestione e sviluppo di attività economiche focalizzate sul miglioramento delle condizioni degli ambienti di transizione (Beck *et al.*, articolo sottomesso).

Attualmente meno del 15% della costa europea è considerata in un "buono" stato (EEA 1999a), ed in particolare le coste del Mediterraneo presentano le condizioni generali peggiori. I frammenti di habitat indisturbati ancora presenti continuano a essere sottoposti a continue minacce e la loro gestione non è però condotta sulla base di informazioni corrette della loro distribuzione e stato. Esistono molte normative e direttive che hanno il fine di ridurre e invertire la perdita di habitat, ma in generale i benefici sono relativamente scarsi. Ignorare ulteriormente i cambiamenti storici della perdita di questi habitat potrebbe compromettere definitivamente il successo gestionale e la futura sostenibilità dei frammenti di habitat originali ancora presenti nel Mediterraneo e Mar Nero.

BIBLIOGRAFIA

- AIROLDI L., E BECK M.W. (2007). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 45: 345-405.
- AIROLDI L., BALATA D., E BECK M.W. (2008). The Gray Zone: Relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 366: 8-15.
- BECK M.W., BRUMBAUGH R., AIROLDI L., CARRANZA A., COEN L., CRAWFORD C., DEFEO O., EDGAR G., HANCOCK B., KAY M., LENIHAN H., LUCKENBACH M., TOROPOVA C., E ZHANG G. Shellfish reefs at risk globally and recommendations for ecosystem revitalization. Sottomesso a *BioScience*.
- BENEDETTI-CECCHI L., PANNACCIULLI F., BULLERI F., MOSCHELLA P.S., AIROLDI L., RELINI G., E CINELLI F. (2001). Predicting the consequences of anthropogenic disturbance: large-scale effects of loss of canopy algae on rocky shores. *Marine Ecology Progress Series* 214: 137-150.
- BROOKS T.M., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B., RYLANDS A.B., KONSTANT W.R., FLICK P., PILGRIM J., OLDFIELD S., MAGIN G., E HILTON-TAYLORS C. (2002). Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology* 16: 909-923.

- EEA (1999a). Coastal and marine zones. Chapter 3.14. Environment in the European Union at the Turn of the Century. State of Environment report No 1/1999. Copenhagen: EEA. Disponibile online: <http://reports.eea.eu.int/92-9157-202-0/en> (visitato il 4 Agosto 2006).
- EEA (1999b). State and Pressures of the Marine and Coastal Mediterranean Environment. Environmental Issues Series 5. Luxembourg: OPOCE. Disponibile online: <http://reports.eea.europa.eu/ENVSERIES05/en/envissue05.pdf> (visitato il 4 Agosto 2006).
- EUCC - THE COASTAL UNION (1998). *Posidonia* beds. In Facts & Figures on Europe's Biodiversity: State and Trends 1998-1999, Delbaere B. (Ed.), Technical Report Series, Tilburg: ECNC. Disponibile online: <http://www.coastalguide.org/dune/posidi.html> (visitato il 7 Agosto 2006).
- GRAY J.S. (1997). Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodiversity and Conservation* 6: 153-175.
- GREEN E.P., E SHORT F.T. (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Berkeley: UNEP-WCMC, University of California Press.
- LOTZE H.K., LENIHAN H.S., BOURQUE B.J., BRADBURY R.H., COOKE R.G., KAY M.C., KIDWELL S.M., KIRBY M.X., PETERSON C.H., E JACKSON J.B.C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312: 1806-1809.
- MEINESZ A., LEFEVRE J.R., E ASTIER J.M. (1991). Impact of coastal development on the infralittoral zone along the south eastern Mediterranean shore of continental France. *Marine Pollution Bulletin* 23: 343-347.
- MUNDA I.M. (1993). Changes and degradation of seaweed stands in the Northern Adriatic. *Hydrobiologia* 260/261: 239-253.
- NIVET C., E FRAZIER S. (2004). *A Review of European Wetland Inventory Information*. Almere: RIZA, Evers Litho en Druk.
- THIBAUT T., PINEDO S., TORRAS X., E BALLESTEROS E. (2005). Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Alberes coast (France, North-western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 50: 1472-1489.

LIMITI E POTENZIALITÀ DEGLI APPROCCI NUMERICI NELLA RICOSTRUZIONE E NELLO STUDIO DEI PROCESSI BIOGEOCHIMICI DEL MAR MEDITERRANEO NEL PASSATO

Cosimo Solidoro, Paolo Lazzari, Simone Libralato

Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste (Italia)

e-mail: csolidoro@ogs.trieste.it

Parole chiave: *modello, Mediterraneo, biogeochimica, BFM, ecosistema del passato*

RIASSUNTO

I modelli numerici possono contribuire a ricostruire e comprendere le dinamiche presenti, passate e future degli ecosistemi. Il loro utilizzo, però, è fortemente legato alla disponibilità di informazioni da utilizzare per parametrizzare le interazioni tra il sistema modellato e l'ambiente (non modellato) che circonda il sistema stesso. Queste interazioni tecnicamente sono definite come le condizioni al contorno che forzano le dinamiche del modello. Con questo articolo introduciamo alcune definizioni di base utili per capire che cos'è un modello e che tipo di risultati può dare. Come esempio, parleremo dei modelli biogeochimici, ovvero i modelli dei cicli dei nutrienti attraverso la materia disciolta e particolata nella colonna d'acqua, incluso il plancton. Questo esempio permette di evidenziare potenzialità, requisiti e limiti degli approcci numerici. In particolare sottolineeremo la necessità di disporre di informazioni esterne al modello sia sulle componenti dell'ecosistema marino (come la concentrazione d'azoto o la densità delle popolazioni marine) sia sulle forzanti ambientali (ad esempio temperatura, irradianza, apporto dei fiumi). La prima tipologia di dati serve a calibrare i parametri del modello e verificarne le capacità descrittive. La seconda è necessaria per effettuare previsioni attraverso il modello. Quando si ha a che fare con una ricostruzione modellistica delle dinamiche del passato, queste informazioni esterne – che sono fondamentali – possono essere archiviate o celate in documenti storici e fonti che non sono direttamente accessibili ad uno scienziato naturale tradizionale, ma possono essere recuperate attraverso la cooperazione tra ricercatori di discipline umanistiche ed ecologiche.

INTRODUZIONE

Un modello è una rappresentazione idealizzata di alcuni, selezionati, aspetti della realtà che fornisce un contesto teorico nel quale integrare e ricomporre in un quadro coerente le informazioni fenomenologiche raccolte riguardo un particolare fenomeno. I modelli consentono inoltre di fare previsioni sulla dinamica di un sistema soggetto ad uno scenario,

che può essere riferito sia al passato, sia al presente o al futuro. In questo senso, un modello rappresenta da un lato un momento fondamentale nella formazione di un processo cognitivo, dall'altro la capacità di fare previsioni attendibili cioè il passo conclusivo della comprensione delle dinamiche di un sistema.

Nella definizione di un modello è fondamentale la definizione di "sistema", ovvero la parte di realtà che si vuole analizzare. Questo include la formulazione dell'obiettivo del modello – quali aspetti della realtà esso deve riprodurre, la definizione della scala spaziale e temporale, la scala spaziale e temporale che deve essere risolta per descrivere in modo adeguato queste relazioni, i confini geografici. La definizione del sistema implica anche la definizione delle componenti del sistema che devono essere considerate (l'approssimazione adottata) e quali invece non fanno proprio parte del sistema, ma sono esterne. I fattori esterni al sistema alla fine sono divisi tra non rilevanti, e quindi trascurati, e quelli in grado di influenzare la dinamica di alcune componenti del sistema. Questi ultimi sono considerati forzanti esterne, o condizioni al contorno, e le relazioni tra il sistema e il suo contorno devono essere parametrizzate.

Da queste premesse dovrebbe essere chiaro che non esiste un modello che può essere applicato a tutte le problematiche, e che i diversi modelli sono (o dovrebbero essere) utilizzati per scopi diversi. Al contrario dovrebbero essere – e di solito sono – utilizzati modelli diversi non solo nel caso si tratti – ad esempio – di pesci piuttosto che d'azoto, ma anche se si studiano le dinamiche dell'azoto su diverse scale spaziali (cm vs. km) o temporali (giorni vs. anni). Allo stesso modo un modello costruito a scopi gestionali sarà probabilmente diverso da uno costruito per confrontare gli effetti di forzanti multiple su un certo risultato.

La prima fase della costruzione di un modello è la scelta delle variabili di stato, i parametri che descrivono completamente lo stato del sistema e le sue dinamiche. L'identificazione delle relazioni causali tra variabili di stato, da cui hanno origine i cambiamenti delle variabili temporali e spaziali, viene fatta contemporaneamente. Questa fase equivale all'identificazione di un modello, o schema, concettuale di un processo, e prevede in genere una parametrizzazione del tipo "comparti e frecce" (Figura 1). Lo schema concettuale spiega anche come le forze esterne influenzano la dinamica del sistema.

Ad esempio, se si è interessati a studiare l'eutrofizzazione, ovvero l'aumento della produttività e della materia organica in un corpo d'acqua, a causa di un aumento dell'input esterno di fertilizzanti, il sistema sarà il corpo d'acqua, e il suo stato sarà descritto dalla concentrazione delle sostanze che consideriamo essere i fertilizzanti più importanti (in genere azoto e/o fosforo e le loro forme inorganiche disciolte), dagli organismi fotosintetici in grado di produrre materiale organico, generalmente plancton e macrofite, e possibilmente dagli organismi erbivori che si nutrono di organismi fotosintetici e dai carnivori che predano gli erbivori. Poi ci dovrebbe essere un "comparto" per il detrito, che rappresenta la materia organica morta, escrezioni e altro materiale organico particolato non vivente, e se possibile anche un comparto per il sedimento superficiale, dove si accumula il detrito che si deposita sul fondo. Al di fuori del sistema, ma essenziali per il sistema stesso, ci saranno l'irradianza solare, che fornisce il flusso di fotoni che sostiene l'attività fotosintetica, i parametri meteorologici che determinano la temperatura dell'acqua, e l'apporto esterno di fertilizzanti. L'andamento temporale di questi parametri è totalmente indipendente dalle dinamiche del sistema, e può quindi essere

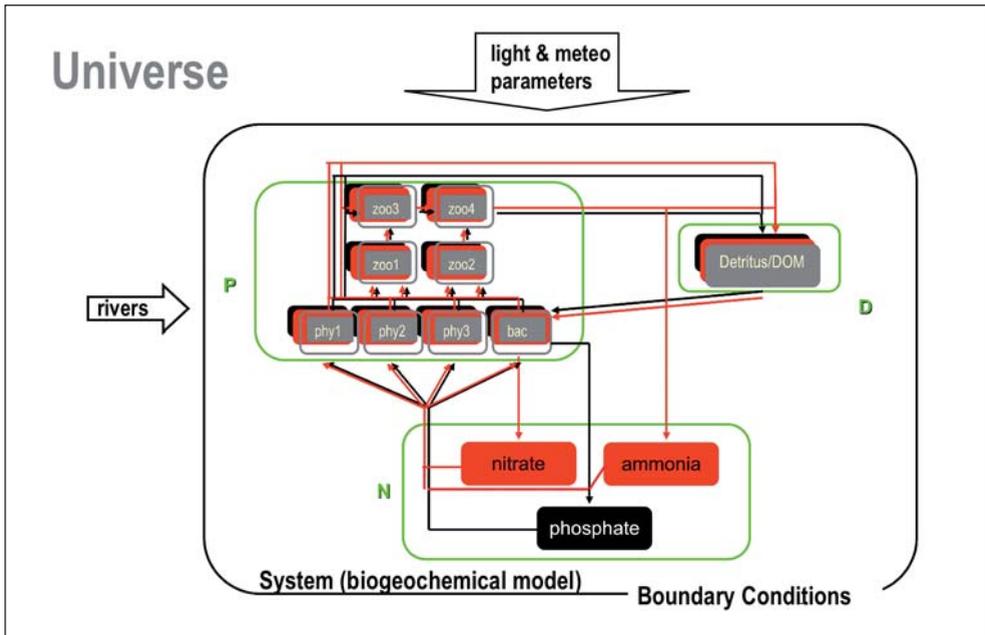


Figura 1. Schema di un modello che include il modulo biogeochimico e le forzanti ambientali (luce, parametri meteorologici e fiumi). Sono inclusi due cicli di trasformazione della materia, uno per l'azoto (rosso) e uno per il fosforo (nero). Le frecce rappresentano i flussi di materia. Le fasi dei cicli sono raggruppate in tre scatole verdi: azoto [N], plancton [P] e materia organica residuale [D]. Nel riquadro del plancton sono inclusi fitoplancton [phy], zooplancton [zoo] e batteri [bac]. DOM = Materia Organica Disciolta.

escluso dalla definizione del sistema, ma deve essere considerato – e definito – come forzante esterna.

Va sottolineato che nel caso in cui si fosse interessati al clima e non all'eutrofizzazione, il sistema da considerare sarebbe stato più ampio e avrebbe incluso la massa d'acqua e l'atmosfera sopra di essa, e in questo caso i parametri meteorologici non sarebbero più stati forzanti esterne ma variabili di stato del modello.

Bisogna inoltre sottolineare che in questa prima approssimazione di un modello per l'eutrofizzazione non sono considerati i pesci, così come le differenze tra diverse specie di fitoplancton e zooplankton. Questo non significa che essi non siano parte della realtà, e tanto meno che lo studio della tassonomia non sia una parte importante della scienza. Al contrario, nessuna concettualizzazione della realtà può prescindere dalla descrizione delle specie presenti in un sistema e dalla loro fisiologia. Ma, trattandosi di una concettualizzazione, un modello non può basarsi solo su un approccio riduzionista e settoriale, che riconduce l'essenza di un sistema alla somma del maggior numero di dettagli dei suoi componenti, quali tutti i dettagli su tutte le specie. Viceversa esso deve essere informato da un approccio olistico e sistemico, in cui vengono selezionati solo alcuni aspetti di alcune componenti del sistema, assumendo che ne descrivano le caratteristiche essenziali, dato

un obiettivo e un livello di approssimazione precedentemente definiti, e gli effetti delle restanti componenti sono rappresentati in maniera approssimata. Un modello non può essere complesso come la realtà, e per questo motivo le componenti, gli aspetti, i processi che non sono considerati rilevanti per l'obiettivo del modello e per una determinata scala spazio-temporale sono trascurati. In questo modo ci si può concentrare sulle relazioni tra componenti che rappresentano il nocciolo di un determinato problema e perseguire una prospettiva sistemica e non riduzionista. I modelli, come l'arte, sono la finzione che aiuta a capire la verità.

La realizzazione di un modello concettuale è, di per sé, un traguardo importante, e rappresenta la base di ogni attività modellistica. Tuttavia, senza la quantificazione delle leggi cinetiche che descrivono i flussi (freccie) tra variabili di stato (comparti), la possibilità di comprendere appieno tutti gli aspetti del funzionamento di un sistema è limitata. Ad esempio, se si vuole modellare il fenomeno secondo cui le meduse stanno diventando sempre più comuni mentre i pesci sempre meno abbondanti, dopo aver elaborato uno schema concettuale in cui meduse e pesci competono per una risorsa comune ma sono pescate con intensità diverse, senza una definizione quantitativa delle cinetiche è difficile capire se è più probabile che le meduse siano entrate nel sistema dopo che i pesci erano già stati rimossi dalla pesca, e abbiano quindi rappresentato un ostacolo alla ripresa delle popolazioni ittiche dopo la riduzione dello sforzo di pesca, o se viceversa le meduse siano entrate in un ecosistema non sovrasfruttato e abbiano vinto la competizione con i pesci, determinandone il declino e di conseguenza il declino delle attività di pesca. La valutazione di effetti contrastanti, sinergici e indiretti richiede la capacità di pesare i diversi processi, e quindi la conoscenza quantitativa della dinamica del sistema.

Tradurre lo schema concettuale in relazioni matematiche significa costruire un modello numerico, che può essere utilizzato per fare previsioni e per studiare e analizzare gli stati e il funzionamento presente, passato e futuro di un ecosistema marino.

MODELLI BIOGEOCHIMICI

I modelli "ecologici" marini tipicamente si concentrano sulle dinamiche delle proprietà biogeochimiche, e descrivono i cicli dei principali elementi chimici - come l'azoto, il fosforo e il carbonio - attraverso la sostanza disciolta e particolata nella colonna d'acqua. Nati tradizionalmente come semplici modelli per la "qualità dell'acqua" - in pratica modelli di dispersione e trasformazione di sostanze biodegradabili che consumano ossigeno (Streeter e Phelps, 1925), i modelli del ciclo di nutrienti (Riley, 1965) e quelli di dinamica di popolazione (Lotka, 1925; Volterra, 1926) - i modelli biogeochimici hanno tratto vantaggio dalla crescente capacità di calcolo, e sono oggi in grado di descrivere l'evoluzione nel tempo e nello spazio tridimensionale della distribuzione di diverse componenti dell'ecosistema. Animali di livello trofico elevato, come i pesci, in genere non sono inclusi in questi modelli, dal momento che le dinamiche delle loro popolazioni tipicamente richiedono di concentrarsi su scale spazio-temporali più ampie, e perché alla scala considerata dalle simulazioni biogeochimiche i loro effetti possono essere approssimati da un termine costante, come un'extra-mortalità dello zooplankton e un extra-input di detrito. Recentemente, comunque, sono stati fatti numerosi tentativi per includere anche le dinamiche

delle popolazioni ittiche nei modelli biogeochimici, ottenendo rappresentazioni più complete di un ecosistema. La produttività del plancton, comunque, è alla base della rete trofica marina, e può quindi essere considerata rappresentativa della produttività potenziale di un mare.

I processi biogeochimici sono fortemente dipendenti dalle dinamiche fisiche del mare. Ad esempio, i microrganismi e i nutrienti sono trasportati dalle correnti sia orizzontalmente che lungo la verticale, e in questi movimenti sperimentano diverse condizioni ottiche e termiche. I modelli biogeochimici, quindi, richiedono una descrizione tridimensionale dei principali processi fisici, come ad esempio i processi di mescolamento nella colonna d'acqua determinati da cambiamenti stagionali dei parametri meteorologici, le correnti orizzontali e le celle termoaline tridimensionali.

MODELLO BIOGEOCHIMICO DEL MEDITERRANEO: DAL PRESENTE AL PASSATO

Il modello OPATM-BFM (Lazzari *et al.*, 2010), sviluppato negli ultimi 15 anni grazie a diversi progetti dell'Unione Europea (Crise *et al.*, 1999; Crispi *et al.*, 2001; Lazzari *et al.*, 2010), rappresenta lo stato dell'arte della modellistica del Mediterraneo. È un modello numerico tridimensionale che riproduce la variabilità spaziale di variabili biogeochimiche specifiche, con una risoluzione orizzontale di circa 12 km e una frequenza temporale giornaliera.

Il modello descrive le dinamiche trofodinamiche simulando le relazioni causali tra i principali macronutrienti (azoto, fosforo, carbonio e silicio), tre gruppi di produttori fitoplanctonici, tre gruppi di zooplancton erbivoro e uno di zooplancton carnivoro, detrito, tre tipi di materia organica disciolta (labile, semilabile e refrattaria) ed i batteri pelagici eterotrofi. I dati necessari per il funzionamento del modello sono la distribuzione spazio-temporale dell'irradianza solare a livello del mare, i flussi di evaporazione, il vento alla superficie del mare, e l'apporto di nutrienti inorganici dai fiumi (fosfati, nitrati, silicati). È chiaro che per avere senso tutti questi dati devono essere realistici. A titolo di esempio, quando si simulano condizioni del passato recente i dati atmosferici si possono ottenere da osservazioni satellitari (ECMWF, <http://www.ecmwf.int/>). Il segnale atmosferico è fondamentale perché modula le caratteristiche della colonna d'acqua (mescolata o stratificata) con il ciclo stagionale dei produttori primari e della deposizione di materia organica sul fondo del mare. Inoltre è necessario conoscere la distribuzione dei nutrienti nello spazio e nel tempo, per valutare le dinamiche del sistema nel tempo e – ancora più importante – per definire le condizioni iniziali del modello. Infatti, anche se un modello descrive come cambia un sistema, il punto di partenza della simulazione deve essere definito in anticipo e al di fuori della dinamica del modello. Nel caso di simulazioni modellistiche del passato recente la distribuzione dei nutrienti inorganici è ottenuta come sintesi di misure di campo raccolte nelle ultime decadi da crociere oceanografiche sperimentali (dati disponibili su dataset pubblici come il MEDAR MEDATLAS).

Un confronto con le osservazioni mostra che la capacità di questo modello di descrivere la dinamica biogeochimica attuale è soddisfacente (Lazzari *et al.*, 2010). Va, però, sottolineato in questo contesto che questo risultato deriva fortemente dalla disponibilità di dati di input di buona qualità utilizzati per forzare il modello.

In linea teorica lo stesso modello, o uno simile, potrebbe essere utilizzato per ricostruire

l'evoluzione stagionale delle proprietà biogeochimiche nel passato assumendo – ipotesi verosimile – che non ci siano stati cambiamenti significativi delle principali cinetiche biogeochimiche. Come per le simulazioni presenti, però, è necessario definire le condizioni al contorno. La distribuzione delle forzanti atmosferiche potrebbe essere ricavata da un'analisi di modelli atmosferici sviluppati per ricostruire le condizioni climatiche del passato. Trouet *et al.* (2009) hanno ricostruito gli andamenti di temperatura e precipitazioni nel Mediterraneo dal 1100 al 2000. Ottenere informazioni su nutrienti o microrganismi che rappresentino le condizioni biogeochimiche di vaste aree del Mediterraneo è però più difficile. Infatti il Mediterraneo risponde ad una determinata situazione stazionaria delle condizioni al contorno (apporto dei fiumi, deposizioni atmosferiche, scambi presso lo stretto di Gibilterra) raggiungendo una distribuzione spaziale stazionaria dei nutrienti lungo una scala temporale dell'ordine dei 100 anni. Se consideriamo, quindi, una simulazione relativa al passato remoto, la distribuzione di nutrienti può essere molto diversa da quella attuale, a seconda delle condizioni al contorno di quel periodo e l'identificazione delle condizioni iniziali compatibili con quella dinamica non è triviale. Ci si potrebbe disinteressare dell'incertezza associata alle condizioni iniziali partendo da condizioni definite in maniera arbitraria, e facendo una simulazione sufficientemente lunga da raggiungere lo stato stazionario, che non dipende dalle condizioni iniziali. La ricostruzione delle condizioni al contorno però non è evitabile. Una soluzione possibile è ricostruire gli apporti fluviali e continentali sulla base dell'utilizzo della terra nei bacini imbriferi dei fiumi (pratiche agricole, uso di fertilizzanti, numero di abitanti, numero di animali, etc.), una metodologia che a volte viene utilizzata anche per le stime odierne. È evidente però che è necessario caratterizzare dal punto di vista geografico, sociale e economico le società antiche, e questo richiede conoscenze e specializzazioni che non sono tipiche degli scienziati naturali.

CONCLUSIONI

Storia, antropologia, geografia, economia e molte altre discipline possono fornire un contributo fondamentale – e insostituibile – per la ricostruzione degli stati e della dinamica di componenti importanti degli ecosistemi del passato. Queste informazioni frammentarie possono essere utilizzate, assieme ad informazioni che provengono da discipline naturali – come la paleoecologia o la sedimentologia – e dagli studi climatologici, per forzare i modelli biogeochimici, al fine di rappresentare le dinamiche passate del sistema. L'assunzione che le leggi cinetiche biogeochimiche non siano diverse da quelle presenti, che presuppone l'assenza di adattamenti da parte degli organismi viventi ai cambiamenti ambientali, può essere utilizzata come una prima approssimazione, come viene fatto di solito per ottenere previsioni delle risposte degli ecosistemi al clima del futuro. Al contrario, la presenza di meccanismi adattativi/evolativi può essere prevista e implementata, se necessario, utilizzando la metodologia e le tecniche sviluppate per modellare gli scenari futuri (Solidoro *et al.*, 2010). La simulazione biogeochimica può quindi fornire idee e suggerimenti delle dinamiche stagionali della concentrazione di nutrienti e di plancton nel passato, utili per formulare ipotesi sulla produttività e le proprietà degli habitat marini.

BIBLIOGRAFIA

- CRISE A., ALLEN J.I., BARETTA J., CRISPI G., MOSETTI R., E SOLIDORO C. (1999). The Mediterranean pelagic ecosystem response to physical forcing. *Progress in Oceanography* 44: 219-243.
- CRISPI G., MOSETTI R., SOLIDORO C., E CRISE A. (2001). Nutrient cycling in Mediterranean basins: the role of the biological pump in the trophic regime. *Ecological Modelling* 138: 101-114.
- LAZZARI P., TERUZZI A., SALON S., CAMPAGNA S., CALONACI C., COLELLA S., TONANI M., E CRISE A. (2010). Pre-operational short-term forecasts for the Mediterranean Sea biogeochemistry. *Ocean Science*: 6(1): 25:39.
- SOLIDORO C., COSSARINI G., LIBRALATO S., E SALON S. (2010). Remarks on the redefinition of system boundaries and model parameterization for downscaling experiments. *Progress in Oceanography* 84: 134-137.
- LOTKA A.J. (1925). *Elements of physical biology*. Williams & Wilkins Co (Baltimore). 495 pp.
- RILEY G.A. (1965). A mathematical model of regional variation in plankton. *Limnology and Oceanography* Vol. 10, Supplemento: Alfred C. Redfield 75th Anniversary Volume 202-215.
- STREETER W.H., E PHELPS E.B. (1925). A study of the pollution and natural purification of the Ohio River, *Public Health Bull.* 146, U.S. Public Health Service, Washington D.C. Riley, 1954.
- TROUET V., ESPER J., GRAHAM N.E., BAKER A., SCORSE J.D., E FRANK D.C. (2009). Persistent Positive North Atlantic Oscillation Mode Dominated the Medieval Climate Anomaly. *Science* 324: 78-80.
- VOLTERRA V. (1926). Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. *Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei* 6(2): 31-113.

DAL RISCALDAMENTO GLOBALE A QUELLO LOCALE: IL CASO MEDITERRANEO ATTRAVERSO OSSERVAZIONI DEGLI ULTIMI SECOLI

Vincenzo Artale¹, Salvatore Marullo¹, Rosalia Santoleri²
e-mail: vincenzo.artale@enea.it

Parole chiave: circolazione oceanica, clima Mediterraneo, AMO, circolazione termoalina

RIASSUNTO

Per le sue caratteristiche il Mediterraneo può essere considerato un bacino *hot-spot* per i cambiamenti climatici. I dati sperimentali raccolti relativi a molti decenni mostrano che la circolazione del Mediterraneo ed i processi di formazione di masse d'acqua sono soggetti a cambiamenti e variabilità molto rilevanti. Il Transiente del Mediterraneo Orientale (*Eastern Mediterranean Transient*, EMT), osservato negli anni '90, costituisce un'evidente prova diretta di questa variabilità. L'analisi dei dati osservati provenienti dal database MEDAR/MEDATLAS rilevano come vi siano dei cambiamenti sia nella parte interna del bacino sia nel flusso di acqua Mediterranea nel Golfo di Cadice. Studi recenti condotti in prossimità dello stretto di Gibilterra, ed in particolare a *Camarinal Sill South*, segnalano un riscaldamento ed una salinificazione anomala, dai primi anni 2000 ad oggi, corrispondenti a circa 0.3°C e a circa 0.06, rispettivamente. Durante il ventesimo secolo il Mediterraneo si è riscaldato significativamente sia nelle acque profonde che in quelle superficiali. In questo articolo discutiamo la variabilità delle anomalie della temperatura superficiale media annuale (SSTA) osservata negli ultimi 150 anni, stimata usando diversi dataset. Una caratteristica importante della variabilità dell'SST consiste nel fatto che le sue anomalie hanno lo stesso segno in tutto l'Atlantico settentrionale e seguono l'andamento dell'*Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO). Il seguito di questi studi sarà l'analisi del ruolo del Mediterraneo rispetto alle regioni circostanti, sia nello scenario climatico presente che futuro.

INTRODUZIONE: LA FISICA DELLA CIRCOLAZIONE MEDITERRANEA

Il Mar Mediterraneo è un mare marginale posto alle medie latitudini con una profondità massima di circa 4000 m (per esempio il sub-bacino ionico) e caratterizzato per uno

¹ Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (Enea), Casaccia, Roma (Italia)

² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Roma (Italia)

scambio limitato con l'oceano. Si tratta di un mare semichiuso in cui hanno luogo una vasta gamma di processi fisici e biogeochimici di interesse globale. Le uniche piccole aperture sono il Bosforo in Turchia, che connette il Mediterraneo al mar Nero, e lo stretto di Gibilterra, che lo connette all'Atlantico settentrionale. I flussi limitati fanno sì che le masse d'acqua del Mediterraneo abbiano un ciclo di ricambio di 80-120 anni, a seconda della variabilità dei cicli idrologici, un tempo comunque molto inferiore rispetto al tempo medio di residenza dell'oceano globale, che è dell'ordine di migliaia di anni. Quindi, tutto ciò che fluisce nel Mediterraneo, attraverso il bacino imbrifero dei maggiori fiumi e dai piccoli ruscelli, o anche come *run-off*, risiede nel bacino per diverse decadi. Sul Mediterraneo si affacciano 21 paesi, nella cui area costiera abitano più di 100 milioni di persone, ed è un'area caratterizzata dalla presenza di grandi industrie che fiancheggiano porti e specchi d'acqua. L'inquinamento proveniente da terra è quindi rilevante. Se a questo aggiungiamo l'inquinamento marino generato dalla massiccia industria mercantile, come pure dalla diffusione di specie invasive che hanno spesso generato dei disastri in alcuni suoi ambienti, è facile capire perché il Mediterraneo sia uno dei mari più inquinati nel mondo e vulnerabile ai cambiamenti climatici, tanto che in diversi lavori è definito un "hot spot" [N.d.T.: "Punto caldo", inteso come luogo dove i fenomeni in atto sono particolarmente rilevanti e quindi il loro studio merita estrema attenzione; Giorgi, 2006]. Il Mediterraneo è composto da due sotto-bacini di simili dimensioni, l'occidentale e l'orientale, separati dal poco profondo e stretto Canale di Sicilia (Figura 1). Il Canale di Sicilia ha un ruolo importante per lo scambio di masse d'acqua, e sulle loro proprietà fisiche e biogeochimiche, fra i

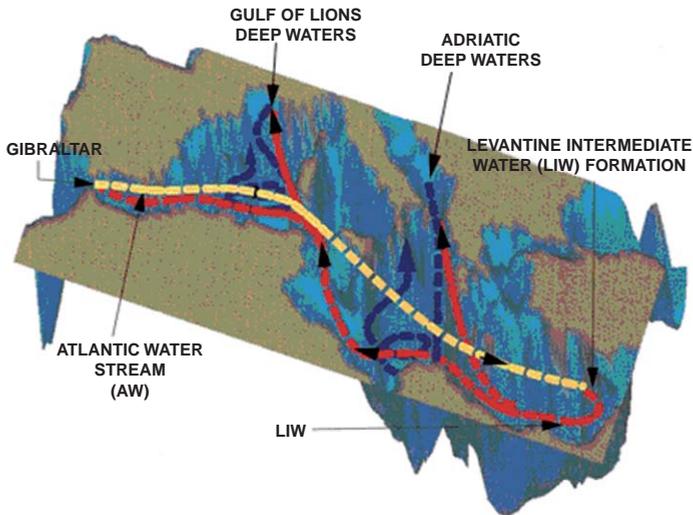


Figura 1. Principali componenti della circolazione mediterranea: in giallo l'acqua atlantica che entra nel Mediterraneo [Modified Atlantic Water, MAW], corrente che dà vita alla circolazione mediterranea; in rosso l'acqua intermedia che si origina presso il ciclone di Rodi e lungo la costa turca; in fine, in blu la traiettoria dell'acqua profonda che si genera nel Golfo del Leone e nell'Adriatico meridionale. Queste traiettorie rappresentano la circolazione termoalina mediterranea (Figura tratta da Pinardi e Mosetti, 2000).

sotto-bacini orientale ed occidentale. La circolazione del Canale è caratterizzata da una corrente superficiale (*Modified Atlantic Water* – MAW, 0-100 m), identificata dal minimo di salinità sempre presente lungo il flusso serpentiforme che entra da ovest per dirigersi verso lo Ionio, formando l'*Atlantic Ionian Stream* (AIS). La corrente più profonda (> 250 m) si chiama *Levantine Intermediate Water* (LIW), identificata da un massimo di salinità, presente tutto l'anno e considerata come una caratteristica tipica della struttura idrologica del Canale (Napolitano *et al.*, 2003). Un altro fondamentale fattore che limita la circolazione mediterranea è lo Stretto di Gibilterra, dove acqua superficiale atlantica relativamente più dolce fluisce nel Mediterraneo, rimpiazzando sia l'acqua evaporata che l'acqua mediterranea più densa e salata che fuoriesce nell'Atlantico. Lo strato d'acqua atlantica entrante ha uno spessore di circa 100-200 m e scorre verso Oriente, cambiando progressivamente le sue proprietà idrologiche, riscaldandosi e diventando più salata a causa dell'interazione aria-mare e del mescolamento con l'acqua superficiale del Mediterraneo, che è più salata (MAW). Nel bacino orientale durante l'inverno si forma la LIW che è relativamente più calda e salata. Questa massa d'acqua circola sia attraverso il bacino orientale che occidentale in una modalità generalmente ciclonica, si mescola con altre masse d'acqua e alla fine raggiunge l'oceano Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra. La LIW di solito è osservata fra 200 e 800 m di profondità. L'acqua profonda nel Mediterraneo si forma in diversi siti: nel Golfo del Leone (bacino occidentale), nell'Adriatico meridionale, nel bacino levantino nord-orientale e nell'Egeo (Roether *et al.*, 1996), dove negli anni '90 è stata osservata una produzione anomala di acqua profonda (*Eastern Mediterranean Transient* - EMT). I recenti miglioramenti nella comprensione della circolazione mediterranea sono dovuti sia a programmi sperimentali che a lavori di modellistica. La circolazione del bacino è caratterizzata dalla presenza di vortici a livello di sotto-bacino, elevata variabilità a mesoscala ed un forte segnale stagionale. Si osserva anche una certa variabilità interannuale, dovuta principalmente alla variabilità interannuale della forzante atmosferica. Una rappresentazione della circolazione generale del bacino occidentale basata su dati sperimentali può essere trovata in Send *et al.* (1999), mentre per il bacino orientale si consulti POEM Group (1992) e Malanotte-Rizzoli *et al.* (1999). Sono stati realizzati diversi studi numerici sulla circolazione generale del bacino. I risultati dei modelli numerici regionali di Roussenov *et al.* (2005) e Artale *et al.* (2002) sono in buono accordo con le caratteristiche note della circolazione generale del bacino. Negli ultimi venti anni sono stati sviluppati diversi Modelli Climatici Regionali (*Regional Climate Models* - RCM) per l'area mediterranea, allo scopo di risolvere, rispetto ai modelli climatici globali, i fenomeni fisici a scala locale e produrre informazioni a scala fine in merito ai cambiamenti climatici a livello regionale, utili per la relativa valutazione dell'impatto e studi di adattamento (Artale *et al.*, 2009).

IMPORTANZA DEL *MEDITERRANEAN OVERFLOW WATER (MOW)* PER LA CIRCOLAZIONE OCEANICA GLOBALE

Attualmente il Mediterraneo produce delle acque dense, calde e salate rispetto a quelle del Nord Atlantico che fluiscono attraverso Gibilterra nell'Atlantico settentrionale. Il flusso è di circa 1 Sv di acqua, che può essere oltre 5°C più calda dell'acqua nord-atlantica alla

stessa latitudine e profondità, e più salata di oltre 1 psu. Dopo essersi rimescolata con le masse d'acqua circostanti, la MOW si stabilizza a circa 1000 m di profondità (Reid, 1979).

La diffusione dell'anomalia di salinità associata alla presenza della MOW è stata oggetto di molta attenzione in passato, ma rimangono ancora grandi incertezze. Un contributo alla salinità media dell'oceano equivalente a quello della MOW sarebbe ottenuto applicando all'Atlantico settentrionale l'evaporazione netta osservata nel Mediterraneo. Le attuali stime del bilancio d'acqua dolce dell'Atlantico settentrionale sono piuttosto incerte, variando da 0.2 a 0.8 Sv di perdita netta, a Nord di 30° S. La corrispondente stima del deficit d'acqua mediterranea varia da 378 a 950 mm/anno, quindi ha un grande errore associato (Mariotti *et al.*, 2002). Assumendo un'area di $2.5 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$, questi valori corrispondono a 0.03-0.08 Sv di evaporazione netta. Quindi il contributo del flusso di acqua in uscita dal Mediterraneo al bilancio di acqua dolce dell'Atlantico settentrionale può essere stimato attualmente fra il 4 ed il 40%. Questa grande incertezza è impressionante, e significa che non conosciamo con precisione una delle caratteristiche più importanti del sistema climatico, ovvero il bilancio idrologico dell'Atlantico settentrionale (Rahmstorf, 1996).

L'Atlantico settentrionale e il Mediterraneo possono quindi essere visti come un sistema unico, le cui dinamiche "interne", regolate dagli scambi allo Stretto di Gibilterra, sono ancora piuttosto sconosciute. Artale *et al.* (2002) e Calmanti *et al.* (2006), usando i risultati ottenuti da un gruppo di modelli oceanici numerici, hanno studiato la diffusione della MOW nell'Atlantico settentrionale e il suo potenziale contributo alla variabilità della circolazione meridionale dell'oceano in generale e dell'Atlantico settentrionale in particolare.

CAMBIAMENTO, ANDAMENTI E VARIABILITÀ DELLE MASSE D'ACQUA MEDITERRANEE

Tendenze e variabilità della SST mediterranea negli ultimi 150 anni

In questo paragrafo analizziamo la lunga serie storica di dati della SST del Mediterraneo. L'anomalia della temperatura superficiale annuale (SSTA) durante gli ultimi 100-150 anni può essere stimata usando diversi dataset. Fra i molti, quelli maggiormente usati sono il dataset dell'*Extended Reconstructed SST* (ERSST.v3), dal 1854 ad oggi (serie temporali mensili a 2°C di risoluzione) ed il dataset dell'*Hadley Centre Sea Ice* e il *Sea Surface Temperature dataset* (HadISST), dal 1870 ad oggi (serie temporali mensili a 1°C di risoluzione) (Rayner *et al.*, 2003).

La Figura 2 mostra il risultato dell'analisi della SST, la cui peculiarità è rappresentata dalla presenza anche in Mediterraneo di un periodo di circa 70 anni simile all'AMO (*Atlantic Multidecadal Oscillation*), fenomeno di solito osservato solo nell'oceano Atlantico. Le fasi calde (anomalie positive rispetto alla media 1971-2000) si sono verificate nei periodi 1860-1880, 1925-1970 e dal 1985 ad oggi, mentre le fasi fredde si sono verificate nei periodi 1880-1925, 1970-1985 e presumibilmente prima del 1860. È noto che l'AMO fu definito per la prima volta da Enfield *et al.* (2001) come le anomalie della SST (cui è stato sottratto la *trend*) mediate sull'Atlantico settentrionale da 0 a 70° N. Ciò ha permesso di identificare un importante tipo di variabilità su scala multidecennale, con un ciclo

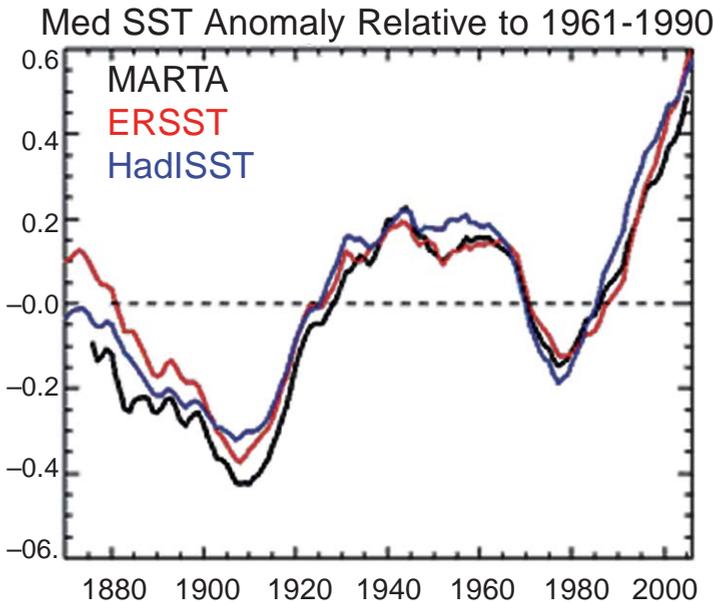


Figura 2. Comportamento della SST mediterranea dal 1854 ad oggi, secondo un'elaborazione basata su tre diversi dataset (Marullo *et al.*, 2009).

di circa 70 anni. Fra i vari fenomeni climatici, l'AMO è quello che negli ultimi tempi ha ricevuto maggiore attenzione ed è stato identificato come un importante elemento di variabilità a causa del suo ruolo chiave sulla variabilità climatica a scala lunga come quella analizzata in questo lavoro.

Inoltre, l'analisi spettrale evidenzia 5 picchi che soddisfano il test di rilevamento armonico al 90% e che sono significativi anche rispetto al rumore rosso nello spettro. In aggiunta la banda di bassa frequenza che mostra il picco a 73 anni riferito all'AMO, include anche 4 alte frequenze che hanno il picco a 6.3, 3.9, 2.8 e 2.2 anni. I picchi di alta frequenza sono molto vicini alla scala preferita di variabilità quasi-biennale e di bassa frequenza dell'*El Niño Southern Oscillation (ENSO)*.

Cambiamento delle caratteristiche fisiche mediterranee negli ultimi 50 anni ed il loro impatto nell'Atlantico settentrionale

Se consideriamo gli ultimi 50 anni sono disponibili più dati per l'intera colonna d'acqua, quasi regolarmente distribuiti nello spazio e nel tempo in tutto il Mediterraneo. Quindi, usando questi dataset possiamo ottenere risultati più attendibili e robusti. Molti lavori hanno segnalato il rilevante riscaldamento della superficie (Marullo *et al.*, 2009) e dello strato intermedio, ma soprattutto la tendenza al riscaldamento dello strato d'acqua profondo (Rixen *et al.*, 2005). In particolare nel Mediterraneo occidentale il contenuto termico e salino sono aumentati quasi regolarmente durante gli ultimi 50 anni, con possibili contributi dovuti all'effetto serra, quali il decremento delle precipitazioni dagli anni '40 (Bethoux *et al.*, 1998) con le riduzioni del flusso di acqua dolce indotte dall'uomo per motivi

agricoli (Rohling e Bryden, 1992). L'osservato aumento della temperatura e della salinità della *LW* ($6.8 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C anno}^{-1}$, $1.8 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C anno}^{-1}$) è di circa 2 volte la tendenza osservata negli strati profondi ($3.6 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C anno}^{-1}$, $1.1 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C anno}^{-1}$), che sono anche sovrapposti alla forte variabilità interannuale spiegata dalle variazioni annuali della *Western Mediterranean Deep Water (WMDW)* appena formata.

È importante notare che questo riscaldamento è non solo una caratteristica peculiare del Mediterraneo, ma è anche osservato sulla scala globale. Sul periodo 1961-2003 la temperatura dell'oceano globale è aumentata di 0.10°C dalla superficie alla profondità di 700 m, dove è immagazzinata i 2/3 dell'energia assorbita dall'intera colonna d'acqua (Levitus *et al.*, 2005). Polyakov *et al.* (2005) hanno osservato che una variabilità multidecennale sulle scale di 50, 80 anni è prevalente nei 3000 m superiori dell'Atlantico settentrionale ed è stata osservata una generale tendenza al riscaldamento di 0.12°C per decade sugli ultimi 55 anni. Questo valore è più grande di quello osservato sulla scala globale nel periodo 1961-2003. Inoltre, da una completa ri-analisi delle sezioni idrografiche acquisite dal 1920 fino agli anni '90, realizzata al fine di studiare il riscaldamento dello strato intermedio, inclusa la *MOW*, nell'Atlantico settentrionale, si evidenzia che i maggiori cambiamenti statisticamente significativi avvengono sulle superfici di pressione tra i 1000 e i 2000 decibars (dbars). In questo intervallo di pressione e per latitudini fra 32 e 36° N , le temperature sono salite di 0.5°C per secolo. Studi sui cambiamenti di lungo termine nelle sezioni idrografiche dell'Atlantico sub-tropicale hanno rilevato un massimo riscaldamento vicino alla base del termocline, situato a 1000-1200 m (Potter e Lozier, 2004).

Inoltre, guardando al contributo delle acque mediterranee sul riscaldamento dell'Atlantico settentrionale, recentemente Gonzales-Pola *et al.* (2005) hanno focalizzato la loro attenzione sull'evoluzione delle masse d'acqua intermedie, corrispondente al ramo nord-orientale del *MOW*, lungo la sponda Sud-orientale del Golfo di Biscaglia nel periodo 1992-2003. Essi trovano una tendenza al riscaldamento di 0.02°C ed un aumento della salinità di 0.005 per anno, concludendo che questa area si è riscaldata durante l'ultima decade a tassi da 2 a 6 volte più alti di quelli osservati nell'Atlantico durante l'ultimo secolo. Inoltre, in due recenti lavori di Millot *et al.* (2006), riguardanti l'analisi dei dati entro lo Stretto di Gibilterra, ed in particolare alla *Camarinal Sill* meridionale, evidenziano un'anomalia nel riscaldamento e salinificazione, dai primi anni 2000 al 2008, corrispondenti a circa 0.3°C e a circa 0.06, rispettivamente. Questo riscaldamento è osservabile chiaramente nel Golfo di Cadice, dove sono stati trovati cambiamenti nelle proprietà dell'acqua del flusso *MOW*, con un valore medio di $0.16 \text{ }^\circ\text{C}/\text{decennio}$ e $0.05/\text{decennio}$ nella salinità sugli ultimi 50 anni (Figura 3 e Fusco *et al.*, 2008).

CONCLUSIONI

Il Mediterraneo, così come l'oceano globale, stanno manifestando una rilevante tendenza al riscaldamento. La peculiarità di questo bacino mette a rischio il proprio sistema biogeochimico, rendendolo un *hot-spot* per il futuro cambiamento climatico (Giorgi, 2006; Bindoff *et al.*, 2007). Anche dall'analisi delle caratteristiche delle masse d'acqua dell'Atlantico settentrionale, ed in particolare da quelle influenzate dalla diffusione dell'acqua me-

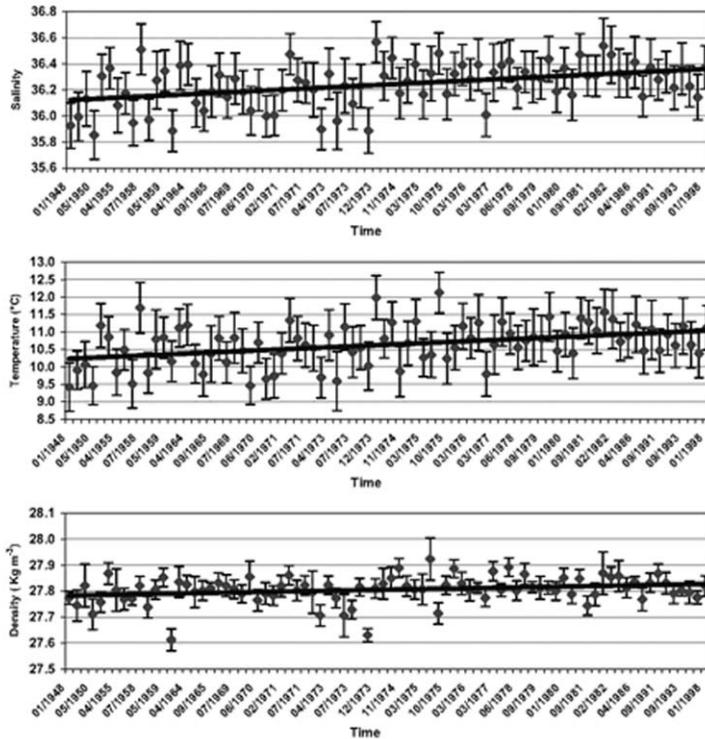


Figura 3. Andamento della salinità, temperatura e densità della MOW a 1200 m nel Golfo di Cadice [Fusco *et al.*, 2008].

diterranea, possiamo indirettamente dedurre che all'interno del bacino Mediterraneo è in corso un forte riscaldamento.

Inoltre se consideriamo l'Atlantico settentrionale ed il Mediterraneo [Artale *et al.*, 2006] come un unico sistema oceanico, allora i processi fisici all'interno dello Stretto di Gibilterra giocano un ruolo chiave per determinare lo scambio di acqua dolce e salata fra mari marginali e l'oceano aperto. In particolare essi determinano, oltre alle caratteristiche idrologiche dei traccianti dei flussi di entrata ed uscita, il ritardo nell'immettere le anomalie di temperatura o sale all'interno della circolazione dell'Atlantico settentrionale, introducendo un fondamentale fattore di controllo. Infatti, è ben noto che il MOW è una delle masse d'acqua di tipo intermedio, osservata fra 800 e 1200 m nell'Atlantico settentrionale, composto da una mescolanza di LW e di acque profonde prodotte all'interno del bacino mediterraneo, che fluisce nell'Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra, con uno scambio volumetrico medio di circa 1 Sv. Ad ogni modo, in accordo con studi precedenti (e.g., Rahmstorf, 1998), l'impatto di questa acqua sull'intensità della circolazione termoclina atlantica è relativamente piccola; tuttavia Artale *et al.* (2002 e 2006) dimostrano che l'avezione di acqua intermedia MOW nell'Atlantico settentrionale contribuisce alla variabilità dell'intera circolazione termoalina (*Thermohaline Circulation, THC*) del Nord-Atlantico.

In conclusione, il Mediterraneo non è un bacino oceanico isolato, ma è un importante componente della circolazione Nord-Atlantica; questo approccio facilita la spiegazione del diverso comportamento della *SST* negli ultimi decenni e anche la distribuzione zonale e meridionale dell'*AMO*.

Infine, l'*SST* mediterranea relativamente all'*AMO* dovrebbe essere considerata nelle future proiezioni climatiche di breve scala come proxy di un meccanismo che, dipendendo dal suo comportamento, può agire sia costruttivamente che distruttivamente verso la risposta della regione all'influenza antropogenica, amplificando temporaneamente o mitigando il cambiamento regionale climatico. Per esempio, nella tendenza relativa al periodo 1980-2009 (si veda la Figura 2) sembra che l'*AMO* stia amplificando l'influenza antropica sul clima.

BIBLIOGRAFIA

- ARBIC B.K., E OWENS W.B. (2001). Climatic warming of Atlantic intermediate waters. *Journal of Climate* 14(20): 4091–4108.
- ARTALE V., CALMANTI S., E SUTERA A. (2002). North Atlantic THC sensitivity to Mediterranean waters. *Tellus - Series A*, 54(2): 159-174.
- ARTALE V., IUDICONE D., SANTOLERI R., RUPOLO V., MARULLO S., E D'ORTENZIO F. (2002). Role of surface fluxes in ocean general circulation models using satellite sea surface temperature: Validation of and sensitivity to the forcing frequency of the Mediterranean thermohaline circulation. *Journal of Geophysical Research* 107: C8.
- ARTALE V., CALMANTI S., MALANOTTE-RIZZOLI P., PISACANE G., RUPOLO V., E TSIMPLIS M. (2006). The Atlantic and Mediterranean Sea as connected systems. In *Mediterranean climate variability*, Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., e Boscolo R. (Ed.). Elsevier (Amsterdam). pp. 283-323.
- ARTALE V., CALMANTI S., CARILLO A., DELL'AGUILA A., HERRMANN M., PISACANE G., RUTI P.M., SAN NINO G., STRUGLIA M.V., GIORGI F., BI X., PAL J.S., E RAUSCHER S. (2009). An atmosphere-ocean regional climate model for the Mediterranean area: assessment of a present climate simulation. *Climate Dynamics* 35(5): 721-740.
- BETHOUX J.P., GENTILI B., RAUNET J., E TAILLIEZ J. (1990). Warming trend in the Western Mediterranean Deep Water. *Nature* 347: 660-662.
- BÉTHOUX J.P., GENTILI B., E TAILLIEZ D. (1998). Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect. *Geophysical Research Letters* 25: 1023–1026.
- BINDOFF N., WILLEBRAND J., ARTALE V., CAZENAVE A., GREGORY J., GULEV S., HANAWA K., LE QUERE C., LEVITUS S., NOJIRI Y., SHUM C.K., TALLEY L., E UNNIKISHNAN A. (2007). Observations: oceanic climate change and sea level. *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contributo del "Working Group I" al "Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change"*, Solomon S. (Ed.). Cambridge University Press (New York).
- CALMANTI S., ARTALE V., E SUTERA A. (2006). North Atlantic MOC variability and the Mediterranean outflow: a box-model study. *Tellus* 58A: 416-423.

- CURRY R., DICKSON B., E YASHAYAEV I. (2003). A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades. *Letters to Nature* 426: 826–829.
- ENFIELD D.B., MESTAS-NUÑEZ A.M., E TRIMBLE P.J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental US. *Geophysical Research Letters* 28: 2077–2080.
- FUSCO G., ARTALE V., E COTRONEO Y. (2008). Thermohaline variability of Mediterranean Water in the Gulf of Cadiz over the last decades (1948-1999). *Deep-Sea Research I* 55: 1624–1638.
- GIORGI F. (2006). Climate change Hot-Spots. *Geophysical Research Letters* 33: L08707.
- LEVITUS S., ANTONOV J.I., E BOYER T.P. (2005). Warming of the World Ocean, 1955-2003. *Geophysical Research Letters* 32: L02604.
- MALANOTTE-RIZZOLI P., MANCA B.B., RIBERA D'ALCALÀ M., TEOCHARIS A., BRENNER S., BUDILLON G., E OSZOY E. (1999). The eastern Mediterranean in the 80's and in the 90's: the big transition in the intermediate and deep circulations. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 29: 365–395.
- MARIOTTI A., STRUGLIA M.V., ZENG N., E LAU K.M. (2002). The hydrological cycle in the Mediterranean region and implications for the water budget of the Mediterranean Sea. *Journal of Climate* 15: 1674–1690.
- MARULLO S., BUONGIORNO NARDELLI B., GUARRACINO M., E SANTOLERI R. (2007). Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation. *Ocean Science* 3: 299–310.
- MARULLO S., ARTALE V., E SANTOLERI R. (2009). The SST multidecadal variability in the Atlantic-Mediterranean region and its relation to AMO. Work in progress.
- MILLOT C., FUDA J.L., CANDELA J., E TBER Y. (2006). Large warming and salinification of the Mediterranean outflow due to changes in its composition. *Deep-Sea Research I* 53: 656–666.
- NAPOLITANO E., SANNINO G., ARTALE V., E MARULLO S. (2003). Modelling the baroclinic circulation in the area of the Sicily Channel: the role of stratification and energy diagnostics. *Journal of Geophysical Research* 108(C7): 3230.
- PINARDI N., E MASETTI E. (2000). Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 158: 153–173.
- POEM GROUP (1992). General circulation of the eastern Mediterranean. *Earth Science Reviews* 32: 285–309.
- POLYAKOV I.V. ET AL. (2005). One more step toward a warmer Arctic. *Geophysical Research Letters* 32 L17605.
- POTTER R.A., E LOZIER M.S. (2004). On the warming and salinification of the Mediterranean outflow waters in the North Atlantic. *Geophysical Research Letters* 31(1): L01202.
- RAHMSTORF S. (1996). On the freshwater forcing and transport of the Atlantic thermohaline circulation. *Climate Dynamics* 12: 799–811.
- RAHMSTORF S. (1998). Influence of Mediterranean Outflow on climate. *Eos* 79: 281–282.
- RAYNER N.A., PARKER D.E., HORTON E.B., FOLLAND C.K., ALEXANDER L.V., ROWELL D.P., KENT E.C., E KAPLAN A. (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research* 108(D14): 4407.

- REID J.L. (1979). On the contribution of the Mediterranean sea outflow to the Norwegian Greenland sea. *Deep-Sea Research, Part A: Oceanographic Research Papers*, 26(11 A Pt A): 1199–1223.
- RIXEN M., BECKERS J.M., LEVITUS S., ANTONOV J., BOYER T., MAILLARD C., FICHAUT M., BALOPOULOS E., IONA S., DOOLEY H., GARCIA M.J., MANCA B., GIORGETTI A., MANZELLA G., MIKHAILOV N., PINARDI N., E ZAVATARELLI M. (2005). The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change. *Geophysical Research Letters* 32 L12608.
- ROETHER W.B, MANCA B., KLEIN B., BREGANT D., GEORGOPULOS D., BEITZEL V., KOVACEVIC V., E LUCCHETTA A. (1996). Recent changes in the Eastern Mediterranean deep waters. *Science* 271: 333-335.
- ROHLING E.J., E BRYDEN H.L. (1992). Man-induced salinity and temperature increases in the Western Mediterranean deep water. *Journal of Geophysical Research* 97(C7): 11191–11198.
- ROUSSENOV V, STANEV E., ARTALE V., E PINARDI N. (1995). A seasonal model of the Mediterranean Sea General Circulation. *Journal of Geophysical Research* 100(C7), 13515-13538.
- SEND U., FONT J., KRAHMANN G., MILLOT C., RHEIN M., E TINTORE V. (1999). Recent advances in observing the physical oceanography of the western Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography* 44: 37– 64.
- STRUGLIA M.V., MARIOTTI A., E FILOGRASSO A. (2004). River discharge into the Mediterranean sea: Climatology and aspects of the observed variability. *Journal of Climate* 17: 4740-4751.

IL CLIMA DEL MEDITERRANEO NELL'ULTIMO MILLENNIO

Dario Camuffo e Chiara Bertolin

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Padova (Italia)

e-mail: d.camuffo@isac.cnr.it

Parole chiave: osservazioni strumentali, fonti documentarie, fonti pittoriche, "dati proxy", innalzamento del mare

RIASSUNTO

Viene presentato l'inizio delle prime osservazioni strumentali affidabili nell'ambito Galileiano dell'Accademia del Cimento. Le prime osservazioni regolari di temperatura partono dal 1654 e giungono fino ad oggi, mentre quelle di precipitazione di cui disponiamo dal 1716. Per le zone ed i periodi non coperti da osservazioni strumentali, la ricostruzione del Clima avviene tramite dati indiretti (*proxy*), di diversa natura. Questo lavoro considera *proxy* da fonte documentaria scritta (archivistica o narrativa); pittorica nel caso specifico del livello del mare a Venezia utilizzando quadri di Veronese, Canaletto e Bellotto basati sull'utilizzo della camera oscura; infine sulla dendroclimatologia. Le lunghe serie di osservazioni strumentali mostrano che la temperatura e la precipitazione nel bacino del Mediterraneo sono sempre state caratterizzate da oscillazioni di vario periodo e che queste hanno cambiato più volte fase fra loro. Anche la correlazione tra la scala Mediterranea e quella globale ha cambiato più volte di segno mentre ora permane correlata positivamente da 60 anni. Nel Mediterraneo le oscillazioni di temperatura e precipitazione hanno avuto ampiezza variabile talvolta non inferiore a quella attuale lasciando aperta ogni ipotesi sulla possibile evoluzione futura.

LE OSSERVAZIONI STRUMENTALI

Le prime osservazioni meteorologiche strumentali affidabili nascono nell'ambiente culturale dell'Accademia del Cimento a Firenze, sulla scia dello spirito innovativo lanciato da Galileo. Il primo termometro utile per rilevazioni scientifiche è stato il termometro ad alcol noto come "piccolo termometro Fiorentino" inventato nel 1641. Le prime osservazioni regolari, intervallate di poche ore l'una dall'altra, vennero condotte a partire dal 1654 e terminarono nel 1670 per l'intervento dell'Inquisizione. Questo causò una grave lacuna sino al 1716 in cui le misure meteorologiche non vennero più considerate all'indice e da allora continuano ininterrottamente le osservazioni giornaliere di temperatura e precipitazione in varie località in Europa. Le serie raccolte abbisognano di un lungo e attento lavoro per conoscere il tipo di strumento, la metodologia osservativa, la posizione, l'esposizione e l'orario di lettura per va-

lutare gli errori da questi derivanti, rivedere e correggere le serie di dati, anche dal confronto tra le varie serie esistenti. Le serie vengono espresse in termini di anomalia (differenza rispetto al corrispondente valore medio nel periodo 1961-1990). Questo permette di ridurre specifiche influenze locali e di ottenere serie complete anche nel caso di osservazioni fatte a una o più ore specifiche, facendo il confronto con le stesse ore del periodo recente. Su questa base si possono ottenere serie plurisecolari locali e medie rappresentative di territori più vasti purché dotati di buona documentazione. Su questa base si sono ricostruite serie di temperatura e di precipitazione per specifiche località (es., Padova, Bologna, Firenze, Val-lombrosa, Palermo), per il nord-centro e sud Italia e per il settore nord occidentale del bacino Mediterraneo (Portogallo, Spagna, Francia, Italia). Sfortunatamente il settore orientale è più povero di dati affidabili, anche se è in corso un enorme sforzo per recuperare e rendere disponibili i dati strumentali esistenti sulla costa slava ed in Grecia. La penisola Anatolica ed il nord Africa hanno invece serie frammentarie e disomogenee.

Si vuole sottolineare il fatto che in questo contesto è assolutamente necessario disporre di dati di alta qualità in quanto il segnale deve superare il rumore fornito dalle varie forme di incertezze (Brohan *et al.*, 2006; Knight *et al.*, 2009). Basti pensare che il riscaldamento climatico dal 1850 ad oggi ammonta a circa 0.6°C ed il solo errore dovuto alla capannina meteorologica in Italia è stato valutato dall'Aeronautica Militare italiana essere $+1.5^{\circ}\text{C}$ nelle ore di insolazione con bassa ventilazione e di -0.5°C nelle notti serene (Cicala, 1970) mentre la WMO ha valutato che in casi estremi può raggiungere $+2.5^{\circ}\text{C}$ and -0.5°C (WMO, 1983).

DATI INDIRETTI (*PROXY*)

Per le zone ad insufficiente o inadeguata copertura strumentale, l'unica possibilità è quella di ricorrere ai dati indiretti (*proxy*). Il termine "*proxy*" è derivato dalla contrazione del termine anglo-francese "*procuracie*", a sua volta ripreso dal Latino Medievale "*procuratio*" (amministrazione) e significa "dato per procura" vale a dire un'osservazione indiretta di una variabile naturale o generata dall'uomo che sostituisce "per procura" una certa variabile meteorologica. Possono essere considerate "osservazioni indirette, dedotte da altre variabili" di cui si suppone di conoscere una precisa dipendenza dalla variabile in questione. Nel caso di variabilità univoca e da un'unica variabile la trasformazione è abbastanza semplice e affidabile; nel caso di variabilità bi- o pluri-univoca o di dipendenza da più variabili la trasformazione risulta incerta e poco affidabile (Camuffo *et al.*, 2010a).

Le osservazioni "*proxy*" sono le uniche possibili in assenza di osservazioni strumentali dirette. In questo lavoro sono state usate per ricostruire il clima del bacino del Mediterraneo nell'ultimo millennio. A questo scopo sono stati usati tre tipi di *proxies*: documentari da fonte scritta, da fonte pittorica e dendroclimatici.

Proxy da fonte scritta

Possiamo distinguere i dati documentari da fonte scritta secondo la natura amministrativa o narrativa del documento. Per fonte amministrativa si intende l'insieme dei documenti generati da funzionari pubblici incaricati di riportare informazioni precise su eventi specifici di cui dovevano rendicontare nel modo più oggettivo possibile. Fonti narrative danno la descrizione di eventi sulla base di testimonianze dirette o indirette. Le testimonianze indirette sono meno

Il Clima del Mediterraneo nell'ultimo millennio

affidabili di quelle dirette. Fattori culturali, sociali e soggettivi influiscono o possono influire sulla valutazione della gravità dell'evento per cui diviene necessario valutare sia l'affidabilità dell'autore che quella della descrizione del fenomeno in oggetto. Gli eventi descritti permettono la valutazione di massima della temperatura, della piovosità o di altre variabili ambientali in un certo territorio ed in un certo periodo. Questa valutazione viene trasformata in un indice numerico da +3 a -3 dove l'estremo +3 corrisponde ad un eccesso positivo estremamente raro e -3 a quello negativo altrettanto raro, mentre l'indice 0 corrisponde alla situazione usuale ai tempi delle testimonianze. Supponendo che nei tempi antichi ed in quelli moderni la variabilità dei parametri ambientali sia rimasta sostanzialmente invariata, ed imponendo che la deviazione standard trovata negli indici corrisponda a quella osservata oggi nei dati strumentali di temperatura o di precipitazione, è possibile trasformare i valori numerici degli indici in stime della stessa variabile ma in unità moderne, vale a dire in °C o mm di precipitazione. Nel caso di un periodo comune di sovrapposizione tra dati *proxy* e osservazioni strumentali è possibile valutare dal confronto quanto accurate siano queste assunzioni.

Uno dei risultati più importanti di questo studio è la serie combinata di dati strumentali e *proxy* d'archivio per la temperatura in Italia. Si porta ad esempio in Figura 1 la ricostruzione della temperatura degli inverni dall'anno 1000 ad oggi.

Proxy da fonte pittorica

I dati documentari da fonte pittorica sono in genere molto soggettivi. Si è avuta un'importante eccezione nel caso di Venezia per quanto riguarda una valutazione della crescita

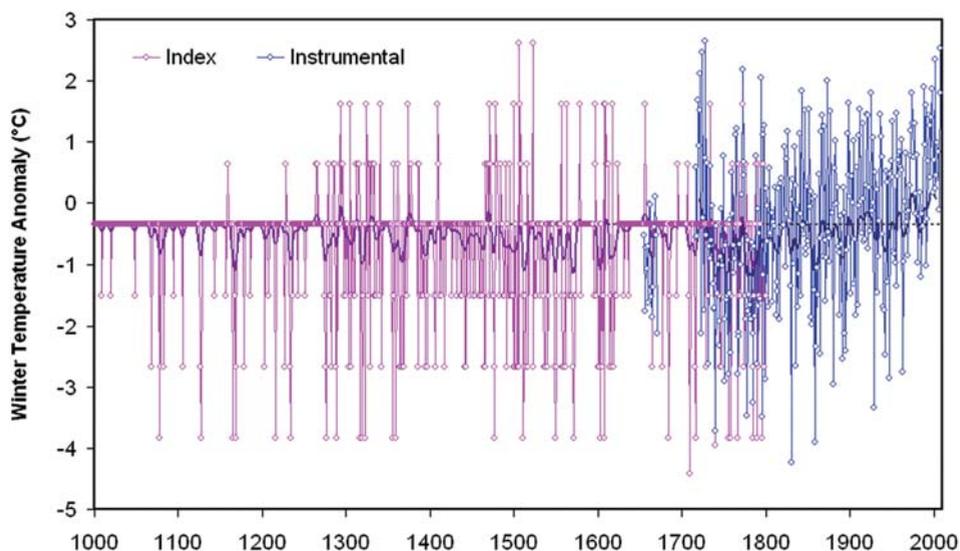


Figura 1. Ricostruzione della temperatura degli inverni dall'anno 1000 d.C. ad oggi in Italia. Con il colore rosa è indicata la serie ricostruita utilizzando dati *proxy* da fonte documentaria, con il colore blu la serie ottenuta da osservazioni strumentali. La linea nera spessa indica il filtro di Hamming applicato all'intera serie. Lo zero o il livello "normale" dei dati *proxy* da fonte documentaria si è assunto coincidere con il livello dato dal valore medio dell'intero periodo strumentale.

del livello del mare, grazie all'uso della camera oscura nel ritrarre i palazzi. La camera oscura proietta l'immagine su un foglio di carta, o una tela, su cui il pittore traccia i contorni e successivamente riporta i colori. Se il pittore è accurato nei dettagli, ciò costituisce una sorta di foto prima dell'invenzione a opera di Daguerre (1837) e altri. Il problema è che oltre ad un'immagine istantanea semi-oggettiva necessita anche un indicatore indipendente del livello mare medio. Un utile indicatore biologico dell'altezza media delle alte maree è fornito dalle alghe che vivono sul bagnasciuga dei palazzi. Questa fascia brunastra delle alghe, detta "comune marino", veniva presa dai Veneziani come riferimento ufficiale del livello del mare ai fini edilizi e urbanistici. Quando queste sono chiaramente riportate come dettaglio nei quadri, assieme ad altri utili riferimenti architettonici, è possibile misurare di quanto si sia spostato oggi il livello delle alghe, corrispondente allo spostamento apparente del livello del mare, dato dalla somma dell'eustatismo e della subsidenza. Nel caso di Venezia si trova la fortunata coincidenza di alcuni pittori che hanno utilizzato questa metodologia con grande precisione, precisamente Paolo Veronese (1528-1588), Giovan Antonio Canal detto il Canaletto (1697-1768) e suo nipote Bernardo Bellotto (1721-1780).

La misura dello spostamento del Comune Marino va corretto facendo riferimento alle condizioni presenti al tempo dei pittori. Questo comporta l'eliminazione dell'eccesso di bagnamento odierno dovuto all'aumento del moto ondoso causato dalle barche a motore e l'effetto dinamico dovuto al facilitato scambio tra le acque del mare e della laguna. Da queste analisi si evince che da Veronese ad oggi l'innalzamento relativo del livello del mare è stato di 82 ± 9 cm, da Canaletto a oggi 61 ± 10 cm (Figura 2). Dai tempi del Veronese (1571) al Cataletto (metà XVIII secolo) il tasso di innalzamento è stato di 1.2 mm/anno ed il fattore dominante è stata la subsidenza del terreno; dal Canaletto ad oggi l'innalzamento apparente ha avuto un ritmo sostanzialmente omogeneo di circa 2 mm/anno, dove subsidenza ed eustatismo hanno dato un contributo dello stesso ordine di grandezza. (Camuffo e Sturaro, 2003; 2004; Camuffo, 2010).

Proxy di natura dendroclimatica

La Dendrocronologia ricostruisce il clima dagli anelli di accrescimento degli alberi. In condizioni climatiche ottimali (caldo, disponibilità idrica adeguata, radiazione solare per la sintesi clorofilliana) gli alberi realizzano al meglio le loro funzioni vegetative e l'anello di crescita si presenta largo e poco denso. Nel caso di clima contrario (freddo, deficit idrico) la crescita è molto ridotta e gli anelli sono striminziti e molto densi. Ciò permette di ricostruire la variabilità interannuale. Con questo metodo si arriva a qualche migliaio di anni, ma in genere si limita a qualche centinaio di anni per mancanza di un adeguato numero di alberi d'epoca su cui ricostruire la serie. In Italia è stata possibile una buona ricostruzione degli ultimi secoli, meno documentata per l'ultimo millennio.

CONCLUSIONI: LA VARIABILITÀ CLIMATICA NEL MEDITERRANEO OCCIDENTALE

Le lunghe serie di osservazioni strumentali mostrano che la temperatura e la precipitazione nel bacino del Mediterraneo sono sempre state caratterizzate da oscilla-

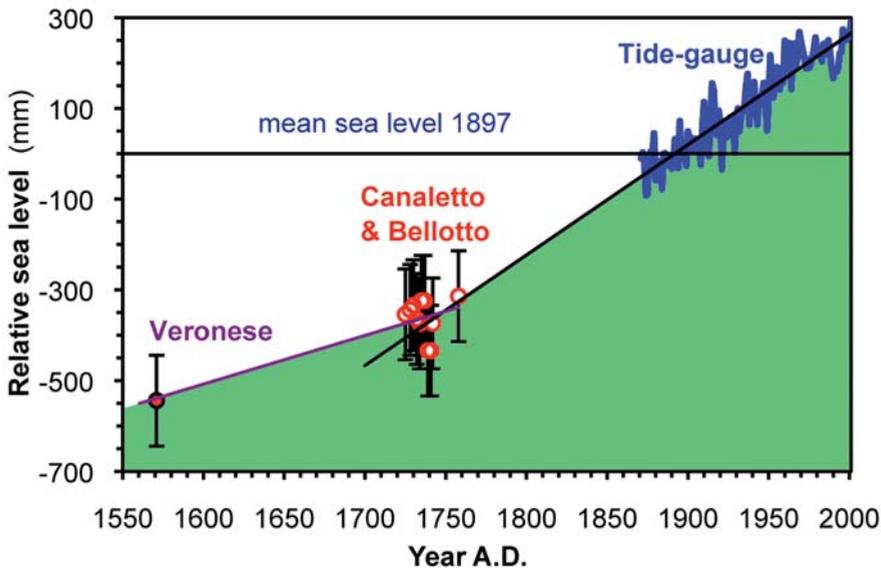


Figura 2. Livello del mare a Venezia ricostruito dall'analisi del "comune marino" raffigurato nei dipinti di Veronese, Canaletto e Bellotto e da osservazioni mareografiche della variazione del livello del mare.

zioni di vario periodo (35 anni T e 70 anni precipitazione) e che queste hanno cambiato più volte fase fra loro, per esempio caldo-umido, freddo-umido, caldo-secco e freddo-secco. Le oscillazioni hanno avuto ampiezza variabile talvolta non inferiore a quella attuale (Figura 3). Da questo punto di vista possiamo anche sospettare che sia possibile un'attenuazione o un'inversione di tendenza che sfati le previsioni più pessimistiche.

Dal rapporto IPCC 2007 (Le Treut, 2007) emerge che la temperatura globale sta aumentando dal 1850, con una rapida impennata nelle ultime decadi, mentre la precipitazione nell'emisfero nord ha un andamento meno marcato, ma una decrescita nel Mediterraneo indica che si sta andando verso un clima caldo-secco. Non è formalmente corretto fare un confronto diretto tra la scala globale e quella regionale, ma è doveroso chiederci quanto il clima della regione Mediterranea sia condizionato da quello globale. Per questo si è fatto un confronto tra i dati IPCC 2007 e quelli raccolti in questo contesto.

Il confronto tra il Mediterraneo e l'emisfero nord mostra che queste due scale hanno avuto nel tempo livelli di correlazione diversi, passando dal caso della piena correlazione (coefficiente di determinazione $R = 1$) a quelli di opposizione ($R = -1$). Ciò significa che per certi periodi il Mediterraneo segue l'andamento globale, mentre in altri passa in condizioni di opposizione senza che sia ancora chiaro il motivo della transizione. Dal 1950 il Mediterraneo e l'emisfero nord si trovano in condizioni di correlazione e questo è il periodo più lungo in cui si sia verificata la permanenza nella medesima situazione (Camuffo *et al.*, 2010b). Guardando al passato potremmo attenderci un'ulteriore inversione di ten-

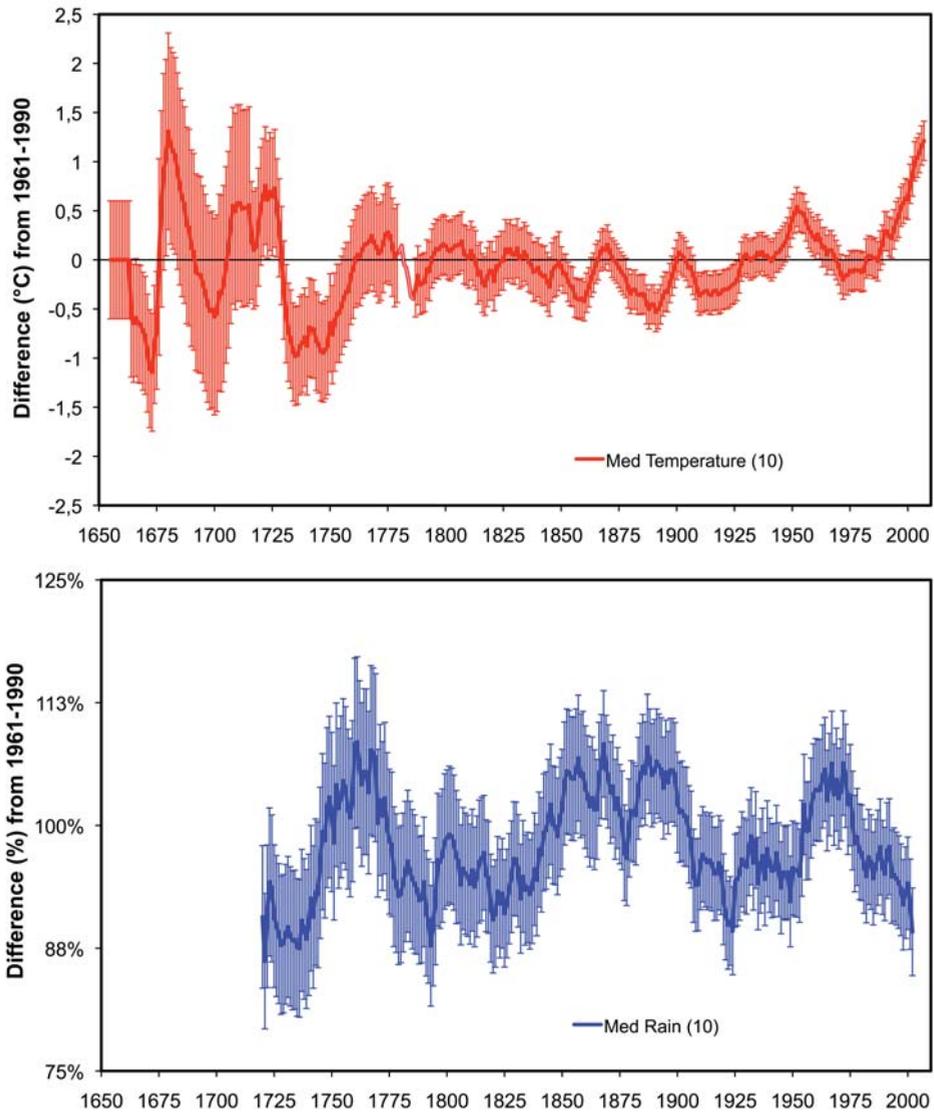


Figura 3. Anomalie di temperatura [rosso] in °C e precipitazione [blu] in percentuale calcolate come differenze rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 nell'area del Mediterraneo occidentale. Le linee sottili rappresentano le barre d'errore.

denza con miglioramento delle condizioni climatiche nel Mediterraneo (minor riscaldamento e maggiori precipitazioni).

Gli interrogativi posti potranno trovare una risposta negli anni a venire, sulla base degli studi che verranno condotti nel frattempo, ma soprattutto dalla verifica di quanto accadrà.

RINGRAZIAMENTI

I risultati di questo articolo sono stati possibili grazie a due progetti finanziati dalla UE: MILLENNIUM (Contr. 017008-2) e Climate for Culture (Grant 226973).

BIBLIOGRAFIA

- BROHAN P., KENNEDY J.J., HARRIS I., TETT S.F.B., E JONES P.D. (2006). Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111: 21 pp.
- CAMUFFO D. (2010). Paul Véronèse, Antonio Canal, dit Canaletto, et Bernardo Bellotto: un témoignage pictural de la hausse du niveau de la mer à Venise et une estimation quantitative du taux de submersion au cours des 437 dernières années. *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine* 57-3: 92-110.
- CAMUFFO D., E STURARO G. (2003). Sixty-cm submersion of Venice discovered thanks to Canaletto's paintings. *Climatic Change* 58: 333-343.
- CAMUFFO D., E STURARO G. (2004). Use of proxy-documentary and instrumental data to assess the risk factors leading to sea flooding in Venice. *Global and Planetary Change* 40: 93-103.
- CAMUFFO D., BERTOLIN C., BARRIENDOS M., DOMINGUEZ-CASTRO F., COCHEO C., ENZI S., SGHEDONI M., DELLA VALLE A., GARNIER E., ALCOFORADO M.J., XOPLAKI E., LUTERBACHER J., DIODATO N., MAUGERI M., NUNES M.F., E RODRIGUEZ R. (2010a). 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations. *Climatic Change* 101 (1-2), 169-199. DOI: 10.1007/s10584-010-9815-8.
- CAMUFFO D., BERTOLIN C., DIODATO N., BARRIENDOS M., DOMINGUEZ-CASTRO F., COCHEO C., DELLA VALLE A., GARNIER E., E ALCOFORADO M.J. (2010b). The Mediterranean climate: how will it respond to Global Warming? *Climatic Change* 100:137-142. DOI 10.1007/s10584-010-9817-6
- CICALA A. (1970). *Meteorologia e strumenti*. Libreria Editrice Universitaria Levrotto & Bella (Torino). 199 pp.
- KNIGHT J., KENNEDY J.J., FOLLAND C., HARRIS G., JONES G.S., PALMER M., PARKER D., SCAIFE A., E STOTT P. (2009). Do global temperature trends over the last decade falsify climate predictions? In *State of the Climate in 2008*, Peterson T.C., e Baringer M.O. (Ed.). Supplemento speciale al "Bulletin of the American Meteorological Society 90(8): S75-S79". Ripreso 2009-09-08.
- LE TREUT H., SOMERVILLE R., CUBASCH U., DING Y., MAURITZEN C., MOKSSIT A., PETERSON T.C., E PRATHER M. (2007). Historical overview of climate change. In *Climate change 2007: the physical science basis*. Contributo del "Working Group I" al "Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., e Miller H.L. (Ed.). Cambridge University Press [Cambridge].
- WMO (1983). *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. Fifth Ed. WMO-No8 Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva [Svizzera].

IL COMMERCIO DI STORIONE E CAVIALE NEL BASSO DANUBIO – UN APPROCCIO STORICO A UN PROBLEMA CONTEMPORANEO

Constantin Ardeleanu

"Dunărea de Jos" Università di Galați (Romania)

e-mail: Constantin.Ardeleanu@ugal.ro

Parole chiave: storia della pesca, commercio di caviale, storioni, specie minacciate

INTRODUZIONE E OBIETTIVI

Nell'aprile 1998, in seguito a rapporti allarmanti di scienziati e ONG ambientaliste, tutte le specie di storione sono state inserite nella lista in appendice alla Convenzione sul Commercio Internazionale delle Specie Minacciate di Estinzione [CITES].¹ Poiché la zona di piattaforma continentale del Mar Nero costituisce uno degli habitat più importanti per le specie minacciate della famiglia degli Acipenseridae, e visto che il Danubio rappresenta un'area preferenziale per gli storioni che vi migrano a scopo riproduttivo,² i paesi costieri rivestono un ruolo importante nella salvaguardia di questa specie, che rischia la completa estinzione a causa di una pesca eccessiva e del degrado del loro ambiente naturale. Negli anni passati, in seguito a molti incontri che hanno coinvolto scienziati della pesca, gestori della pesca, forze dell'ordine, associazioni di pescatori ed esponenti della CITES, è nato il Gruppo d'Azione per la Gestione dello Storione nel Mar Nero, seguito dall'adozione della Strategia Regionale per la Conservazione e la Gestione Sostenibile delle Popolazioni di Storione nel Mar Nero nord-occidentale e nel Basso Danubio, in accordo con la CITES. Nel 2006 i paesi costieri hanno messo al bando la pesca commerciale di tutte le specie di storione per 10 anni e, fortunatamente, hanno anche adottato programmi di ripopolamento.³

1 Caroline Raymakers, "CITES, the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: its role in the conservation of *Acipenseriformes*", *Journal of Applied Ichthyology*, t. 22, supplemento 1, 2006, pp. 53-65.

2 Riferimenti alle migrazioni degli storioni si possono trovare in Andrei Ciolac, "Migration of fishes in Romania Danube river", *Applied Ecology and Environmental Research* [No. 1], t. 2 [1], 2004, pp. 155-159.

3 Marian Paraschiv, Radu Suci, Marieta Suci, "Present state of sturgeon stocks in the Lower Danube, River, Romania", nei *Proceedings of the 36th International Conference of IAD*, Austrian Committee Danube Research/IAD, Vienna, 2006, pp. 152-158; cf. anche in *Regional Strategy for the Conservation and Sustainable Management of Sturgeon Populations of the N-W Black Sea and Lower Danube River in accordance with CITES. Agreed document of the Second Regional CITES Meeting on Sturgeon Conservation*, Tulcea, 26 Novembre 2003 e Jürg Bloesch (ed.), *Action Plan for the conservation of sturgeons (Acipenseridae) in the Danube River Basin*, Nature and environment, No. 144, 2006.

Questi tentativi disperati di proteggere lo storione dopo un periodo di vero bio-genocidio, tipico nella maggior parte degli stati ex comunisti (caratterizzati da una corruzione endemica, mancanza di leggi adeguate, bramosia di arricchirsi velocemente, il tutto aggravato da politiche di ripopolamento sbagliate o inappropriate), vengono dopo un periodo durante il quale il contesto politico, economico e ambientale ha contribuito enormemente ai problemi attuali. Negli ultimi due secoli molti fattori antropici sono stati responsabili del declino delle popolazioni di storione del Mar Nero e del Danubio. Gli aspetti che hanno avuto gli effetti più gravi sono: a) l'enorme deforestazione del bacino del Danubio; b) la costruzione di argini, che ha provocato la scomparsa delle golene, l'habitat di riproduzione tipico degli storioni; c) il completamento della diga presso le "Porte di Ferro" negli anni ottanta, che impedisce ai grandi storioni di raggiungere le aree di riproduzione a monte; d) l'inquinamento, dal momento che lo sviluppo industriale e agricolo degli stati presenti presso la zona riparia ha determinato un aumento dell'inquinamento dell'acqua nel bacino del Danubio, con un impatto sull'intero biota; e) perdite d'acqua legate a costruzioni idrotecniche come dighe, canali d'irrigazione o di navigazione, che hanno alterato il corso del Basso Danubio, etc.⁴

A queste alterazioni estreme delle condizioni ambientali va aggiunta la sovra-pesca, un'attività antropica che ha influenzato notevolmente le popolazioni di storione del Basso Danubio. Sebbene alcuni autori ne parlino come di "cibo per contadini", il caviale, le uova non fertilizzate dello storione, è sempre stata una delizia molto rinomata, un prodotto di lusso che ha garantito ingenti profitti ai pescatori e ai mercanti che pescavano storioni o raccoglievano e vendevano le loro uova. Le dimensioni di alcune specie di storione e la qualità della loro carne hanno rappresentato altri elementi che hanno reso nei secoli questa pesca un'attività molto redditizia. Partendo da queste premesse, quest' articolo ha l'obiettivo di presentare, sulla base delle evidenze storiche disponibili, l'evoluzione della pesca dello storione e del commercio del caviale nel Basso Danubio (ovvero la parte di fiume compresa tra la foce del Danubio e la diga delle Porte di Ferro), facendo riferimento alle condizioni politiche ed economiche locali che hanno influenzato lo stato degli stock di storione nel fiume e nei suoi principali affluenti.

INFORMAZIONI NARRATIVE SULLO STORIONE E IL COMMERCIO DI CAVIALE NEL BASSO DANUBIO

Sebbene dati archeologici e fonti scritte abbiano permesso ai ricercatori di verificare che gli storioni hanno avuto un'enorme importanza economica per gli abitanti locali già in epoca preistorica e durante l'Alto e il Basso Medioevo, le informazioni attendibili sono troppo sporadiche e contingenti per permettere qualsiasi stima sicura. Più adatto per un'analisi sembra essere il periodo iniziato nel 15° secolo, quando documenti ufficiali e

4 Nicolae Bacalbaşa-Dobrovici, "Endangered migratory sturgeons of the lower Danube River and its delta", in *Sturgeon Biodiversity and Conservation*, edito da Vadim J. Birstein, John R. Waldman & William E. Bemis, New York, 1997, pp. 201-207; cf. anche J. Bloesch (ed.), *Action Plan*, pp. 43-49; N. Bacalbaşa-Dobrovici e Neculai Patriche, "Environmental studies and recovery actions for sturgeon in the Lower Danube River system", *Journal of Applied Ichthyology*, t. 15, 1999, pp. 114-115.

resoconti di viaggi permettono una valutazione qualitativa e quantitativa più precisa, e quando il contesto politico nell'area del Basso Danubio ha garantito condizioni più efficienti per lo sfruttamento di queste ricche risorse alieutiche (la riva destra del fiume era infatti controllata direttamente dall'Impero Ottomano, mentre la sponda sinistra apparteneva ai principati romeni di Valacchia e Moldavia, che progressivamente passarono sotto la Signoria di Porte).

Gli specialisti della pesca affermano che erano sei le specie anadrome della famiglia Acipenseridae che migravano dal Mar Nero al Danubio per riprodursi: *Acipenser gueldenstaedtii* – lo storione russo, *A. nudiventris* – lo storione gladick, *A. ruthenus* – lo sterleto, *A. stellatus* – lo storione stellato, *A. sturio* – lo storione comune e *Huso huso* – lo storione ladano o “beluga”. Fonti documentarie affermano come queste specie rappresentassero un tesoro inesauribile del fiume, essendo catturate in tutto il Basso Danubio, ma anche a monte delle Porte dei Ferro, così come in Baviera. Gli storioni prosperavano anche negli affluenti del Basso e Medio Danubio, compresi i grandi fiumi come ad esempio la Drava, la Sava, la Tisza, il Mureș, il Siret o il Prut.⁵

Considerando il numero e le dimensioni degli storioni, in particolare del ladano, uno dei metodi di pesca più comuni era l'utilizzo di dighe realizzate con strutture di legno, come descritto dal cronista siriano Paolo di Aleppo. Viaggiando lungo il Danubio alla metà del 17° secolo, Paolo raggiunse il porto di Kilia, nei dintorni del quale c'erano quattordici trappole “per catturare il pesce, e in particolare lo storione”. Le strutture dovevano essere ricostruite ogni anno, poiché al momento dello sciogliersi dei ghiacci “la corrente porta via i pali per la violenza della piena”. La costruzione avveniva nel seguente modo: gli operai tagliavano migliaia di travicelli di legno, li portavano al Danubio, intagliavano le punte come arpioni e li piantavano nel terreno, “in un filare chiuso, lasciando solo su un lato un'apertura sufficiente al passaggio di una barca; all'estremità opposta c'è un canale stretto che circonda una specie di piccola casa, il tutto costruito con paletti di legno fissati al terreno. Quando il pesce raggiunge questa chiusura è costretto, grazie ad un congegno eccellente, a cadervi dentro; e le persone addette a questa attività li colpiscono con lunghi arpioni, finché li uccidono; e per i pesci non c'è via di scampo”.⁶ Altri minuziosi dettagli di questi attrezzi da pesca sono forniti nella descrizione del viaggiatore turco Evlyia Çelebi. Viaggiando sul Danubio nel 1658-59, Çelebi ha notato la presenza di grandi cumuli di travicelli e circa duemila contadini al lavoro, con duecento barche, nell'atto di conficcarli nel fondo del fiume. “Utilizzando lunghi paletti biforcati, fissano sul fondo del fiume delle reti costruite con la vite e le attaccano ai travicelli. Quando queste reti raggiungono la superficie dell'acqua, il Danubio assume l'aspetto di un fiume completamente attraversato da tali strutture, in modo che nemmeno un pesce della dimensione di un palmo può nuotarci attraverso”.⁷ Un simile sistema di pesca è stato descritto a Silistra, dove paletti di abete,

5 Per una descrizione degli storioni nel Medio e Alto Danubio si veda Karol Hensel & Juraj Holčík, “Past and current status of sturgeons in the upper and middle Danube River”, in *Sturgeon Biodiversity and Conservation*, 1997, pp. 185-200.

6 *The travels of Macarius, patriarch of Antioch, written by his attendant archdeacon, Paul of Aleppo*, tradotto da F.C. Belfour, vol. II, Londra, 1836, p. 420.

7 Constantin C. Giurescu, *Istoria pescuitului și a pisciculturii în România*, vol. I, București, (1964), pp. 92-93; l'intera descrizione si trova in *Călători străini despre Țările Române*, vol. VI, partea a II-a, *Evlyia Çelebi*, edito da Mustafa Ali Mehmet, București, 1976, pp. 442-443.

quercia e carpino bianco erano conficcati nel letto del fiume, creando strutture lunghe più di 50 metri. Gli operai ci legavano dei ramoscelli, a partire dal fondo del fiume, lasciando solo un'apertura chiusa con una porta in cannuccia, per permettere alle barche di navigare. La trappola era controllata giorno e notte dal proprietario e dai suoi impiegati, 100-200 persone, che rimuovevano continuamente il pesce catturato nella rete.⁸

Le Porte di Ferro costituivano un'altra area favorevole alla pesca di grandi storioni, essendo il fiume abbastanza stretto e presentando sia buchi profondi che guadi. Lo stesso viaggiatore turco racconta come presso un piccolo tratto del fiume, tra le Porte di Ferro e la fortezza di Fetislam [Kladovo], percorribile in due ore, vi fossero dalle 2 alle 3 mila trappole di questo tipo, così che "nessun pesce poteva scappare, nemmeno quelli della dimensione di un palmo". Questi attrezzi comprendevano barriere per la pesca, ma anche bertovelli concepiti apposta per pescare grandi storioni, come quelli rappresentati dal Generale Austriaco, di origine italiana, Marsigli. Si trattava di strutture costituite da sei travi spessi riuniti in tre coppie e tenuti assieme da assi orizzontali. Quest'attrezzo ricorda gli strumenti da pesca citati nella seconda metà del 19° secolo, costituiti da sbarramenti con un'entrata di 10-15 metri e alla fine un sacco di 1-1.2 metri.⁹

Utilizzando questi attrezzi, posizionati lungo tutto il fiume, veniva catturata un'enorme quantità di storioni. Paolo di Aleppo, infatti, riferendosi ai casi sopraccitati, narrava che negli anni precedenti "erano solite aver luogo grandi catture di pesce": ogni mattina, dall'inizio di luglio fino a metà novembre, i pescatori catturavano a Kilia "da tre-quattrocento a settecento storioni".¹⁰ Il monaco italiano Niccolò Barsi, che ha visitato la Moldavia nel 1633-39, ha scritto che i pescatori portavano ogni giorno a Kilia 1000-2000 storioni; secondo le stime di uno storico rumeno, basate sul prezzo massimo del pesce riportato in fonti credibili, i pescatori catturavano ogni anno nella regione della Kilia almeno 25000 ladani, una stima che concorda con le informazioni fornite nel 1762 dal console francese Peyssonnel. Come nel caso di Silistria, Çelebi ha raccontato che durante il primo giorno di pesca venivano catturati 7000 pesci grandi e piccoli, tra cui 70 ladani "imperiali" (ovvero molto grandi), ognuno dei quali misurava più di cinque metri in lunghezza. Più in giù nel Danubio, vicino l'isola di Ada Kaleh, alla fine del 17° secolo venivano catturati ogni giorno 50-100 ladani.¹¹

Poiché la stagione della pesca era molto lunga, durando almeno sette mesi l'anno (gli storioni venivano catturati quando migravano dal Danubio al Mar Nero e viceversa), l'approvvigionamento di grandi storioni e il loro prezzo erano costanti tra il 15° e il 18° secolo. Un missionario italiano, il vescovo Bandini, che visse la Moldavia nel 1646, ha scritto che "i ladani e gli storioni catturati qui hanno dimensioni impressionanti"; sei anni dopo, l'inglese Robert Bargrave notò che "a volte vengono catturati dei pesci così grandi che erano necessari 6-8 buoi per trasci-

8 Giurescu, *Istoria pescuitului*, pp. 95-96; *Călători străini*, VI (II), pp. 373-375; riguardo l'importanza della pesca nel periodo Ottomano si veda Maria Matilda Alexandrescu-Dersca Bulgaru, "Pescuitul în delta Dunării în vremea stăpânirii romane", *Peuce*, t. II, 1971, pp. 267-282.

9 Giurescu, *Istoria pescuitului*, p. 99; per la descrizione si veda L.F. de Marsigli, *Description du Danube*, t. IV, Haga, 1744; altre considerazioni si possono trovare in Grigore Antipa, *Pescăria și pescuitul în România*, București, 1916, pp. 663-664.

10 *The travels of Macarius*, p. 421.

11 Giurescu, *Istoria pescuitului*, pp. 88 sqq.

narli sulla spiaggia (con la trappola stessa)". Così i ladani freschi, che a volte pesavano diverse centinaia di chili, potevano essere venduti a prezzi molto bassi, "addirittura per niente".¹²

Una delle ragioni che rendeva gli storioni così apprezzati dai pescatori, dai mercanti e dai consumatori era legata alla grande quantità di prodotti che potevano essere ottenuti da questo pesce. Prima di tutto la carne era bianca e, secondo le fonti del tempo, saporita come il vitello. Era mangiata fresca ma, più spesso, per essere conservata e trasportata per lunghe distanze veniva salata e compressa con pietre affinché "fosse rimossa la sua umidità", e riposta quindi in grandi barili. Il dorso del pesce era molto saporito, e veniva affumicato e trasformato in stoccafisso. Il ladano era di gran lunga il più buono degli storioni; oltre alla carne, al mercato del pesce venivano vendute la pelle, la cartilagine e le pinne. Con la vescica natatoria i pescatori producevano la colla di pesce, utilizzata per filtrare il vino, mentre anche il sego era molto ricercato. Ma le uova, il saporito caviale, che costituivano un terzo del peso dello storione, rappresentavano la parte più importante. Le uova erano prelevate e messe su un tavolo e il macellaio, "dopo aver aggiunto molto sale", vi metteva sopra un'altra tavola o un asse, con delle grandi pietre, per eliminare il sangue e l'acqua. Una volta seccato, il caviale veniva posto in barili.¹³

Tra il 15° e il 18° secolo, gli storioni e il caviale provenienti dal Basso Danubio erano esportati fino "all'Europa meridionale". A Kilia, Ismail e Galatz giungevano molte barche "da Costantinopoli e le isole, per comprare lo storione, che salavano e riponevano in barili: e lo stesso facevano con il caviale".¹⁴ Secondo una fonte diversa, i pesci catturati erano salati in continuo e macellai specializzati preparavano il caviale raffinato; per questo motivo, come riporta Barsi, "i mercanti arrivavano da Costantinopoli, dalla Polonia, dall'Ungheria e da Vallachia e altre regioni per comprare il pesce e fare provviste per le proprie città".¹⁵

Tra i più importanti mercati commerciali sassoni per gli storioni e il caviale si annoverano quello di Braşov (Kronstadt) e Sibiu (Hermannstadt), i cui inventari riportano anche informazioni quantitative sulla pesca dello storione nel Medioevo. Così, nel 1503 i mercanti di Braşov importavano dalla Vallachia 538.5 carichi (circa 72 tonnellate) di storioni, per un valore di 86160 asper, e 12 carichi (circa 1.6 tonnellate) di caviale. Nel 1545 le quantità e il valore furono inferiori, ma altrettanto impressionanti: 126 carichi (17 tonnellate) di ladani e 7 carichi (945 chili) di caviale. Anche le esportazioni dalla Moldavia a Braşov erano significative: nell'arco di 10 mesi, alla fine del 15° secolo, le fonti riportano l'arrivo di 365 carichi (49 tonnellate) di ladani e 4 carichi e mezzo (600 chili) di caviale.¹⁶ Sibiu era un mercato del pesce più piccolo, poiché nel 1500 i commercianti locali hanno venduto "solo" 74.5 carichi (10 tonnellate) di ladano. La Polonia, e in particolare la città commerciale Lemberg, rappresentava un'altra destinazione favorita per gli storioni del Danubio: il vescovo Bandini scrisse nel 1646 che molte migliaia di carri di pesce erano spediti annualmente in Podolia, Russia, Ucraina e Transilvania. Ingenti quantità erano talvolta

12 *Ibid.*, p. 25.

13 *The travels of Macarius*, pp. 420-421; Giurescu, *Istoria pescuitului*, pp. 100-101.

14 *The travels of Macarius*, p. 420.

15 *Călători străini despre Țările Române*, vol. V, edito da Maria Holban, M.M. Alexandrescu-Dersca Bulgaru, Bucureşti, 1973, p. 84.

16 Giurescu, *Istoria pescuitului*, pp. 247-248, 254-255.

spedite in Polonia, in virtù degli obblighi contratti dai principi moldavi nei confronti dei re polacchi. Così, nel 1436 l'ospodaro (signore) Iliăș s'impegnò a spedire ai suoi feudatari 200 carichi (27 tonnellate) di ladani.¹⁷

Costantinopoli costituiva un altro punto chiave per il commercio dello storione e del caviale, poiché raccoglieva il prodotto del Mar Nero e lo ridistribuiva nell'intero Mediterraneo. Il caviale era molto richiesto dalla Grecia e le nazioni ortodosse, specialmente durante i digiuni, quando i cristiani non mangiano "niente che abbia sangue", così come era molto popolare nelle città italiane più ricche. Una recente ricerca ha rivelato come la regione del Basso Danubio rappresentasse un importante fornitore di storioni e di caviale per il mercato di Costantinopoli e dell'Adriatico, e i prodotti erano trasportati via mare o via terra attraverso i Balcani. Questo commercio risultò così vantaggioso per i mercanti della Serenissima, che nel 17° secolo il "bailo" veneziano ottenne dalla Signoria di Porte l'autorizzazione di installare un console a Kilia. Poiché gli ottomani non erano molto ben disposti a lasciare che mercanti stranieri commerciassero direttamente nel Mar Nero, i trasporti erano solitamente condotti da sudditi ottomani, come ad esempio i ragusani. Niccolò Barsi narra che li incontrò a Kilia, dove si dedicavano alla salagione dei ladani e di altri storioni preparandoli per l'esportazione.¹⁸

DECLINO DELLE POPOLAZIONI DI STORIONE NEL DANUBIO BASSO E CENTRALE

L'elevata domanda di storioni e caviale e l'intensa pesca di tutte le specie della famiglia Acipenseridae hanno portato a un chiaro declino delle popolazioni già nel 18° secolo. Se i grandi storioni erano soliti risalire il Danubio fino al Theiss e poi nell'affluente Mureș, una descrizione della Transilvania risalente al 1778 afferma che il ladano era molto raro e successivamente completamente estinto dal fiume.¹⁹ Nel 1835, l'ingegner Jules de Hagemeister scrisse che il ladano era meno abbondante nel Danubio e quindi il caviale era molto costoso e consumato esclusivamente nelle capitali Bucarest e Jassy.²⁰ Anche l'economista rumeno Ion Ionescu de la Brad affermò che nel 1867 il numero di storioni nel Danubio si era ridotto, al punto che a monte delle Porte di Ferro i pescatori non catturavano più ladani. Al di là delle cataratte i grandi storioni erano seriamente minacciati e le catture divennero sporadiche. Se nel 1746 le catture annuali di ladano raggiungevano le 27 tonnellate, in un'area di 55 chilometri compresa tra Paks e Szeremle, nel 19° secolo i grandi storioni migratori rappresentavano una cattura sporadica nel tratto ungherese del Danubio. Secondo alcune fonti, nel tratto slovacco-ungaro del Danubio nel periodo tra il 1857 e il 1957 furono catturati solo 16 ladani.²¹

17 *Ibid.*, p. 83.

18 Per maggiori informazioni sul commercio del pesce tra Venezia e i principati rumeni nel 17° secolo, cf. Cristian Luca, *Țările Române și Veneția în secolul al XVII-lea*, București, 2007, pp. 262-270.

19 Giurescu, *Istoria pescuitului*, pp. 33-34.

20 Jules de Hagemeister, *Mémoire sur le commerce des ports de la Nouvelle Russie, de la Moldavie et de la Valachie*, Odessa, Simphéropol, 1835, p. 144.

21 Hensel & Holčík, "Past and current status", p. 191.

Nel 19° secolo la pesca presso il delta del Danubio rappresentava ancora un'attività redditizia e a Vilkoff, che si trova presso la foce del fiume, si faceva intenso commercio di pesce salato ed essiccato, così come di caviale. Sebbene fossero ancora catturati ladani di grandi dimensioni, fonti statistiche testimoniano come il caviale nero fosse importato dalla Russia (che adesso controllava il delta del fiume). Si può affermare che i principati rumeni, sebbene controllassero un ampio tratto del fiume, non potevano più soddisfare la domanda interna, poiché il grande incremento dell'esportazione di grano aveva portato alla chiusura della maggior parte delle golene con dighe. Un altro importante segnale della diminuzione degli storioni è rappresentato dall'enorme differenza di prezzo tra il caviale e le uova di altri pesci. Se infatti nel Medioevo il caviale costava solo il 50% in più delle altre uova, nel 19° secolo il prezzo del caviale era almeno dieci volte superiore rispetto quello delle uova di altre specie.

Anche dopo che la Romania ha preso possesso del delta del Danubio, in seguito al Trattato di Berlino del 1878, lo storione ha continuato a essere sovrasfruttato. Lo scienziato che ha dimostrato la pericolosa situazione in cui versavano le popolazioni di storione nel Basso Danubio fu Grigore Antipa, che redasse diversi rapporti allarmanti in cui denunciava che la cattiva gestione delle acque, la pratica di dare in affitto le aree di pesca e la sovra-pesca erano responsabili del disastro cui andavano incontro le popolazioni ittiche. Il principale problema era rappresentato dal feroce sfruttamento delle risorse aliutiche praticato dagli imprenditori capitalisti, che presero in affitto il delta del Danubio per soli cinque anni e non fecero niente per assicurare una politica a lungo termine di protezione delle specie ittiche. Secondo quanto riporta Antipa, nel 1895, dopo la festa della Domenica delle Palme, durante la quale i cristiani ortodossi possono mangiare pesce, l'affittuario della pesca nel Danubio buttò via 50 tonnellate di pesce, poiché era così piccolo che nessuno lo avrebbe comprato. Allo stesso tempo ogni anno erano catturati in mare, nelle reti per gli sgombri, milioni di giovani storioni che venivano rigettati sulla spiaggia non avendo alcun possibile uso.²²

Sebbene l'aumento della navigazione fluviale non permettesse più un uso estensivo delle dighe per la pesca, lo storione continuò a essere sovrasfruttato attraverso altri attrezzi da pesca. Secondo quanto riporta Antipa, alla fine del 19° secolo solo presso il ramo S. George del Danubio c'erano 20 milioni di ami per pescare ladani.²³ A questo va aggiunto che la pesca era intensa tutto l'anno, ma soprattutto in primavera, ovvero la stagione riproduttiva, e che gli storioni sono caratterizzati da una maturità sessuale tardiva: per questi motivi le popolazioni andarono incontro ad un rapido declino. Vista la criticità della situazione, Antipa elaborò una legge che istituiva un divieto di pesca durante la stagione riproduttiva. Malgrado queste misure amministrative, gli stock di storione continuarono a diminuire, come risulta evidente dal declino delle catture annuali: 685.5 tonnellate nel periodo 1895-1908, 326 tonnellate nel periodo 1914-20, 287.8 tonnellate nel periodo 1926-38 e 156 tonnellate nel periodo 1941-46²⁴. Durante il regime comunista (1948-89), l'economia

22 G. Antipa (1895), *Studii asupra pescărilor din România*, p. 44.

23 *Ibid.*, p. 43.

24 Giurescu, *Istoria pescuitului*, p. 35; per altri dati statistici si veda R. Musse, "Les esturgeons de la mer Noire et leur pêche en Roumanie", *Annales de Géographie*, 1935, volume 44, No. 248, pp. 220-221 e Gheorghie I. Manea, *Sturionii. Biologie, sturionicultură și amenajări sturionicole*, Bucurest, 1980, pp. 109-112.

centralizzata non prendeva in considerazione criteri ecologici nella gestione della pesca dello storione. Le catture annuali del ladano oscillavano tra le 20 e le 250 tonnellate, con una caduta negli ultimi anni. La maggior parte del pesce era pescato dalla Romania e dall'Unione Sovietica, mentre il restante era condiviso da Bulgaria e Jugoslavia. Dopo il 1989, in un contesto politico, economico e sociale completamente mutato, i dati ufficiali riportano catture inverosimilmente basse (solo 11.5 tonnellate nel 1994), ma va detto che la pesca illegale ed il mercato nero dilagavano. Gli interessi economici di influenti politici corrotti furono la causa della mancanza di un'adeguata tutela legislativa per proteggere l'ecosistema, sebbene scienziati e ambientalisti continuarono a denunciare le cattive condizioni delle popolazioni ittiche del Danubio.²⁵ Per quanto riguarda le popolazioni di storione, non sono cambiati solo il numero e la taglia dei pesci, ma la loro intera struttura, e gli individui sono oggi più piccoli e giovani rispetto al passato.

CONCLUSIONI

L'ultimo periodo è stato estremamente diversificato per gli storioni del Danubio. Se una buona notizia è rappresentata dal fatto che negli ultimi anni (in particolare dopo che la Romania e la Bulgaria sono entrate nell'Unione Europea) sono stati implementati diversi progetti di ripopolamento dello storione nel Danubio, una recente legge della Romania (317/ottobre 2009) ha modificato il quadro legislativo che proibiva la pesca commerciale dello storione, fatto che, come denunciano alcune ONG ambientaliste, mette in serio pericolo le politiche di ripopolamento. La sovra-pesca dello storione, quindi, oltre ad aver rappresentato una costante nei secoli passati nel Basso Danubio, rappresenta ancora oggi la principale minaccia alla salvaguardia di queste specie che hanno 200 milioni di anni.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDRESCU-DERSCA BULGARU M.M. (1971), "Pescuitul în delta Dunării în vremea stăpânirii romane", *Peuce*, t. II, pp. 267-282.
- ALI MEHMET M. (Ed.) (1976). *Călători străini despre Țările Române, Evlyia Çelebi*, Bucarest, vol. VI, partea a II-a.
- ANTIPA G. (1895), *Studii asupra pescărilor din România*, Bucarest.
- BACALBAȘA-DOBROVICI N. (1997), "Endangered migratory sturgeons of the lower Danube River and its delta", in *Sturgeon Biodiversity and Conservation*, edito da V.J. Birstein, J.R. Waldman e W.E. Bemis, New York, pp. 201-207.
- BACALBAȘA-DOBROVICI N. E PATRICHE N. (1999), "Environmental studies and recovery actions for sturgeon in the Lower Danube River system", *Journal of Applied Ichthyology* 15: 114-115.
- BLOESCH J. (Ed.) (2006), *Action Plan for the conservation of sturgeons (Acipenseridae) in the Danube River Basin*, Nature and environment, No. 144.

25 Bacalbașa e Patriche, "Environmental Studies", p. 114.

- CIOLAC A. (2004), "Migration of fishes in Romania Danube river", *Applied Ecology and Environmental Research* 2(1): 155-159.
- DE HAGEMEISTER J. (1835), *Mémoire sur le commerce des ports de la Nouvelle Russie, de la Moldavie et de la Valachie*, Odessa, Simphéropol.
- DE MARSIGLI L.F. (1744), *Description du Danube*, t. IV, Haga.
- GIURESCU C.C. (1964), *Istoria pescuitului și a pisciculturii în România*, vol. I, Bucarest.
- HENSEL K. E HOLČIK J. (1997), "Past and current status of sturgeons in the upper and middle Danube River", in *Sturgeon Biodiversity and Conservation*, pp. 185-200.
- HOLBAN M., ALEXANDRESCU-DERSCA BULGARU M.M. (Ed.) (1973), *Călători străini despre Țările Române*, Bucarest, vol. V.
- LUCA C. (2007), *Țările Române și Veneția în secolul al XVII-lea*, Bucarest.
- MANEA G.I. (1980), *Sturionii. Biologie, sturionicultură și amenajări sturionice*, Bucarest.
- MUSSE R. (1935), "Les esturgeons de la mer Noire et leur pêche en Roumanie", *Annales de Géographie* 44, No. 248: 220-221.
- PARASCHIV M., SUCIU R., E SUCIU M. (2006), "Present state of sturgeon stocks in the Lower Danube, River, Romania", in *Proceedings of the 36th International Conference of IAD, Austrian Committee Danube Research/IAD*, Vienna, pp. 152-158.
- PAUL DI ALEPPO (1836), *The travels of Macarius, patriarch of Antioch* vol. II, tradotto da F.C. Belfour, Londra.
- RAYMAKERS C. (2006), "CITES, the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: its role in the conservation of *Acipenseriformes*", *Journal of Applied Ichthyology* 22: supplemento 1, 53-65.

RISPOSTE BIOLOGICHE DELLE CORALLINACEAE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI GLOBALI E COME UTILIZZARLE NELL'INSEGNAMENTO NELLA SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO (SCUOLA MEDIA)

Fulvia Bradassi, Francesco Cumani, Guido Bressan

Università di Trieste – Dipartimento di Scienze della Vita, Trieste (Italia)

e-mail: fulvia.bradassi@phd.units.it

Parole chiave: *anidride carbonica, acidificazione degli oceani, alghe rosse calcaree, spore, scuola, educazione, abilità e competenze scientifiche*

RIASSUNTO

L'aumento della pressione parziale della CO₂ in atmosfera determina un abbassamento del valore di pH nell'acqua marina. Molti organismi, che utilizzano il CaCO₃ per costruire i loro scheletri, sembrano essere danneggiati dall'acidificazione dell'acqua marina; in particolare gli ecosistemi di acque poco profonde sembrano essere maggiormente a rischio. Uno studio in microcosmo su stadi giovanili di alghe rosse calcaree è stato condotto a differenti condizioni di acidità.

Gli incoraggianti risultati preliminari hanno suggerito di portare l'esperienza nell'ambito del sistema educativo: è stata stabilita una collaborazione con un Istituto Comprensivo – scuola media per avvicinare la ricerca al mondo della scuola. Un corso sperimentale sui cambiamenti climatici globali è stato offerto agli studenti quattordicenni. Il corso, basato sulle alghe rosse calcaree, ha costituito non solo un modo per diffondere fra i giovani la conoscenza dei cambiamenti climatici globali, ma anche un modo per misurare quanto i nuovi metodi didattici riescano a migliorare abilità e competenze a livello scolastico.

INTRODUZIONE

In relazione a quanto dichiarato nell'ultimo rapporto redatto dall'*International Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), il pianeta Terra deve affrontare oggi importanti cambiamenti climatici: i dati suggeriscono che la temperatura media si sta alzando, sia sulle terre emerse che negli oceani, il ghiaccio si sta sciogliendo, le circolazioni oceaniche potrebbero cambiare. Queste mutazioni avvengono ad una velocità elevata.

Allo stesso tempo la pressione parziale della CO₂ in atmosfera è salita negli ultimi 200 anni, raggiungendo il livello di 379 ppm nel 2005, il valore più alto registrato negli ultimi 650.000 anni, in confronto con la concentrazione della CO₂ rilevata nei carotaggi di EPICA e Vostok (IPCC, 2007).

L'idea che esista una correlazione fra l'aumento della temperatura media e l'aumento della pressione parziale dell'anidride carbonica in atmosfera è largamente accettata. La sovrapproduzione di diossido di carbonio sembra essere di origine antropica dal consumo dei combustibili fossili. I modelli dell'IPCC riescono a riprodurre il reale aumento della temperatura solamente considerando come forzante positivo l'aumento della CO₂. Gli stessi modelli prevedono un ulteriore aumento della temperatura, causato da un livello più alto della CO₂ atmosferica, che a sua volta dipende dalle future scelte politiche sulle riduzioni delle emissioni (IPCC, 2007). Si suppone che alla fine di questo secolo la concentrazione della CO₂ in atmosfera potrebbe raggiungere le 780 ppm, un valore all'incirca doppio rispetto alle attuali 379 ppm; la concentrazione della CO₂ sarà uguale anche nell'acqua marina, se nel frattempo le emissioni non saranno ridotte in modo massiccio.

Il riscaldamento globale non è probabilmente l'unico effetto dell'aumento della pressione parziale della CO₂ in atmosfera: si prevede che lo scambio continuo di gas fra l'aria e l'acqua superficiale porterà ad un aumento della concentrazione della CO₂ anche negli strati più superficiali degli oceani, poiché lo scambio è regolato dalle pressioni parziali dei gas. L'acqua marina sta diventando più acida perché la CO₂, entrando in soluzione, forma acido carbonico (H₂CO₃), che si dissocia in ione bicarbonato (HCO₃⁻), ione carbonato (CO₃²⁻) e protoni (H⁺). Questi ioni, indicati complessivamente come DIC (*Dissolved Inorganic Carbon*), permettono all'acqua marina di immagazzinare grandi quantità di diossido di carbonio, ma, allo stesso tempo l'equilibrio chimico viene spinto verso valori più bassi di pH, con una minore quantità di ioni carbonato (CO₃²⁻) e una maggiore quantità di bicarbonato (HCO₃⁻).

L'acidificazione degli oceani sembra essere una delle conseguenze più probabili dell'aumento della pressione parziale della CO₂ atmosferica, causando un mutamento evidente negli ecosistemi marini (Hall-Spencer *et al.*, 2008). L'acidificazione degli oceani è un fenomeno già in atto ed i modelli prevedono un'ulteriore diminuzione del pH, che potrebbe raggiungere il livello di 7.8 alla fine di questo secolo (Parry *et al.*, 2007).

Il carbonato di calcio può essere depositato in differenti forme mineralogiche: calcite, aragonite e calcite magnesiaca, le quali hanno, in questa progressione, una maggiore solubilità. Le fasi di deposito o solubilizzazione hanno luogo a seconda dello stato di saturazione proprio di ciascuna di queste forme mineralogiche, che dipende anche dalla temperatura e dalla pressione (Stato di saturazione: $\Omega = \frac{[Ca^{2+}][CO_3^{2-}]}{Kps}$, dove [X] si riferisce alla concentrazione molare delle specie ioniche e Kps è il prodotto di solubilità). Quando lo stato di saturazione è maggiore di 1 ha luogo il deposito, quando esso è inferiore il sale entra in soluzione (Kleypas *et al.*, 2005).

Molti organismi biocostruttori marini che usano il CaCO₃ per costruire i loro scheletri sembrano essere danneggiati dall'acidificazione degli oceani: la biodeposizione si riduce anche con uno stato di saturazione maggiore di uno (Kleypas *et al.*, 2005).

Sebbene l'acidificazione degli oceani potrebbe avere un impatto considerevole sulle attività umane, il fenomeno non è ancora ben conosciuto ed è quasi sconosciuto al pubblico.

CASO STUDIO

Il nostro gruppo sta concentrando l'attività di ricerca sulle risposte biologiche delle alghe rosse calcaree all'acidificazione dell'acqua di mare (Cumani *et al.*, 2008). Le Corallinaceae svolgono un ruolo ecologico fondamentale in diversi ecosistemi marini, dalle barriere coralline, alle acque fredde di alte latitudini. Le Corallinaceae possono formare anche piattaforme monumentali.

Diverse prove, supportate da ampia e recente letteratura, suggeriscono che le Corallinaceae, in relazione al fatto che depositano prevalentemente calcite magnesiacca, potrebbero essere più suscettibili all'acidificazione di altri organismi calcificanti [Kuffner *et al.*, 2008].

Negli ultimi anni l'effetto dell'aumento del diossido di carbonio è stato studiato su individui maturi di alghe rosse calcaree. Gli effetti dell'acidificazione sulle fasi riproduttive delle Corallinaceae sono ancora poco noti [Jokiel *et al.*, 2008].

Nel maggio 2009 è stato condotto uno studio sulla produzione e sullo sviluppo di spore di Corallinaceae in coltura artificiale a condizioni controllate (microcosmo) con una differente concentrazione di anidride carbonica. L'esperimento si è svolto con l'utilizzo di tre vasche da 20 litri ciascuna, immerse "a bagnomaria" in una vasca più grande, in modo da controllare la temperatura. La prima vasca, contenente acqua marina a condizioni naturali, con un pH medio pari a 8,2, rappresentava la vasca di controllo. Nella seconda e terza vasca è stata insufflata la CO₂, con l'obiettivo di simulare le condizioni future. Nel design dell'esperimento la prima vasca di controllo (pCO₂ = 370 ppm e pH = 8.2) corrispondeva alle condizioni attuali; la seconda vasca (pCO₂ = 550 ppm e pH = 8.0) simulava le condizioni del 2050; la terza vasca (pCO₂ = 760 ppm e pH = 7.8) corrispondeva alle condizioni della fine del secolo, secondo le previsioni dell'IPCC (2007). Tali condizioni sono state mantenute costanti con un meccanismo di controllo a retro-azione: un pHmetro comandava un'elettrovalvola, che a sua volta attivava o silenziava gli insufflatori di CO₂ (Figura 1).

Le alghe (alghe rosse incrostanti, come ad esempio *Lithophyllum* spp.) sono state raccolte e portate in laboratorio. Tali alghe sono state indotte alla sporulazione nelle tre va-

Laboratorio

Tre taniche da 20 litri posizionate in una più grande per controllare la temperatura.



Foto: F. Cumani

3 piaccemetri controllati da un'elettrovalvola, che attivano o disattivano un insufflatore di CO₂ per mantenere il pH ad un valore stabilito

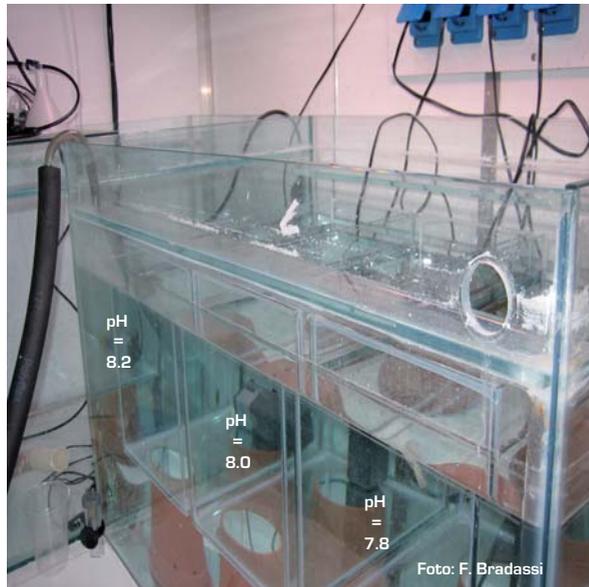


Foto: F. Bradassi

Figura 1. Microcosmo di coltura.

sche in seguito ad un trattamento termico (alcune ore a temperatura di circa 25°C). Le alghe sono state raccolte per caduta su vetrini per microscopia. Lo sviluppo delle spore è stato monitorato, osservando caratteri qualitativi e quantitativi (Figura 2).

Entro la prima settimana di coltura è stato concluso un censimento: sono stati contati 604 talli nella vasca a pH 8.2, 168 nella vasca a pH 8.0 e 235 nella vasca a pH 7.8. Dopo 5 settimane erano presenti 243 talli nella vasca a pH 8.2 (mortalità 59.77%), 59 talli nella vasca a pH 8.0 (mortalità 64.86%) e 74 talli nella vasca a pH 7.8 (mortalità 68.52%) (Figura 3).

Considerando i caratteri qualitativi si è notato che molte spore nella vasca a pH 7.8 non hanno seguito uno sviluppo morfogenetico corretto in tutte le direzioni, ma sono rimaste non sviluppate in alcuni settori (Figura 2).

Questi risultati preliminari, che dovranno essere confermati da ulteriori indagini, sembrano suggerire che l'aumento della concentrazione della CO₂ in coltura artificiale inibisca la produzione e lo sviluppo di spore, e incrementi la mortalità dei dischi germinativi.

ESPERIMENTO SCOLASTICO

Nella convinzione che educazione e conoscenza rappresentino gli unici strumenti per intervenire e mutare le abitudini delle nuove generazioni sulla tematica dei cambiamenti climatici globali, è stato proposto un collegamento diretto fra mondo della ricerca e della scuola. Grazie a specifiche competenze nella didattica che alcuni membri del gruppo di ricerca possiedono grazie a precedenti esperienze lavorative, e grazie al supporto del C.I.R.D. (Centro Interdipartimentale di Ricerca Didattica - Università di Trieste), è stata

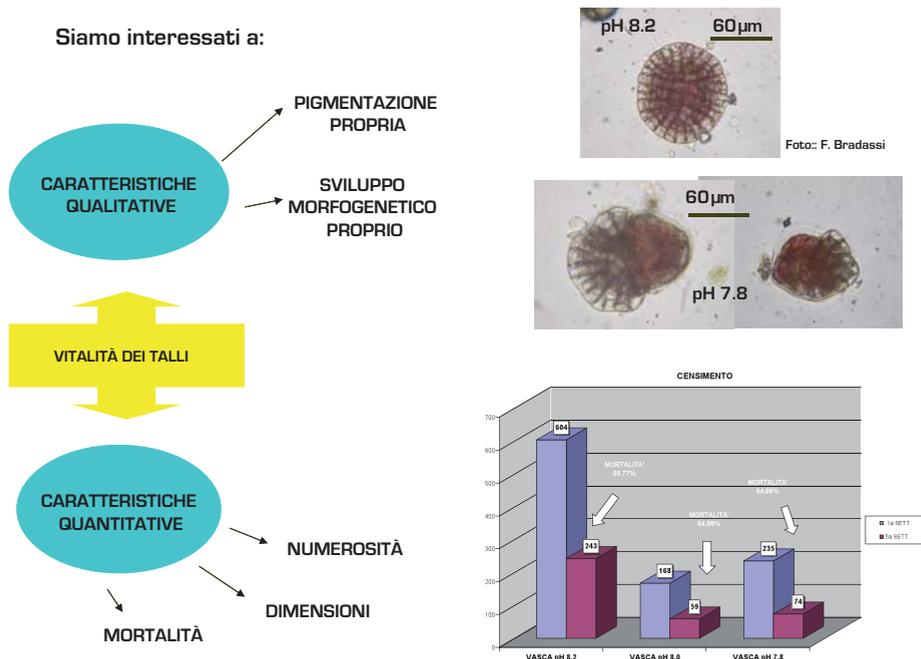


Figura 2. Monitoraggio dello sviluppo delle spore.

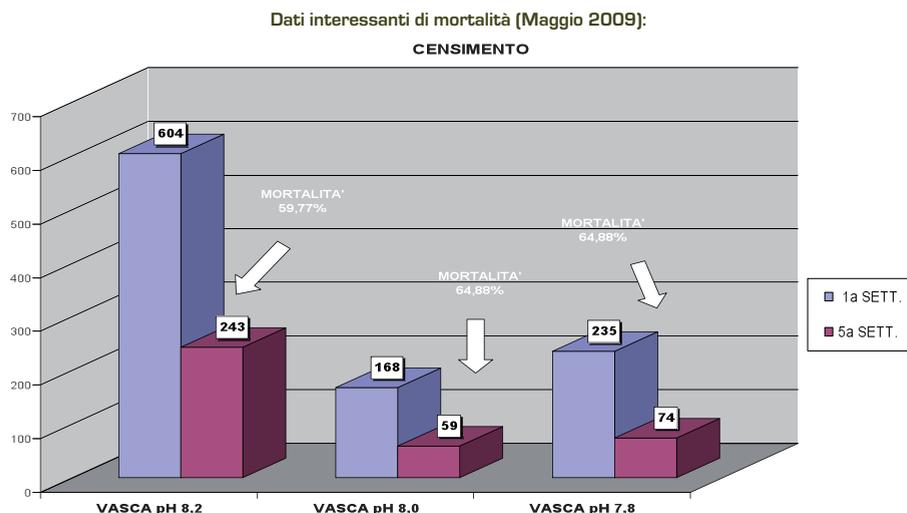


Figura 3. Sporulazione e mortalità a pH differenti.

inaugurata una collaborazione con una scuola media della città. È stato offerto agli alunni della terza classe un corso sperimentale sui cambiamenti climatici globali e sull'acidificazione del mare. L'esperimento, basato su talli di *Lithophyllum incrustans*, dimostra che un valore di pH più basso dell'attuale (7.8 rispetto a 8.2) influenza il tasso di accrescimento e lo sviluppo morfogenetico dei microscopici talli.

È stato estratto a sorte un gruppo di 21 studenti provenienti da tutte le classi terze della scuola, ai quali è stato offerto di prendere parte al progetto, seguendo un corso di 25 unità didattiche. Un altro gruppo di 21 studenti, che non hanno preso parte alle lezioni, ha rappresentato il gruppo di controllo.

Il corso si è basato sull'osservazione al microscopio dell'accrescimento dei talli, dal momento del rilascio delle spore al primo giorno di coltura, sino al 14° giorno. Gli studenti hanno imparato a gestire due acquari di acqua marina nei quali coltivare le alghe, il primo a pH 8.2, naturale, il secondo a pH 7.8, mantenuto più basso con insufflazione di anidride carbonica. Gli allievi hanno imparato ad usare strumenti, a raccogliere dati qualitativi e dati numerici, a rappresentarli, ad elaborarli e a trarre delle conclusioni dai risultati.

NOTE CONCLUSIVE

Il coinvolgimento personale degli studenti, raggiunto grazie all'automotivazione, gioca un ruolo fondamentale nei processi d'apprendimento: si suppone che ragazzi e ragazze, partecipando al corso, dovrebbero sviluppare abilità e competenze scientifiche, fra cui anche competenze linguistiche specifiche, in misura maggiore rispetto ai compagni del gruppo di controllo (Randler e Bogner, 2009).

Tutti gli studenti coinvolti nella ricerca hanno eseguito un test all'inizio dell'anno scolastico per valutare abilità e competenze in entrata e per valutare l'omogeneità fra i due gruppi. Il test sarà ripetuto a conclusione dell'anno scolastico.

Il quadro di riferimento adottato per la definizione di competenze e abilità è quello specificato dagli obiettivi europei OCSE – PISA (Organizzazione per la Cooperazione e Sviluppo Economico - *Programme International Student Assessment*) per studenti quattordicenni. Lo standard OCSE è stato messo a confronto con lo standard ministeriale italiano (Ministero della Pubblica Istruzione, 2007), recentemente rivisto e aggiornato.

BIBLIOGRAFIA

- CUMANI F., DI PASCOLI A., E BRESSAN G. (2008). Osservazioni fenoeotipiche di bioindicatori in coltura di laboratorio *Pneophyllum fragile* Kützing e *Hydrolithon boreale* (Foslie) Chamberlain (Corallinales, Rhodophyta). *Biologia Marina Mediterranea* 15(1): 260-261.
- HALL-SPENCER J.M., RODOLFO-METALPA R., MARTIN S., RANSOME E., FINE M., TURNER S.M., ROWLEY S.J., TEDESCO D., E BUIA M.C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* 454: 96-99.
- HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., VAN DER LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K., E JOHNSON C.A. (Ed.) (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contributo del "Working Group I" al "Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge University Press, Cambridge, Regno Unito e New York, NY, USA. 881 pp.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contributo dei "Working Groups I, II e III" al "Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Core Writing Team, Pachauri R.K, e Reisinger A. (Ed.). IPCC, Geneva, Svizzera. 104 pp.
- JOKIEL P.L., RODGERS K.S., KUFFNER I.B., ANDERSSON A.J., COX E.F., E MACKENZIE F.T. (2008). Ocean acidification and calcifying reef organisms: a mesocosm investigation. *Coral Reefs* 27: 473–483.
- KLEYPAS J.A., FEELY R.A., FABRY V.J., LANGDON C., SABINE C.L., E ROBBINS L.L. (2005). Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: A guide for future research. Rapporto di un workshop tenutosi dal 18 al 20 Aprile 2005, St. Petersburg, FL, sponsorizzato da NSF, NOAA, e U.S. Geological Survey. 88 pp.
- KUFFNER I.B., ANDERSSON A.J., JOKIEL P.L., RODGERS K.S., E MACKENZIE F.T. (2008). Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature Geoscience* 1: 114-117.
- MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE (2007). *Indicazioni per il curricolo per la scuola dell'infanzia e per il primo ciclo d'istruzione*. Ed. Ministero Pubblica Istruzione (Roma). 111 pp.
- OCSE (2007). *Valutare le competenze in scienze, lettura e matematica*. Quadro di riferimento di PISA 2006. Roma, Armando ed. pp. 11-22; pp. 25-54; pp. 135-198.
- PARRY M., CANZIANI O., PALUTIKOF J., VAN DER LINDEN P., E HANSON C. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contributo del "Working Group II" al "Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)". Cambridge University Press.
- RANDLER C., E BOGNER F.X. (2009). Efficacy of two different instructional methods involving complex ecological content. *International Journal of Science and Mathematics Education* 7: 315-337.

LA PESCA IN ALTO ADRIATICO DALLA CADUTA DELLA SERENISSIMA AD OGGI: UN'ANALISI STORICA ED ECOLOGICA

Tomaso Fortibuoni

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Chioggia (Italia)

Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste (Italia)

e-mail: tomaso.fortibuoni@isprambiente.it

Parole chiave: *storia dell'ambiente, naturalisti, statistiche di pesca, indicatori della struttura della comunità*

RIASSUNTO

In ambiente marino la pesca è considerata la principale forzante in grado di alterare le comunità ittiche. Inoltre, la pesca precede cronologicamente ogni altra fonte di disturbo antropico, come ad esempio l'inquinamento, i cambiamenti climatici e l'alterazione degli habitat. L'impatto dell'uomo sugli ecosistemi marini è iniziato già diversi secoli fa, mentre le politiche di gestione delle risorse marine sono, nella maggior parte dei casi, basate su osservazioni recenti (poche decadi). Ne può conseguire una sottostima della capacità produttiva degli ecosistemi e della biodiversità, la nota "*shifting baseline syndrome*". Per questo motivo il recupero e l'analisi di dati storici sono diventati prioritari nell'ambito della scienza della pesca, che oggi si pone come obiettivo rivalutare i punti di riferimento del passato per meglio comprendere le dinamiche degli ecosistemi e definire obiettivi di ripristino e gestione. È proprio questo il principale obiettivo del progetto *History of Marine Animal Populations* (HMAP – Storia delle Popolazioni Marine), nel cui ambito è stato sviluppato questo studio. Una delle principali difficoltà nello studiare le dinamiche a lungo termine delle specie marine è la raccolta e analisi di dati *proxy*, dal momento che, sebbene in alcuni casi siano disponibili informazioni qualitative sull'abbondanza nel passato degli organismi marini, dati quantitativi raccolti *ad hoc* in genere non sono disponibili su ampie scale temporali. In questo contesto l'Alto Adriatico rappresenta un caso studio interessante, sia per l'abbondanza di fonti storiche sulla fauna ittica e sulle attività di pesca, sia per il suo valore ecologico, legato all'elevata produzione primaria e secondaria che ne fanno uno dei bacini più sfruttati del Mediterraneo. Gli obiettivi di questo lavoro sono descrivere sinteticamente lo sviluppo della capacità di pesca in Alto Adriatico tra il 1800 e il 2000 e studiare i cambiamenti a lungo termine (due secoli) della comunità ittica attraverso le descrizioni dei naturalisti e le statistiche di sbarcato. Dalla seconda metà del 19° secolo alla I Guerra Mondiale, il numero d'imbarcazioni da pesca e di pescatori è aumentato notevolmente. Una vera

rivoluzione delle attività di pesca si osservata però solo dopo la II Guerra Mondiale, in seguito alla diffusione su ampia scala del motore e all'introduzione di nuove tecnologie, come ad esempio l'ittioscopio per l'individuazione dei banchi di pesce e le fibre sintetiche. L'intercalibrazione ed integrazione tra le descrizioni dei naturalisti e le statistiche di pesca hanno permesso di ricostruire una serie storica semi-quantitativa di due secoli dell'"abbondanza percepita" delle specie ittiche. Si è osservata una diminuzione significativa della biomassa relativa di Condroitti, grandi demersali e specie che raggiungono la maturità sessuale tardi, indicando la presenza di cambiamenti della struttura della comunità ittica che richiamano ad un processo di "fishing down" a lungo termine.

INTRODUZIONE

Gli ecosistemi marini che conosciamo oggi sono profondamente diversi dal loro stato naturale (Jackson *et al.*, 2001; Pinnegar *et al.*, 2002; Lotze e Milewski, 2004; Lotze, 2005; Rosenberg *et al.*, 2005; Sáez-Arroyo *et al.*, 2005; Lotze *et al.*, 2006; Ainsworth *et al.*, 2008). I cambiamenti storici delle comunità marine sono il risultato delle interazioni tra fluttuazioni naturali e alterazioni indotte dall'uomo, tra cui la pesca, che è considerata la principale forzante antropica (Jackson *et al.*, 2001; Pinnegar e Engelhard, 2008). L'ecologia storica ha un ruolo fondamentale nella definizione di punti di riferimento che descrivono cosa viveva negli oceani e nel delineare le principali forzanti (sia naturali che antropiche) che hanno contribuito a determinare lo stato attuale delle risorse marine. Lo studio di documenti storici può contribuire a descrivere lo stato naturale delle risorse e le dinamiche di sfruttamento, prerequisito per la definizione di obiettivi di sostenibilità e ripristino ambientale. In questo contesto, l'utilizzo di dati *proxy* è inevitabile (Palomares *et al.*, 2006; Anderson, 2006). Infatti, nella maggior parte dei casi dati quantitativi sulle popolazioni marine sono disponibili solo dopo la seconda metà del 20° secolo (Jackson *et al.*, 2001), mentre descrizioni precedenti hanno generalmente carattere anedddotico e quindi qualitativo. Ciò è particolarmente vero in Mediterraneo, dove programmi di monitoraggio per la valutazione dello stato delle risorse marine coprono al massimo gli ultimi trent'anni, non riuscendo quindi a descrivere l'intero ciclo di vita di molte specie e rappresentare la scala temporale di molti fenomeni naturali ed antropici (Margalef, 1985).

La regione Adriatica rappresenta un caso studio interessante per l'ecologia storica, sia grazie all'abbondanza di fonti storiche sulle flotte da pesca che operavano nell'area, sia per la disponibilità di descrizioni della fauna marina a cura di naturalisti sin dall'inizio del 19° secolo, sia per la presenza di statistiche di pesca già dalla fine del 19° secolo. La regione Adriatica è abitata e sottoposta all'azione antropica da millenni (pesca, inquinamento, eutrofizzazione, alterazione degli habitat), quindi il suo stato attuale rappresenta il risultato dell'azione a lungo termine delle popolazioni che ne hanno abitato le aree costiere. Inoltre, l'Alto Adriatico è storicamente uno dei bacini italiani più sfruttati dalla pesca (Botter *et al.*, 2006) come conseguenza dell'elevata produzione primaria e secondaria che determinano un'elevata produzione alieutica (Bombace *et al.*, 2002).

Gli obiettivi di questo lavoro sono descrivere lo sviluppo della capacità di pesca tra il 1800 e il 2000 nell'Alto Adriatico e analizzare i cambiamenti a lungo termine (due secoli) della comunità ittica attraverso il contributo dei naturalisti e le statistiche di pesca. Allo scopo

è stata condotta una ricerca archivistica tra gennaio 2007 e marzo 2008 in biblioteche ed archivi di Venezia, Padova, Roma, Trieste, Chioggia (Italia) e Spalato (Croazia) per raccogliere rapporti, libri e pubblicazioni scientifiche sulla pesca e le popolazioni marine dell'Alto Adriatico. Sono stato consultati circa 500 documenti, di cui sono stati acquisiti circa 300. Questi documenti includono fonti sia scientifiche sia umanistiche, come ad esempio le descrizioni della fauna marina a cura dei naturalisti, letteratura grigia sulle attività di pesca, statistiche di pesca e rapporti governativi sullo stato della pesca e delle risorse.

ATTIVITÀ DI PESCA

Le attività di pesca lungo le due coste dell'Adriatico nel 19° secolo avevano caratteristiche molto diverse, in relazione alla differente morfologia del litorale. La costa orientale, infatti, è collinosa e rocciosa, presenta profondità elevate e numerose isole; la costa occidentale è invece di natura sedimentaria, caratterizzata da un sistema di delta e lagune, spiagge basse e sabbiose e profondità ridotte. Le differenze tra le attività di pesca praticate lungo le due coste vanno lette anche in relazione alle diverse caratteristiche dei pescatori austro-ungarici (costa orientale) e italiani (costa occidentale). I primi, infatti, si dedicavano preferenzialmente ad attività di pesca costiera, mentre i secondi alla pesca in mare aperto.

Lungo la costa orientale, prima dell'industrializzazione della pesca, era possibile distinguere tre modalità di sfruttamento delle risorse marine: la pesca costiera e le pesche stagionali, praticate principalmente dagli abitanti locali, e la pesca in mare aperto, esercitata quasi esclusivamente da pescatori italiani (principalmente da pescatori provenienti da Chioggia, un'isola vicino Venezia, chiamati Chioggiotti). La pesca costiera era praticata per mezzo di un'ampia varietà di attrezzi artigianali (reti da posta, sciabiche, reti derivanti, etc.) in genere mono-specifici (concepiti cioè per catturare una o poche specie). Era esercitata vicino la costa per mezzo di piccole barche, e garantiva basse produzioni ma elevati profitti, poiché le specie bersaglio erano di elevato valore commerciale (ad esempio la spigola e lo scampo). La pesca rappresentava per gli abitanti delle aree costiere un'integrazione ad altre occupazioni (agricoltura, allevamento, industria), e si trattava principalmente di un'attività di sussistenza. La pesca stagionale, invece, era rivolta alle specie migratrici come la sardina, l'acciuga, lo sgombro e il tonno. La pesca del tonno era una delle attività più proficue lungo la costa orientale, dove si trovavano diverse tipologie di tonnara, principalmente nella regione dalmata. Era esercitata con reti fisse durante la stagione in cui i tonni si avvicinavano alla costa (agosto-ottobre) seguendo i banchi di piccoli pelagici. Le principali specie bersaglio erano il tonno rosso (*Thunnus thynnus*), l'alletterato (*Euthynnus alletteratus*) e la palamita (*Sarda sarda*).

La pesca in mare aperto era praticata principalmente dai Chioggiotti. I Chioggiotti sfruttavano vaste aree dell'Adriatico, spostandosi stagionalmente tra una costa e l'altra seguendo le migrazioni delle specie. Questa attività era praticata con attrezzi a strascico (ad esempio la cocchia, la tartana e l'ostregher) per la cattura di specie demersali.

Dopo la seconda metà del 19° secolo e fino alla I Guerra Mondiale, lungo entrambe le coste dell'Adriatico il numero di pescatori e di barche da pesca è aumentato (Figura 1), ma non sono state introdotte grandi innovazioni tecnologiche o nuovi attrezzi.

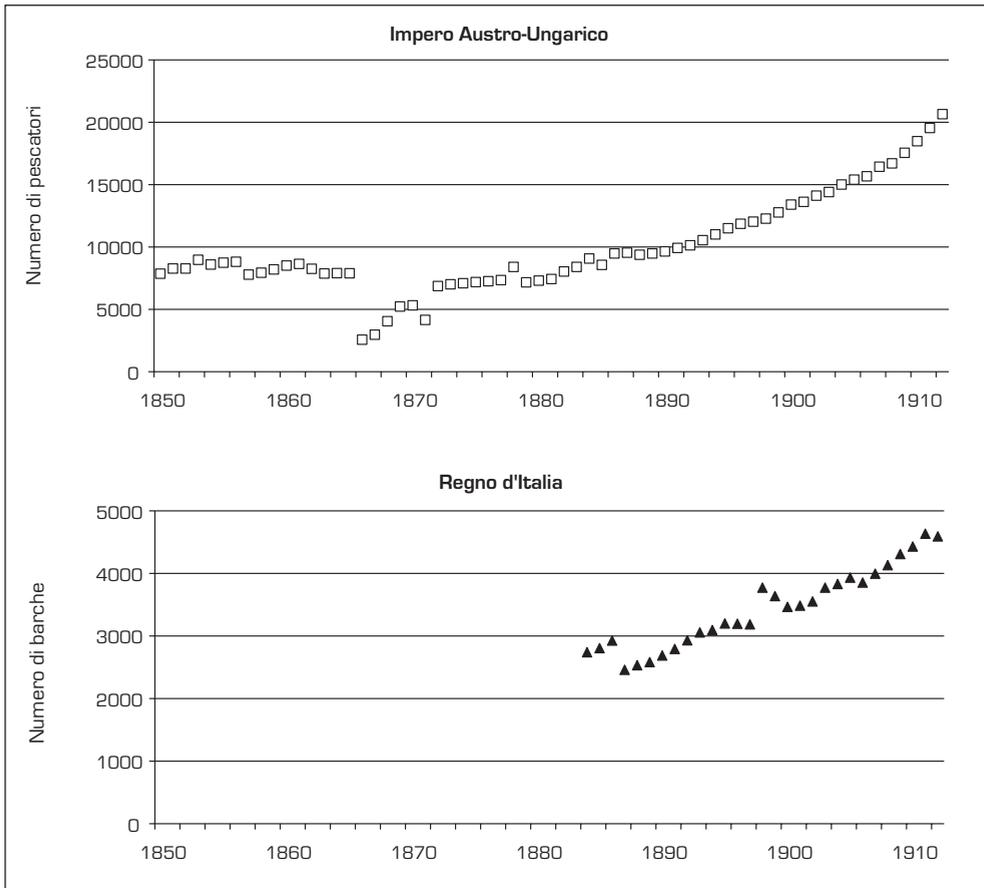


Figura 1. Numero di pescatori nell'Impero Austro-Ungarico [a] e numero di barche da pesca nel Regno d'Italia [b] tra il 1850 e il 1912. Nell'Impero Austro-Ungarico fino al 1866 il numero di pescatori è rimasto sostanzialmente invariato e la pesca rappresentava un'attività di sussistenza; nel 1866 si osserva una temporanea diminuzione, conseguente all'annessione di Venezia al Regno d'Italia, mentre dopo il 1880 i pescatori sono aumentati considerevolmente. Non sono disponibili statistiche sulle flotte del Regno d'Italia fino al 1884; negli anni a seguire il numero d'imbarcazioni da pesca è aumentato notevolmente.

Tra la I e la II Guerra Mondiale è iniziato un processo di modernizzazione delle flotte pescherecce dell'Adriatico attraverso l'introduzione di alcuni miglioramenti tecnologici, tra cui il motore che gradualmente ha sostituito al vela. Tale processo di modernizzazione ha trovato pieno compimento solo dopo la II Guerra Mondiale, determinando l'inizio della fase industriale della pesca in Adriatico. Dagli anni '50, inoltre, il numero d'imbarcazioni da pesca (e la loro stazza) è aumentato molto velocemente, almeno fino a metà degli anni '80; successivamente si è osservata in alcune marinerie una lieve diminuzione, probabile conseguenza del declino di alcuni importanti stock sovra-sfruttati e in risposta alle politiche volte alla diminuzione della capacità di pesca nell'area. La motorizzazione dei pesche-

La pesca in Adriatico dalla caduta della Serenissima

recci ha permesso di velocizzare i movimenti, di sfruttare aree più distanti dalla costa e operare anche in condizioni di maltempo (o in assenza di vento), determinando un aumento del numero di giorni di pesca. L'ampia varietà di attrezzi artigianali mono-specifici è stata sostituita da un numero ridotto di attrezzi multi-specifici più efficienti (e più impattanti): negli anni '40 la saccaleva (rete a circuizione) per la pesca dei piccoli pelagici; negli anni '60 il rapido (rete a strascico a bocca fissa) per la pesca delle specie demersali; sempre negli anni '60 la volante (traino pelagico a divergenti) per la pesca dei piccoli pelagici; infine, negli anni '70 l'introduzione della draga idraulica per la pesca di bivalvi e specie demersali. Il motore e le nuove tecnologie introdotte (radar, sonar, fax, congelatore, GPS, eco-scandaglio, fibre sintetiche, etc.) aumentarono notevolmente la capacità di pesca e l'efficienza delle flotte Adriatiche, mascherando a lungo il graduale impoverimento delle risorse. In Figura 2 è sintetizzato schematicamente lo sviluppo della capacità di pesca in Alto Adriatico negli ultimi due secoli.

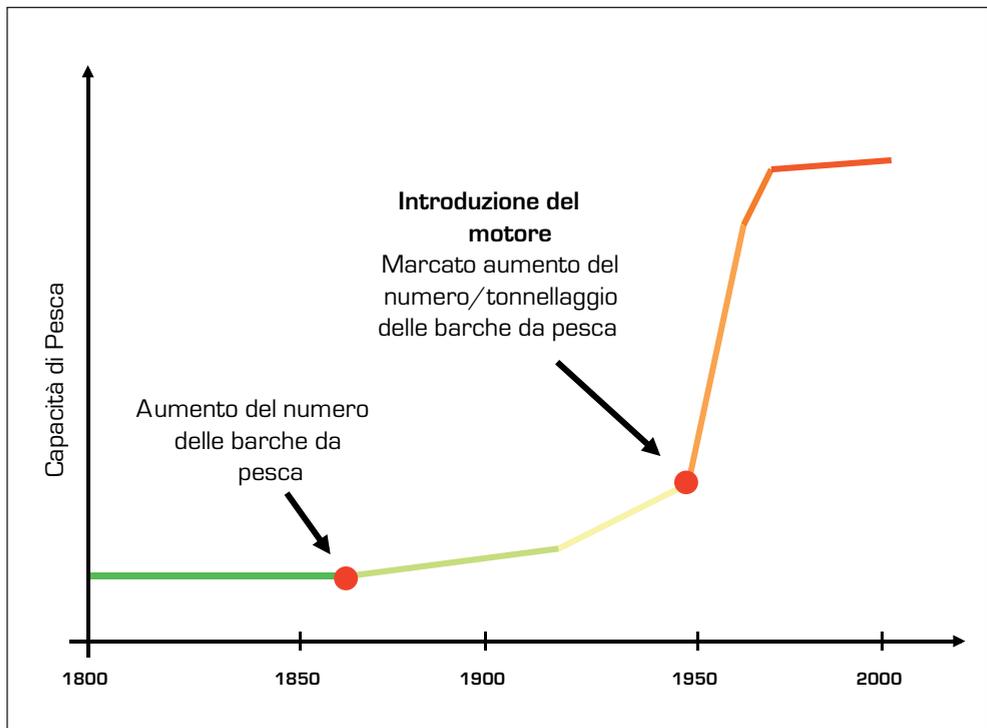


Figura 2. Rappresentazione schematica dello sviluppo della capacità di pesca in Alto Adriatico negli ultimi due secoli. Fino alla seconda metà del 19° secolo la capacità di pesca non è cambiata sostanzialmente, mentre verso la fine del secolo il numero di barche da pesca/pescatori è cominciato ad aumentare rapidamente. Dopo la II Guerra Mondiale si sono verificati importanti cambiamenti, quando l'introduzione del motore e di nuovi attrezzi e tecnologie più efficienti hanno incrementato notevolmente la capacità di pesca delle flotte dell'Adriatico. Nelle ultime decadi la capacità di pesca si è stabilizzata come conseguenza di politiche nazionali ed Europee e del depauperamento di alcuni tra i principali stock sfruttati.

LE POPOLAZIONI MARINE

Il principale problema nel descrivere i cambiamenti a lungo termine delle popolazioni marine è la mancanza di dati quantitativi su ampia scala temporale. La maggior parte dei programmi di monitoraggio delle risorse alieutiche, infatti, copre solo gli ultimi decenni. Questo vale anche per l'Adriatico, dove la principale fonte d'informazioni sulle popolazioni marine nel 19° secolo è rappresentata dai documenti storici dei naturalisti italiani ed austro-ungarici. Questi documenti, particolarmente abbondanti nel 19° secolo in seguito alla diffusione del sistema di classificazione di Linneo (Edmonds, 2005), contengono liste di specie, una descrizione della loro "abbondanza percepita" e informazioni sulle principali caratteristiche ecologiche (distribuzione, taglia, habitat, migrazioni).

È stato compilato un database con le informazioni sulle specie ittiche riportate da 36 naturalisti in un periodo di circa 150 anni (1818-1956). I naturalisti basavano le proprie conoscenze sull'osservazione diretta delle catture presso mercati ittici e porti, colloqui con i pescatori, letteratura e analisi delle collezioni dei Musei di Storia Naturale. I nomi scientifici delle specie sono stati aggiornati secondo la nomenclatura moderna, attraverso database globali (Froese e Pauly, 2009) e libri di tassonomia (Tortonese, 1956; 1970; 1975). Nei testi dei naturalisti erano descritte 394 specie in termini di presenza/assenza, distribuzione, abbondanza, habitat preferenziale, stagionalità, taglia, etc. La lista delle specie è stata controllata accuratamente e sono state eliminate dal database 139 specie: i) specie d'acqua dolce; ii) specie esotiche riportate per errore (ad esempio il merluzzo atlantico *Gadus morhua*, riportato da un autore nel 1822); iii) nomi sbagliati e specie che non esistono (ad esempio *Laeviraja morula* o *Notidanus barbarus*); iv) specie citate da meno di cinque autori. Ogni descrizione dell'abbondanza e diffusione delle specie è stata classificata secondo una scala composta da quattro classi di "abbondanza percepita", molto raro, raro, comune e molto comune. La codifica in una di queste classi è stata fatta in base alle descrizioni dei naturalisti: per esempio, se una specie era descritta come "accidentale" o "occasionale", è stata definita molto rara. Le informazioni sono state ordinate cronologicamente ed aggregate in periodi di 25 anni.

Per studiare i cambiamenti della comunità ittica è stato necessario quantificare le classi di "abbondanza percepita". Dal momento che i naturalisti valutavano l'abbondanza delle specie osservando le catture presso i mercati ittici e i porti, abbiamo raccolto le statistiche di pesca (dati di sbarcato) dei principali mercati ittici o riferite ad ampie aree costiere dell'Alto Adriatico per intercalibrare le due fonti di informazione. Queste fonti comprendevano i mercati di Venezia, Chioggia, Trieste (attualmente in Italia), Fiume (attualmente in Croazia) e il litorale Austro-Ungarico, e coprivano un periodo compreso tra il 1874 e il 2000. Questi mercati ittici erano i più importanti dell'Alto Adriatico (Faber, 1883; Levi Morenos, 1916; D'Ancona, 1926, 1949) e le flotte che li rifornivano ne sfruttavano vaste aree (Botter *et al.*, 2006). Lo sbarcato annuale per specie e gruppi di specie era riportato come peso umido (kg/anno). I dati di sbarcato, poiché sottostimano la biomassa delle specie non commerciali e non sono standardizzati in termini di sforzo e attrezzatura da pesca, presentano le limitazioni dei dati *fishery-dependent*, ma possono comunque fornire informazioni utili sui cambiamenti della composizione delle comunità sfruttate in termini di proporzioni nelle catture. Per questo motivo i dati di sbarcato sono stati espressi come proporzione di ciascuna specie sul totale delle catture, e i dati sono stati

La pesca in Adriatico dalla caduta della Serenissima

mediati su periodi di 25 anni per rendere l'informazione confrontabile a quella dei naturalisti.

Abbiamo utilizzato i periodi per cui erano disponibili entrambe le fonti di informazione (1875-1900, 1901-1925 e 1926-1950) per intercalibrare i due database e quantificare, attraverso la definizione di un set di pesi numerici, la classi di "abbondanza percepita". La procedura (Fortibuoni *et al.*, 2008) ha permesso di integrare i due database e ottenere una descrizione semi-quantitativa dell'abbondanza delle specie in un periodo di due secoli (1800-2000) (Figura 3).



Figura 3. Modello concettuale della metodologia di intercalibrazione e integrazione che ha permesso di definire le descrizioni qualitative dell'“abbondanza percepita” delle specie ad opera dei naturalisti in termini quantitativi. Attraverso l'intercalibrazione è stato possibile associare alle classi qualitative di “abbondanza percepita” un set di pesi numerici basati sulle proporzioni delle specie nello sbarcato. L'intercalibrazione ha inoltre permesso di definire limiti di classe per trasformare i dati di sbarcato in classi di “abbondanza percepita” per i periodi 1951-1975 e 1976-2000 (per i quali non erano disponibili descrizioni dei naturalisti). Ne è risultata una descrizione dell'“abbondanza percepita” delle specie con la stessa metrica semi-quantitativa in un periodo di due secoli (1800-2000).

Per studiare i cambiamenti a lungo termine della composizione della comunità ittica sono stati definiti alcuni indicatori di struttura della comunità, basati sul livello trofico, la lunghezza massima e l'età di prima maturità delle specie. I risultati hanno evidenziato un declino della biomassa relativa dei grandi demersali, di specie di elevate dimensioni, specie a maturazione lenta e dei Condroitti (squali e razze). Si tratta di specie vulnerabili ad un'ampia varietà di attrezzi e che hanno un elevato valore commerciale, che ne ha determinato uno sfruttamento intenso da molto tempo (Fromentin, 2003). Inoltre, queste specie hanno caratteristiche ecologiche (ad esempio la maturità tardiva e i bassi tassi di crescita e riproduzione) che le rendono poco resilienti nei confronti dello sfruttamento (Pauly *et al.*, 1998; Jennings *et al.*, 1999; Dulvy *et al.*, 2004).

CONCLUSIONI

I risultati riportati in questo articolo sottolineano l'importanza di integrare diverse fonti di informazione per ricostruire i cambiamenti a lungo termine delle comunità marine. Le descrizioni dei naturalisti si sono dimostrate uno strumento utile a descrivere l'abbondanza e la diversità delle specie nel passato, evidenza importante poiché nel contesto della gestione della pesca questa tipologia di fonte è stata per molto tempo sottovalutata, in quanto “aneddoto” e non “scienza” (Mackinson, 2001). La metodologia

applicata ha permesso l'integrazione di diverse tipologie di dato, qualitativo e quantitativo. Ciò ha permesso di estendere lo studio dei cambiamenti della comunità ittica a due secoli, dall'inizio del 19° alla fine del 20° secolo, utilizzando la stessa metrica. Indicazioni di un processo di "fishing down" (Pauly *et al.*, 1998) a lungo termine in Alto Adriatico sembrano realistiche, ma sono necessarie ulteriori analisi per giungere a conclusioni più robuste. Ciononostante i risultati sono in accordo con quanto osservato da altri autori per l'Alto Adriatico (Coll *et al.*, 2006; 2008) e per altre aree caratterizzate da un'elevata pressione di pesca (alcuni esempi si possono trovare in Jennings *et al.*, 1999; Jackson *et al.*, 2001; Lotze *et al.*, 2006; Ainsworth *et al.*, 2008). Inoltre, letteratura storica riporta che già alla fine del 19° secolo erano evidenti segnali di depauperamento delle risorse marine in Adriatico (Sennebogen, 1897). La pesca, sebbene non ancora industrializzata, era considerata responsabile di cambiamenti strutturali della comunità ittica, come dimostrato dal biologo Umberto D'Ancona (1926, 1949). In particolare, D'Ancona ha osservato come dopo le due guerre, durante le quali la pesca era cessata quasi completamente, il pescato fosse aumentato considerevolmente e la frequenza nelle catture di alcuni gruppi di specie fosse cambiata, con un aumento della percentuale di Condroitti.

Il bacino Adriatico è stato interessato da un'intensa attività di pesca almeno dalla seconda metà del 19° secolo (Botter *et al.*, 2006), ma la capacità di pesca, lo sforzo e di conseguenza il suo impatto sull'ecosistema è aumentato notevolmente dopo la II Guerra Mondiale in seguito all'industrializzazione della pesca. Appare chiaro che la struttura della comunità ittica è cambiata e che la pesca ha giocato un ruolo importante, ma un'analisi robusta del ruolo giocato dalle diverse forzanti (sia antropogeniche che naturali) richiede ulteriori approfondimenti.

BIBLIOGRAFIA

- AINSWORTH C.H., PITCHER T.J., E ROTINSULU C. (2008). Evidence of fishery depletions and shifting cognitive baselines in Eastern Indonesia. *Biological Conservation* 141: 848-859.
- ANDERSON K. (2006). Does history count? *Endeavour* 30(4): 150-155.
- BOMBACE G. (2002). Remarks on the fishing, biodiversity and marine protected areas. *Biologia Marina Mediterranea* 9(1): 48-70.
- BOTTER L., GIOVANARDI O., E RAICEVICH S. (2006). Chioggia's fishing fleet migration in the Adriatic Sea between the 19th and the early 20th centuries. *Journal of Mediterranean Studies* 16(1/2): 27-44.
- COLL M., SANTOJANNI A., PALOMERA I., TUDELA S., E ARNERI E. (2006). An ecological model of the Northern and Central Adriatic Sea: analysis of ecosystem structure and fishing impact. *Journal of Marine Systems* 67: 119-154.
- COLL M., LOTZE H.K., E ROMANUK T.N. (2008). Structural degradation in Mediterranean Sea food webs: testing ecological hypotheses using stochastic and mass-balance modeling. *Ecosystems* 11: 939-960.
- D'ANCONA U. (1926). Dell'influenza della stasi peschereccia del periodo 1914-18 sul patrimonio ittico dell'Alto Adriatico. *Memorie del Regio Comitato Talassografico Italiano CXXVI*: 5-91.

- D'ANCONA U. (1949). Rilievi statistici sulla pesca nell'Alto Adriatico. *Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti CVIII*: 41-53.
- DULVY N.K., ELLIS J.R., GOODWIN N.B., GRANT A., REYNOLDS J.D., E JENNINGS S. (2004). Methods of assessing extinction risk in marine fishes. *Fish and Fisheries* 5: 255-276.
- EDMONDS M. (2005). The pleasures and pitfalls of written records. In *The historical ecology handbook*, Egan D., e Howell E. (Ed.). E.A. Society for Ecological Restoration International (Washington DC). pp. 73-100.
- FABER G.L. (1883). The fish markets. In *The fisheries in the Adriatic and the fish thereof*. Bernard Quaritch (Londra). pp. 141-147.
- FORTIBUONI T., GIOVANARDI O., LIBRALATO S., RAICEVICH S., E SOLIDORO C. (2008). Integrating historical naturalists' descriptions and statistical-scientific data to describe changes in fish assemblages over the last two centuries in the Northern Adriatic Sea (Mediterranean). *ICES CM 2008/R:14*.
- FROESE R., E PAULY D. Editors. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org (2009).
- FROMENTIN J.M. (2003). The East Atlantic and Mediterranean bluefin tuna stock management: uncertainties and alternatives. *Scientia Marina* 67: 51-62.
- JACKSON J.B.C., KIRBY M.X., BERGER W.H., BJORN DAL K.A., BOTSFORD L.W., BOURQUE B.J., BRADBURY R.H., COOKE R., ERLANDSON J., ESTES J.A., HUGHES T.P., KIDWELL S., LANGE C.B., LENIHAN H.S., PANDO J.M., PETERSON C.H., STENECK R.S., TEGNER M.J., E WARNER R.R. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293(5530): 629-37.
- JENNINGS S., GREENSTREET S.P.R., E REYNOLDS J.D. (1999). Structural change in an exploited fish community: a consequence of differential fishing effects on species with contrasting life histories. *Journal of Animal Ecology* 68: 617-627.
- LEVI MORENOS D. (1916). L'emigrazione peschereccia pel lavoro nell'Adriatico. In *Memoria XXXII del Regio Comitato Talassografico Italiano*. Ed. Premiate Officine Grafiche di Carlo Ferrari (Venezia). pp. 9-143.
- LOTZE H.K., E MILEWSKI I. (2004). Two centuries of multiple human impacts and successive changes in a North Atlantic food web. *Ecological Applications* 14(5): 1428-1447.
- LOTZE H.K. (2005). Radical changes in the Wadden Sea fauna and flora over the last 2000 years. *Helgoland Marine Research* 59: 71-83.
- LOTZE H.K., LENIHAN H.S., BOURQUE B.J., BRADBURY R.H., COOKE R.G., KAY M.C., KIDWELL S.M., KIRBY M.X., PETERSON C.H., E JACKSON J.B.C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312: 1806-1808.
- MACKINSON S. (2001). Integrating local and scientific knowledge: an example in fisheries science. *Environmental Management* 27(4): 533-545.
- SENNEBOGEN E. (1897). Della pesca nell'Adriatico in generale e su quella nella Dalmazia in particolare. *Neptunia* 12(9-10): 137-149.
- PINNEGAR J.K., JENNINGS S., O'BRIEN C.M., E POLUNIN N.V.C. (2002). Long-term changes in the trophic level of the Celtic Sea fish community and fish market price distribution. *Journal of Applied Ecology* 39: 377-390.
- ROSENBERG A.A., BOLSTER W.J., ALEXANDER K.E., LEAVENWORTH W.B., COOPER A.B., E MCKENZIE M.G. (2005). The history of ocean resources: modelling cod biomass using historical records. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(2): 84-90.

- SAEZ-ARROYO A., ROBERTS C.M., TORRE J., E CARINO-OLVERA M. (2005). Using fishers' anecdotes, naturalists' observations and grey literature to reassess marine species risk: the case of the Gulf grouper in the Gulf of California, Mexico. *Fish and Fisheries* 6: 121-133.
- PINNEGAR J.K., E ENGELHARD G.H. (2008). The 'shifting baseline' phenomenon: a global perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 18: 1-16.
- PALOMARES M.D.L., MOHAMMED E., E PAULY D. (2006). On European expeditions as a source of historic abundance data on marine organisms: a case study of the Falkland Islands. *Environmental History* 11: 835-847.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., DALSGAARD J., FROESE R., E TORRES Jr. F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science* 279: 860-863.
- MARGALEF R. (1985). Introduction to the Mediterranean. In *Key Environments: Western Mediterranean*, Margalef R. (Ed.). Pergamon Press (Oxford). pp. 1-163.
- TORTONESE E. (1956). Leptocardia, Ciclostomata, Selachii. *Fauna d'Italia (Vol II)*. Ed. Calderini (Bologna). 334 pp.
- TORTONESE E. (1970). Osteichthyes (Pesci Ossei: Parte Prima). *Fauna d'Italia (Vol X)*. Ed. Calderini (Bologna). 540 pp.
- TORTONESE E. (1975). Osteichthyes (Pesci Ossei: Parte seconda). *Fauna d'Italia (Vol XI)*. Ed. Calderini (Bologna). 636 pp.

UNA PANORAMICA DELLA PESCA IN ERITREA: PASSATO E PRESENTE (1950-2010)

Tsegay Fessehaye Kassa

National Fisheries Corporation, Fishing Enterprise, Massawa (Eritrea)

e-mail: tsegayf@gmail.com

Parole chiave: *Eritrea, pesca, Mar Rosso, catture, risorse, politica, storia*

RIASSUNTO

Questo articolo esamina alcune caratteristiche della pesca in Eritrea dagli anni '50 ad oggi. Le informazioni riportate provengono dalla letteratura, da testimonianze di pesca e da dati dell'Ente Nazionale della Pesca e del Ministero delle Risorse Marine dell'Eritrea. In Eritrea la pesca in mare era molto praticata; storicamente si trattava di un'attività di sussistenza che fino agli anni '50 veniva esercitata con canoe e piccole barche a vela e a remi, mentre nel 1960 hanno cominciato a diffondersi barche a motore. Lo sviluppo della pesca in Eritrea è stato influenzato dai cambiamenti politici che hanno interessato questo paese; in particolare, la guerra che ha preceduto la nascita dell'Eritrea (1993) ha determinato una riduzione delle attività e dello sbarcato. Da quel momento la pesca è stata rivitalizzata attraverso la costruzione di nuove o il restauro di vecchie infrastrutture, che ha portato all'espansione sia della pesca artigianale che di quella industriale. Ne è risultato un aumento delle catture, dominate ampiamente da quelle della pesca industriale, in particolare dal 1999. Poiché il Mar Rosso è caratterizzato da un'elevata biodiversità e dalla presenza di habitat pregiati, in particolare le barriere coralline, la pesca deve essere controllata per garantire la sostenibilità a lungo termine dell'utilizzo delle risorse marine.

INTRODUZIONE

L'Eritrea è un piccolo stato che si trova nell'Africa nord-orientale, con una superficie di circa 124320 km² (considerando anche l'arcipelago Dahlak) e una popolazione di circa 4,5 milioni d'abitanti; questo stato ha celebrato ufficialmente l'indipendenza dall'Etiopia il 24 maggio 1993. La costa dell'Eritrea, che si trova sul lato sud-occidentale del Mar Rosso¹, è compresa dal confine con il Sudan presso Ras Kesar, a nord, al confine con il Gibuti presso Ras Numera, a sud (Figura 1) ed è lunga circa 3330 km (1350 km sul con-

¹ Mar Rosso è la traduzione del greco *Erythra Thalassa*, dell'Arabo *Al-Baḥr al-Aḥmar* (بحر الأحمر), e del Tigrinya *Qeyh bāḥrī*. Il nome del mare non deriva dal colore dell'acqua, ma probabilmente è riferito alle fioriture del cianobatterio rosso *Trichodesmium erythraeum* che avvengono stagionalmente vicino la superficie dell'acqua.

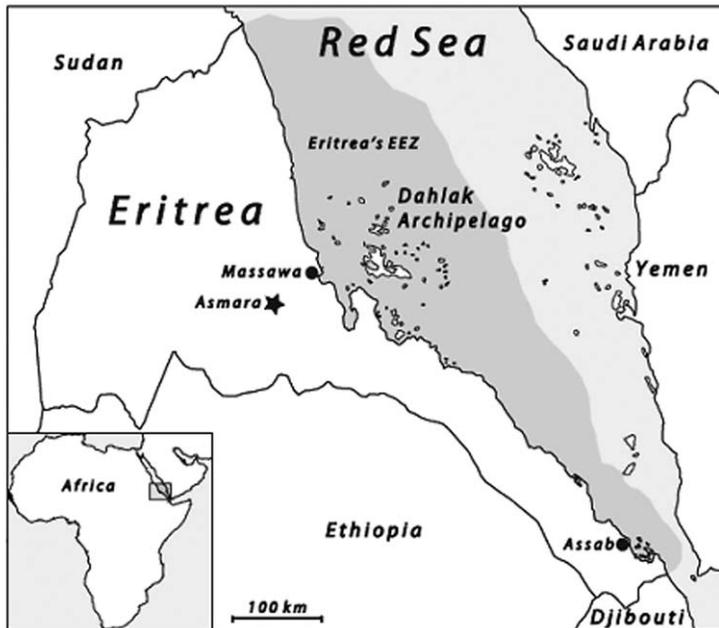


Figura 1. Mappa dell'Eritrea in cui sono evidenziate la Zona Economica Esclusiva (EEZ, in grigio scuro), le isole dell'arcipelago di Dahlak ed i porti di Massawa e Assab.

tinente e 1950 km relativi alle 354 isole). Le acque territoriali eritree si estendono fino a 12 miglia nautiche (circa 22 km) dalla costa del continente e delle isole, con un'area di circa 55000 km². Inoltre, la Zona Economica Esclusiva dell'Eritrea (EEZ, che si estende fino a 200 miglia nautiche dal continente, e include quindi anche le acque territoriali) ha un'area di 120000 km² (Fonte: ECMIB GIS Unit 2007).

Clima e oceanografia

Le montagne dell'Eritrea sono la zona più alta del paese e quindi sono caratterizzate da un clima più freddo e umido rispetto alla costa semi-arida del Mar Rosso ed alle colline occidentali e le pianure. La temperatura media ad Asmara è di 16°C, mentre a Massawa (sulla costa) è di 30°C e può raggiungere i 50°C. Le precipitazioni medie ad Asmara sono di 508 millimetri di pioggia l'anno, mentre a Massawa solo 205 millimetri l'anno. Le pianure costiere lungo il Mar Rosso sono caratterizzate da deserti rocciosi e dune di sabbia, con elevate temperature, ed un'evapotraspirazione annua di 2000 mm con precipitazioni inferiori a 200 mm. Il Mar Rosso è uno dei corpi d'acqua più salati al mondo (la salinità varia da 36 a 38‰), a causa dell'effetto della circolazione marina che è influenzata a sua volta dall'evaporazione e dal vento. In inverno il livello medio del mare è più alto di 0.5 m rispetto all'estate. La velocità della corrente di marea, a causa di restringimenti prodotti da scogliere, cordoni sabbiosi e atolli, in genere supera 1-2 m s⁻¹, e in genere l'ampiezza della marea è più elevata nell'area settentrionale del Mar Rosso eritreo rispetto l'area meridionale; è compresa tra 1.5 e 0.97 m a Massawa e Assab, rispettivamente.

Habitat costieri e marini

Il Mar Rosso eritreo è un ecosistema ricco ed eterogeneo, e la sua piattaforma continentale è la più estesa tra i paesi che vi si affacciano. La piattaforma attorno all'arcipelago di Dahlak, dove si concentra la maggior parte della barriera corallina, rappresenta circa il 25% di tutta la piattaforma continentale dell'Eritrea; il 19% della piattaforma ha una profondità di meno di 30 m, ed è quindi interdetta alla pesca a strascico (Guidicelli, 1984). Una recente indagine di J. Veron, leader mondiale della tassonomia delle barriere coralline, ha evidenziato l'enorme diversità della barriera e ha identificato 220 specie di corallo, di cui 5 precedentemente non classificate, nel Mar Rosso eritreo. Le coste eritree sono caratterizzate dalla presenza di altri habitat importanti, come praterie di fanerogame e zone con presenza di alghe e mangrovie. Nel mare eritreo ci sono 10 delle 60 specie di fanerogame (piante a fiore che crescono sott'acqua su sedimenti mobili) note a livello globale. Lungo la costa eritrea sono stati identificati 286 *taxa* di alghe, di cui 50 specie di Chlorophyta, 108 specie di Phaeophyta e 128 specie di Rhodophyta (Atewberhan, 2004). Vi sono inoltre tre specie di mangrovie (alberi o cespugli che crescono su sedimenti molli nella zona intertidale): *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata* e *Ceriops tagal*. La grande varietà di habitat e di specie strutturanti che caratterizza il Mar Rosso eritreo si rispecchia nella grande diversità della fauna ittica, che include più di 1000 specie (Ormond e Edwards, 1987).

STORIA DELLE ATTIVITÀ DI PESCA

Tipologie di pesca

Storicamente la pesca aveva carattere di sussistenza ed era praticata con canoe (imbarcazioni molto piccole, senza motore) e piccole barche a vela e a remi; si trattava quindi di un'attività artigianale. A partire dagli anni '60 hanno cominciato a diffondersi imbarcazioni a motore, parallelamente allo sviluppo di un vero settore industriale della pesca.

Pesca artigianale

Al giorno d'oggi la pesca artigianale in Eritrea è praticata con due principali tipologie di natanti: *houris* e *sambuqs* (Reynolds *et al.*, 1993). Le *houris* sono imbarcazioni di dimensioni medie, generalmente non cabinato, con motore fuoribordo (potenza media 40 hp). Sono costruite con legname di acacia locale di bassa qualità da costruttori nomadi che lavorano su ordine dei pescatori. Queste imbarcazioni sono lunghe e strette, generalmente di 9-11 m di lunghezza e 1.5-2 m di larghezza. Le *sambuqs* sono le imbarcazioni da pesca più grandi (lunghe da 12 a 17 m), generalmente cabinato e dotate di motore entro bordo (potenza media 30 hp). Queste barche sono costruite da artigiani nomadi presso località di mare utilizzando legno duro importato e pannelli di legno locale, e la loro forma si è evoluta nei secoli in funzione dei profondi fondali costieri del Mar Rosso meridionale e per permettere di sbarcare le catture sulle spiagge. Le *sambuqs* sono inoltre molto usate per il commercio, il trasporto. I principali attrezzi utilizzati per la pesca artigianale sono i tramagli (per catturare squali e pesci pelagici) e le lenze a mano (per catturare pesci demersali). Tutte le attività sono manuali e non fanno uso di verricelli. Gli attrezzi da pesca sono generalmente utilizzati dai proprietari stessi e i pescatori lavorano

in gruppi che si costituiscono in base al loro villaggio di origine. Queste attività di pesca sono rivolte principalmente alla cattura di pesci “di scoglio” e pesci pelagici medi e grandi. Ne consegue quindi che le catture sono dominate da specie piscivore, longeve e di livello trofico elevato (Ghebremichael e Haile, 2006).

Prima del 1962 c'erano pochissime *houris* e *sambuqs* a motore. I primi tentativi di introdurre il motore sulle barche da pesca risalgono al 1963. Si stima che nel 1970 la flotta da pesca artigianale consistesse di 500 *houris*, di cui 70 con motore fuoribordo, e circa 300 *sambuqs*, di cui 80 con motore entro bordo (Aubray, 1975). Nel 1981, invece, la flotta da pesca era composta solo da 130 imbarcazioni, di cui erano operative meno della metà. Nel 1984 la situazione sembrò migliorare nell'area di Assab (nella regione del Dankil), dove sono state contate almeno 56 barche operative e tenute bene (Guidicelli, 1984). In quell'anno la pesca artigianale era ancora un'attività efficiente dal punto di vista economico, sebbene i mercati locali (ovvero, all'epoca, etiopi) non fossero sviluppati. Attualmente la flotta peschereccia artigianale dell'Eritrea consiste di 306 *houris* e 152 *sambuqs* (Tsehaye, 2007).

Pesca industriale

Negli anni '60 la flotta da pesca contava 4 pescherecci a strascico per la pesca costiera (50-120 hp), 9 pescherecci a strascico per la pesca d'alto mare (150-400 hp) e circa 3 palangresi (Ben Yami, 1975; Aubray, 1975). Dopo che l'Eritrea ha conquistato l'indipendenza, dal 1994 è iniziata una fase di sviluppo dell'industria della pesca, con la concessione di un certo numero di licenze per la pesca a strascico. La flotta da pesca industriale attualmente è costituita da imbarcazioni (in genere per la pesca a strascico) in grado di pescare in acque profonde sulla piattaforma continentale (fino ad una profondità di 200 m). La pesca a strascico è praticata da molto tempo in Eritrea da imbarcazioni straniere provenienti dall'Egitto e dall'Arabia Saudita, grazie ad accordi stipulati di anno in anno. Oggigiorno il governo eritreo possiede barche da pesca semi-industriali e industriali, armate con reti a strascico, rispettivamente in fibra di vetro di 18 m di lunghezza e, classiche, di 30 m di lunghezza.

ANDAMENTO DELLE CATTURE E DELLE ATTIVITÀ DI PESCA IN ERITREA

Le statistiche di pesca dell'Eritrea sono disponibili, con alcune lacune dovute ai numerosi cambiamenti politici che hanno interessato il paese, dalla metà degli anni '50 alla fine degli anni '70/inizio anni '80. Dopo che l'Eritrea ha raggiunto l'indipendenza sono disponibili le statistiche della FAO.

Prima dell'indipendenza (anni '50 - 1992)

A metà degli anni '50 era molto sviluppata la pesca dei piccoli pelagici (principalmente sardine e acciughe), con una produzione nel 1954 di 25000 t, che rappresentava la più dell'80% delle catture nelle acque eritree (Figura 2). I piccoli pelagici erano utilizzati per la produzione di farina di pesce, oppure erano seccati al sole a Massawa per essere esportati presso i mercati europei e orientali (Aubry, 1975).

La produzione, che nel 1966 ammontava a 21000 t, crollò a 14000 t nel 1967. Questo declino non è legato ad una diminuzione della produttività delle aree di pesca, ma alla chiu-

La pesca in Eritrea (1950-2010)

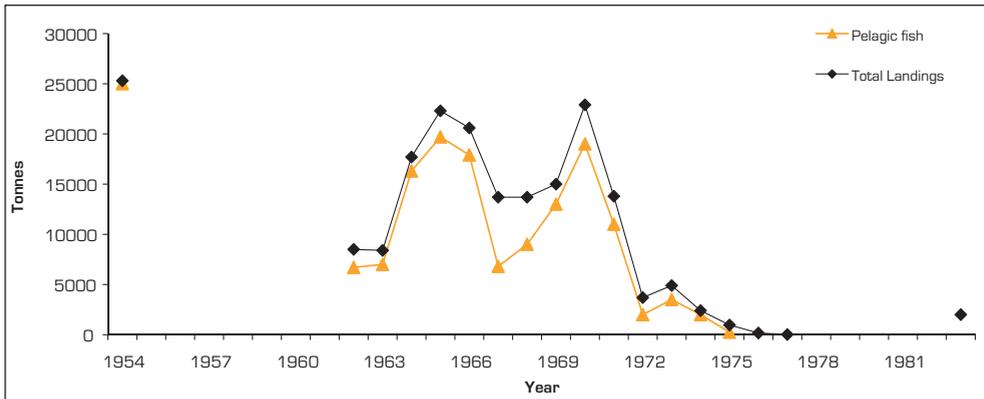


Figura 2. Sbarcato annuale (tonnes = tonnellate) dei piccoli pelagici (pelagic fish) e totale (total landings) in Eritrea (1954-1983). Fonte: *The Fisheries of Eritrea*; i dati dagli anni '60 sono tratti da Grofit (1971).

sura del Canale di Suez e, di conseguenza, all'interdizione della principale via di esportazione della farina di pesce. Nel 1966/67 l'esportazione di prodotti ittici fu di sole 5700 t. Nel 1972 la guerra civile e la conseguente instabilità politica determinò una diminuzione delle attività di pesca, e il prodotto alieutico diminuì a 4000 t. Questo declino continuò negli anni a seguire. Prima della guerra c'erano anche attività di pesca rivolte alla cattura di specie demersali, squali e crostacei. In figura 3 sono riportate le statistiche di pesca del governo etiope relative all'Eritrea. La cosa più interessante che emerge è l'aumento delle catture di squali contemporanea alla chiusura del commercio dei piccoli pelagici nel 1967.

Durante gli anni della guerra i pescatori commerciavano con lo Yemen, che era l'unico mercato disponibile per vendere i loro prodotti, così come l'unica fonte di alimenti e di ma-

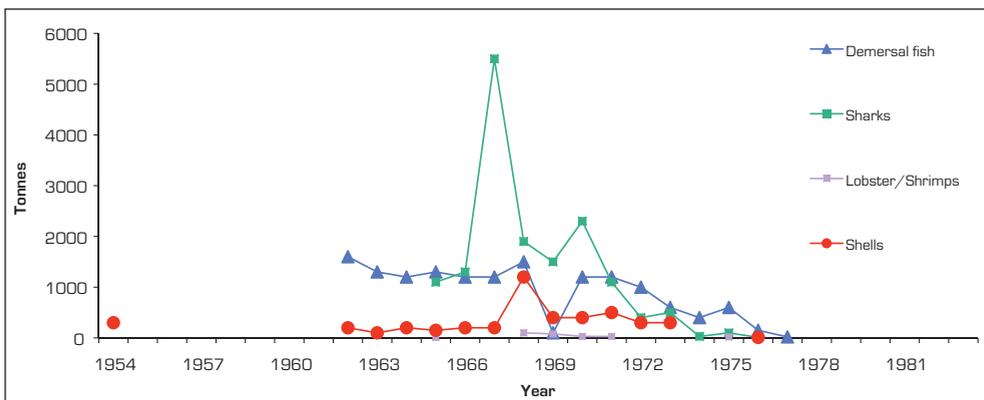


Figura 3. Sbarcato annuale (tonnes = tonnellate) per specie demersali (demersal fish), squali (sharks), aragoste/gamberi (lobster/shrimps) e molluschi bivalvi e gasteropodi (shells) in Eritrea (1954-1977). Fonte: *The Fisheries of Eritrea*; i dati dagli anni '60 sono tratti da Grofit (1971).

teriali usati per la pesca, che non erano disponibili in Eritrea. Le catture in quel periodo consistevano principalmente in squali e pinne di squalo seccati al sole. Contemporaneamente i pescatori yemeniti espansero le loro aree di pesca lungo la costa eritrea. La possibilità per i pescatori eritrei di vendere il proprio prodotto in Yemen dipendeva dalla buona volontà dei pescatori yemeniti. La pesca a strascico (per la cattura di specie demersali e di fondo) in passato era praticata in un'area del Mar Rosso eritreo di circa 5700 km². Negli anni '60 venivano sbarcate annualmente solo 30 t di gamberi, che venivano pescati nella baia di Zula, nella baia di Hergigo e sui fondali di Gurgusum.

Dopo l'indipendenza (1993-2009)

Dopo l'indipendenza dell'Eritrea nel 1993, la pesca ha iniziato ad essere rivitalizzata attraverso la costruzione di nuove, o il rinnovo di vecchie, infrastrutture lungo la costa eritrea del Mar Rosso. Per massimizzare la produzione della pesca sono state introdotte nuove strategie di pesca, più efficienti, dando enfasi alla necessità di espandere sia la pesca artigianale che quella industriale. Ne è risultato un aumento delle catture, principalmente della pesca industriale, in particolare dal 1999. Alla fine del 1995 e nel 1996 la pesca nel Mar Rosso meridionale era diminuita drasticamente a causa della disputa territoriale con il Yemen per le isole Hanish, che aveva determinato la chiusura del mercato yemenita. Ad ogni modo lo stato di sfruttamento delle risorse alieutiche può solo essere stimato, dal momento che un programma per la raccolta di statistiche di catture/sforzo è iniziato solo nel 1996 a Massawa e Assab.

Attualmente i crostacei rappresentano una risorsa sempre più interessante per la pesca eritrea; ad esempio i crostacei sbarcati sono passati da 9 t nel 1998 a 400 t nel 2004 (database della Sezione di Ricerca e Statistica, 2005). Altre attività di pesca emergenti in Eritrea sono la pesca delle oloturie, dei gasteropodi appartenenti al genere *Trochus* e di pesci e coralli ornamentali per il commercio legato agli acquari. In particolare la pesca delle oloturie (vendute sviscerate e secche) è iniziata nel 2000. Da quel momento la quantità pescata è aumentata costantemente, raggiungendo una produzione di 278 t nel 2006. Nel 2007 questa pesca è stata chiusa in seguito ad una decisione dell'amministrazione per fermare la pesca e l'esportazione illegale. Le conchiglie *Trochus*, utilizzate nell'industria manifatturiera per produrre "bottoni di perla", sono state sbarcate ad un tasso di circa 220-250 t all'anno alla fine degli anni '60, principalmente a Massawa. Anche i cosiddetti "snail nails" (gli opercoli di alcune conchiglie) sono stati sfruttati intensamente nel passato nell'area vicino Massawa e presso l'arcipelago Dahlak. Pesci e coralli ornamentali sono stati sfruttati vicino le isole nei pressi di Massawa (Madote, Disei, Duhr-Gaham, ecc.) e nella baia di Hergigo. Attualmente la "Red Sea Ornamental fish Company" (una *joint venture* tra l'Ente Nazionale della Pesca ed altre compagnie) si occupa di queste attività in Eritrea.

CONCLUSIONI

Lo sviluppo della pesca in Eritrea è stato fortemente influenzato dai cambiamenti politici che hanno interessato questo stato, e questa attività è ancora oggi considerata sottosviluppata. Infatti, secondo le stime di produzione primaria fornite dal SeaWiFS1, il Mar

Rosso può essere considerato moderatamente produttivo (150-300 gC m⁻² anno⁻¹; Getahun, 1998) e le sue risorse sono considerate sotto-sfruttate. Sebbene il Ministero delle Risorse Marine non conduca una valutazione annuale degli stock delle specie commerciali più importanti, stime delle Catture Massime Sostenibili (MSY) aggregate variano da 70000 a 80000 t (Ricerca e Statistiche, Ministero delle Risorse Marine, Massawa, Eritrea), mentre precedenti ricerche a breve termine, condotte tra la metà degli anni '50 e l'inizio degli anni '80, hanno stimato un MSY variabile tra 36000 e 79500 t.

A causa dell'elevato valore della biodiversità marina dell'area sono necessari un forte impegno gestionale e una seria politica per assicurare uno sviluppo equilibrato del settore pesca in Eritrea. Questo compito è adempiuto dal Ministero delle Risorse Marine, che tra le altre cose si occupa della conservazione e dell'uso sostenibile delle risorse marine da perseguire attraverso diverse politiche, tra cui l'instaurazione (ed il conseguente controllo), di chiusure stagionali della pesca, di una pianificazione spaziale e di una attività di monitoraggio e ricerca attraverso regolamenti e annunci legali (ad es. sulla Gazzetta Eritrea).

RINGRAZIAMENTI

Vorrei ringraziare l'Ente Nazionale della Pesca (*National Fisheries Corporation* – NFC) e i *manager* dell'Eritrea per avermi permesso di presentare questo articolo. Ringrazio anche gli organizzatori e i finanziatori di HMAP, ed in particolare il dr. Saša Raicevich e la prof. Ruthy Gertwagen. Ringrazio infine la mia famiglia e i miei amici.

BIBLIOGRAFIA

- ATEWEBERHAN M. (2004). Seasonal dynamics of coral reef algae in the southern Red Sea: Functional group and population ecology. Tesi di dottorato svolta presso l'Università di Groningen, Olanda. 187 pp.
- AUBRAY R. (1975). The fisheries of Ethiopia: An economic study. Roma, FAO. 23 pp.
- BEN-YAMI M. (1975). Southern Red Sea fisheries. In *World Fishing*. pp. 94–99.
- GETAHUN A. (1998). The Red Sea as an extension of the Indian Ocean. In *Large Marine Ecosystems of the Indian Ocean: Assessment, Sustainability, and Management*, Sherman K., Okemwa E., e Ntiba M. (Ed.). Blackwell Science (Oxford). pp. 277-283.
- GHEBREMICHAEL A., e HAILE S. (2006). Commercial fishes of the Eritrean Red Sea. Apex Publishing Ltd. (Essex). 266 pp.
- GROFT E. (1971). The Red Sea fisheries of Ethiopia. Centre for Agricultural Cooperation with Developing Countries, Ministero dell'Agricoltura, Israele. 82 pp.
- GUIDICELLI M. (1984). The Ethiopian fisheries: situation, development needs and opportunities. Report prepared for the Fishery Planning and Development Project. Field Document 1. Roma, FAO (FI/DP/ETH/82/O16). 157 pp.
- ORMOND R., e EDWARDS A. (1987). Red Sea fishes. In *Red Sea*, Edwards A., e Head S. (Ed.). Pergamon Press (Oxford). pp 252-287.
- Reynolds J.E., Appleton J., Bellemans M.S., Bonzon A., e Christy L.C. (1993). The fisheries

of Eritrea, part. 1: Sector review. Part. 2: Proposed national fisheries strategy and development program. Terminal Report, FI:FAO/TCP/ERT/2251. FAO, Roma.

TSEHAYE I. (2007). Monitoring fisheries in data-limited situations: A case study of the artisanal reef fisheries of Eritrea. Tesi di dottorato svolta presso l'Università di Wageningen, Olanda, 183 pp. [accessibile all'indirizzo <http://library.wur.nl/wda/dissertations/dis4309.pdf>].

CAMBIAMENTI ECOLOGICI A LUNGO TERMINE NEL MARE ADRIATICO

Maja Krželj

Dipartimento di Scienze del Mare – Università Politecnica delle Marche (Italia)

Centro di Studi Marini – Università di Spalato (Croazia)

e-mail: maja.krzelj@unist.hr

Parole chiave: *serie storiche, Mare Adriatico, cambiamenti a lungo termine*

RIASSUNTO

Negli ultimi decenni è aumentato il numero degli studi riguardanti i cambiamenti a lungo termine dell'ambiente marino e sull'impatto dei cambiamenti climatici e delle attività antropiche sugli ecosistemi marini in diverse regioni del mondo. A causa delle sue caratteristiche geomorfologiche l'Adriatico, e in particolare il sottobacino settentrionale, manifesta reazioni prima e più velocemente rispetto ad altri mari, eleggendolo come caso studio perfetto per studiare le variazioni ambientali e le risposte degli ecosistemi marini in relazione a diversi impatti.

Il presente lavoro di ricerca di dottorato sui cambiamenti ecologici a lungo termine dell'Adriatico, basato sull'analisi degli andamenti storici di fattori ambientali e biologici, è stato condotto allo scopo di contribuire ad una migliore comprensione dello stato attuale dell'ecosistema adriatico in relazione ai cambiamenti che sono avvenuti nel passato. Per capire i cambiamenti in atto e stimare le vulnerabilità dell'Adriatico, sono stati analizzati più di 1878000 dati contenuti in diversi dataset, considerando contemporaneamente la complessità dei dati disponibili e le interconnessioni tra diversi parametri. Le analisi condotte sono basate essenzialmente su analisi climatologiche di temperatura dell'aria, precipitazioni, portata del Po, temperatura del mare, salinità, concentrazione di nutrienti, pH e clorofilla negli ultimi 40 anni, così come sullo studio dei cambiamenti decennali delle componenti biologiche come i piccoli pelagici e le risorse demersali.

Sebbene l'area considerata nell'ambito di questo progetto sia stata oggetto di studio sotto vari aspetti per secoli, è stato difficile trovare dataset disponibili, dal momento che la maggior parte dei dati raccolti non sono pubblicati, oppure non sono direttamente disponibili o non sono quantitativi.

INTRODUZIONE

Ricerche a lungo termine, basate sull'analisi di dataset storici, sono condotte per studiare i diversi processi d'alterazione degli ecosistemi marini e l'impatto delle fluttuazioni climatiche sull'ambiente. Queste ricerche, attraverso l'analisi di dati storici, studiano le relazioni

nel tempo e nello spazio tra diversi parametri, con lo scopo di descrivere i cambiamenti e ricostruire cosa è successo nel passato per spiegare lo stato attuale degli ecosistemi e prevedere cosa accadrà nel futuro. Per questo motivo lunghe serie storiche di dati ambientali sono d'importanza cruciale, tuttavia è molto importante sottolineare che la disponibilità di questo tipo di dati è limitata sia nello spazio che nel tempo. Le più complete serie storiche a lungo termine sono le registrazioni della temperatura dell'aria, disponibili dal 1860, anche se alcune informazioni sulle condizioni climatiche del passato possono essere estratte da libri storici, documenti, rilevamenti strumentali e indicatori ambientali, permettendo di ricostruire le condizioni climatiche del passato, principalmente grazie a studi paleoecologici. In generale, comunque, lunghe serie storiche in ambiente marino sono poco disponibili, e sebbene alcuni parametri, come temperatura e salinità, siano registrati da più di 100 anni, dati sulla componente biologica non coprono più di 50 anni (Fonda Umani e Conversi, 2008). Studi a lungo termine sono molto importanti nelle aree costiere, che sono fortemente influenzate dalle azioni antropogeniche che, in sinergia con i cambiamenti ambientali, causano alterazioni della struttura delle biocenosi, della biodiversità e del funzionamento degli ecosistemi.

Il mare Adriatico è un bacino epicontinentale che si trova nell'area settentrionale del Mediterraneo, ed è suddiviso in tre sottobacini: il bacino settentrionale, caratterizzato da basse profondità (con una profondità media di 35 m), il bacino centrale (con una profondità media di 140 m) e il bacino meridionale più profondo (con una profondità massima di circa 1270 m nella fossa di Pomo). L'Adriatico è un ecosistema molto sensibile, a causa della sua bassa profondità, dello scambio limitato di masse d'acqua e della scarsa capacità di diluizione nei confronti degli inquinanti eventualmente rilasciati in mare. Al contempo il bacino adriatico rappresenta un'importante risorsa ambientale, sociale ed economica per tutte le nazioni che vi si affacciano. È quindi molto importante preservarlo e proteggerlo da perdite irreversibili che potrebbero essere causate da pressioni antropiche come l'inquinamento, il prelievo di risorse e l'alterazione delle aree costiere, che ne interessano entrambe le coste. In particolare l'Adriatico settentrionale rappresenta un'area di elevata produzione, principalmente in vicinanza del delta del Po. Inoltre l'Adriatico è uno dei mari più studiati al mondo, poiché diverse generazioni di scienziati hanno raccolto, analizzato e pubblicato dati, producendo un'ampia letteratura scientifica che ci permette di migliorare la nostra conoscenza del mare e confrontare i dati passati con quelli presenti, aiutandoci a capire la sequenza degli eventi e le alterazioni negli ecosistemi. Questi dati sono importanti per capire i cambiamenti delle caratteristiche biogeochimiche, della biodiversità e della distribuzione degli organismi marini indotti sia dalle fluttuazioni climatiche che da attività antropiche, che sinergicamente influenzano i processi di alterazione della composizione e del funzionamento degli ecosistemi.

Inoltre l'Adriatico è sempre stato, ed è tuttora, un'area strategica per i traffici marittimi, il commercio e gli scambi tra culture; la sua bellezza e particolarità hanno sempre rappresentato una fonte di ispirazione per scrittori, poeti ed artisti che ci hanno lasciato attraverso la loro opera osservazioni e descrizioni di molti organismi marini e delle caratteristiche meteorologiche e oceanografiche del bacino. Queste opere possono fornire importanti informazioni sui periodi precedenti l'inizio della ricerca scientifica che, assieme a documenti scientifici e non scientifici, possono essere utilizzate per studiare i cambiamenti a lungo termine. L'Adriatico è studiato da più di 300 anni, e negli ultimi decenni la

ricerca si è concentrata in particolare sull'analisi dei cambiamenti del funzionamento dell'ecosistema e dell'alterazione delle caratteristiche biogeochimiche, prendendo in considerazione fenomeni come la mucillaggine, gli eventi anossici, l'invasione di specie aliene, cambiamenti nella struttura delle comunità biologiche, variabilità atmosferica e in generale cambiamenti delle caratteristiche fisiche e della componente biologica. Un settore di ricerca particolarmente importante è lo studio della pesca, poiché si tratta dell'attività antropica più importante e praticata da lungo tempo nell'Adriatico, e che causa un considerevole impatto sull'ecosistema marino non solo in relazione allo sforzo di pesca, ma anche perché le reti a strascico inducono un'elevata mortalità delle specie bentoniche non bersaglio, causano risospensione del sedimento con conseguente ri-introduzione di nutrienti e di inquinanti nella colonna d'acqua. L'importanza dell'impatto della pesca sull'ecosistema marino adriatico è confermato da Pranovi *et al.* (2005), che hanno stimato che ogni metro quadrato del fondo è interessato dal passaggio di un attrezzo a strascico da due a sei volte l'anno.

La maggior parte degli studi menzionati riguarda l'Adriatico settentrionale, per cui la sua fenomenologia è più conosciuta rispetto quella dell'Adriatico centrale e in particolare di quella dell'Adriatico meridionale (Artegiani *et al.*, 1993), sebbene per l'Adriatico centrale siano stati studiati diversi parametri biotici ed abiotici, in particolare per gli ultimi 50 anni (Baranovi *et al.*, 1993). Alcune di queste pubblicazioni si occupano dello studio di particolari specie su ampia scala, o addirittura in tutto l'Adriatico, permettendoci di migliorare la nostra conoscenza sulla biologia dell'ecosistema e consentendoci di avere una visione dello stato passato e confrontarlo con quello presente. Questi dati sono preziosi per l'analisi dei cambiamenti intercorsi nel tempo e per la registrazione di particolari eventi, causati da fenomeni sia naturali che antropici. Una delle più lunghe ed importanti serie storiche disponibili per l'Adriatico, che inizia nel 1729, riporta la sequenza di eventi di fioritura di mucillaggini ricostruita sulla base di articoli scientifici e vecchi giornali (Fonda Umani *et al.*, 1989).

Nel presente lavoro di dottorato di ricerca sono state condotte per gli ultimi 40 anni analisi climatologiche di temperatura dell'aria, precipitazioni, portata del Po, temperatura del mare, salinità, concentrazione di nutrienti, pH e clorofilla, oltre che studi sugli andamenti decennali della componente biologica (piccoli pelagici e risorse demersali), con lo scopo di descrivere lo stato dell'ecosistema adriatico e i cambiamenti intercorsi negli ultimi decenni.

SERIE STORICHE ANALIZZATE NELL'AMBITO DEL PROGETTO DI DOTTORATO DI RICERCA SULLO STUDIO DEI CAMBIAMENTI A LUNGO TERMINE IN ADRIATICO

Le analisi climatologiche svolte nell'ambito del progetto di dottorato includono lo studio delle anomalie della temperatura dell'aria, della portata del Po, dei parametri fisici e dei nutrienti in Adriatico settentrionale, attraverso la produzione di mappe decadali stagionali (bimestrali per temperatura e salinità). Tutte le variabili sono state analizzate su base stagionale (gennaio, febbraio, marzo: inverno; aprile, maggio, giugno: primavera; luglio, agosto, settembre: estate; ottobre, novembre, dicembre: autunno); i parametri marini sono stati analizzati per lo strato superficiale, lo strato intermedio (20 m) e lo strato profondo (entro 5 m dal fondo) nel periodo 1970-2008, in modo da ottenere le anomalie

spaziali per gli ultimi 18 anni da confrontare con il periodo 1970-1989. Per identificare andamenti statisticamente significativi e cambi di regime dei parametri fisici, chimici e biologici negli ultimi 15-40 anni (a seconda della disponibilità di dati) sono stati applicati test statistici (Mann-Kendall test per l'analisi dei trend e metodo di Sen per le stime delle pendenze; MAKESENS) e metodi per l'identificazione di cambi di regime (*Regime Shift Detection Method*). Le analisi sono state svolte su scala annuale (per tutti i parametri) e stagionale (per i parametri fisici e chimici).

Inoltre, i parametri marini sono stati suddivisi in quattro stagioni, tre strati batimetrici (superficie, intermedio e di fondo) e tre aree con diverse caratteristiche, denominate "Po", "Est" e "Nord". La prima area è sottoposta ad influenza diretta degli scarichi del Po, la seconda è rappresentativa dell'area orientale, mentre la terza non risente direttamente dell'influenza del Po ed è interessata dalla presenza di un vortice ciclonico. Per queste tre aree erano disponibili dati per diversi anni, permettendo l'analisi statistica di una serie storica relativamente lunga.

Come detto in precedenza, sebbene l'area d'interesse della presente ricerca sia stata studiata per secoli, è stato piuttosto difficile trovare dataset disponibili con i dati necessari per questo studio, poiché la maggior parte di essi non è pubblicata, non è accessibile o non è utilizzabile. Fortunatamente alcuni dataset sono disponibili *on line*, mentre altri sono stati gentilmente messi a disposizione da istituti di ricerca e ricercatori; le fonti delle serie storiche utilizzate nell'ambito di questo lavoro sono elencate di seguito:

Osservatorio Meteorologico dell'Istituto Cavanis di Venezia, che colleziona i dati registrati in una stazione meteorologica che si trova a latitudine 45°25'48"N, longitudine 12°19'25"E e altitudine di 18.08 m sul livello medio mare. Questo istituto possiede un database che contiene dati giornalieri di temperatura e pressione dell'aria, umidità, tensione di vapore, precipitazioni, nuvolosità, direzione e velocità del vento e radiazione solare per il periodo 1901-2005.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), un'agenzia nata nel 1807 che controlla più di 9000 stazioni in tutto il mondo, e che possiede diversi dataset che riguardano i cambiamenti climatici, il tempo, gli oceani, la pesca, ecc. Nell'ambito di questo studio sono stati utilizzati i seguenti dati giornalieri superficiali, basati sullo scambio di dati nell'ambito del *World Meteorological Organization (WMO) World Weather Watch Program*: temperatura media, temperatura di rugiada, pressione media al livello del mare, pressione atmosferica vera, visibilità media, velocità media del vento, temperatura massima, temperatura minima, quantità di precipitazioni, ecc. I dati storici sono disponibili a partire dal 1929, e quelli dal 1973 ad oggi sono i più completi.

ISAC-CNR (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima - Consiglio Nazionale delle Ricerche) Gruppo di Climatologia Storica, che possiede una serie storica di temperatura dell'aria e quantità di precipitazioni per tutta la penisola italiana dal 1800. In questo lavoro sono stati usati i dati relativi alle stazioni che si trovano lungo le coste dell'Adriatico settentrionale.

Magistrato del Po e ARPA Emilia Romagna, che possiedono dati storici di portata del Po presso Pontelagoscuro, mensili per il periodo 1918-2008, giornalieri per il periodo 1983-2006.

ISMAR-CNR (Istituto di Scienze Marine - Consiglio Nazionale delle Ricerche), che possiede dataset contenenti dati di temperatura del mare, salinità, ossigeno, clorofilla, pH,

nitriti, ammonio, fosfati, silicati e fluorescenza, che sono stati utilizzati per descrivere i cambiamenti climatologici in Adriatico settentrionale. Nell'ambito di questa ricerca sono stati utilizzati i dati relativi agli ultimi 40 anni, per un totale di 12800 stazioni con dati di temperatura e salinità, almeno 8000 con dati di ossigeno, più di 6500 con dati di pH, più di 3000 con dati di nutrienti, clorofilla e fluorescenza.

MEDATLAS 2002, un dataset integrato, prodotto grazie ad un'ampia cooperazione internazionale nell'ambito del progetto MEDAR/MEDATLAS, che contiene dati relativi al Mediterraneo e al Mar Nero per i seguenti parametri: temperatura, salinità, ossigeno disciolto, nitrato, nitrito, fosfato, silicato, ammonio, alcalinità, pH, clorofilla, idrogeno solforato, azoto totale e fosforo totale. I dati relativi all'Adriatico sono stati controllati per escludere dal dataset le stazioni ripetute e i dati poco credibili, permettendo di ottenere un dataset con più di 11000 stazioni con dati di temperatura e salinità, più di 8000 stazioni con dati di ossigeno e più di 3800 stazioni con dati di pH e nutrienti.

SIDIMAR dataset, che contiene dati di parametri fisici, nutrienti, plancton (fito- e zoo-), benthos e inquinanti relativi a tutte le regioni costiere italiane per il periodo 2001-2007, grazie ad un monitoraggio continuo delle acque dell'Adriatico, dello Ionio e del Tirreno a cura del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare. In questo studio sono stati utilizzati i dati relativi a 18 stazioni situate nel bacino dell'Adriatico settentrionale, con 6218 registrazioni di temperatura, salinità, ossigeno, pH, clorofilla e nutrienti.

I dataset MEDAR/MEDATLAS e CNR-ISMAR sono stati analizzati per creare mappe periodiche, stagionali e bimestrali dell'andamento spaziale e delle anomalie di temperatura e salinità nell'Adriatico settentrionale. Prima di procedere all'elaborazione, è stato fatto un controllo di qualità dei dati per escludere dati e stazioni non credibili, sbagliati o ripetitivi. Dopo il controllo, i dati sono stati importati nel programma *Ocean Data View* e selezionati in base a diverse ipotesi di ricerca: due periodi (1970-1989 e 1990-2008), quattro stagioni (inverno, primavera, estate e autunno), tre strati batimetrici (superficie, 20 metri e fondo) e dieci parametri diversi (temperatura, salinità, pH, ossigeno, clorofilla, nitrati, nitriti, ammonio, fosfati e silicati). Sono state prodotte 240 mappe climatologiche interpolando i dati attraverso la procedura *Objective Analysis* sviluppata in seguito ai lavori di Gandin (1965), Bretherton *et al.* (1976) e Carter e Robinson (1987), come applicato da Russo *et al.* (2002). L'interpolazione è stata fatta secondo la teoria dell'*Optimal Linear Estimation*, basata sul teorema di Gauss-Markov. In seguito, i campi interpolati sono stati importati in *Surfer* per produrre mappe e elaborare statisticamente i parametri. Sono state ottenute 120 mappe delle anomalie sottraendo le griglie del primo periodo a quelle dell'ultimo periodo. Le mappe delle anomalie, disponibili per quattro stagioni, tre strati batimetrici e dieci parametri, permettono di identificare cambiamenti tra le ultime due decadi e le due precedenti (prese come periodo di riferimento). La stessa procedura è stata applicata alle analisi bimestrali.

CNR-ISMAR-SPM Ancona dataset, utilizzato per stimare le fluttuazioni degli stock di piccoli pelagici (sardina e acciuga) nella *Geographical Sub Area 17*, che comprende l'Adriatico settentrionale e centrale. Le stime della biomassa degli stock sono state ottenute attraverso la VPA secondo il metodo di Laurec-Shepherd (con il software elaborato da Darby e Flatman, 1994), utilizzando le catture totali di Italia, Slovenia e Croazia. Questo

dataset contiene informazioni sulle catture totali, la biomassa totale degli stock, la biomassa dello stock di riproduttori e il numero di reclute sia per la sardina che per l'acciuga nel periodo 1976-2007, ed è stato messo gentilmente a disposizione dal CNR-ISMAR.

The Mediterranean International Trawl Survey (MEDITS) è un programma iniziato nel 1993 allo scopo di raccogliere informazioni sulle specie bentoniche e demersali in termini di distribuzione delle popolazioni e struttura demografica, attraverso campagne sistematiche di pesca a strascico. Il dataset utilizzato in questo studio comprende dati di catture totali e di biomassa totale degli stock per il periodo 1996-2008 nella *Geographical Sub Area 17* (Adriatico settentrionale e centrale), ed è stato gentilmente messo a disposizione dall'Istituto di Oceanografia e Pesca di Spalato (Croazia) e dal Laboratorio di Biologia Marina di Fano (Italia). Non sono disponibili dati per il 1999 a causa della presenza di operazioni militari della NATO nell'area, che hanno impedito di eseguire la campagna.

CONCLUSIONI

Le previsioni sui futuri cambiamenti in ambiente marino devono tenere in considerazione la situazione attuale e la valutazione degli andamenti del passato, perché il confronto tra condizioni presenti e passate ci permette di capire se, e in che misura, ci sono stati cambiamenti nel passato che potrebbero ripetersi nel futuro. Capire come funziona l'ecosistema e i cambiamenti a lungo termine dell'ambiente marino è possibile grazie ad un monitoraggio continuo e al confronto dei dati del passato con lo stato attuale; per questo motivo i dati storici sono fondamentali per ricostruire lo stato passato e valutare i cambiamenti in corso. Oltre all'elevato numero di stazioni considerate, un'importante novità nell'ambito delle analisi fisiche marine introdotta in questo lavoro di dottorato è lo studio dei cambiamenti nello strato sub-superficiale (sottosuperficiale). I risultati mostrano come l'Adriatico settentrionale negli ultimi due decenni sia stato influenzato da un riscaldamento generale della temperatura dell'aria in tutte le stagioni, cambiamenti di *pattern* di precipitazioni e della portata del Po, cui sono conseguite una serie di variazioni delle caratteristiche del mare. Le analisi, infatti, evidenziano come negli ultimi decenni l'Adriatico (in particolare il bacino settentrionale, su cui si concentra questo studio per la maggiore disponibilità di dati) sia stato soggetto a vari cambiamenti a diversi livelli di organizzazione dell'ecosistema. Inoltre, le analisi statistiche dimostrano come questi cambiamenti in alcuni casi rappresentino andamenti a lungo termine, in altri cambi di regime, in altri la combinazione dei due. I fattori climatici, come ad esempio i cambiamenti della temperatura dell'aria e delle precipitazioni, hanno indotto cambiamenti rilevanti della portata dei fiumi e delle proprietà termoaline e biogeochimiche dell'Adriatico settentrionale, cui sono conseguiti cambiamenti dell'ecosistema; alcuni di questi cambiamenti riguardano l'abbondanza dei piccoli pelagici e delle risorse demersali, in particolare crostacei, cefalopodi e pesci ma, sebbene questo lavoro abbia permesso di identificare le principali forzanti antropiche che hanno agito sinergicamente, non è stato però possibile quantificarle.

Il principale problema riscontrato in questa ricerca è stato trovare dati di buona qualità che potessero essere usati per questo tipo di analisi. Sebbene, infatti, l'area considerata in questa ricerca sia stata per secoli oggetto di diversi studi, è stato difficile trovare da-

taset disponibili, perché la maggior parte dei dati che sono stati raccolti non sono pubblicati, e anche nel caso fossero pubblicati in genere non è stato possibile reperirli o utilizzarli. Si può quindi concludere che il principale ostacolo incontrato nell'ambito di questa ricerca è stato che la maggior parte dei dati esistenti o non erano disponibili o erano segreti, mentre i dati reperibili in bibliografia non sempre erano quantitativi. Queste difficoltà evidenziano l'importanza di promuovere e condurre un continuo monitoraggio delle variabili ambientali in mare e la diffusione dei dati attraverso la costruzione di database.

BIBLIOGRAFIA

- ARTEGIANI A., GAČIĆ M., MICHELATO A., KOVAČEVIĆ V., RUSSO A., PASCHINI E., SCARAZZATO P., AND SMIRČIĆ A. (1993). The Adriatic Sea hydrology and circulation in spring and autumn (1985–1987). *Deep-Sea Research* 40: 1143–1180.
- BARANOVIĆ A., ŠOLIĆ M., VUČETIĆ T., AND KRSTULOVIĆ (1993). Temporal fluctuations of zooplankton and bacteria in the middle Adriatic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 92: 65-75.
- BREHERTON F.P., DAVIS R.E., E FANDRY C.B. (1976). A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73. *Deep-Sea Research* 23: 559–582.
- CARTER E.F., E ROBINSON A.R. (1987). Analysis models for the estimation of Oceanic Fields. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 4: 49-74.
- DARBY C.D., E FLATMAN S. (1994). Virtual Population Analysis: version 3.1 (Windows/Dos) user guide. Info. Tech. Ser. MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft, 1, 85 pp.
- FONDA UMANI S., E CONVERSI A. (2008). Possible climate impacts on the northern Adriatic pelagic ecosystem; Climate warming and related changes in Mediterranean marine biota. *Helgoland*, 27-31 May 59 CIESM Workshop Monographs n°35.
- FONDA UMANI S., GHIRARDELLI E., E SPECCHI M. (1989). Gli episodi di 'mare sporco' nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale Ambiente, Trieste.
- GANDIN L.S. (1965). Objective Analysis of Meteorological Fields. Israel Program for Scientific Translations. 242 pp.
- PRANOVI F., RAICEVICH S., LIBRALATO S., DA PONTE F., E GIOVANARDI O. (2005). Trawl fishing disturbance and medium-term macroinfaunal recolonization dynamics: a functional approach to the comparison between sandy and muddy habitats in the Adriatic Sea (Northern Mediterranean Sea). In *Benthic habitat and the effects of fishing*, Barnes P.W., e Thomas J.P. (Ed.). American Fishery Society Symposium. Bethesda (Maryland). pp. 545-569.
- RUSSO A., RABITTI S., E BASTIANINI M. (2002). Decadal climatic anomalies in the Northern Adriatic Sea inferred from a new oceanographic data set. *P.S.Z.N.: Marine Ecology* 23, Supplement 1: 340-351.

TECNICHE VARIAZIONALI E ANALISI STATISTICHE APPLICATE ALLA CARATTERIZZAZIONE SPAZIO-TEMPORALE DEI PARAMETRI FISICI E BIOCHIMICI DEL MARE ADRIATICO

Anna Rabitti

Tesi di Laurea in Fisica, Università di Trieste, supervisore dott. Alessandro Crise (OGS), a.a. 2007/2008.

e-mail: anna.rabitti@nioz.nl

Parole chiave: *mare Adriatico, mappe climatologiche, dati storici, temperatura, salinità*

Grazie al programma Diva (*Data-Interpolating Variational Analysis*, versione 4.2.1) per l'analisi geostatistica di campi oceanografici, sviluppato dal gruppo GHER dell'Università di Liegi (Belgio) (Rixen *et al.*, 2000), è stata realizzata una nuova caratterizzazione spazio-temporale del mare Adriatico. La distribuzione spaziale dei parametri fisici (temperatura e salinità) e biochimici (concentrazione d'ossigeno disciolto, silicati, nitrati e clorofilla) del bacino Adriatico è stata ricostruita utilizzando misure *in-situ* disponibili nel database dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (Trieste, Italia). La metodologia d'analisi implementata nel Diva consiste nell'utilizzo del metodo variazionale inverso (*Variational Inverse Method*, VIM) e di una discretizzazione spaziale basata sul metodo degli elementi finiti (*Finite Element Method*), implementati in Diva. Sono state prodotte mappe climatologiche orizzontali annuali, stagionali e mensili, rappresentative delle caratteristiche medie di ogni parametro.

Per ottenere le mappe orizzontali sono stati utilizzati sia dati storici che recenti, utilizzando misure del periodo 1900-2008: il dataset contiene per il bacino Adriatico circa $2.5 \cdot 10^6$ misure di temperatura, $2 \cdot 10^6$ misure di salinità, $1 \cdot 10^6$ misure di ossigeno disciolto, $2.5 \cdot 10^4$ misure di concentrazione di fosfati. Come esempio del dataset analizzato, si vedano in Figura 1 le misure di temperatura superficiale per le quattro stagioni.

L'analisi per la produzione delle mappe è stata effettuata in collaborazione con il gruppo GHER; molti degli strumenti statistici già disponibili in Diva sono stati testati e applicati al dataset dell'Adriatico, permettendo di migliorare il software stesso e di implementare al suo interno nuove opzioni di analisi.

I due parametri principali necessari per l'analisi di ciascun dataset sono la lunghezza di correlazione (L) e il rapporto tra segnale e rumore (S/N). Il primo parametro (L) rappresenta la lunghezza scala da utilizzare per la formulazione del problema in termini adimensionali, ma è anche direttamente connesso alla scala spaziale di interesse. Rappresenta la lunghezza di correlazione tipica di ciascun dataset, con riferimento alla distribuzione orizzontale e al numero totale di misure nel dominio. La risoluzione della griglia d'analisi dipende da questo parametro (esempio in Figura 2). Il secondo parametro (S/N) è utiliz-

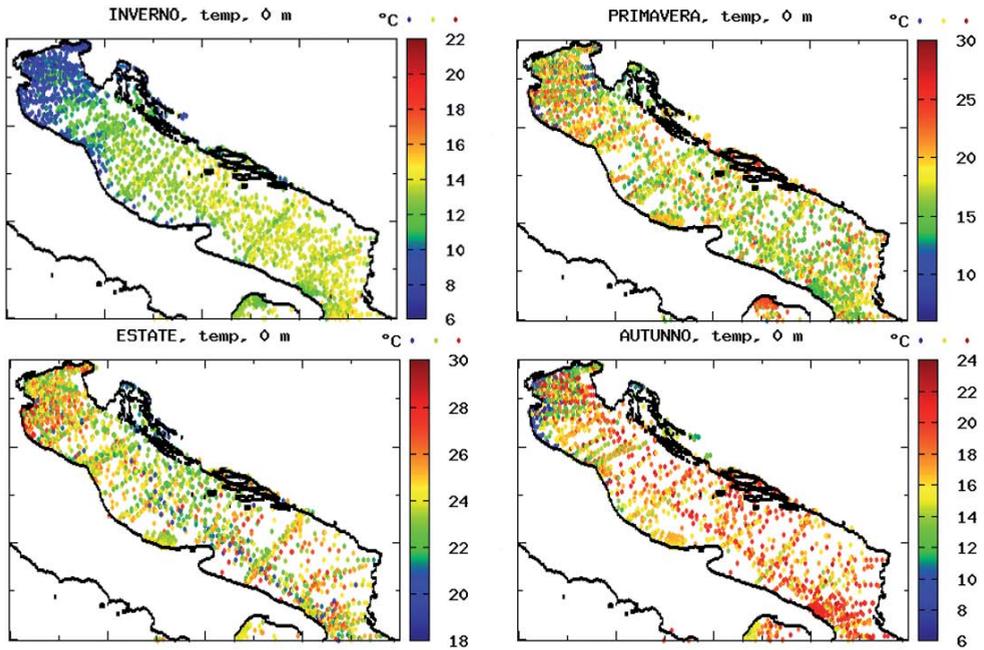


Figura 1. Dati di temperatura superficiale suddivisi per stagione: Inverno [Gennaio - Marzo], Primavera [Aprile - Giugno], Estate [Luglio - Settembre], Autunno [Ottobre - Dicembre]. La temperatura è espressa in gradi Celsius.

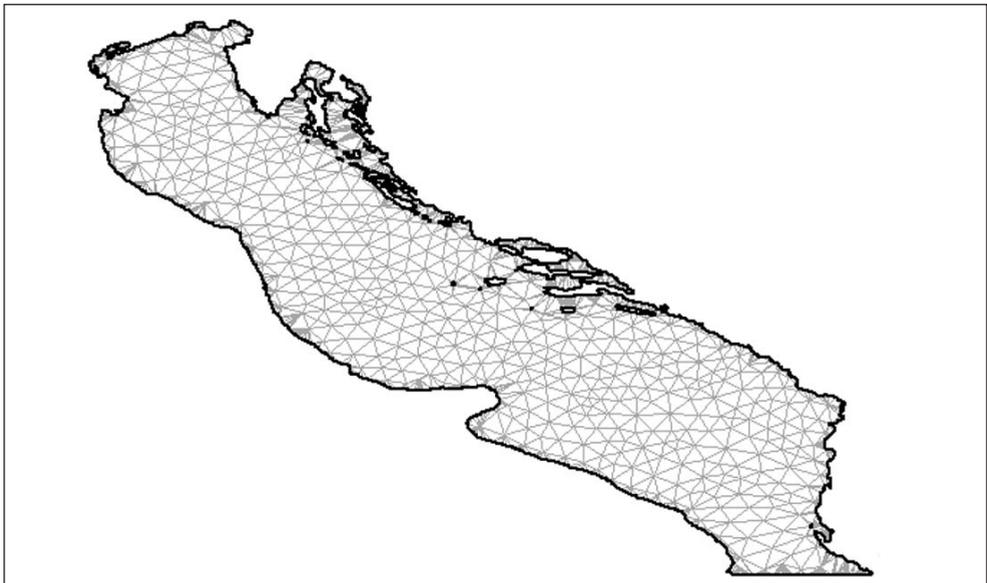


Figura 2. Esempio di griglia di analisi. Griglia utilizzata per la ricostruzione del campo di temperatura invernale superficiale.

Parametri fisici e biochimici del Mare Adriatico

zato per valutare l'errore nelle mappe. La copertura disomogenea delle misure non ha permesso una stima oggettiva dei valori di questi due parametri direttamente dalle caratteristiche statistiche dei dataset. I valori sono quindi stati scelti facendo riferimento alla letteratura, considerando la lunghezza scala tipica dei fenomeni adriatici, delle strutture poste in evidenza dall'analisi climatologica, e alcune caratteristiche statistiche del dataset analizzato ($L = 0.8^\circ$, $S/N = 0.5$).

L'applicazione del metodo VIM al dataset adriatico è stata sottoposta a un test di validazione incrociata (Brankart and Brasseur, 1996). I valori di variabilità dovuta alle tecniche di ricostruzione sono risultati inferiori a quelli dovuti alla variabilità spazio-temporale dei campi reali spazio-temporale dei campi reali, ed il VIM è risultato quindi uno strumento valido e appropriato per questo tipo di applicazioni.

Per la prima volta, inoltre, il mare Adriatico è stato considerato globalmente, e non suddiviso in sottobacini, applicando sistematicamente un'unica metodologia di analisi all'intero dataset. Le mappe climatologiche sono state prodotte con una risoluzione spaziale di $1/16$ di grado per ciascuno dei 28 strati di interesse, dalla superficie a 1200 m di profondità, con una risoluzione crescente dal fondo alla superficie.

Le mappe climatologiche stagionali e mensili di temperatura, salinità e ossigeno disciolto (un esempio in Figura 3) sono state confrontate (ove possibile) con quelle presenti in letteratura (Artegiani *et al.*, 1997a; Artegiani *et al.*, 1997b; Zavatarelli *et al.*, 1998) e sono risultate in accordo con le ricostruzioni dei campi fatte in precedenza. Utilizzando le mappe relative a diverse profondità, valutate indipendentemente, sono stati confrontati i profili verticali ricostruiti

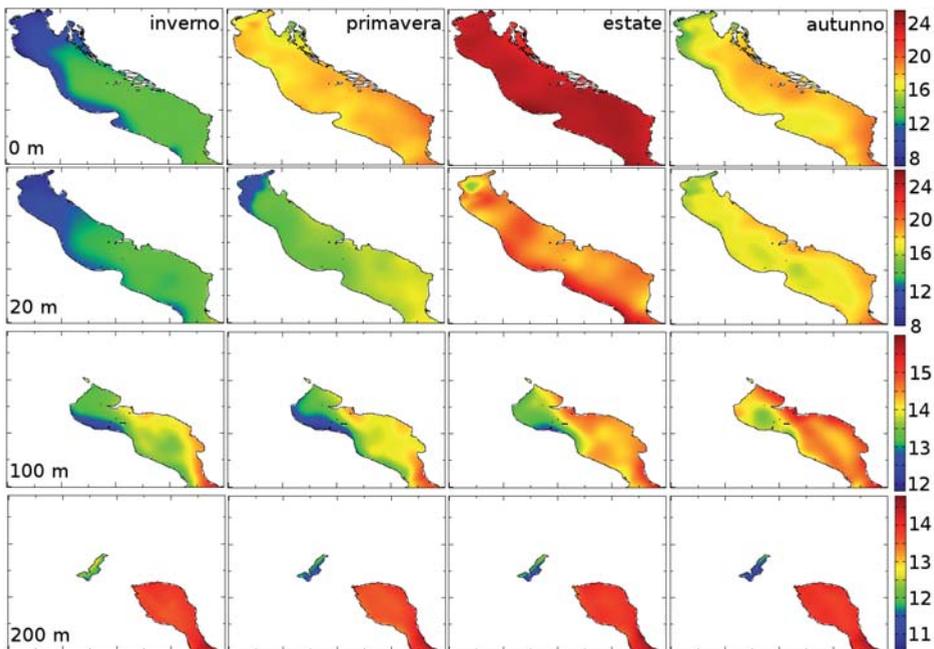


Figura 3. Ricostruzione dei campi di temperatura. Da sinistra a destra le quattro stagioni; dall'alto al basso quattro diverse profondità. La temperatura è espressa in gradi Celsius.

con quelli ottenuti tramite misure dirette riportati in letteratura, mostrando un elevato livello di confidenza. Tutte le diverse masse d'acqua, relative a ciascuno dei tre sottobacini (Settentrionale, Centrale e Meridionale) dell'Adriatico, sono state identificate e confrontate con informazioni di letteratura, ottenendo una rappresentazione completa delle caratteristiche del bacino attraverso diagrammi T-S, come si può vedere nelle figure 4, 5 e 6.

Per tre parametri (temperatura, salinità e ossigeno disciolto) si è iniziato un ulteriore studio della variabilità decennale su scala secolare, al fine di analizzare eventuali andamenti temporali a lungo termine, e la variabilità dei campi, utilizzando dati provenienti da campagne effettuate negli anni 1914-1918 e misure relative alle ultime tre decadi (1970-1979, 1980-1989, 1990-1999). Si è osservato un aumento della temperatura superficiale nei tre sottobacini, mentre i livelli più profondi presentano una dinamica diversificata, e una generale diminuzione della salinità nell'ultima decade. Ulteriori analisi sono necessarie per ottenere informazioni più robuste sull'evoluzione storica dei profili. Per quanto riguarda il dataset relativo ai nutrienti e ai parametri biochimici, sono state prodotte unicamente mappe climatologiche annuali. Il numero ristretto di misure e la disomogeneità di copertura dei dati non hanno permesso, infatti, una ricostruzione più dettagliata. I profili risultanti mostrano la presenza di strutture prevalenti, la maggior parte delle quali legate all'apporto di acque fluviali nella parte nord-occidentale del bacino, dovuto al fiume Po. L'utilizzo di un dataset più ampio risulta assolutamente necessario per una rappresentazione completa della distribuzione di questi parametri.

Le mappe sono state prodotte seguendo le linee guida del *SeaDataNet European Project* (www.seadatanet.org). Gli obiettivi di questo progetto sono quelli di creare una rete inter-

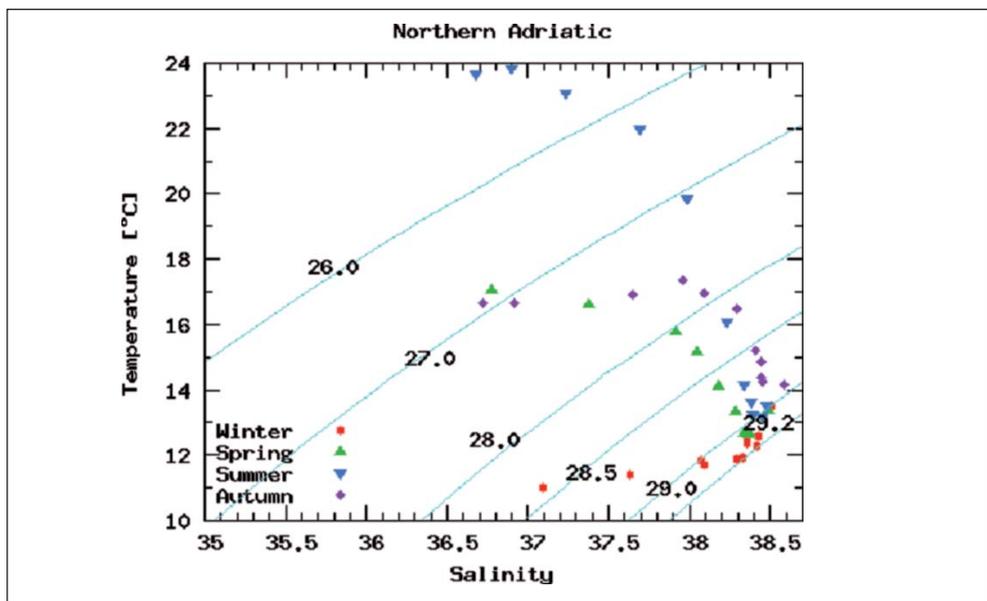


Figura 4. Diagramma T-S stagionale dell'Adriatico settentrionale, valutato attraverso i campi ricostruiti. Le isopiche sono rappresentate in blu [kg/m^3].

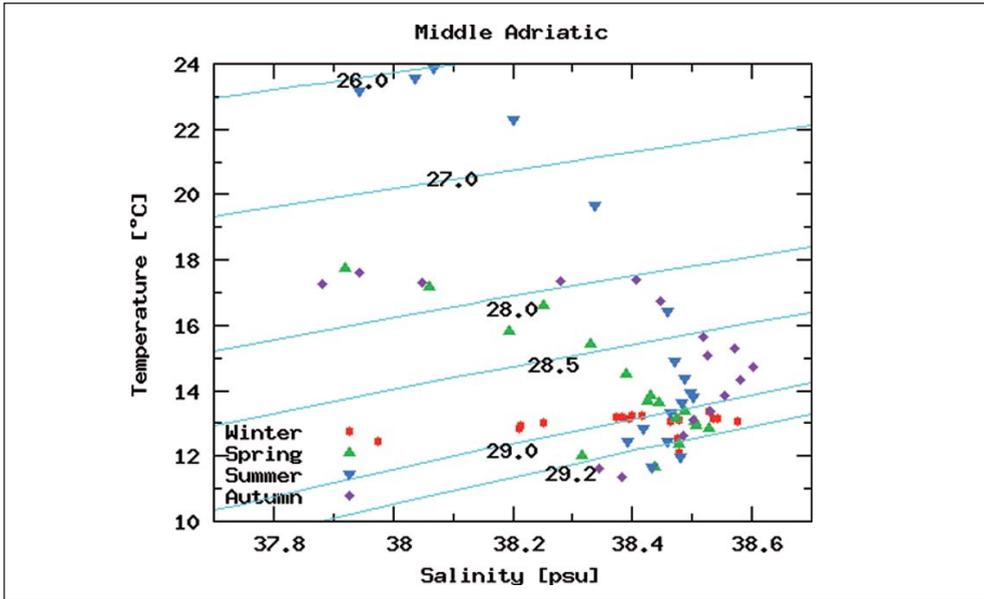


Figura 5. Diagramma T-S stagionale dell'Adriatico centrale, valutato attraverso i campi ricostruiti. Le isopiche sono rappresentate in blu [kg/m^3].

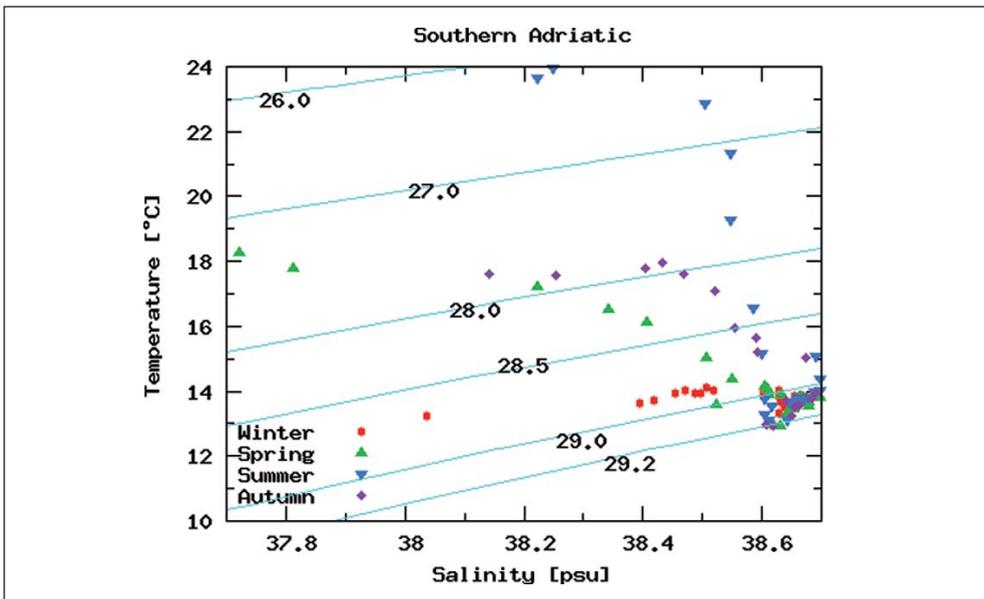


Figura 6. Diagramma T-S stagionale dell'Adriatico meridionale, valutato attraverso i campi ricostruiti. Le isopiche sono rappresentate in blu [kg/m^3].

nazionale che coinvolga i numerosi NODC (*National Oceanographic Data Center*) europei, e fornire agli utenti mappe climatologiche aggiornate da utilizzare per l'inizializzazione di modelli numerici predittivi e la validazione di nuovi dataset.

BIBLIOGRAFIA

- ARTEGIANI A., BREGANT D., PASCHINI E., PINARDI N., RAICICH F., E RUSSO A. (1997a). The Adriatic Sea general circulation. Part I: air-sea interactions and water mass structure. *Journal of Physical Oceanography* 27: 1492-1514.
- ARTEGIANI A., BREGANT D., PASCHINI E., PINARDI N., RAICICH F., E RUSSO A. (1997b). The Adriatic Sea general circulation. Part II: Baroclinic circulation structure. *Journal of Physical Oceanography* 27: 1515-1532.
- BRANKART J., E BRASSEUR P. (1996). Optimal analysis of in situ data in the Western Mediterranean using statistic and cross-validation. *Journal of Atmospheric and Ocean Technology* 13: 477-491.
- RIXEN M., BECKERS J., BRANKART J., E BRASSEUR P. (2000). A numerically efficient data analysis method with error map generation. *Ocean Modelling* 2: 45-60.
- ZAVATARELLI M., RAICICH F., BREGANT D., RUSSO A., E ARTEGIANI A. (1998). Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic Sea. *Journal of Marine Systems* 18: 227-263.