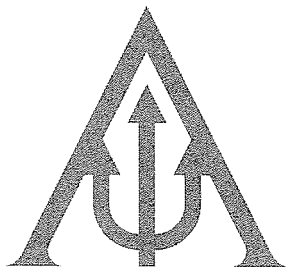


**ACCADEMIA INTERNAZIONALE
DI SCIENZE E TECNICHE SUBACQUEE
USTICA**



**MEDITERRANEO:
CONDIZIONI E SVILUPPI DEL CAMBIAMENTO**

QUADERNO N. 22

SETTEMBRE 1999

Atti della Tavola Rotonda

Mediterraneo: Condizioni e sviluppi del cambiamento

Napoli, Sala Compagna - Castel dell'Ovo

VI Biennale Internazionale del mare

7 Ottobre 1998

* * *

CHAIRMAN:

Prof. Giuseppe Giaccone

Vice-Presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee

Professore Ordinario nell'Università di Catania

Socio dell'Accademia Gioenia e dell'Académie Européenne

des Sciences, des Arts et des Lettres

SALUTO

Prof. Raffaele Pallotta d'Acquapendente

Presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee

Presidente della Biennale Internazionale del Mare

INTERVENTI:

Dott. Lucio Messina

Direttore dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee di Ustica

Prof. Attilio Agodi

Presidente dell'Accademia Gioenia

Professore Ordinario nell'Università di Catania

Prof. Arturo De Maio

Professore Ordinario nell'Istituto Universitario Navale di Napoli

Prof. Sebastiano Italo Di Geronimo

Professore Ordinario nell'Università di Catania

Socio dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee

Socio dell'Accademia Gioenia

Prof. Giuseppe Giaccone

*Professore Ordinario nell'Università di Catania
Vice presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee
Socio dell'Accademia Gioenia di Catania e dell'Académie Européenne
des Sciences, des Arts et des Lettres*

Prof. Giovanni Fulvio Russo

Professore Associato di Ecologia nell'Università di Catania

Prof. Francesco Pietra

*Professore Ordinario nell'Università di Trento
Socio dell'Académie Européenne des Sciences, des Arts et des Lettres
Centro Linceo Interdisciplinare "B. Segre" dell'Accademia Nazionale dei Lincei*

Hanno curato l'edizione del Quaderno n. 22:
Dott. Vincenzo Di Martino, Prof. Giuseppe Giaccone
Dipartimento di Botanica - Università di Catania

Prof. Giuseppe Giaccone

Professore Ordinario nell'Università di Catania

*Vice Presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee di Ustica
Socio dell'Accademia Gioenia e dell'Académie Européenne des Sciences, des Arts et des Lettres*

Introduzione

Assistono a questa Tavola Rotonda scienziati e docenti di liceo. Chiedo a tutti coloro che intervengono di tenere presente questa composizione dell'uditorio, in maniera che risulti chiaro a tutti il tema che vogliamo svolgere: "Le condizioni e gli sviluppi del cambiamento nel Mediterraneo".

Stamattina voi avete avuto l'esempio di qualcosa che cambia rapidamente: abbiamo avuto un temporale poi tutto si è calmato; sicuramente oggi avremo questo alternarsi di bello e brutto tempo e tutto questo si ripercuote sul mare. Il mare prima è agitato poi si calma; qui siamo in un luogo dove anche l'aspetto del paesaggio è profondamente cambiato. Certamente non nell'arco della vostra vita, forse neppure nell'arco della vita di chi vi parla. Il Vesuvio non esisteva, poi si formò, successivamente esplose il monte Somma e si formò un altro cono vulcanico; sono scomparse città e altre ne sono nate. Come vedete in tutto ciò vi è una dinamica evolutiva sia del territorio che degli insediamenti umani.

Voi che frequentate il liceo avete studiato i filosofi del primo periodo greco, della Magna Grecia in cui si cercava di

capire la composizione ed il funzionamento della natura. Oggi abbiamo altri mezzi e ben altra cultura, abbiamo acquisito quello che loro hanno immaginato e pensato, abbiamo aggiunto altri strumenti di pensiero. Sono state necessarie molte osservazioni e anche nuovi strumenti e nuove tecniche con cui compiere tali osservazioni.

Vogliamo, ora, capire il cambiamento che interessa il Mediterraneo. Voi, soprattutto in televisione, sentite dire che il Mediterraneo muore o sta morendo, termini catastrofici. Ma quanto c'è di vero in tutto questo? Davvero siamo per essere spettatori, con questa nostra generazione, di qualcosa di terribile, oppure questo Mediterraneo è una sorta di Araba Fenice, che tante volte muore e tante volte risorge? Vogliamo capire la dinamica di questo cambiamento, cioè di qualcosa che spinto da forze naturali acquista nuovi volti e ospita e dà la possibilità a nuova vita o a nuove forme di vita. Sapete, certamente, che la nostra specie (*Homo sapiens sapiens*, cioè due volte saggio, non so quanto sia vero, comunque noi biologi l'abbiamo chiamato così) è recente, cioè è una delle ultime specie giunte su questo pianeta, che ha la caratteristica straordinaria di ospitare la vita. Sulla Terra la vita esiste da almeno quattro miliardi, sostenuta anche dalle favorevoli condizioni ambientali, perché vita e ambiente sono strettamente legate nel loro rapporto e nel loro dinamismo e hanno a poco a poco "costruito" la situazione attuale. La nostra specie, più di ogni altra, ha la capacità di influenzare i cambiamenti e in qualche maniera di guidarli fino ad un certo punto; molte volte per capire questo è stato necessario chiudere all'influenza dell'uomo certe aree e questo sarà l'oggetto del primo intervento, cioè quello del Dott. Messina che vi illustrerà qual è la storia dello sforzo che facciamo per scegliere le aree che pensiamo di destinare a quest'uso, cioè, per farne un osservatorio sui fenomeni naturali: sono i parchi e le riserve naturali.

Cercheremo, poi, di capire in che modo si studia il cambiamento dal punto di vista fisico e sarà il Prof. Agodi della Università di Catania, professore di Fisica, che vi introdurrà ai metodi con cui si possono studiare i cambiamenti di quello che chiamiamo clima, quindi nel sistema o ecosistema Aria, ovviamente in maniera schematica. Il Prof. De Maio, dell'Istituto Navale Universitario di Napoli, vi farà vedere come si studia il fenomeno del cambiamento e del dinamismo dell'ecosistema Acqua, soprattutto nel Mare. A seguire il Prof. Di Geronimo, che insegna Paleontologia, quindi è un geologo all'Università di Catania, cercherà di farci capire come nel passato questi cambiamenti hanno condizionato scenari diversi, condizionando la presenza della vita nella nostra area mediterranea. Poi avremo due biologi che vi faranno vedere il fenomeno del cambiamento nella continuità dei fenomeni evolutivi. Vi sono fenomeni storici o fenomeni geologici (questo ve lo farà vedere il Prof. Di Geronimo) in cui il cambiamento viene interrotto bruscamente a seguito di forti cambiamenti. Conoscete sicuramente il fenomeno della scomparsa dei dinosauri. In quell'epoca vi è stato un grosso cambiamento, ma altri di questi periodi, in cui il cambiamento si è avuto con discontinuità, si sono verificati ma vedremo che in fondo c'è una continuità, che poi dà origine a quello che viene dopo. Senza questi eventi la vita sarebbe finita ed ogni volta avrebbe dovuto ricominciare da zero; invece questo non si è verificato, come nella favola della Regina Rossa, gli organismi hanno mantenuto il dominio della terra, muovendosi, cioè evolvendosi, con l'ambiente che si evolve, cioè che cambia nel tempo e nello spazio.

Io, che insegno Biologia delle Alghe ed Ecologia all'Università di Catania, vi documenterò lo sviluppo della biodiversità ed il suo cambiamento nel Mediterraneo, attraverso alcuni esempi di vegetali marini.

Il Prof. Russo, che insegna Ecologia nell'Università di

Catania e all'Istituto Universitario Navale di Napoli, ci farà capire, attraverso l'Archeozoologia, i cambiamenti causati dall'uomo nella fauna di questo mare attraverso l'introduzione di specie animali nel Mediterraneo in epoca greco-romana.

Infine il Prof. Pietra, che insegna chimica nell'Università di Trento, vi dirà come tutto questo cambiamento e si può osservare non solo studiando gli organismi interi, ma anche studiando semplicemente le molecole che stanno alla base della Vita.

Questo è il panorama che vogliamo affrontare in questa mattinata di studio. Chi siamo noi che occupiamo alla Biennale questa mattinata per dare delle informazioni, per discutere anche fra di noi oltre che con voi? Siamo un gruppo di persone, più o meno tutti professori universitari o impegnati in un'associazione che è l'Accademia.

Esiste un'Accademia proprio del mare che è l'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee. Questa Istituzione svolge un compito di raccordo culturale tra Napoli e la Sicilia, ecco perché trovate questo stretto rapporto fra napoletani e siciliani; fa eccezione il Prof. Pietra, ma anche lui è dentro un'Accademia, l'Accademia Europea, che promuove una riunione di tutte le Accademie dei paesi del Mediterraneo ed ha istituito una rete, sotto l'egida dell'UNESCO, cioè le Nazioni Unite, per fare in modo che le diverse culture possano colloquiare insieme per capire e conoscere l'ambiente del Mediterraneo che, come sapete, è stato la culla di tutta una serie di civiltà o se volete della "civiltà mediterranea". Il Prof. Agodi è Presidente di un'altra prestigiosa Accademia, l'Accademia Gioenia, che in passato fu istituita durante il Regno delle Due Sicilie.

Tutti noi siamo persone impegnate non solo nello studio, ma anche nella didattica e ci auguriamo di non far crescere la barba a voi che ancora non l'avete o a quelli che non l'avranno mai perché sono ragazze. Speriamo, però, di stimolarvi perché

se qualcosa non vi è chiaro oppure qualcosa vi è di particolare interesse voi possiate intervenire. Noi siamo contenti di colloquiare con voi e vogliamo fare un discorso che sia insieme uno sforzo per capire i fenomeni naturali, ma anche uno sforzo per comunicare ed insegnare a voi parte della nostra esperienza.

Questo è lo scopo dell'incontro di questa mattinata e di questo convegno. Il primo intervento è quello del Dott. Messina che ha vissuto l'esperienza di progettare e avviare la gestione del primo grande parco marino in Italia, cioè la Riserva Marina di Ustica. Ma prima di iniziare gli interventi il Prof. Pallotta, Presidente della Biennale del mare e dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche subacquee, mi ha chiesto di porgere un saluto ai partecipanti a questa Tavola Rotonda.

Prof. Raffaele Pallotta d'Acquapendente

Presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee

Presidente della Biennale Internazionale del Mare

Saluto ai partecipanti

Con infinito piacere vi ringrazio di essere qui e saluto tanti cari amici e tanti illustri relatori. Io spero che da questa interessante Tavola Rotonda possano derivare delle conoscenze su dei problemi strani, che interessano soprattutto i giovani che si affacciano alla conoscenza del mare, su questo equilibrio della biodiversità, su alcune alghe che si ritenevano killer ed invece abbiamo scoperto che sono delle ottime cose da mangiare, sono delle leccornie e sul problema delle meduse che tutti quanti noi abbiamo sofferto questa estate sulla nostra pelle o anche sull'impossibilità di muoverci in acqua con estremo godimento e con un certo dispiacere di tutti quanti noi. L'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee, lo dico per i giovani e per i non accademici, è un'istituzione che raggruppa tutti i più eminenti personaggi maschili e femminili che, nelle varie branche di attività, si siano particolarmente distinti per il loro lavoro, per le loro opere, per le loro attività che spaziano dalla scienza alla cultura, allo sport e alle attività tecnologiche che abbiano nel mare e nel fondo del mare il loro scopo e la loro attività. Ebbene, questa Accademia ha finora prodotto molteplici lavori che ha offerto all'Università e ai luoghi di

riflessione e di studio ed è un punto fondamentale della scienza del mare ed è stata la prima istituzione, mi fa piacere ricordarlo, che ha avuto l'immaginazione veramente prima di ogni altro che il mare non può essere guardato se non con una lente multidisciplinare; non esistono discipline uniche nel mare, esiste una conoscenza diversificata, che deve comunque lavorare assieme perché il mare è comunque unico e dobbiamo tutti quanti conservarlo oltre che fruirne. Questo è il messaggio grande che ha lanciato l'Accademia da Ustica ormai da trentacinque anni di vita, che ha poi raccolto la Biennale del Mare di Napoli per poterla riprendere, uniti insieme ancora con maggiore forza ed unità di azione e di intenti. E questo quello che noi consegniamo alla vostra intelligenza ed alla vostra capacità di giovani che speriamo ci seguirete in questa nostra azione con maggiore fortuna e con un mare più pulito e più gradevole e maggiormente fonte non solo di biodiversità e di bellezza, ma anche di occupazione nel lavoro.

Dott. Lucio Messina

Direttore dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee

La Riserva Nazionale Marina Isola di Ustica

Questo colloquio, iniziato con i giovani in maniera simpatica e piacevole dal Prof. Giaccone, ci stimola a dire qualcosa di più e di più illustrativo. Il Prof. Giaccone, oltre ad essere un bravo docente universitario, è professore di algologia ed è un algologo di importanza internazionale, che insegna all'università di Catania dove ha cattedra, è stato prima all'università di Palermo ed all'Università di Trieste, ha una sua lunga carriera universitaria, una sua lunga azione nel campo scientifico internazionale ed è il Vice Presidente di questa Accademia che vi ha nominato e di cui io sono il Direttore.

Questa è un'Accademia che nasce ad Ustica ed ha realizzato un importante collegamento Ustica-Sicilia ed il resto del mondo; è un'Accademia che nasce fra tutte quelle persone che ad Ustica, in quarant'anni di vita e di storia, hanno avuto un premio che si chiama "Tridente d'Oro". È un premio che è stato dato ad un centinaio di personaggi del mondo di varie estrazioni: vi sono scienziati tra cui medici, biologi, tecnologi, geologi, archeologi, scienziati di tutte le scienze che si occupano del mare; vi sono fotografi, cineasti, giornalisti, scrittori, come Folco Quilici tra i nomi più noti, e vi sono anche sportivi ed

atleti, per intendersi Enzo Maiorca, Mayol, il nostro Claudio Ripa, napoletano campione del mondo di pesca subacquea, che hanno lasciato il segno con le loro performance atletiche. Tutte queste persone nel corso degli anni hanno ricevuto ad Ustica, emergendo in campo internazionale in qualcuna di queste discipline, il “Tridente d’Oro”; tutti insieme hanno formato un’Accademia che si chiama appunto Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee. A qualcuno di voi, più interessato, poi daremo qualche pubblicazione, già data ad una delle vostre professoresse, che vi racconta meglio questa storia.

Io dovrò introdurre il tema del cambiamento del Mediterraneo ed ho degli appunti che vorrò leggervi per essere un poco più preciso e meno prolisso. Circa trent’anni fa il compianto J. Cousteau, a tutti noto e anche lui “Tridente d’Oro” premiato nel 1961, annunciò che in 20 anni il Mediterraneo sarebbe diventato un mare morto a causa dell’inquinamento provocato dagli scarichi urbani di grandi città, come di piccoli e medi centri abitati, da scarichi industriali diretti o recapitati da corsi fluviali, dalla pesca sempre più tecnologica e selvaggia, che depauperava la fauna ittica con sistemi irresponsabili ed incontrollati e da tante altre fonti terrestri dannose e pericolose che si riversavano sul mare Mediterraneo che, come voi sapete, è un mare non molto grande e abbastanza chiuso.

La previsione catastrofica fortunatamente non si è avverata nei tempi previsti né appare oggi così imminente, ma ha costituito un forte allarme per una presa di coscienza a tutti i livelli: scientifico, politico, economico ed ambientalista, tale da sollecitare in tutti i paesi rivieraschi studi approfonditi, provvedimenti normativi di regolamentazione e di tutela, la costruzione di impianti di depurazione e di tutto quanto necessario ad interrompere ed invertire il trend negativo che allora sembrava irreversibile. L’allarme viene recepito anche dagli organi comunitari che pongono all’attenzione il problema di così vitale

importanza, producendo voti e direttive ed organizzando conferenze internazionali per la definizione di apposite convenzioni, che hanno effettivamente determinato il cambiamento (ricordiamo Stoccolma e Barcellona).

Nell'ampio ventaglio delle iniziative individuate emerge la necessità di creare specifiche zone di tutela ambientale capaci di garantire l'equilibrio spontaneo e lo sviluppo dell'ecosistema marino protetto da interventi antropici non sostenibili, cioè si è tentato di trovare nell'ambito del Mediterraneo delle aree, che già si presentavano sufficientemente sane, da tutelare perché lì continuasse ad avvenire un equilibrato e spontaneo sviluppo dell'ecosistema da studiare ed ora vediamo in che senso. Nascono così i parchi e le riserve marine del Mediterraneo costituite da aree più o meno estese all'interno delle quali si possono osservare e studiare le varie componenti geologiche, chimiche, oceanografiche insieme ai rapporti sinergici e comparativi per controllare scientificamente le evoluzioni naturali, per ottenere parametri e principi necessari al progresso scientifico. Una seconda ed importante funzione di tali aree è di tipo culturale-educativo, che consente ad un crescente numero di persone che le frequentano di conoscere il mare nella sua integrità naturale, di apprezzarne la sua flora e la sua fauna, di imparare ad amare la sua bellezza e a subirne il suo fascino e di affinare così una diversa cultura di approccio e di godimento, indispensabili perché la tutela e la protezione divengano un atteggiamento spontaneo e consapevole assai più utile di regolamenti, divieti e restrizioni.

Io ho avuto la personale fortuna di partecipare a questi cambiamenti da un osservatorio privilegiato quale appunto, come dicevo prima, è l'isola di Ustica in provincia di Palermo. Ustica si affaccia al turismo alla fine degli anni cinquanta e conquista rapidamente il titolo di capitale dei sub grazie anche ai generosi carnieri che atleti di tutto il mondo esibiscono nelle

gare internazionali di caccia subacquea evidenziando la ricchezza di quel mare, unita alla incomparabile bellezza e alla trasparenza delle sue acque ed ai colori splendidi dei suoi fondali. Pensate che Ustica è un'isola isolata (non fa parte di arcipelaghi) del Mediterraneo, è al centro di intense correnti, sempre in continuo movimento, e sono sempre in continua modificazione i suoi habitat.

Ustica viene posta all'attenzione degli studiosi ed appassionati del mare da una manifestazione, nata nel 1959 e che continua a celebrarsi tutti gli anni denominata "Rassegna Internazionale delle Attività Subacquee", che in quarant'anni di vita ha attirato sulla piccola isola tirrenica centinaia di personalità e personaggi del settore, intervenuti negli anni con le più svariate motivazioni, esponenti di diverse attività comunque legate al mare, al suo studio, alla sua rappresentazione ed alla pratica di tutti gli sport connessi. Fin dalla prima edizione della Rassegna vengono assegnati, come dicevo prima, i premi "Tridente d'Oro" a coloro che si siano distinti in campo internazionale nei vari settori scientifico, tecnico, tecnologico, divulgativo e sportivo con l'obbligo di ritirare personalmente il premio ad Ustica.

È così che biologi, oceanografi, geologi, medici, archeologi, industriali di attrezzature ed apparecchiature tecniche, giornalisti, scrittori, fotografi, pittori, cineasti e registi televisivi, atleti di ogni specialità frequentano Ustica, la conoscono, l'apprezzano, l'amano, partecipano alla sua vita e vi ritornano, ne divengono cittadini onorari e ne divengono ambasciatori nel mondo; perché l'isola di Ustica, il comune di Ustica, ha deciso tanti anni fa che a tutti coloro che vengono premiati del premio "Tridente d'Oro" venga conferita anche la cittadinanza onoraria di Ustica. Pensate che Ustica è una cittadina, è un comune che ha un migliaio (1.100) di abitanti ed ha più di cento cittadini onorari, quindi oltre ai cittadini residenti ci sono il 10% di cittadini onorari.

Pian piano negli anni si affievolisce l'interesse per la caccia subacquea, cui comunque rimane il merito di avere avvicinato l'uomo al mare, assecondando il suo istinto predatorio, e cresce il gusto della scoperta di un mondo nuovo e meraviglioso in cui la natura esprime in un continente sommerso e sconosciuto la forza della sua bellezza. Così Ustica scandisce anno su anno il cambiamento e diviene un palcoscenico, nel mondo, dove si rappresentano le nuove attività e i nuovi interessi, dove annualmente si incontrano, si confrontano, lavorano insieme personaggi di ogni nazionalità, autorevoli esponenti dei diversi e numerosi settori dell'attività marina riuniti appunto nell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee. Viene emanato già nel 1970, a seguito della mozione conclusiva di un convegno sul ripopolamento del Mediterraneo, quindi 28 anni fa, svoltosi durante l'undicesima rassegna, un decreto del Presidente della Regione Siciliana, che limita le attività di pesca subacquea tradizionale (ancora non si parlava di parchi marini e di riserve marine), istituendo un'area di tutela biologica divisa in tre settori nell'isola ed attorno all'isola da utilizzare a rotazione triennale al fine di consentire la tutela delle acque circostanti, di salvaguardarne il patrimonio ittico e di incrementarne la consistenza. Nel 1981 nasce, dunque, la proposta di realizzare ad Ustica un parco marino vero e proprio così come già operato in Francia a Port Cros ed in Spagna nelle Isole Medas.

Nel 1982 (sentite come si scandisce negli anni questo cambiamento?) viene presentato ad Ustica il progetto di legge per la difesa del mare con le istituzioni delle prime 20 riserve marine italiane, tra cui Ustica, che diventerà legge dello Stato il 31 dicembre dello stesso anno. Nel 1986, dopo un iter travagliato, viene istituita la Riserva Nazionale Marina, dell'isola di Ustica, il cui regolamento verrà poi approvato nel 1990, siamo già, quindi, ai giorni nostri. Nel 1991 la riserva inizia finalmente la sua organizzazione, il suo funzionamento, costituendo esempio

tuttora unico e riferimento sperimentato da seguire che finalmente comincia a produrre i suoi effetti.

L'Italia ha 49 località indicate dalle leggi come siti potenziali per istituire le riserve marine, ne ha 15 già istituite, praticamente una grande, già funzionante insieme alla piccola riserva di Miramare, che è un giardinetto molto utile, ma è appena una piccolissima parte di mare sotto il castello di Miramare di Trieste. L'accettazione della riserva ad Ustica da parte della popolazione e dei suoi amministratori è stata sicuramente determinata dall'azione di informazione e convincimento svolta dall'Accademia nel corso delle varie rassegne, attraverso la realizzazione di convegni e di tavole rotonde, di confronti con la realtà internazionale lì invitata e convenuta di volta in volta, cosicché possiamo, senza tema di smentita, attribuirci il merito di avere aperto in Italia il cambiamento nel segno ecologico ed ambientalista dimostrando, da Ustica, come una corretta gestione del mare possa costituire sistema di sviluppo compatibile ed equilibrato tra natura ed economia.

Prof. Attilio Agodi

*Professore Ordinario nell'Università di Catania
Presidente dell'Accademia Gioenia*

Il clima nella Biosfera e nel bacino del Mediterraneo

Il cambiamento dei modi di fare scienza viene oggi sollecitato da diverse aree fenomenologiche: lo studio delle interazioni fondamentali nei grandi laboratori internazionali si collega con quello dei fenomeni di rilevanza cosmologica, lo studio dell'evoluzione biologica si vale di indagini a livello cellulare e molecolare.

Nei progressi della conoscenza sui fenomeni dell'ambiente naturale emergono indicazioni per lo sviluppo della scienza dei sistemi e dei processi di grande complessità, che coinvolgono cioè un gran numero di variabili, solo in parte ben definite, con interdipendenze ancora implicite nei dati osservativi e da ordinare in un quadro conoscitivo. In queste condizioni le idee e le procedure abituali del fare scienza sono poste in questione in modo specifico: è da attendersi che la specificità propria dei problemi che così si incontra introdurrà un rinnovamento critico dell'indagine scientifica, che coinvolgerà tutte le diverse discipline tradizionali che possono contribuire alla conoscenza della biosfera e della sua evoluzione.

Cercherò di illustrare le motivazioni di questo mio convincimento trattando del clima.

La fenomenologia del clima ha certo i caratteri della complessità, dei quali ho già detto. La conoscenza del clima si pone in rapporto, in modo essenziale, con quella dell'intera biosfera. Le variazioni climatiche incidono sui comportamenti delle popolazioni, i venti e la dinamica dell'atmosfera incidono sui mutamenti dell'ambiente inorganico e su quello organico e biologico: un complesso di retroazioni collega il clima con l'evoluzione delle specie viventi e del loro *habitat*, con la Terra così come è fatta e come *funziona*.

Parlando di questo fenomeno estremamente complesso quale è il clima cercherò di evidenziare l'evoluzione in corso dei modi di studiarlo.

Nel 1945, John von Neumann, considerato a ragione sia un grande fisico che un grande matematico, nel senso che ha dato contributi notevoli in entrambe le discipline, ma che, forse, è più conosciuto al grande pubblico perché si deve a lui il primo modello funzionante di *computer* programmabile, pubblicò sulla rivista *Fortune* un articolo in cui si avventurava a fare previsioni sul futuro. L'articolo aveva per titolo "*Possiamo sopravvivere alla tecnologia?*" e, nell'illustrare le potenzialità del progresso tecnologico, poneva in evidenza i nuovi rischi che ne sarebbero derivati per l'umanità, qualora se ne fosse fatto un uso indiscriminato.

In quell'articolo, accanto al problema dei rifiuti radioattivi, collegato agli usi pacifici dell'energia nucleare, era indicato quello, conseguente alla realizzazione di un controllo del clima su regioni geograficamente limitate, che avrebbe potuto essere usato nei conflitti internazionali per ridurre la produttività agricola in un paese nemico o per provocarvi uragani tali da metterne in crisi le condizioni di vita e l'apparato industriale. La prevista capacità di controllo del clima locale non è ancora stata realizzata. Né è questa la sola previsione di quell'articolo dimostratasi erronea: per esempio, von Neumann riteneva che

il numero di computers nel mondo non avrebbe superato qualche centinaio, ed è certo incontestabile l'evidenza attuale che contraddice clamorosamente la previsione.

Il caso che ho ricordato è un chiaro esempio della difficoltà, anche per un esperto ben qualificato, di valutare un'evoluzione che dipende sia dalle conoscenze scientifiche e dai prodotti tecnologici disponibili, sia dalle scelte collettive del loro uso.

In relazione al clima, confronterò la previsione di von Neumann con le considerazioni di un articolo, apparso di recente sulla rivista *Science*, dell'American Association for the Advancement of Science, dal titolo "*La biosfera: un sistema dominato dalla specie umana*".

Il senso di questo *dominato dalla specie umana* non significa il controllo del clima previsto da von Neumann, ma piuttosto vuole evidenziare che, oggi, l'incidenza sulla biosfera della specie umana è predominante rispetto a quella di tutte le altre specie viventi. Se, in particolare, si considera il clima, per valutare l'affidabilità delle conoscenze che ne abbiamo, si può citare l'esperienza comune delle previsioni meteorologiche. Quelle che vengono fornite dalla televisione o da qualche sito su Internet si estendono su tre o quattro giorni, al più. Si può facilmente controllare che queste previsioni variano spesso da un giorno al successivo per la parte comune ad entrambe: la differenza tra quanto previsto e i dati effettivamente osservati induce cambiamenti, a volte notevoli, nell'esito delle elaborazioni fatte per prevedere ciò che accadrà nei giorni successivi. Un ambiente in cui sia predominante l'influenza della specie umana rispetto a tutte le altre specie ha un'evoluzione prevedibile solo nella misura in cui i dettagli di quell'influenza sono già iscritti nelle interdipendenze dei dati in precedenza acquisiti, sulle quali si basano i modelli predittivi.

Se la conoscenza del clima e dei suoi cambiamenti, e, in generale, della biosfera è solo parziale, occorre motivare la valu-

tazione data di un impatto dominante della specie umana sul suo stato e sulla sua evoluzione.

Si possono dare alcuni tipici indicatori di tale impatto:

I) una superficie stimata tra un terzo e la metà di quella delle terre emerse ha subito alterazioni di origine antropica, dovute cioè ad insediamenti umani;

II) la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera è cresciuta di circa il 30% dall'inizio della rivoluzione industriale, cioè negli ultimi 140 anni circa;

III) la fissazione di azoto atmosferico dovuta ad attività umane è maggiore di quella dovuta all'insieme di tutti gli altri agenti naturali.

Va ricordato che la fissazione dell'azoto atmosferico è importante nei fenomeni biologici. Tale fissazione, l'associazione cioè dell'azoto con altri elementi chimici è una componente essenziale dei cicli vitali. Il fatto che la specie umana ne usi tanto quanto l'insieme di tutti gli altri agenti naturali dà un'idea dell'importanza che essa assume nell'evoluzione della biosfera.

Gli indicatori citati sono *globali*, si riferiscono cioè all'ambiente terrestre nel suo complesso: i loro valori sono affetti da incertezze, però gli ordini di grandezza che essi forniscono sono affidabili e significativi. Ne ricordo alcuni altri:

IV) più della metà di tutte le acque fresche superficiali della Terra è utilizzata dall'umanità mentre

V) circa un quarto delle specie conosciute di uccelli sono state avviate all'estinzione.

L'elenco dei dati non è completo, ma quelli forniti bastano ad indicare il tipo di informazioni su cui si basa la valutazione della biosfera come sistema *dominato* dalla presenza della specie umana, dai suoi comportamenti, dalle sue modalità d'impiego delle risorse naturali.

Come si collegano le informazioni date su alcuni parametri o indicatori globali con la ricerca sul clima, su questo aspetto particolare dell'evoluzione della biosfera?

Avendo menzionato le immissioni di anidride carbonica (CO_2) nell'atmosfera dovute alle attività umane, cresciute del 30% rispetto a circa 140 anni fa, cioè in proporzione certo notevole, possiamo provare a considerarne alcune conseguenze. Se si esamina da quali aree, sulla superficie terrestre, provengono i maggiori contributi a tali immissioni, si nota chiaramente che esse non sono distribuite in modo uniforme sulla superficie terrestre, ma sono localizzate in prevalenza nell'emisfero nord o *boreale*, nel quale, inoltre, la proporzione delle terre emerse è molto maggiore che nell'emisfero sud o *australe*. Questa osservazione è importante, perché dalla conoscenza di un indicatore globale, come il tasso d'immissione di CO_2 nell'atmosfera, non devo trarre conclusioni senza tenere conto della disuniformità nella distribuzione delle sue sorgenti, sulla superficie terrestre. Se si vanno a vedere come stanno le cose nel bacino del Mediterraneo, i dati del 1990 evidenziano che le emissioni di CO_2 dovute alle aree meridionali sono in pratica trascurabili rispetto a quelle delle aree settentrionali. Questo è un altro interessante dettaglio sulla distribuzione non uniforme delle sorgenti di quelle emissioni. Si noti, inoltre, che la differenza tra le regioni a nord e quelle a sud nel bacino del Mediterraneo non è rimasta la stessa tra il 1990 e oggi. Nel frattempo le emissioni al nord sono cresciute al tasso annuo del 2,8% e quelle al sud al tasso annuo di circa l'8%, quindi la loro distribuzione in intensità va cambiando in modo abbastanza rapido, nel tempo. Di tale cambiamento risentono sia il clima locale sia la sua incidenza sulla circolazione atmosferica nel suo complesso e quindi sul clima globale. La quantità di CO_2 presente nell'atmosfera e la sua diffusione influiscono sulle funzioni che l'atmosfera esplica, sia in rapporto al clima, sia nei grandi cicli dell'energia

e della materia nella biosfera. In questo contesto, bisogna tenere conto anche del fatto che gli strati alti e quelli più bassi dell'atmosfera giocano ruoli diversi. Giusto come un indizio dell'importanza di precisare tali ruoli, è di quest'anno la notizia di una previsione di spesa di 70 milioni di dollari USA per costruire un aereo adatto a volare al di sopra della troposfera e più a lungo, per ottenere informazioni migliori sui fenomeni atmosferici ad alta quota, utili per individuare le tendenze evolutive del clima. Le informazioni fornite dai satelliti si sono rivelate inadeguate: mentre essi esplorano l'atmosfera da percorsi prefissati e stabili, l'aereo non sarebbe soggetto a tale vincolo, potrebbe cioè adattare i propri percorsi di esplorazione ad opportune strategie d'indagine.

Tra i parametri rilevanti per la dinamica del clima, le trasmissioni televisive delle previsioni meteorologiche hanno reso familiare al grande pubblico l'andamento della pressione atmosferica. Questo viene rappresentato mediante linee di uguale pressione (*isobare*), disegnate sull'immagine della superficie terrestre. Sul *display* televisivo (o del *personal computer* collegato ad un qualche sito della *World Wide Web*) esse sono riportate come linee continue: sono però determinate interpolando dati riguardanti punti distinti, separati da distanze dell'ordine di qualche centinaio di chilometri. Le previsioni meteorologiche si fanno oggi con i dati ottenuti su un reticolo di tali punti, che sulla Terra delimita elementi di superficie con estensione lineare di circa 200 Km, e si estende in altezza per dieci strati, a quote variabili. Per ogni punto si misurano sette parametri, che sono le tre componenti della velocità dell'aria, l'umidità, la pressione, la temperatura e la copertura nuvolosa diffusa. L'insieme di questi dati viene introdotto in un *computer*, programmato per la loro elaborazione. Per sapere come cambieranno i parametri osservati nei successivi 10 minuti occorre effettuare circa 500 milioni di operazioni aritmetiche. Se si ricorda

che tutti i dati osservativi sono affetti da errori, allora si può comprendere, almeno qualitativamente, che le previsioni meteorologiche diventino meno affidabili se estese oltre qualche giorno. Basta pensare che da due situazioni iniziali, che differiscano tra loro solo entro i limiti degli errori di osservazione, in generale l'elaborazione deriverà evoluzioni diverse, che, già solo per la cosiddetta *propagazione dell'errore* (per cui esso aumenta col numero delle operazioni effettuate sui dati iniziali), potranno essere anche notevolmente differenti. Va inoltre considerato che tale fenomeno si verifica con tanto maggiore frequenza (cioè è tanto più probabile) quanto più complesso è il sistema considerato, cioè, in pratica, quanto più numerosi sono i dati da elaborare e quanto più le interdipendenze tra di essi derivino da processi di retroazione. Nel caso delle previsioni meteorologiche le differenze tra i dati iniziali, compatibili con gli errori di rilevamento, tendono a diventare più che raddoppiate, tra i dati finali, nell'arco di due o tre giorni. Ciò accade, come ovvio, anche se si cerca di determinare l'interdipendenza tra le condizioni osservabili in due luoghi distanti, il che dà luogo al cosiddetto *effetto farfalla*: anche solo il battito d'ali di una farfalla nelle regioni dell'oceano Pacifico, dopo qualche tempo, produce cambiamenti delle condizioni meteorologiche sull'Atlantico e sul Mediterraneo.

Torniamo dunque a considerare, in particolare, il Mediterraneo. Un mare quasi chiuso, non troppo piccolo ma nemmeno abbastanza grande, e pertanto con caratteristiche peculiari che lo distinguono sia dai grandi laghi che dagli oceani, quali, per esempio, l'Atlantico ed il Pacifico. Per definire tali caratteristiche occorre una veduta d'insieme sui vari aspetti dell'ambiente: le interazioni tra il mare, le terre emerse che lo abbracciano e l'atmosfera sono essenziali per comprendere i fenomeni che ne manifestano lo stato e possono dare indizi sulla sua evoluzione. Dicevano gli studiosi medievali che in ogni *cosa* vi è

una duplice perfezione, l'una, per cui è quale è, e l'altra per cui è in relazione ad altre cose. In epoche più prossime i progressi nella conoscenza scientifica hanno tratto origine proprio dalla scoperta e dall'elaborazione delle reti di relazioni che possono caratterizzare somiglianze e differenze negli elementi della realtà con cui l'indagine si confronta. Le due caratteristiche già citate del Mediterraneo, di essere cioè un mare *quasi chiuso* e di estensione molto maggiore di quella di un lago, ma molto minore di quella di un oceano, lo rendono particolarmente sensibile al regime dei corsi d'acqua che vi si riversano ed alla composizione dei loro apporti, ma anche al tipo di scambi che lo pongono in relazione con l'Atlantico, a occidente, e con altri mari, a oriente. Se si guardano gli apporti delle acque continentali, a prima vista si nota che il numero dei corsi d'acqua che si riversano nel Mediterraneo è maggiore nell'area settentrionale: in quella meridionale si trova però il Nilo, che da solo è stato tanto importante da dare rilievo enorme, nel Mediterraneo, al mutamento del suo regime dovuto alla costruzione della diga di Assuan. Peraltro la presenza di una grande area desertica, quale è il Sahara, incide significativamente sulle condizioni che regolano il clima nell'ambiente che stiamo considerando, sia attraverso gli scambi termici tra terra e aria, sia per fenomeni come il trasporto di sabbie del deserto alle latitudini di Catania, di Napoli e ancora più a nord, che non di rado vengono a depositarsi, in queste città, sulle auto in sosta o sulla faccia dei pedoni.

L'area biogeografica dell'olivo si estende ancora su tutta la costa nord orientale del Mediterraneo e su circa la metà di quella meridionale, se pure su una striscia poco estesa di territorio. Ma il quadro del depauperamento forestale nelle regioni mediterranee registra una permanenza delle specie tipiche dell'ambiente ridotta (nel 1988) al 60% in Grecia, al 50% in Turchia, al 34% in Spagna, al 25% in Italia, al 15% in Francia.

Si potrà ancora ridurre di un quarto nel 2050, secondo gli studi del *Plan Bleu* (1988), se non si adotteranno adeguati interventi di conservazione. Poiché la copertura forestale influisce sui grandi cicli biogeochimici dell'ossigeno e del carbonio, nonché sugli scambi termici tra la superficie terrestre e l'aria, i dati citati sono pertinenti al problema dell'evoluzione climatica, nel bacino del Mediterraneo.

La vegetazione e gli usi agricoli del territorio, come pure gli insediamenti abitativi e molte produzioni industriali richiedono disponibilità di acqua. Si riscontra qui di nuovo una marcata differenza tra le precipitazioni medie annuali nel nord e quelle nel sud del bacino mediterraneo. Nel nord esse variano tra i 400 ed i 1500 mm/anno (salvo sui Pirenei, sulle Alpi e sulla costa orientale dell'Adriatico, dove superano i 1500 mm/anno); nel sud (essenzialmente nella zona africana) si mantengono quasi ovunque al di sotto dei 400 mm/anno. La carenza d'acqua può costituire una tremenda difficoltà per lo sviluppo sostenibile. Uno studio del 1992 notava che l'effetto combinato della crescita demografica e dell'evoluzione dell'ambiente rendeva prevedibile, su scala mondiale, per il 2025 una disponibilità annua di acque rinnovabili, pro capite, ridotta a circa un terzo di quella del 1960. È un dato globale, ma indica con chiarezza la gravità del problema.

Ho prospettato sin qui un mosaico di osservazioni e di notizie, tutte collegate, più o meno direttamente, con i fenomeni climatici, in generale, e con quelli dell'area mediterranea, in particolare mi sembra ora il momento di introdurre le indicazioni sull'evoluzione dei metodi di studio delle variazioni regionali del clima che si è andata delineando di recente.

Per introdurre alcune idee, parlerò prima del *Niño*: un fenomeno di cui si è molto parlato e scritto, e che non descriverò (per mancanza di tempo). Dirò solo che si tratta di un processo che coinvolge il mare e l'atmosfera, ha origine nel sud del

Pacifico vicino alle coste dell'Ecuador e del Perù ed era noto da oltre un secolo ai pescatori di quella regione, che lo chiamavano *el Niño* (il Bambino) perché si manifestava nei giorni prossimi al Natale. Quando si è notato che i suoi sviluppi sembravano provocare disastrose inondazioni in California un'intensa attività di ricerca ha preso l'avvio, progressivamente interessando tutti i maggiori centri di ricerca impegnati nello studio del clima. I modelli di simulazione utilizzati hanno previsto l'evento verificatosi verso la metà degli anni '80 con uno scarto di tre mesi sulla data. I modelli sono stati modificati in base a nuovi criteri di selezione e di valutazione dei dati e l'evento oggi ancora in corso è stato previsto con estrema precisione.

Quale cambiamento ha portato a questo miglioramento nei modelli di simulazione? Come già accennato, proprio un cambiamento di metodo.

Ho riferito prima delle elaborazioni basate sulle informazioni registrate da satelliti in tanti punti distribuiti attorno alla Terra a varie quote, a quei 500 milioni di operazioni aritmetiche da eseguire per ogni intervallo di 10 minuti. Per migliorare la precisione di un fattore 10, per esempio riducendo da 200 Km a 20 Km le distanze tra punti contigui, seguendo lo stesso metodo si sarebbe dovuto moltiplicare per diecimila il numero delle operazioni, mettendo in difficoltà anche i più potenti calcolatori disponibili. Il successo dell'ultima previsione del *Niño* non è stato dovuto a quel tipo di elaborazioni, che introducevano nel computer tutti i dati disponibili e un modello *onnicomprensivo* (preteso *completo*) dei fenomeni climatici. Le elaborazioni sono state invece effettuate selezionando, sulla base delle conoscenze fisiche e meteorologiche correnti, solo quegli elementi che caratterizzavano il particolare fenomeno considerato, con un'origine molto bene localizzata, con andamenti quasi ripetitivi, in una regione dell'oceano Pacifico dove le terre emerse hanno un'estensione molto minore di quella coperta

dalle acque (il che rallenta le variazioni di temperatura). In queste condizioni è stato possibile selezionare nei dati una specie di *traccia fenomenica*, un fenomeno singolare entro la fenomenologia globale dell'atmosfera, e imparare come esso diffonda i suoi effetti su scala globale. Il successo così conseguito suggerisce di sviluppare questo nuovo metodo di elaborazione dei dati, tentando di estenderne l'applicabilità.

Anche per questo lo studio di un sistema così singolare come il bacino del Mediterraneo diventa importante non solo per le popolazioni che lo abitano ma anche per esplorare possibili sviluppi applicativi del nuovo metodo.

Misure effettuate nel corso degli ultimi 40 anni, a profondità tra i 2000 e i 2600 metri, nel nord-ovest del Mediterraneo, hanno evidenziato un aumento di temperatura (13 centesimi di grado) e di salinità. La diga di Assuan sul Nilo, in Egitto, e quella sull'Ebro, in Spagna, hanno drasticamente ridotto l'afflusso di acque "fresche" nel mare. Il suo livello avrebbe potuto abbassarsi di 10 centimetri, se non vi fossero stati gli apporti di acque salate dall'Atlantico e dall'ancor più salato Mar Rosso, a colmare il *deficit*. Questi apporti hanno prodotto un aumento di salinità del Mediterraneo, con un correlativo aumento di densità che influisce sugli andamenti della circolazione delle acque. Dati indicativi dei cambiamenti che ne sono derivati sono stati rilevati nel Mediterraneo orientale. L'aumento di salinità ha alterato la circolazione verticale, nella quale acque superficiali più salate (e quindi più dense) tendevano a cadere verso il basso: mentre studi precedenti avevano suggerito che tale processo avesse luogo essenzialmente nell'Adriatico, negli ultimi dieci anni esso è stato rilevato anche nella regione dell'Egeo.

Un altro, più grave cambiamento sembra possa essere determinato nell'Atlantico dall'aumento di salinità negli strati a profondità intermedia del Mediterraneo orientale, a sud della

Grecia. Questi strati, detti *Acqua Levantina Intermedia*, tendono a diffondersi ovunque nel Mediterraneo (per la tendenza dei fluidi verso una distribuzione uniforme della densità) e sono l'80% dell'acqua che attraversa verso ovest, ai livelli inferiori, lo stretto di Gibilterra, influenzando la circolazione dell'Atlantico, in particolare contribuendo a determinare il percorso della Corrente del Golfo che trasporta calore verso nord all'Europa. L'aumento di salinità del Mediterraneo, alterando l'efflusso delle sue acque attraverso lo stretto di Gibilterra, potrebbe indurre notevoli variazioni nella Corrente del Golfo. Attualmente vi sono due scuole di esperti con previsioni contrastanti su tali variazioni: consistenti in uno spostamento secondo alcuni verso oriente e secondo altri verso occidente. L'esistenza di due tesi tanto diverse dipende dalle incertezze nella valutazione degli effetti congiunti dei gradienti di densità e di temperatura, condizionati anche dalla dinamica dell'interfaccia tra le acque e l'atmosfera, ed è un indizio che si tratta di un fenomeno in cui deboli variazioni di dettaglio possono dare luogo ad esiti notevolmente diversi. Comunque, uno spostamento della corrente del Golfo darebbe luogo a cambiamenti peggiorativi del clima (raffreddamento) in Irlanda ed in Inghilterra, con correlative variazioni (riscaldamento) o nelle regioni settentrionali della Francia e della Spagna, ovvero in quelle della Groenlandia e del Labrador.

I due scenari alternativi comportano comunque esigenze di adattamento alle quali non si dovrebbe rischiare di essere impreparati a rispondere.

La Corrente del Golfo è un fenomeno a lenta evoluzione, come anche quello dell'aumento di salinità nel Mediterraneo, il secondo con la caratteristica di amplificare un segnale debolissimo (tredici parti per milione), tanto da riportare alla mente l'effetto farfalla.

Ci sono le condizioni per applicare il nuovo metodo di ela-

borazione dei dati che ha avuto successo nel caso del *Niño*. E sembra ovvio che andrebbe stimolato un maggiore impegno dell'Europa nelle ricerche sulle condizioni attuali del bacino del Mediterraneo e sulle loro tendenze evolutive, per acquisire conoscenze atte a controllarne, con opportune iniziative internazionali, le possibili incidenze sulla qualità della vita e sullo sviluppo sostenibile delle popolazioni interessate, che, per quanto detto, non sono solo quelle che abitano le regioni continentali attorno al Mediterraneo.

Prof. Arturo De Maio

Professore Ordinario nell'Istituto Universitario Navale di Napoli

Cenni di Oceanologia fisica

(Riassunto dell'intervento registrato: il testo del relatore non è pervenuto in redazione)

I movimenti delle masse d'acque degli oceani si originano per le differenze termiche tra le zone tropicali e le zone polari. Le correnti marine in particolare acquistano intensità e direzione in funzione di vari fattori, tra i quali sono importanti le differenti densità delle masse d'acqua, l'effetto Coriolis, i fenomeni dell'atmosfera, la distribuzione delle terre e dei mari nei due emisferi ed altre concause pure importanti. L'andamento del movimento delle masse d'acqua non è di tipo lineare, le correnti marine non sono fiumi dentro al mare, ma si ha una caratteristica dinamica a vortici, che procede lungo le distanze oceaniche fino alle piccole baie costiere. Tra le grandi correnti oceaniche viene illustrata la Corrente del Golfo.

La presenza delle dorsali oceaniche influenza la circolazione delle masse d'acqua. Una influenza locale è determinata dagli stretti e dai grandi golfi.

L'idrologia del Mediterraneo è fortemente influenzata dalla differente densità tra le sue acque e quelle dall'Atlantico ed ancora dalla differente densità delle acque nei diversi bacini e settori in cui si articola questo mare.

Gli scambi di energia aria-acqua influenzano anche la

meteorologia. Per avere buone previsioni sui fenomeni meteorologici marini è necessario infittire le maglie della rete di osservazioni attraverso satelliti con a bordo apparecchiature così sofisticate da poter seguire l'andamento dei fenomeni vorticosi anche a scala locale, come i golfi e le acque costiere più in generale.

Prof. Sebastiano Italo Di Geronimo

*Professore Ordinario nell'Università di Catania
Socio dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee
Socio dell'Accademia Gioenia*

Paleoecologia del Mediterraneo

(Testo ricavato dalla registrazione ed in parte riassunto)

Il clima, di cui vi ha già parlato il Prof. Agodi, il mare e le correnti, di cui vi ha parlato il Prof. De Maio, danno un'idea di come sia complicato il sistema oceanico e dell'influenza che questi fenomeni meteomarinari hanno sulla distribuzione della vita nel mare. A questi due elementi fondamentali bisogna aggiungerne un altro: il substrato, cioè il fondo marino ed i continenti e le terre emerse con la loro distribuzione. C'è una situazione di fatto che potrebbe sembrare statica, che è quella attuale, con il Mediterraneo, l'Atlantico e il Pacifico, ma se si introduce il fattore tempo diventa una situazione altamente dinamica; questo ci porta alla conclusione che il Mediterraneo attuale è semplicemente un momento della storia della terra e la sua morfologia attuale è momentanea. Come si è arrivati a questo? Il Mediterraneo non è esistito sempre. Prima esisteva una diversa conformazione delle terre e dei mari e se noi pensiamo a 100.000.000 di anni fa nel Mesozoico, quando ancora c'erano i dinosauri, il Mediterraneo era del tutto embrionale. Si chiamava Tetide ed era un braccio di mare allungato in senso

E-W, molto più lungo di quello attuale, che andava dai Caraibi fino all'Oceano Pacifico, delimitato da un insieme di terre più o meno frammentate, ma con due grosse masse continentali: l'Eurasia a nord e il Gondwana a sud. Con il tempo l'assetto geografico si è modificato per i movimenti delle placche: la Tetide si è andata riducendo in alcune aree, allargando in altre per cui alla fine si è raggiunto l'assetto attuale. Allora per parlare della storia e del significato del popolamento attuale del Mediterraneo, senza andare al Mesozoico, passiamo in rassegna le tappe più recenti e fermiamo l'attenzione su una prima tappa che si verifica nel Messiniano, circa 5-6 milioni di anni fa, una seconda tappa, più complessa, che si verifica da 1.600.000 anni fa fino a circa 15.000-30.000 anni fa (nel Quaternario) e una terza tappa che si sta verificando nei tempi attuali, che inizia con l'apertura del Canale di Suez e nello stesso tempo con l'intensificarsi della pressione antropica su tutte le aree del Mediterraneo. Queste sono tre tappe fondamentali per capire quale è l'assetto attuale della biodiversità del Mediterraneo.

Gli studi che vengono fatti sono essenzialmente di tipo biogeografico. Gli organismi sono distribuiti in vario modo sulla superficie terrestre, a secondo dei loro raggruppamenti la terra viene suddivisa in province biogeografiche. Per quanto riguarda il Mediterraneo, non distinguibile dal vicino Atlantico abbiamo, biogeograficamente parlando una Provincia Atlanto-Mediterranea che è suddivisibile in una Regione Mediterranea, in una Regione Lusitanica (da Brest fino a Gibilterra), ed in una Regione Mauritanica (da Gibilterra fino a Capo Bianco). Ciò significa che la biodiversità che esiste in questa provincia biogeografica ha moltissime affinità e la fauna mediterranea, almeno per come è descritta e conosciuta dai biogeografi moderni, è per buona parte una fauna di origine atlantica sebbene vi siano componenti di origine differente ed altre esclusive di questo mare, cioè gli endemismi.

Le specie endemiche sono le specie che si trovano solo in Mediterraneo; possono essere neoendemismi o paleoendemismi. I neoendemismi vengono interpretati come specie che si sono autonomamente evolute in Mediterraneo, quindi specie che sono nate in Mediterraneo. I paleoendemismi, invece, sono specie residuali di un areale più vasto e che ora si trovano in Mediterraneo come specie relitte, quasi dei fossili viventi. Per quanto concerne i molluschi, ad esempio, neoendemismi e paleoendemismi raggiungono il 19,8% della fauna malacologica del Mediterraneo. Alcuni gruppi di organismi hanno meno specie endemiche di altri fra cui i vegetali, caratterizzati da tempi evolutivi molto brevi, di cui vi parlerà il Prof. Giaccone. Le carte paleogeografiche del Mediterraneo mostrano come nel Tortoniano (circa 11 milioni di anni fa), la comunicazione tra l'Atlantico ed il Mediterraneo era molto più ampia e c'era ancora, anche se abbastanza ristretta, una comunicazione con l'Indo-Pacifico, per cui c'era sempre un forte apporto di faune di tipo tropicale. Soltanto il 3-5% delle specie conosciute per il Tortoniano sono attualmente viventi. Nel settore nord orientale in questo periodo geologico si forma la Paratetide, bacino con acque più o meno salmastre. Dal Tortoniano passando al Messiniano la situazione cambia radicalmente. A causa dei movimenti tettonici delle placche si chiudono l'area betica e rifana, e cioè si interrompono completamente le comunicazioni con l'Atlantico dopo la completa chiusura a est con l'Indo-Pacifico. Il Mediterraneo diventa un grande lago salato dal principio e poi si secca: è il modello evolutivo portato avanti essenzialmente dalla teoria del disseccamento del Mediterraneo, che comporta una scomparsa totale della fauna marina preesistente essenzialmente di tipo tropicale e la formazione dei livelli di gesso e di sali potassici che si trovano in Mediterraneo. Questo avveniva da 5 a 6 milioni di anni fa. Contrapposto a questo modello del disseccamento totale è quello dei bacini

santuario, portato avanti da autori spagnoli e francesi, in base ad alcuni dati raccolti essenzialmente in depositi messiniani della Spagna meridionale. Invece di trovare faune salmastre e sali, si sono trovati dei depositi con faune francamente marine tipiche di ambienti della piattaforma continentale, che potevano arrivare a circa 100 metri di profondità. Dai bacini santuario con ambienti di piattaforma continentale, sarebbe avvenuto poi gran parte del ripopolamento del Mediterraneo nel momento in cui l'acqua è rientrata in Mediterraneo.

Ciò si è verificato all'inizio del Pliocene. Circa 5 milioni di anni fa, infatti, i movimenti tettonici interrompono e abbassano l'istmo che separava il Mediterraneo dal vicino Atlantico creando quello che sarebbe divenuto lo Stretto di Gibilterra. L'acqua cominciò ad irrompere all'interno del Mediterraneo che si riempì tanto rapidamente che nel Pliocene inferiore, cioè tra 5 e 3 milioni e mezzo di anni fa, troviamo delle faune batiali con foraminiferi, molluschi, coralli e altri gruppi francamente marini e di ambienti batiali. Quindi nel Pliocene abbiamo una reintroduzione in massa di organismi atlantici e abbiamo ancora un clima di tipo tropicale. Nel Pliocene la percentuale di specie estinte diminuisce ed aumentano le specie che sono tuttora viventi fino al 3035%. Nel Quaternario, che è l'era successiva in cui ci sono le glaciazioni, le specie estinte sono semplicemente il 5% ed il 95% sono tutte specie viventi.

Dal Tortoniano al Quaternario, pertanto, si assiste ad un rinnovamento complessivo delle faune. I taxa inizialmente presenti subiscono una prima grande e brusca diminuzione nel Messiniano. Seguono altre estinzioni parziali durante il Pliocene, cioè nell'intervallo di tempo che va dalla fine del Messiniano fino all'inizio del Quaternario (1.600.000 anni fa). In questo periodo sono state documentate diverse fasi di estinzioni, soprattutto per quanto riguarda i molluschi. C'è una prima grande estinzione a circa 3 milioni di anni fa e un'altra a

2.400.000 anni fa. Mentre per la prima estinzione abbiamo pochi dati, per la seconda, che avviene in concordanza con una variazione climatica, testimoniata anche da organismi vegetali c'è una grande diminuzione e scomparsa di organismi marini.

Mentre abbiamo visto che nei fenomeni più ampi le scomparse erano in relazione essenzialmente con la tettonica, le ultime estinzioni possono essere correlate con fenomeni collegati al clima, e in particolare ad un raffreddamento sempre più spinto delle acque mediterranee e in generale della fascia delle medie latitudini in cui ricade il Mediterraneo. La causa delle estinzioni a 3 milioni di anni e a 2.400.000 anni fa è il raffreddamento climatico. Un'ulteriore diminuzione delle temperature si verificò 1.600.000 anni fa ed è contrassegnata da un andamento sigmoidale, perché il raffreddamento o il riscaldamento, cioè la variazione climatica, non è mai lineare, ma procede sempre per piccoli avanzamenti ed arretramenti di importanza diversa. L'inizio del Quaternario in Mediterraneo è evidenziato con un limite di tipo climatico e viene definito utilizzando l'introduzione in Mediterraneo del primo "ospite nordico", indicando come "ospite nordico" un organismo che vive attualmente nella Provincia Boreo-Celtica e che è riuscito ad entrare in Mediterraneo durante il Quaternario a causa del deterioramento climatico con conseguente riduzione delle temperature e spostamento delle masse d'acqua.

C'è tutta una diatriba di tipo paleontologico, stratigrafico e geologico sul tempo e sull'ordine dell'arrivo delle varie componenti faunistiche, su quando arrivano, cioè, arrivano gli organismi bentonici e quando quelli planctonici. Gli organismi però che hanno occupato gli specialisti per quasi un secolo, sono essenzialmente il mollusco bivalve *Arctica islandica*, ed il foraminifero *Hyalinea balthica*. Successivamente le cose si sono complicate con diversi altri schemi. C'è stata una lunga diatriba per capire se compariva prima *Hyalinea balthica* o *Arctica*

islandica, perché la letteratura geologia, come pure quella biologica, misconosceva l'ambiente di vita di questi organismi. Quando si cominciò ad indagare meglio, quando il paleontologo divenne effettivamente anche un paleobiologo, cominciò a capire che l'ambiente di vita dei due organismi era diverso, uno viveva a profondità maggiori sulla scarpata continentale e sul bordo della piattaforma continentale, l'altro, invece, viveva essenzialmente sulla parte alta della piattaforma continentale, quindi nelle serie geologiche si poteva trovare l'uno o l'altro in relazione alla situazione paleoambientale, indipendentemente dal tempo.

In Mediterraneo durante il Quaternario a causa delle variazioni climatiche ci sono state diverse ondate di "ospiti nordici", ma ci sono state anche ondate di "ospiti senegalesi". Le variazioni climatiche, di cui le glaciazioni sono l'aspetto più eclatante e conosciuto, hanno originato variazioni di temperature e anche di salinità e quindi di densità delle acque, per cui nei vari periodi sono entrati nel Mediterraneo "ospiti boreo-celtici" provenienti dal nord oppure "ospiti senegalesi" provenienti dal sud. Queste migrazioni sono documentate bene nel Pleistocene. Il Quaternario si divide in Pleistocene ed Olocene, il Pleistocene comincia 1.600.000 anni fa e finisce 10.000-15.000 anni fa, l'Olocene comincia da allora e dura fino ad oggi. Nel Pleistocene si sono avute tre grandi migrazioni: nel Pleistocene inferiore si è avuta la prima intorno ad 1.600.000 anni fa, un'altra ad 1.100.000 e la terza a 800.000 anni fa. Poi c'è una grande migrazione di organismi caldi a circa 120.000 anni fa, ed è la più grande migrazione proveniente dal sud; poi c'è ancora un'altra migrazione di organismi freddi, la più grande, la più importante perché climaticamente avviene nell'era più fredda, che è quella Wurmiana, compresa fra 30.000-15.000 o 12.000 anni fa (a secondo delle datazioni). Durante l'Olocene non si conoscono più migrazioni dall'Atlantico in

Mediterraneo, né da nord né da sud. Si hanno cambiamenti nella biodiversità dovuti essenzialmente a cause interne mediterranee: l'agricoltura, il primo grande fenomeno che ha fatto cambiare la vita nel mare in conseguenza del cambiamento di abitudini dell'uomo da cacciatore ad agricoltore; il disboscamento, l'uomo per coltivare ha provocato una grande erosione delle terre attorno al Mediterraneo, e quindi un cambiamento nell'ambiente ed a questo si è aggiunta recentemente l'apertura del Canale di Suez nel 1869. Con l'apertura del Canale di Suez rientrano di nuovo alcune faune indo-pacifiche in Mediterraneo orientale. Tra le cause antropiche con forte impatto sull'ambiente e la vita ricordiamo:

l'intensificarsi del traffico marittimo sia commerciale che turistico, la diffusione dell'acquacoltura e dall'acquariofilia con specie non indigene che si sono poi più o meno naturalizzate in Mediterraneo. Mentre le cause del cambiamento della biodiversità, fino all'inizio dell'Olocene, sono tipicamente geologiche o dovute a cambiamenti climatici globali, nell'Olocene e fino ad oggi sono cause essenzialmente di origine antropica.

Mi sembra che risulti evidente, come per capire la complessità dei problemi legati al cambiamento della biodiversità siano necessari studi che mettano insieme molte discipline e molte competenze.

Prof. Giuseppe Giaccone

Professore Ordinario nell'Università di Catania.

Vice -Presidente dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee.

Socio dell'Accademia Gioenia e dell'Académie Européenne des Sciences, des Arts et des Lettres

Ecologia della biodiversità in Mediterraneo

L'origine della biodiversità sul Pianeta Terra: modelli a confronto

Nel 1959 Hutchinson, uno dei fondatori della scuola ecologica americana, pubblicò la sua teoria sull'origine della biodiversità che aveva in precedenza esposta in un Congresso mondiale a Palermo. L'articolo dell'*American Naturalist* è così titolato. "Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals?" Certamente nel dedicare questa teoria, rimasta ancora un caposaldo nell'ecologia dell'origine delle specie, l'ecologo statunitense volle esprimere il suo stupore davanti alle tante teofanie che Palermo evoca, vista da Monte Pellegrino: ricchezza di natura e di cultura, simbolicamente sintetizzate nella grotta-santuario della "Santuzza" palermitana, che nell'800 aveva riempito di ammirato stupore anche Goethe.

Secondo il modello di Hutchinson l'esistenza di molteplici nicchie ecologiche (intese come un ipervolume di assi di esigenze, di risorse e di habitat) spiega perché vi sono molteplici forme di vita, cioè tante specie.

La competizione interspecifica per le risorse nelle comunità naturali ha selezionato nel tempo evolutivo le specie e ne ha

reso possibile la coesistenza attraverso una gamma infinita di mutualismi, di divergenza di caratteri e di comportamenti. Secondo questa teoria la diversità nelle comunità è una ricchezza da condividere e chi non condivide le risorse e non modera la competizione si estingue.

Un modello semplice di questa teoria è stato elaborato nel 1972 da Mac Arthur.

Una seconda teoria sulla consistenza della biodiversità nelle comunità è stata formulata nel 1978 da Connell, stimolato da studi sulle foreste pluviali e sulle barriere coralline.

Egli formulò l'ipotesi che le catastrofi naturali (uragani e tifoni per le foreste, fenomeni meteo-marini come "el Niño" per le barriere, incendi spontanei per praterie e boschi), liberando le nicchie dai vecchi occupanti, ringiovaniscono gli ecosistemi mantenendone alta la diversità biologica.

Questa teoria è stata denominata del "disturbo intermedio" e si basa ormai su una grande raccolta di dati sperimentali, che dimostrano l'esistenza dei maggiori picchi di diversità non nei sistemi in equilibrio o climatici, non nei sistemi degradati da inquinamento, ma nelle comunità sottoposte a moderata instabilità a causa sia di fattori biotici (erbivoria, predazione) sia di fattori abiotici (instabilità climatica, idrodinamica, edafica).

Una terza teoria generale sulla biodiversità fu formulata tra il 1966 e nel 1981 da Paine e riorganizzata nel 1993 da Colinaux, che la denominò "Principio del raccolto". Si basa su numerose sperimentazioni in natura, che evidenziano una maggiore diversità nelle comunità dove vi sono più "raccoltori di risorse": vi sono più specie vegetali, dove vi sono più erbivori che impediscono che pochi vegetali forti competitori occupino tutto l'habitat; vi sono più erbivori nei sistemi naturali dove vivono più specie di carnivori. Viceversa la diversità diminuisce drasticamente se crollano i carnivori terminali ed intermedi.

Tutte queste teorie, integrandosi danno una risposta ragionevole sul perché della diversità nella biosfera.

I fattori che regolano la biodiversità in Mediterraneo.

Il Mediterraneo rappresenta soltanto lo 0,8% della superficie marina dell'Oceano mondiale; ma la consistenza della sua biodiversità è paradossalmente relativamente elevata. Si calcola che in tutti gli oceani ed i mari del mondo gli Animali marini (Metazoi) sono circa 130.000 taxa ed i Vegetali (Macrofito-benthos) circa 8.000 taxa.

In Mediterraneo di questi Animali sono presenti circa 7.241 taxa, pari al 5,5% (Fredj *et al.*, 1992); mentre dei Vegetali se ne contano circa 1.351 taxa, pari al 16,2% (Giaccone *et al.*, 1999). (Tab. 1 e 2).

Secondo il modello di Mac Arthur (1972 in Begon *et al.*, 1989), che qui applico per il Mediterraneo, vi sono in un ecosistema più specie per i seguenti motivi:

- a) una maggiore gamma di risorse (oligotrofia diffusa);
- b) gli organismi sono più specializzati (endemismi e specie stenovalenti);
- c) ciascuna specie ha una nicchia ecologica più sovrapposta con le nicchie vicine (mutualismo e specie accompagnatrici);
- d) l'asse o l'ipervolume di risorse è più sfruttato, cioè la comunità di organismi è più saturata in relazione alla portanza biologica del sistema (articolati rapporti trofici e struttura biocenotica elevata).

In effetti il Mediterraneo è un mare oligotrofico e non è omogeneo né nell'habitat né nelle biocenosi e si articola in due bacini: occidentale ed orientale; ciascun bacino si divide in settori o mari minori (Alboran; Ligure; Balearico; Tirreno: alto, medio e basso; Adriatico: alto, medio e basso; Jonio: alto, orientale, occidentale, Mare Africano; Egeo: centrale, settentrionale, Mare Levantino, ecc.).

Gli endemismi specializzati per le nicchie mediterranee sono circa un terzo della sua biodiversità: 28,6% Animali e 26,6% Vegetali.

Nello studio delle biocenosi, inoltre, le specie, che accom-

pagnano gli elementi caratteristici, sono molto numerose, perché sono in grado di sovrapporre per una elevata percentuale i loro spazi o volumi di nicchia ecologica, abbassando la competizione interspecifica ed esaltando le sinergie mutualistiche (Bellan-Santini *et al.*, 1994; Giaccone & Di Martino, 1997).

L'ipervolume di risorse non è ugualmente ed intensamente sfruttato nei differenti bacini e settori nei quali si articola la biogeografia ed il diacronismo evolutivo del Mediterraneo.

La biodiversità e la strutturazione biocenotica diminuiscono drasticamente procedendo dal Mediterraneo occidentale al Mare Adriatico ed al Mediterraneo orientale (Tab. 3). Per quanto concerne, inoltre, la biodiversità vegetale, in Egeo si riduce fino al 32,2 % (Athanasiadis, 1987).

Origine della diversità vegetale in Mediterraneo.

Tra i fattori che hanno prodotto l'attuale biodiversità del Mediterraneo ne illustrerò brevemente due: 1) la tettonica delle placche ed in particolare alcuni eventi geodinamici, che hanno interessato nelle diverse ere geologiche i rapporti tra i corpi idrici dell'Atlantico e dell'Indo-Pacifico; 2) le variazioni climatiche negli ultimi 30.000 anni, che hanno causato le "crisi di Sapropele".

Lo studio sulla distribuzione degli organismi presenti in Mediterraneo, ha consentito di costruire uno spettro corologico, dal quale partiamo per investigare la loro origine, cioè il probabile diacronismo del loro processo evolutivo.

Approfondendo recentemente (Giaccone *et al.*, 1999) lo spettro corologico della flora marina bentonica delle coste italiane (Tab. 4), che rappresenta il 72,76 % di quella nota per l'intero Mediterraneo, abbiamo ottenuto alcuni risultati che ci hanno fatto formulare alcune ipotesi di lavoro sull'origine della diversità vegetale marina, estensibili all'intero Mediterraneo (Tab. 5).

I 202 taxa vegetali, pari a 22,32% compresi negli elementi biogeografici comuni agli oceani Atlantico e Indo-Pacifico (AP; IA; IA_t; IP; P) ed in particolare quelli presenti nella fascia tropicale e subtropicale, possono essere considerati elementi tetidei e mesogei. Alcuni (IP) sono rimasti probabilmente in parte in rifugi marini marginali anche durante la crisi evaporitica del Messiniano superiore, altri rientrarono in Mediterraneo durante alterne vicende di comunicazione, susseguitesi sia durante che dopo il Terziario superiore, anche fino al Pleistocene inferiore, tra il Mediterraneo e l'Indo-Pacifico.

Alcune specie degli elementi endemici (M: 25,64%) sono molto antichi e si devono considerare veri paleoendemismi (5%) risalenti (Stam *et al.*, 1988; Giaccone e Di Martino, 1997) all'Oligocene (*Laminaria rodriguezii*, *Posidonia oceanica*, *Rissoella verruculosa*, specie del genere *Rodriguezella*, ecc.) o al Miocene inferiore e medio (*Cystoseira corniculata*, *C. barbata*, *Halophila stipulacea*, ecc.). Altri elementi sono più recenti ed alcuni costituiscono neoendemismi (21%) risalenti ad epoche successive alla trasgressione pliocenica dei Trubi, quando si riformò l'ambiente marino del Mediterraneo attuale (altre specie di *Cystoseira*, specie di *Laurencia*, ecc.).

A questo stesso evento sono legati gli elementi plio-pleistocenici (254 taxa, pari al 27,06 %) comuni soltanto all'Atlantico ed al Mediterraneo (A; Ab; Ab_t; At).

Gli elementi cosmopoliti (217 taxa, pari a 23,97 %) comuni al Mediterraneo, all'Atlantico, all'Indo-Pacifico o diffusi un po' ovunque nelle zone marine del globo (Aptf; Iatf; SC; C; CA; CB; CBA), si possono fare risalire a specie distribuite in tutto l'Oceano mondiale (o in alcune sue fasce climatiche) nel corso delle ere geologiche e disperse attraverso vie marine e durante eventi generalmente poco noti.

Le variazioni climatiche avvenute durante il Pleistocene inferiore e l'Olocene hanno prodotto 12 crisi di Sapropel negli ultimi 30.000 anni (Stanley, 1978).

Il regime pluviale nei bacini, che alimentano i fiumi che sboccano nel Mar Nero, determinano con un ritorno di circa 3.000 anni, crisi anossiche di origine bosforica nell'Egeo.

Il regime monsonico dell'Africa orientale, legato ai cicli di Milankovitch, causa alluvioni nilotiche e crisi anossiche nello Ionio con conseguenze negative fino alle coste della Sicilia e nei casi più gravi porta ad una inversione delle correnti generali del Mediterraneo.

Secondo recenti osservazioni oceanografiche riportate da Doumenge (1993) una crisi di Sapropel è già in atto e dovrebbe avere il suo effetto devastante intorno al 2020 - 2050.

Già nell'Egeo, infatti, sono state trovate aree profonde con acqua anossica di origine bosforica ed in molti settori dell'Adriatico e del Tirreno la risalita in superficie delle correnti di Levante hanno alterato i rapporti nelle acque tra N ed il P (Orel *et al.*, 1993). Come conseguenza si sono avute nell'ultimo decennio varie fioriture algali, denominate "mucillagini".

Queste crisi climatiche ricorrenti sono probabilmente responsabili (Por *et al.*, 1985) della scarsa biodiversità animale (40%) e vegetale (32%) e della destrutturazione delle biocenosi ed in particolare delle associazioni vegetali in Egeo ed in tutto il Mediterraneo orientale, che presenta nicchie ecologiche semi-vuote ed esposte ad invasioni di specie opportuniste alloctone e/o fuggitive (specie del genere *Caulerpa*, degli Ordini *Ceramiales* e *Dictyotales*: Ribera e Boudouresque, 1995; Giaccone & Di Martino, 1997).

Meccanismi di diversificazione evolutiva.

La successione batimetrica dei paesaggi marini sulle coste rocciose del Mediterraneo è evidenziata nell'ambiente sommerso da formazioni vegetali, caratterizzate nello strato elevato da specie del genere *Cystoseira*. Il portamento della fronda e le strutture di ancoraggio al substrato di queste specie sono il

risultato di una evoluzione guidata da un parametro abiotico della nicchia ecologica: l'idrodinamismo.

Le Cistoseire simpodiali (*C. amentacea*, *C. brachycarpa*, *C. barbatula*, ecc.) occupano le zone caratterizzate da correnti multidirezionali e bidirezionali con effetti dirompenti, mentre le specie monopodiali (*C. mediterranea*, *C. elegans*, *C. sauvageana*, *C. spinosa*, ecc.) caratterizzano le zone con correnti deboli unidirezionali o formano isole di vegetazione nelle pozze calme e nelle baie riparate.

In ambienti con rocce organogene o vulcaniche irregolari ed in ambienti con reologia intensa le specie hanno evoluto un elaborato sistema di ancoraggio fatto da lunghi e suddivisi ramponi, terminati da ventose digitate (*C. jabukae*, *C. tamariscifolia*, *C. brachycarpa* v. *claudiae*, *C. zosteroides*, *C. usneoides*, ecc.)

In ambienti coperti da sedimenti, le specie hanno sviluppato cauloidi striscianti e corti rami primari (*C. corniculata*, *C. dubia*, ecc.).

All'interno di questa selezione evolutiva le specie hanno contrastato l'eccesso di sfruttamento provocato dall'erborivoria, elaborando sostanze allelopatiche. Queste molecole nelle specie più antiche sono semplicemente metaboliti secondari non lipofili mentre in quelle mediamente evolute sono diterpenoidi lineari, che diventano sempre più complessi con nuclei eterociclici, man mano che le Cistoseire colonizzano nuove nicchie ecologiche, nelle quali devono limitare la predazione di nuovi o più numerosi erbivori.

È stato possibile ricostruire anche su basi chimiche (Piattelli, 1990; Amico, 1995) la filogenesi delle specie attraverso la biogenesi dei prodotti allelopatici. Un esempio di speciazione simpatica ancora non completata è stata studiata in alcuni ibridi naturali di *C. algeriensis* x *C. elegans*, caratterizzati da metaboliti a biogenesi mista (Amico *et al.*, 1988).

In base ai risultati di questa indagine chemiotassonomica e

tenendo presente la biogeografia delle differenti specie del genere *Cystoseira*, ritengo di poter indicare in *Cystoseira corniculata*, specie confinata in Adriatico, in Egeo e nello Jonio orientale ed ancora presente nell'Alto Oceano Indiano, come il *taxon* che ha inventato i metaboliti secondari diterpenoidi lineari come sostanze allelopatiche antierbivore.

Questa specie risale probabilmente al Mare Mesogeo del Tortoniano e rimase rifugiata durante la crisi messiniana nei bacini marginali e residuali della Paratetide e dei laghi-mare dell'Egeo. La metilazione di gruppi laterali di molecole terpenoidiche complesse è il mezzo più elaborato, espresso dai genomi più evoluti delle specie di questo genere, che hanno colonizzato aree superficiali o sono state per lunghi periodi sottoposte ad intenso idrodinamismo in nicchie, dove è anche maggiore e più diversificata la pressione degli erbivori.

Una causa di speciazione allopatrica è l'isolamento geografico, che alcune specie vegetali mediterranee hanno subito in seguito al realizzarsi di areali disgiunti. Qui indicherò soltanto due esempi riferibili ad eventi geodinamici dell'Oligocene e due esempi che si possono fare risalire uno al bacino Paratetide e l'altro alla trasgressione pliocenica dei Trubi.

Laminaria rodriguezii è un paleo-endemismo che ha affinità con due specie dello stesso genere (*L. sinclairii* e *L. Longipes*) oggi presenti sulle coste settentrionali del Pacifico tra il Giappone, le isole Kurili, l'Alaska e la California. La via marina ipotizzata, percorsa dalla specie ancestrale, è quella medio-asiatica (Via Turgai), che collegava nell'Oligocene un Mare Artico temperato con il Pacifico settentrionale e la porzione centrale del Mare Mesogeo. *Laminaria rodriguezii* mantiene ancora le esigenze ancestrali: termiche (temperature inferiori ai 15°C), fotiche (luminosità bassa) e reologiche (correnti di fondo); queste condizioni si realizzano soltanto in alcuni ambienti del Circolitorale in tutto il Mediterraneo. Anche la datazione biolo-

gica basata sulla percentuale di ibridazione genica (Stam *et al.*, 1988) ancorché approssimata, porta all'Oligocene superiore o al Tortoniano. Alla stessa epoca si può fare risalire l'origine di *Posidonia oceanica*, ma attraverso il ramo orientale e meridionale della Tetide e della Mesogea. Oggi il genere si presenta con specie disgiunte in Mediterraneo e nell'Australia.

Il *Fucus virsoides* dell'Adriatico è rifugiato allo sbocco di acque dolci sulle coste rocciose dall'Albania a Venezia e mostra maggiori affinità genomiche (Gallardo, com. pers., 1992) con il *Fucus spiralis* dell'Atlantico settentrionale (Mare del Nord), che con le popolazioni delle Canarie e delle coste europee dell'Atlantico subtropicale.

Il bacino della Paratetide, attivo soprattutto nel Terziario medio è stato la culla evolutiva di questa specie.

Laminaria ochroleuca presente nello Stretto di Messina è l'esempio più recente di disgiunzione di areale nel Mediterraneo. Questa specie è presente fino a circa 20 metri di profondità nell'area Lusitano-Senegalese dell'Atlantico e fino al Sud Africa. In Mediterraneo continua la sua distribuzione nel Mare di Alboran e fino in Algeria. La popolazione dello Stretto di Messina, per la sua profonda penetrazione batimetrica (tra -30 e -95 m) e per la sua attività fotosintetica (Drew, 1972), è già formata da una specie fisiologica, distinta dalla popolazione atlantica, dalla quale è isolata almeno da 2-3 milioni di anni. Questo isolamento e questo inizio di differenziamento evolutivo sono condivisi con altre specie vegetali (*Cystoseira usneoides*, *Saccorbiza polyschides*) ed animali (es. *Errina aspera* e *Pachylasma giganteum*) presenti nelle biocenosi bentoniche dello Stretto di Messina (Di Geronimo, 1995; Fredj e Giaccone, 1995).

Riflessioni conclusive: biodiversità ed ecologia tra scienza e fede

Nel 1820, cioè quasi all'inizio dell'impatto grave sull'ambiente causato dalla civiltà industriale, che persegue un modello

di economia individualista e massimizzante, Giacomo Leopardi, con il pessimismo che lo caratterizzava scriveva in un suo pensiero: "... tanto è possibile che l'uomo viva staccato affatto dalla natura dalla quale sempre più ci andiamo allontanando, quanto un albero tagliato dalla radice fiorisca e fruttifichi. Sogni e visioni. A riparlarci di qui a cent'anni. Non abbiamo ancora esempio nelle passate età, dei progressi di inciviltamento smisurato, e di uno snaturamento senza limiti. Ma se non torneremo indietro, i nostri discendenti lasceranno questo esempio ai loro posteri, se avranno posteri" (Zibaldone, 18 - 20 Agosto, 1820; Ed. 1898-1900).

L'umanità, in effetti, ne ha riparlato a Rio de Janeiro nel 1992 e a Kjoto nel 1997, per concludere che stiamo praticando uno sviluppo socio-economico non sostenibile dalla Natura e che stiamo alterando profondamente l'aria che respiriamo ed il clima che condiziona la vita nella biosfera.

Si ritiene che la nicchia ecologica, che ha reso possibile l'emergere dell'*Homo sapiens*, circa centomila anni fa, sia stata l'area geografica dell'Africa meridionale compresa tra il Kenia e l'Uganda, caratterizzata ancora oggi a terra e a mare da una straordinaria e spettacolare biodiversità. L'attrazione, che genera nell'uomo il fascino della biodiversità, rivela forse un imprinting, che la nostra specie ha ricevuto nella primordiale nicchia ecologica, dalla quale è emersa nella linea evolutiva dei Primati su disegno eterno di Dio-Evolutore, come Lo chiama Teilhard de Chardin (1955) fondatore dell'antropologia moderna. Più sommessamente mi sembra di poter supporre, inoltre, che il fascino che ci attira verso i luoghi ricchi di biodiversità, i boschi, i fondali marini, ma che ha spinto anche i migliori urbanisti a creare nelle città ville, giardini, arredo a verde di vie e piazze, sia forse più profondamente la nostalgia del Giardino di Eden dove, metà dell'umanità, che si riconosce nella fede di Abramo (Ebraismo, Cristianesimo ed Islamismo), crede che i

nostri progenitori abbiano appreso, passeggiando e conversando con Dio, a conoscere la biodiversità del Pianeta Terra ed il segreto del suo “divenire-creatore” cioè del processo evolutivo.

La “nuova sensibilità ecologica e olistica segna il passaggio alla cosiddetta post-modernità (Coda, 1998). Questo nuovo parametro culturale è un seme, quasi “un gene attivato” che renderà nuovo l’*Homo sapiens* nel terzo millennio. In questi ultimi trenta anni tutte le nazioni stanno facendo a gara per vincolare almeno il 25% del territorio a parchi e riserve, detti anche santuari della natura. In questo linguaggio ritorna la sacralità delle religioni naturali: nel santuario della natura si manifesta il Santo, c’è il Santo con il quale l’uomo vuole ritrovarsi e stare. Dio tra le cose per l’uomo post-moderno è più sperimentabile che tra gli uomini. È una asceti ambientalista, non estranea alla tradizione dei mistici cristiani, che si appartavano dai luoghi frequentati negli eremi, nei boschi, nella natura in genere per rifare l’esperienza dell’Eden, quando Dio scendeva a passeggiare con l’uomo, che così ne sperimentava la familiarità tra le cose nel Giardino. La dimensione ecologica è presente soprattutto nelle nuove generazioni, che hanno inventato la categoria socio-economica dello sviluppo sostenibile. Anche la grande passione per il mare, che è esplosa tra le generazioni di fine millennio, è voglia di natura incontaminata, di spazio dove potere isolarsi immergendosi e risentire, come all’inizio, che sulle acque aleggia lo Spirito di Dio (Gen., 1, 2), mentre la terra va ridiventando per il degrado antropico, “una massa senza forma e vuota”, cioè senza paesaggio verde e senza biodiversità a causa degli incendi dolosi o dell’eccessivo sforzo agricolo, di pesca e di sfruttamento industriale del territorio e delle risorse.

La visione di Chiara Lubich (esperienze del 1949) sul rapporto tra Dio e la creazione, si inserisce in questo processo del pensiero post-moderno, che vuole ricostruire una visione del

mondo a partire dall'esperienza vitale che l' "*ut omnes unum sint*" non è solo l'estrema preghiera di Gesù, ma l'unica reale concezione del cosmo, "divenire creatore", che, escatologicamente e nell'uomo coscientemente, tende a cristificarsi e quindi ad indinarsi nella pericoresi Trinitaria. Questa concezione di Chiara è stata anche di Teilhard de Chardin e trova il fondamento in S. Paolo (Col. ,1, 15-20) "poiché per mezzo di Lui sono state create tutte le cose.. .Egli è prima di tutte le cose e tutte sussistono in Lui ...Perché piacque a Dio...per mezzo di Lui riconciliare a Sé tutte le cose, rappacificando con il sangue della sua croce, cioè per mezzo di Lui, le cose che stanno sulla terra e quelle nei cieli". Scriveva Teilhard de Chardin nella sua monografia *Le coeur de la matière* (in Cuenot, 1962): "Il cuore di Cristo universalizzato coincide con il cuore della materia amorizzata", impregnata di amore del Padre per le creature fatte esistere per mezzo del Figlio, nel quale sussistono e quindi rientrano con Lui Risorto nella pericoresi d'amore della Trinità. Questa visione assume veste filosofica e teologica in Coda (1998), dimensione sociale in Araùjo (1997), significato ecologico in Giaccone (1999) e riflessione economica in Bruni (1997).

Prima della venuta di Cristo ed a cominciare dalla scacciata dall'Eden, le cose, la natura, erano fonte di sofferenza, di sudore ed i Romani riservavano agli schiavi il trarre le risorse dai campi, dalle miniere, dalle foreste. Questo non faceva percepire nell'arte l'uomo inserito nel paesaggio, assente in sculture, pitture ed opere letterarie in tutto il primo millennio dopo Cristo. Secondo la concezione di S. Paolo (Rom., 8, 19-21) la natura ritorna ad essere in armonia con l'uomo, cioè viene salvata, da una umanità che si fa liberare, cioè salvare da Cristo.

La percezione del paesaggio come armonia tra le cose e l'uomo si ha nella letteratura solo alla fine del medioevo in una lettera del 1336 di Francesco Petrarca (*Familiars*, IV, 1), che

descrive la sua salita al Mont Ventoux presso Avignone, cioè dopo che il sangue e la sofferenza di tanti Cristiani, affidando i loro corpi santi alla terra, come una Eucaristia, l'hanno resa di nuovo un Santo Giardino, un Eden, un Campo Santo, come si dice anche comunemente.

La percezione del paesaggio esplode nell'arte dell'Umanesimo e soprattutto del Rinascimento, dopo che alla fine del medioevo la spiritualità francescana aveva fatto percepire la dignità e la bontà di tutte le creature ed il loro diritto ad avere spazi non modificati dall'uomo. (Fonti Francescane, 1980: n. 750, 1600, 1818, 2844). La salvezza, cioè la liberazione della natura dalla schiavitù del degrado, è operata in occidente già dal monacismo benedettino, che conserva e restaura i boschi dell'Europa.

Ci sono voluti altri sette secoli, dopo Petrarca, perché si scoprisse nella prima metà del ventesimo secolo la scienza dei rapporti tra i viventi ed in particolare tra l'uomo e l'ambiente. Nasce l'Ecologia, che si sviluppa a cominciare dagli anni sessanta per arrivare negli anni novanta alla formulazione dello sviluppo sostenibile dalla natura, cioè ad inserire le esigenze dell'ambiente nel processo dello sviluppo socio-economico. Questo si realizza anche sotto la spinta dei movimenti ambientalisti, ma anche dietro una rinascita del cristianesimo di popolo dopo il Concilio Vaticano II. Il popolo cristiano alle soglie del terzo millennio risente nostalgia dell'Eden, del Paradiso perduto e ritorna a volere incontrare Dio tra le cose e a riprogettare la salvezza della natura. Le radici e le motivazioni dell'impegno cristiano a favore dell'ambiente, sempre più presenti nei documenti del Magistero di Roma (Giaccone, 1996), si ritrovano nella teologia della creazione, che a sua volta è legata all'economia della Vita Trinitaria: Dice S. Agostino (in *Johannis Evangelium*, 20, 9): "il mondo uno è stato fatto dal Padre per mezzo del Figlio nello Spirito Santo"; S. Tommaso (*Summa Theologiae*, I, 45, 6, ad secundum) afferma: "le processioni delle Persone sono ragione della produzione delle creature".

Un teologo contemporaneo, Coda (1998), così sviluppa in termini teologici il pensiero di Chiara Lubich su questa tematica: “Dio è Uno e Trino perché è Amore: Padre, Verbo, Spirito Santo. Il Verbo è l’espressione del Padre dentro di Sé, in cui il Padre contempla Se stesso, esprime Se stesso Amore in infiniti toni che convergono in Uno, nel Verbo Amore. Contemplando nel Verbo le infinite espressioni di Se stesso Amore – quelle che la tradizione classica chiama le idee divine – che sono il Verbo, il Padre, per amore “morendo”, per amore, le proietta fuori di Sé per fare essere un altro, la creazione, distinta da Sé e farlo liberamente diventare un altro Sé. Quindi la creazione, vista in questa luce, è potremmo dire, un Dio creato. Il creato chiamato a diventare Dio. Questa in particolare è la ragione per cui Dio crea l’uomo”. Infatti solo l’uomo è “immagine e somiglianza di Dio”, ma l’uomo è la coscienza dell’universo, cioè è l’essere nel quale il creato acquista la capacità di riflessione e pertanto ricapitola tutte le cose e, secondo il principio antropico, ne costituisce in termini evolutivi la causa finale. Ma il processo evolutivo continua dall’umano all’ultra umano a Cristo (principio cristico di Teilhard de Chardin), che secondo S. Paolo (Col.: 1, 15-20) ricapitola e quindi diventa causa finale di tutte le cose. Ma Gesù è il Verbo, in cui convergono le “idee divine” del Padre creatore. Pertanto le cose ricapitolate nell’uomo ed in Gesù (Uomo-Dio) rientrano da dove sono venute: nella pericorresi Trinitaria. Ma in questo processo di evoluzione creatrice le cose sono tenute in essere da Dio che quindi attraverso il Verbo è tra le cose e ne motiva le relazioni, cioè i rapporti nei complessi funzionali che sono gli ecosistemi della Terra e dell’Universo. Dice, infatti, Chiara Lubich: “Nella creazione tutto è Trinità: Trinità le cose in sé, perché l’Essere loro è Amore, è Padre, la Legge in loro è Luce, è Figlio, Verbo; la Vita in loro è Amore, è Spirito Santo. Il Tutto partecipato dal Nulla. E sono Trinità tra loro, ché l’una è dell’altro Figlio e Padre, e tutte concorrono, amandosi, all’Uno, donde sono uscite”.

Quindi l'olismo dell'ecologia moderna nella concezione degli ecosistemi viene verificato dalla teologia Trinitaria della creazione e della redenzione. Questa concezione spiega un altro pensiero di Chiara: "la salute del cosmo è l'ecologia". Infatti le relazioni tra le cose ed in particolare tra i viventi, formano biocenosi interconnesse da reti trofiche, attraverso le quali circola l'energia, che si accumula in ogni nodo, per essere data a tutti e così mantenere l'ecosistema, in un modello di "pericoresi" ecologica, impronta di quella Trinitaria.

La natura secondo S. Paolo (Rom.: 8, 19-24) geme e soffre in attesa di essere riconciliata e resa libera di funzionare a servizio della biosfera. Questa riconciliazione-rivelazione degli uomini, divenuti figli di Dio, deve essere l'obiettivo sia dell'ecologia scientifica che dell'ambientalismo popolare del cristiano, uomo nuovo, nel terzo millennio. L'attuazione di questo obiettivo riporta l'*Homo sapiens* dentro il funzionamento unitario degli ecosistemi come snodo cosciente e non come evento catastrofico di emergenza evolutiva della biosfera. Solo così si può garantire la biodiversità e raggiungere lo sviluppo sostenibile, perché l'evoluzione della vita ritorni ad essere nel Pianeta più il risultato delle facilitazioni reciproche che delle competizioni tra i suoi componenti. Il cristiano, unito misticamente a Gesù nella redenzione del creato, non può compattare per se stesso le nicchie ecologiche, cioè le risorse e le culture degli altri viventi, ma deve condividere nella solidarietà le proprie risorse e le proprie conoscenze con tutti. Alla base della concezione ecologica ed in genere dell'ambientalismo delle religioni che si richiamano ad Abramo c'è il libro della Genesi (Gen.: 2, 15) Dio "mise l'uomo nel Giardino di Eden perché lo coltivasse e lo custodisse", cioè incrementasse la capacità di produrre degli ecosistemi, conservandone la biodiversità e la capacità di riproduzione per le generazioni future. Questo comandamento di Dio, inscritto nella coscienza dell'uomo è alla base della sensibilità ecologica dell'uomo moderno credente ed in particolare

del cristiano. Un richiamo autorevole alla coscienza ecologica dell'umanità, al fine di perseguire la solidarietà intergenerazionale, viene da Giovanni Paolo II (1979 e 1987): "Non bisogna fare impunemente uso delle diverse categorie di esseri viventi o inanimati (animali, piante, elementi naturali) come si vuole a seconda delle proprie esigenze economiche..., è necessario rispettare l'integrità ed i ritmi della natura e tenerne conto nella programmazione dello sviluppo...; per non mettere seriamente in pericolo la loro disponibilità non solo per la generazione presente, ma soprattutto per quelle future... Il mare è veramente un dono: è l'erario della città. L'eredità da trasmettere integra ai figli... Il mare è tra le realtà della natura che più parlano all'animo umano, chiamandolo a guardare oltre, a elevarsi in alto".

Questa ultima esortazione è riportata anche nel pieghevole, che riassume il programma della Biennale del mare, nella quale è inserita questa Tavola Rotonda dell'Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee.

TABELLA 1
BIODIVERSITÀ DEGLI ORGANISMI MARINI

	Superficie	Vegetali (Macrofitobentos)	Animali (Metazoi)
Oceano mondiale	99,2 %	8.000	130.000
Mediterraneo	0,8 %	1.351 (16,2 %)	7.241 (5,5 %)

TABELLA 2
SPETTRO COROLOGICO DEGLI ORGANISMI MARINI DEL MEDITERRANEO

	Animali	Vegetali
Mediterraneo (endemismi)	28,6 %	26,6 %
Mediterraneo + Atlantico	50,1 %	48,6 %
Mediterraneo + Indo-Pacifico	4,4 %	4,9 %
Mediterraneo + Atlantico + Indo-Pacifico	16,8 %	19,9 %

TABELLA 3
ORGANISMI MARINI RISCONTRATI NEGLI ULTIMI CINQUANTA ANNI IN TRE
SETTORI DEL MEDITERRANEO

	Mediterraneo Occidentale	Mare Adriatico	Mediterraneo Orientale
Animali sp. n° 4094 / 7.241	87,1 %	48,9 %	43,1 %
Vegetali sp. n° 1.100 / 1.351	89,5 %	64,4 %	57,6 %

TABELLA 4
SPETTRO COROLOGICO DELLA FLORA MARINA BENTONICA DELLE COSTE
ITALIANE.

Elementi biogeografici	N° taxa	%
A (Atlantico)	13	1,44
Ab (Atlantico boreale)	181	20,00
Abt (Atlantico boreo-temperato)	39	4,30
At (Atlantico tropicale)	21	2,32
AP (Atlanto-Pacifico)	23	2,54
Aptf (Atlanto-Pacifico temperato freddo)	10	1,10
IA (Indo-Atlantico)	100	11,05
IAt (Indo-Atlantico tropicale)	6	0,66
Iatf (Indo-Atlantico temperato freddo)	8	0,90
IP (Indo-Pacifico)	45	4,97
P (Pantropicale)	28	3,09
SC (Subcosmopolita)	96	10,60
C (Cosmopolita)	91	10,05
CA (Circumastrale)	1	0,11
CB (Circumboreale)	8	0,90
CBA (Circumboreoastrale)	3	0,33
M (Mediterraneo)	232	25,64
Totale taxa (esclusi 78 Taxa inquirenda)	905	

TABELLA 5
ORIGINE DELLA FLORA MARINA BENTONICA DELLE COSTE ITALIANE.

	N° taxa	%
Elementi tetidei e mesogei	202	22,3
Elementi plio - pleistocenici	254	28,0
Elementi cosmopoliti	217	23,9
Elementi endemici mediterranei	232	25,6

BIBLIOGRAFIA

- AMICO V., 1995, - *Marine brown algae of family Cystoseiraceae: chemistry and chemiotaxonomy*, *Phytochemistry*, 39 (6): 1257-1279.
- AMICO V., GIACCONE G., PIATTELLI M., RUBERTO G., 1988 - *Inheritance of chemical constituents in algae: tetraprenyltoluquinols of Cystoseira elegans x C. algeriensis*. *Phytochemistry*, 27: 1069-1071.
- ATHANASIADIS A., 1987 - *A survey of the seaweeds of the Aegean Sea with taxonomic studies on species of the tribe Antithamnieae (Rhodophyta)*. University of Goteborg, Faculty of Natural Sciences.
- ARAÚJO V., 1997 - *Il centuplo ed il paradiso terrestre*. Nuova Umanità. Roma. 114 (6): 713-725.
- BEGON M., HARPER J.L., TOWNSEND C.R., 1989 - *Ecologia. Individui, popolazioni, comunità*. Zanichelli Ed. Bologna.
- BELLAN-SANTINI D., LACAZE J.C., POIZAT C., 1994 - *Les Biocénoses marines et littorales de Méditerranée. Synthèse, menaces et perspectives*. Museum National d'Histoire Naturelle. Paris.
- BRUNI L., 1997 - *Relazionalità e scienza economica*. Nuova Umanità. Roma. 111-112 (3-4): 437-454.
- CARTER B., 1974 - *Large number coincidences and the antropic principle, in confrontation of cosmological theories with observational data*. Symposium of the International Astronomical Union; n. 63, a cura di M.S. Longair, Dordrecht.
- CODA P., 1998 - *Dio e la creazione - I*. Nuova Umanità Roma. 115 (1): 67-88.
- COLINVAUX P., 1993 - *Ecology*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- CONNEL J.H., 1978 - *Diversity in tropical rain forests and coral reefs*. *Science*, 199: 1302-1310.
- CUENOT C., 1962 - *L'evoluzione di Teilhard de Chardin*. Feltrinelli Ed. Milano.
- DI GERONIMO I., 1995 - *Benthic assemblages of the plio-quaternary soft and hard substrata in the Straits of Messina area*. In: *The Straits of Messina Ecosystem*; Messina: 105-118.

- DOUMENGE F., 1993 - *La Méditerranée peut-elle mourir? Crises climatique et pollution anthropique dans une mer fermée*. In *La Mer Assassinée. Peuples Méditerranéens*: 62-63: 149-152.
- DREW E.A., 1972 - *Growth of a kelp forest at 60 metres in the Straits of Messina*. *Mem. Biol. Mar. Oceanogr.*, 2 (6): 135-157.
- FONTI FRANCESCANE, 1980. Ed. Messaggero. Padova.
- FREDJ G., BELLAN-SANTINI D., MEINARDI M., 1992 - *Etat des connaissances sur la faune marine méditerranéenne*. *Bull. Ist. Océanogr. Monaco*: n. spécial 9: 133-145.
- FRADJ G., GIACCONE G., 1995 - *Particularités des peuplements benthiques du détroit de Messine. Different features of Benthic assemblages in the Messina Straits*. In Guglielmo L., Manganaro A. & De Domenico E. (edits.); *The Straits of Messina Ecosystem*: 119-128.
- GIACCONE G., 1996 - *Una politica per l'ambiente*. *Prospettive*. Catania. 12 (8): 9-12.
- GIACCONE G., 1999 - *Radici e motivazioni dell'ambientalismo cristiano*. *Grifone*. Noto. VIII, 3 (39): 2-3.
- GIACCONE G., CORMACI M., FURNARI G., 1999 - *Check-list delle alghe pluricellulari marine delle coste italiane*. Rapporto per il Ministero dell'Ambiente, Servizio Conservazione della Natura. Relazione e n. 7 allegati.
- GIACCONE G., DI MARTINO V., 1997 - *Syntaxonomic relationship of the mediterranean phytobenthos assemblages: paleoclimatic bases and evolutive tendencies*. *Lagascalia* 19 (1-2): 129-144.
- GIACCONE G., DI MARTINO V., 1997 - *Vegetazione marina relitta in Mediterraneo*. *Biol. Mar. Medit.*; 4 (1): 388-392.
- GIOVANNI PAOLO II, 1979 - *Enciclica Redemptor Hominis*. Città del Vaticano, 4 marzo 1979.
- GIOVANNI PAOLO II, 1987 - *Enciclica Sollicitudo rei socialis*. Città del Vaticano, 30 dicembre 1987.
- HUTCHINSON G.E., 1959 - *Homage to Santa Rosalia or why there are so many kinds of animals?* *Am. Nat.*, 93: 145-159.
- LEOPARDI G., 1820 (ed. 1898-1900) - *Zibaldone* - In: *Pensieri di varia filosofia e di bella letteratura*: 216-217. Ed. Le Monnier, Firenze.

- MAC ARTHUR R.H., 1972 - *Geographical Ecology*. Harper and Row, New York.
- PAINE R.T., 1966 - *Food web complexity and species diversity*. *Am. Nat.*, 100: 65-75.
- PAINE R.T., LEWIN S.A., 1981 - *Intertidal landscapes: Disturbance and the dynamics of pattern*. *Ecological Monographs*, 51: 145-178.
- PETRARCA F., 1336 - *Lettera scritta a Dionigi da Borgo S. Sepolcro: Ascesa al Monte Ventoso*. *Familiars*, IV, 1. Ed. Principato. 1987: 48-953.
- PIATTELLI M., 1990 - *Chemistry and taxonomy of sicilian Cystoseira species*. *New. J. Chem.*, 14: 777-782.
- POR F.D., DIMENTMAN C., 1985 - *Continuity of Messinian biota in the Mediterranean Basin*. In Stanley D.J., Wezel F.C., *Geological evolution of the Mediterranean Basin*. Springer Verlag, New York: 545-557.
- OREL G., FONDA UMANI S., ALEFFI F., 1993 - *Iposie e anossie di fondali marini. L'Alto Adriatico e il Golfo di Trieste*. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Trieste.
- RIBERA SIGUAN M.A., BOUDOURESQUE CH. F., 1995 - *Introduced marine plants, with special reference to macroalgae: mechanism and impact*. *Progress in Phycological Research*, 11: 187-268.
- RONDINARA S., 1991 - *Il principio antropico e l'unità dell'universo*. *Nuova Umanità*, 77: 39-53.
- STAM W.T., BOT P.V.M., BOELE-BOS S.A., VAN ROOIJ M., VAN DEN HOEK C., 1988 - *Single-copy DNA - DNA hybridization among five species of Laminaria (Phaeophyceae): phylogenetic and biogeographic implications*. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 42: 251-267.
- STANLEY D.J., 1978 - *Jonian sea Sapropel distribution and late quaternary palaeoceanography in the eastern Mediterranean*. *Nature*, 274: 149-152.
- TEILHARD DE CHARDIN P., 1955 - *Le phénomène humain*. Pubblicazione postuma nel 1965. Éditions du Seuil. Paris.

Prof. Giovanni Fulvio Russo

Dipartimento di Biologia Animale dell'Università di Catania

Cambiamenti faunistici nel Mar Mediterraneo: un approccio zooarcheologico

Il liberto dell'imperatore Tiberio e lo "scaro"

Per diverse specie, anche banali che sembrano da sempre patrimonio della nostra cultura marinaresca e, a volte, culinaria (come ad esempio il mitilo, di cui parlerò in seguito), l'uomo ha avuto in passato un ruolo molto determinante nella loro diffusione in area Mediterranea. Un esempio classico si può ritrovare nella *Naturalis Historia* di Plinio il Vecchio (I sec. d.C.) e riguarda lo Scaro (*Sparisoma cretense*), il pesce pappagallo del Mediterraneo, che è attualmente molto comune lungo le coste siciliane e presente lungo le coste del Tirreno meridionale e centrale. Plinio così descrive l'introduzione di questa specie ittica lungo le coste italiane: "... esso è molto comune soprattutto nel mare Carpazio. Non oltrepassa mai di sua spontanea volontà il promontorio di Lecto nella Troade. Di là, sotto il principato di Tiberio Claudio, Optato, uno dei suoi liberti, prefetto della flotta, li trasportò e li disseminò spargendoli fra la spiaggia di Ostia e il litorale della Campania; per quasi cinque anni si prese cura che gli scari catturati fossero rimessi in mare. Da allora se ne trovano in gran numero nella costa dell'Italia, dove prima non se ne pren-

devano, e la gola si procura nuovi piaceri seminando pesci, e ha dato un nuovo abitante al mare." (N.H., IX, 62). Questo è solo un esempio, ben documentato, di quanto possa essere stata attiva la diffusione di specie marine ad opera dell'uomo già in epoca romana.

Le NIS malacologiche del Mediterraneo

Risultati molto interessanti stanno emergendo da un lavoro che, insieme ad altri malacologi, conduco per conto della CIESM (Commissione Internazionale per la Esplorazione Scientifica del Mediterraneo) al fine di preparare un atlante sulle specie di molluschi "non indigene" (in ambito internazionale indicate con l'acronimo NIS, *Non Indigenous Species*) del Mediterraneo. I dati che citerò, sia pure ancora molto preliminari (il lavoro dovrà concludersi fra un anno), possono dare una prima idea dei numeri in gioco riguardo alla presenza di specie non autoctone di molluschi in Mediterraneo.

Dai dati bibliografici, ad oggi si è arrivati a censirne ben 131 (di cui 16 specie sono dubbie), stabilendo di iniziare a prendere in considerazione pubblicazioni dell'inizio di questo secolo, quando per la prima volta iniziarono a comparire per il Mediterraneo Orientale segnalazioni di specie provenienti dal Mar Rosso, probabilmente a causa dell'avvenuta apertura del Canale di Suez. Tale evento ha inciso notevolmente sull'arricchimento del Mediterraneo in specie alloctone, anche se in tempi più recenti un ruolo notevole hanno avuto anche il trasporto di larve nelle acque di zavorra delle navi (si calcolano che in questo modo circolino per il mondo ogni giorno circa 4.000 specie) e l'introduzione di specie esotiche allevabili, effettuata per migliorare le rese produttive degli impianti di acquacoltura (il 72% della produzione dell'acquacoltura italiana è data dalla molluschicoltura: Relini, 1992).

Delle 131 NIS, 9 sono di origine atlantica e 122 di origine indo-pacifica, pari al 93%. Tra queste specie indopacifiche, 2 sono state introdotte notoriamente a fini commerciali: l'ostrica giapponese, *Crassostrea gigas*, e la vongola filippina, *Ruditapes philippinarum*, che ha praticamente soppiantato la nostra vongola verace (*Ruditapes decussatus*) in molte aree lagunari, soprattutto dell'Alto Adriatico. Sicuramente introdotte in maniera accidentale attraverso le acque di zavorra delle navi sono almeno 5 specie, tra cui il famosissimo bivalve *Scapharca inaequivalvis*, la cui espansione in Adriatico negli anni settanta provocò la crisi della pesca al "lupino" (*Chamelea gallina*), che da essa fu soppiantato quasi totalmente, ed il *Brachidontes pharaonis* (bivalve segnalato per la prima volta in Sicilia dal Prof. Di Geronimo, qui presente). Probabilmente sono passate dal Mar Rosso attraverso il canale di Suez un centinaio di specie mentre per una decina è dubbia la modalità con cui si sono venute a trovare in Mediterraneo. Una decina di NIS sono attualmente presenti lungo le coste italiane.

Le monete di Cuma antica e la diffusione della "cozza" in Italia

Il condurre ricerche bibliografiche per le NIS del Mediterraneo su lavori antichi e poco conosciuti ha consentito il recupero di informazioni che talvolta hanno del sorprendente, come è il caso del mitilo, *Mytilus galloprovincialis*, specie oggi considerata banalissima. La famosissima "cozza" è comunissima anche lungo le coste del golfo di Napoli e tale ampia diffusione lungo il litorale napoletano sembrerebbe avere origini remote poiché già raffigurato nelle più antiche monete di Cuma, le dracme calcidiesi del VI-V secolo a.C.. È opinione degli archeologi che il bivalve dovesse essere il simbolo della più antica delle colonie della Magna Grecia, dato che è stato sempre raffigurato su almeno una delle facce, in tutti i tipi di moneta.

Il mitilo, dunque, doveva essere un elemento faunistico fortemente caratterizzante il territorio della città di Cuma, che sorgeva ai margini di una vasta area lagunare, oggi in parte prosciugata, in collegamento diretto con l'odierno lago Fusaro. Uno dei due scali di Cuma era certamente situato nella zona meridionale della città e doveva sfruttare un bacino lagunare, antica appendice del lago Fusaro. Uno dei fatti più evidenti che risultarono dallo studio della malacofauna del lago Fusaro quando effettuai il mio lavoro di tesi e negli anni successivi, fu che, nonostante il lago fosse noto per la sua produzione di cozze, era praticamente impossibile trovarle in banchi naturali nelle sue acque, mentre ovunque era abbondantissimo il *Mytilaster minimus*, altra specie di mitilide molto più piccola, che non supera il paio di centimetri di lunghezza delle valve. Già allora mi sorse il dubbio: se Cuma sorgeva su di un prolungamento del lago Fusaro, il mitilide raffigurato sulle sue monete poteva ben essere un *Mytilaster minimus* e non un *Mytilus galloprovincialis* (quindi, una specie in qualche modo “rappresentativa” del territorio, anche se non commestibile). Tali pensieri “giovanili” sono riaffiorati quasi 20 anni dopo, quando, a seguito di una collaborazione con la Soprintendenza Archeologica di Pompei, ho studiato le malacofaune di recenti scavi archeologici. Sorprendentemente ho rilevato che, nonostante i numerosissimi reperti di molluschi marini in massima parte eduli, negli scavi archeologici di Pompei non sono mai state trovate cozze. Peraltro, ciò si rileva anche dai lavori di Tiberi (1879) e di Monterosato (1879), i quali avevano analizzato le malacofaune degli scavi effettuati fino ad allora. A proposito della cozza, Tiberi annotava: “*Questa specie molto sapida a mangiare non è del golfo di Napoli ma proviene dal mare di Taranto... Non se n'è trovato verun esemplare a Pompei: soltanto ne' lati di una piccola ed elegante fontana se ne sono trovate della grandi valve incastrate...*”.

I pompeiani facevano collezione di specie esotiche di molluschi (sono state rinvenute conchiglie dell'Indo-Pacifico) e a scopi alimentari sembra utilizzassero specie oggi poco apprezzate come ad esempio le madie o *quaquiglie* (in napoletano), *Maetra* spp., i "piè d'asino" o *cocchie*, *Glycymeris* spp., che a Napoli vengono anche dette ancor'oggi *cozze e' schiave*, forse in memoria del fatto che nei tempi antichi venissero date in pasto agli schiavi. Autori latini, come Plinio e Columella, citano nelle loro opere i *metuli*, che potrebbero essere tradotti col termine "mitili". Tuttavia, alcuni autori sostengono che con tale termine latino venissero invece denominati i datteri di mare, *Lithophaga lithophaga*, le cui conchiglie sono peraltro molto rappresentate nei mosaici pompeiani, mentre col termine *dactyli* (datteri) fossero denominate le foladi, *Pholas dactylus*. Il mitilo, secondo D'Arcy Thompson (1947), veniva chiamato coi termini greci *melanis* (ad indicare il colore "nero" della conchiglia) o *mus*, oppure col termine derivato latino di *musculus*.

Riguardo alla distribuzione del mitilo, molto utili sono anche stati gli scambi di opinione avuti col Prof. Silvano Riggio dell'Università di Palermo, che ha studiato l'ecologia comparata tra *Mytilus* spp. (specie di ambienti marini da eutrofici a ipertrofici) e *Mytilaster* spp. (specie di ambienti lagunari da eutrofici a oligotrofici) (Riggio *et al.*, 1992), il quale, da profondo conoscitore della fauna marina costiera siciliana, sostiene che il mitilo in Sicilia di fatto non forma banchi naturali e, se è sporadicamente presente, probabilmente ciò è dovuto a pratiche di mitilicoltura. Tale osservazione sembra essere pienamente confermata anche da ulteriori studi condotti per approfondire le conoscenze sulla storia della presenza del mitilo lungo le coste italiane. In bibliografia la mitilicoltura si fa nascere in Francia, nel 1236, nella palude dell'Aiguillon (presso La Rochelle), ad opera di un naufrago irlandese, certo Walton che, dopo esserse-

ne nutrito nell'emergenza, ebbe l'idea di allevare questi molluschi su palificazioni. In Italia, venne fortemente incentivata a Taranto, intorno alla metà del '700, da Ferdinando IV di Borbone, il quale fece tentare un primo impianto anche nel lago Fusaro (presso Napoli), ma con scarso successo. Partendo da una relazione tecnica del 1898 di Bullo, Carazzi, Lo Bianco e Vinciguerra (citata in Riggio, 1993), a seguito di un tentativo di mitilicoltura nello stagnone di Marsala, si evince che la diffusione del mitilo in Italia, a seguito di pratiche di molluschicoltura, ha avuto una storia alquanto particolare. I primi mitili arrivano a La Spezia nel 1848, attaccati come *fouling* alla carena di una nave proveniente da Marsiglia; qui la carena viene ripulita ed i mitili caduti sul fondo riescono ad insediarsi tanto stabilmente che, nel 1887, Carazzi decide di impiantare a La Spezia, insieme al mitilicoltore tarantino Emanuele Albano, una seconda mitilicoltura italiana (dopo quella tarantina). Nel 1925, lo spezino Pietro Canova trasferisce la mitilicoltura nella baia di Muggia (Trieste) e da lì il mitilo si diffonde in tutto l'alto Adriatico. Per quanto riguarda l'Italia meridionale, ed il golfo di Napoli in particolare, da Tiberi (1879) e Lo Bianco (1898) viene riportato rispettivamente il fallito tentativo d'impianto del 1764 nel lago Fusaro (probabilmente a causa della contemporanea coltivazione delle ostriche nello stesso specchio d'acqua) e l'arrivo a Napoli, solo nel 1888, di mitili provenienti sia da La Spezia che da Taranto, mantenuti nelle acque di Castel dell'Ovo per l'ingrasso. La mitilicoltura venne ritentata nel lago Fusaro subito dopo la prima guerra mondiale (1918) e già nel 1920 soppiantò quasi del tutto la secolare pratica ostreicola. Quindi, è sorprendente rilevare che appena un secolo fa i mitili non erano presenti nel golfo di Napoli, il che potrebbe essere una ulteriore conferma che le effigi delle antiche monete di Cuma fossero *Mytilaster* s.l. e non *Mytilus* s.l.

Quanto alla presenza dei mitili a Taranto, nella anzidetta relazione tecnica il Lo Bianco scrive “*L’origine della coltivazione della cozze nel Mare Piccolo di Taranto non è conosciuta, ma è da ritenere che anche colà debbano essere stati portati dall’uomo, perché la qualità della spiaggia del Mare Piccolo, tutta mancante di roccia, non è da permettere la spontanea fissazione e la riproduzione di questa specie...*”. È possibile che Ferdinando IV di Borbone, molto sensibile alle innovazioni tecniche, li abbia fatti importare dalla Francia, anche se Plinio già faccia cenno ai *metuli* (mitili o datterti?) tarantini ed alle *ostreae* (ostriche) brindisine.

L’ostreicoltura ed i cocci dell’antica Pompei

La coltura dell’ostrica (*Ostrea edulis*) è invece molto più antica di quella del mitilo, poiché già effettuata in epoca romana. Negli scavi di Pompei sono stati rinvenuti gusci di ostriche su coccio, chiara testimonianza delle tecniche di allevamento messe a punto nel II secolo a. C. da Sergio Orata nel lago di Lucrino (laguna flegrea limitrofa a quella del Fusaro), grazie all’invenzione dei “collettori” per l’insediamento delle larve (i cocci di terracotta, appunto). Di questi *ostrearia* restano delle raffigurazioni incise su alcune fiaschette di vetro utilizzate come ‘ricordo’ del litorale di Baia e Pozzuoli (ove è sito il lago Lucrino). Il confronto di tali raffigurazioni di circa duemila anni fa con quelle pubblicate dal Coste (1861), per il lago Fusaro, rivela una somiglianza impressionante a testimonianza del fatto che la struttura degli impianti di allevamento è rimasta sostanzialmente invariata nel corso dei millenni. In seguito all’eruzione vulcanica del 1537, che diede luogo all’attuale Monte Nuovo, il lago Lucrino fu quasi del tutto sostituito dalla struttura di questo “nuovo” vulcano, per cui l’ostreicoltura fu impiantata nel vicino lago Fusaro. L’ostreicoltura si diffuse poi in Francia (soprattutto lungo le coste atlantiche), dopo che il

Coste, su incarico del Governo francese, visitò nel 1853 i vivai borbonici del Fusaro e ne trasferì il modello colturale. Modello colturale che, come detto, non era sostanzialmente diverso da quello inventato nel II secolo a.C. da Orata, del quale Valerio Massimo dice essere capace di trovare le ostriche finanche... “sulle tegole”.

Quindi, l’ostreicoltura è molto antica ed è originaria proprio delle lagune del napoletano, da dove nel secolo scorso si diffuse a partire dalla Francia (un’ottima documentazione degli impianti di ostreicoltura nel Fusaro è fornita dalle numerose *gouaches* ottocentesche della laguna). La mitilicoltura, invece, è molto più recente e probabilmente fu importata nel settecento dalla Francia in Italia meridionale.

I Fenici ed il “vermeto”

Come ultimo argomento vorrei accennare ad una ricerca, sviluppata in questi ultimi anni dal Dott. Renato Chemello dell’Università di Palermo, sulle biocostruzioni intermareali a *Dendropoma petraeum*, un mollusco gasteropode sessile, appartenente alla famiglia dei Vermetidi. In alcuni siti, abbastanza frequenti lungo le coste siciliane, questi molluschi sono talmente ammassati l’uno all’altro con i loro gusci calcarei da formare delle strutture caratteristiche, “a marciapiede”, che possono sporgere anche di diversi metri dalle rocce su cui si insediano (Chemello *et al.*, 1990). Da un primo censimento di queste formazioni a Vermeti è risultato che esse hanno in Mediterraneo un limite latitudinale che curiosamente coincide con l’espansione delle rotte commerciali dei Fenici. Ciò potrebbe essere solo una semplice coincidenza, poiché *Dendropoma petraeum* è l’unico rappresentante in Mediterraneo di un genere ad affinità calda presente nell’Indo-Pacifico e, quindi, non meraviglia la sua presenza entro l’isoterma minima invernale dei 14 °C e la

sua assenza nel più freddo Mediterraneo settentrionale (ove, peraltro, non arrivò neanche l'espansione fenicio-punica).

Tuttavia, una serie di elementi costringono ad una riflessione più attenta. Si tratta, infatti di specie a sviluppo diretto, quindi a bassa capacità di dispersione, e tuttavia a distribuzione molto ampia sia pur molto discontinua (praticamente 'puntiforme', anche se i censimenti dovrebbero essere ulteriormente intensificati) in tutto il Mediterraneo centromeridionale, dalle coste mediorientali a quelle spagnole. Nei diversi punti ove si sviluppano i marciapiedi sono presenti anche resti fossili degli stessi, su antiche linee di riva o, soprattutto, come tempestiti.

La datazione isotopica delle diverse formazioni, sia fossili che viventi, effettuata dal Dott. Fabrizio Antonioli dell'ENEA-Casaccia, ha fornito dati molto interessanti. Le piattaforme attualmente viventi non superano i 400-450 anni di età. Le piattaforme fossili più antiche sono presenti nel Mediterraneo orientale, lungo le coste libanesi, dove sorse la civiltà fenicia, e sono state datate fra i 6000-6500 anni BP, quindi risalgono al 4000-4500 a.C.; nel Mediterraneo occidentale, invece, le formazioni più antiche risalgono al 500-800 a.C. (2500-2800 anni BP), epoca di piena espansione punico-fenicia in questo bacino. Vi è, inoltre, una notevole coincidenza tra la distribuzione dei 'punti' ove sono presenti le formazioni a Vermeti e la distribuzione dei principali scali commerciali punico-fenici.

Sulla base di tutte queste 'coincidenze' l'ipotesi che i Vermeti possano essere stati 'distribuiti' nel Mediterraneo dai Fenici potrebbe considerarsi non tanto priva di fondamento. Circa la modalità con cui poteva avvenire tale 'distribuzione', si potrebbe ipotizzare che i 'blocchi' calcarei formati dai vermeti, abbastanza facilmente estraibili, venissero utilizzati come zavorra nelle stive delle navi mercantili e fossero gettati in mare al momento dell'imbarco delle merci negli scali commerciali.

Si potrebbe azzardare anche una ipotesi sul perché i resti fossili più antichi di *Dendropoma petraeum*, specie molto simile ad una cogenerica del Mar Rosso, risalgano ad “appena” il 4000-4500 a.C., sulla base di una ulteriore “coincidenza” storica. È accertato che fin dall’inizio del III millennio a.C., ai tempi della II dinastia egiziana, i mercanti della regione del delta del Nilo andavano a rifornirsi di legname, metalli e merci pregiate a Biblo, la più antica delle città fenicie (già importante centro commerciale del V millennio a.C.), probabilmente anche via mare. Inoltre, è accertato che gli antichi egiziani più volte nella loro storia millenaria avevano messo in comunicazione il fiume Nilo col Mar Rosso, con grandiose opere di scavo (ad esempio è ampiamente documentato il canale che fece costruire Ramsese II intorno al 1300 a.C.). Una specie del genere *Dendropoma* potrebbe essere penetrata in Mediterraneo dal Mar Rosso, come zavorra delle imbarcazioni commerciali che utilizzavano queste vie d’acqua.

L’approccio zooarcheologico: fra storia e scienza

Concludo con questa ipotesi, suggestiva e ancora tutta da dimostrare, proprio per rimarcare il fatto che questi fenomeni di cambiamento della composizione in specie dei popolamenti del Mediterraneo potrebbero essere meglio analizzati ed interpretati se considerati in un arco temporale molto più vasto di quanto non si faccia oggi, sia per mancanza di informazioni relative al passato, sia per la ancora scarsa attenzione devoluta alla ricerca di tali informazioni nell’ambito della storia dell’uomo. Quindi, senza dover attingere ai dati paleontologici, che proietterebbero il tutto nell’ambito di processi e scale temporali di dimensioni più ampie e articolate (come illustrato in precedenza dal Prof. Di Geronimo), l’affrontare tali problemi in una seria prospettiva zooarcheologica forse potrebbe fornire chiavi

interpretative molto interessanti dei fenomeni ‘a medio termine’ di introduzione e di eventuale “acclimatazione” di nuove specie nei nostri mari.

BIBLIOGRAFIA

- CHEMELLO R., PANDOLFO A., RIGGIO S., 1990. *Le biocostruzioni a Molluschi Vermetidi nelle Sicilia Nord-Occidentale*. “Atti 53° Congresso UZI”, Palermo: 88.
- COSTE M., 1861. *Voyage d'exploration sur le littoral de la France e de l'Italie*. Imprimerie Imperiale, Paris: 89-106.
- D'ARCY THOMPSON, 1947. *A Glossary of Greek Fishes*. Oxford University Press, London: 302 pp.
- MONTEROSATO, 1879. *Nota sull'articolo delle conchiglie pompeiane del Dott. Tiberi*. “Bull. Mal.”, 5: 201-203.
- RELINI G., 1992. *Depauperamento e protezione della fauna marina italiana*. “Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova”, 56-57: 9-52.
- RIGGIO et al., 1992. Atti 25° EMBS (riferimento non disponibile).
- RIGGIO S., 1993. *Cibo ed ecologia: un discorso sulle radici ambientali della cucina marinara mediterranea*. In: “L'alimentazione che viene dal mare”, Accademia Internazionale di Scienze e Tecniche Subacquee di Ustica, Quaderno n. 10: 88-136.
- TIBERI N., 1879. *Le conchiglie pompeiane*. “Bull. Mal.”, 5: 139-151.

Prof. Francesco Pietra

Professore Ordinario nell'Università di Trento

Socio dell'Académie Européenne des Sciences, des Arts et des Lettres

Centro Linceo Interdisciplinare "B. Segre" dell'Accademia Nazionale dei Lincei

Mediterraneo aggredito: quel che andiamo perdendo in diversità molecolare

Si parla molto, oggi, di biodiversità, perché si è finalmente capito che sconvolgere le relative proporzioni naturali tra gli esseri viventi va a danno dell'ecosistema Terra e quindi dei nostri interessi. Tuttavia nei mass media l'attenzione è diretta soprattutto verso gli ultimi grandi mammiferi e solo raramente vi troveremo una parola sulle popolazioni marginali di organismi cosiddetti inferiori, come certe alghe e spugne delle coste mediterranee. Fa eccezione, di tanto in tanto, l'alga killer, sfruttata con questo nome assurdo dal giornalista in cerca di notizie sensazionali. Per non parlare delle specie microbiche. Neppure Linneo aveva riservato loro molta attenzione.

Vorrei invece convincervi che, per non rallentare il ritmo evolutivo naturale dobbiamo prestare particolare attenzione alle popolazioni marginali degli organismi inferiori perché questi hanno una capacità riproduttiva e una variabilità genetica enormi. Ciò vale anche per l'ecosistema oceanico, dove la biodiversità è minacciata, come sui continenti e le isole, da due fenomeni: l'estinzione di massa causata dall'uomo e l'introduzione

di specie esotiche. L'estinzione di massa fa scomparire più specie di quante se ne possano formare, mentre l'introduzione di specie esotiche impedisce l'isolamento che è alla base della speciazione.

Il mio tema è anche mostrare che diversità biologica implica diversità dei prodotti naturali, intendendo con questi i composti che sono specifici di certi *taxa* e non presenti in tutti gli organismi. Anche questi sono un'espressione della diversità genetica e rappresentano un patrimonio da proteggere. Pensate se i funghi del genere *Penicillium* fossero scomparsi prima di ricavarne le penicilline, che hanno rivoluzionato la pratica medica negli anni quaranta. Oppure se la medusa *Aequorea victoria* fosse scomparsa prima di estrarne la proteina a fluorescenza verde, che ha rivoluzionato la pratica della biologia molecolare. A parte questi e altri nostri interessi, la diminuzione di diversità molecolare è causa di disequilibrio nell'ecosistema Terra perché i prodotti naturali costituiscono dei segnali che regolano la vita di innumerevoli organismi, specialmente di quelli inferiori, che, non avendo un vero sistema immunitario inducibile, ricorrono a difese chimiche e, mancando della parola, comunicano per mezzo di molecole.

Quattro esempi dei cinque che vi propongo riguardano specie mediterranee, illustrando le ricchezze di questo Santuario e quindi la necessità di conservare queste specie. Anche il quinto esempio è basato su una specie presente in Mediterraneo, ma di recente introduzione e che ne minaccia la biodiversità.

Nel primo esempio, in Fig. 1, confrontiamo una catena lineare di 15 giunti con una ramificata in cui uno dei termini si diparte dal giunto 11. Prodotti naturali costruiti come questa catena lineare, con atomi di carbonio al posto dei giunti, si trovano in alghe rosse del genere *Laurencia*, molto diffuse nella maggior parte dei mari, compreso il Mediterraneo, e in molluschi che si cibano di queste alghe. La catena ramificata è invece

esclusiva di una popolazione di *Laurencia microcladia* che ho scoperto nel 1988 in un tratto di costa lungo non più di 300 metri a sud di Livorno in prossimità del torrente Rogiolo. Uno dei composti ramificati è stato chiamato, in omaggio alla sua natura chimica e al luogo di raccolta dell'alga, rogiolényne A: se immaginate di togliere le giunzioni eterogenee rappresentate dai due "O" e i terminali "Br" e "Cl" con i tratti a loro legati, e di rendere semplici i tratti doppi e tripli, come pure quelli cuneiformi e tratteggiati, avete la catena ramificata che sta accanto.

La zona del Rogiolo è una zona marginale e la rogiolényne A è una peculiarità di quest'alga, equivalente ad un tratto insolito, in altre parole è espressione di variabilità genetica insolita. Ecco che vuol dire specie marginali ed ecco un loro contributo all'evoluzione. Distruggere le zone marginali è quindi un frenare l'evoluzione.

Nel secondo esempio, in Fig. 2, si mostra in alto che la mano sinistra non è sovrapponibile alla mano destra. Gli oggetti tetraedrici che stanno sotto alle due mani hanno le stesse proprietà, immaginando che le linee continue siano nel piano del disegno, quelle tratteggiate dietro il piano e i cunei sopra il piano. La maggior parte delle molecole della natura hanno la proprietà di questi oggetti – che infatti si dicono chirali dal greco *keir* = mano – e sono di regola prodotte solo con chiralità sinistra o destra. Riflettiamo ora che "il segnale" mano sinistra può venire riconosciuto solo da altri oggetti chirali, ad es. la mano viene riconosciuta da un guanto: la mano destra può entrare con naturalezza nel guanto destro, ma non in quello sinistro. Certi segnali sono più complessi. Così la natura – in particolare coi ferormoni di insetti – usa talvolta una mistura diversa da 50:50 di segnali del tipo mano sinistra e mano destra, il che richiede un sistema ricevente di guanti sinistri e destri nella stessa proporzione, costituendo una chiave com-

plessa diretta a minimizzare gli errori. Il primo caso di questo tipo per organismi marini venne da noi scoperto nel 1984 con *Aplysina cavernicola*, una spugna di colore giallo a forma e dimensione di dita della mano che si incontra frequentemente nelle grotte a media profondità, oppure al limite dell'immersione ad aria compressa in zone scoperte. Il sistema è mostrato in Fig. 2 col trasporto di sperma tra le due spugne e l'informazione comunicata tramite due molecole oggetto, (S)- e (R)-monobromocarvernicolin, che sono tra loro relazionate come immagini speculari – come i due guanti – e vengono prodotte in rapporto 48,5/51,5, dovunque la spugna venga raccolta. Avendo come sfondo il mare, possiamo assimilare la forma (a una piroga tahitiana, con la prua rivolta verso di noi e col bilanciere (HN-CO-CH₂) sulla sinistra. Situazione speculare per la piroga (R) di destra. Anche questa è una peculiarità molecolare, un tratto insolito nell'evoluzione ed anche un potenziale economico poiché questi composti, in studi in collaborazione con l'IFREMER francese, si stanno rivelando utili in maricoltura quali agenti contro *Vibrio scala*. Questo è un batterio patogeno che arreca danni economici enormi penetrando nelle larve di *Pecten maximus* durante le manipolazioni richieste per la coltura di questo pregiato mollusco.

Il terzo esempio, in Fig. 3, riguarda messaggi chimici connessi con la riproduzione dell'alga rossa *L. microcladia* del Rogiolo e presumibilmente trasportati con le spore, come nell'immagine in alto. Le proprietà chirali della mano ci permettono di illustrare il fenomeno, ma aggiungendo notevole complessità al trattamento precedente. Concentriamo la nostra attenzione in fondo alla figura sulle due mani scure e sulle parti delle due molecole a queste sovrastanti. Si vede chiaramente che le due mani scure sono di chiralità opposta, ma non appartengono allo stesso individuo ed una è infilata in un guanto. Questo trova corrispondenza nei due tetraedri distorti in modo

ineguale e posti tra la mano e la parte corrispondente della molecola. La mano chiara (legata alle mani scure tramite un tirante che permette libera rotazione dei due guanti attorno al proprio asse) è invece in entrambi i casi destra ed identica, a rappresentazione delle parti identiche chirali di sinistra delle due molecole. Non è quindi indispensabile “leggere” la chimica implicata per rendersi conto che la molecola di destra (rogioldiol C) è costituita di due anelli esagonali e chirali a forma di sedia uniti tra loro da una catena (equivalente al tirante tra le coppie di mani) che permette ai due anelli libera rotazione come per i due guanti. Il rogioldiol B differisce per l'appiattimento dell'esagono di destra, che ha chiralità opposta a quello corrispondente del rogioldiol C, come per le due mani scure. L'alga deve possedere enzimi di chiralità opposta nel costruire i due anelli di destra, mentre per la parte di sinistra deve usare lo stesso enzima, in un processo ben più complesso di quello della sintesi delle molecole coinvolte con la spugna della figura precedente. Questo fenomeno trova analogie coi batteri ma è nuovo per organismi eucariotici, a testimonianza del grande contributo all'evoluzione delle specie marginali come *L. microcladia* del Rogiolo.

Nel quarto esempio, in Fig. 4, si considera schematicamente il fenomeno della mitosi negli animali. Andando da sinistra verso destra si vede iniziare la separazione dei centrosomi e formare il fuso mitotico al quale si attaccano i cromosomi, finché si separano due cellule identiche. Il fuso mitotico, costituito di una proteina chiamata tubulina, è quindi fondamentale per il processo della mitosi. Se si riesce ad interferire con questo fenomeno selettivamente per cellule cancerose – che si dividono senza tregua – si può prolungare la vita dell'infermo o addirittura fermare il fenomeno patologico. Quindi il fuso mitotico è uno dei bersagli della farmacologia nella cura del cancro. Due sono le strategie: depolimerizzare la tubulina, oppure favorirne

la polimerizzazione, ma in modo non funzionale e irreversibile, e in entrambi i casi selettivamente per le cellule cancerose. La strategia di depolimerizzazione viene praticata da tempo, ad es. con gli alcaloidi della *Vinca rosea*, la pervinca rossa del Madagascar che viene coltivata a questo scopo, mentre la strategia di polimerizzazione non funzionale è di recente introduzione, col Taxol® derivato dall'albero *Taxus brevifolia* (il tasso del Pacifico). Questa seconda strategia ha attratto molto interesse perché aggira il problema dell'espulsione dell'agente citotossico dalle cellule cancerose, fenomeno che rende vana la cura con la maggior parte dei farmaci antitumorali.

Questa possibilità ci è offerta anche da un raro corallo stolonifero del Mediterraneo, *Sarcodictyon roseum*. Questo stolonifero dai polipi bianchi non ha un proprio scheletro, ma sfrutta molti substrati su cui svilupparsi. L'ho incontrato sullo scheletro della gorgonia *Eunicella stricta*, osservandolo a distanza di mesi progredire nell'occupazione iniziando dagli apici della gorgonia, come in Fig. 4, il che mi ha fatto sospettare la presenza di armi chimiche potenti nello stolonifero. Quindi, da certo-sino della ricerca subacquea di organismi rari, sono andato alla caccia di questo corallo normalmente molto disperso finché l'ho trovato in abbondanza proprio su questa specie di gorgonia in acque dell'est pirenaico. In laboratorio ne abbiamo ricavato una famiglia di diterpenoidi insoliti, dei quali la sarcodictyin A, così chiamata in omaggio al corallo, è mostrata in struttura tridimensionale in Fig. 4. La parte di sinistra appare come una barca armata di un gran bompresso biforcuto che si protende verso di noi e di un piccolo timone sul retro. In chimica non si va così lontano nell'immaginazione, ma è pur vero che tali cicli esaatomici si dicono a barca, in contrasto con quelli a sedia di Fig. 3. La parte di destra della molecola più che un bilanciere appare come una grande rete che viene raccolta dalla barca. Immagini a parte, la sarcodictyin A ha ripagato il travaglio di

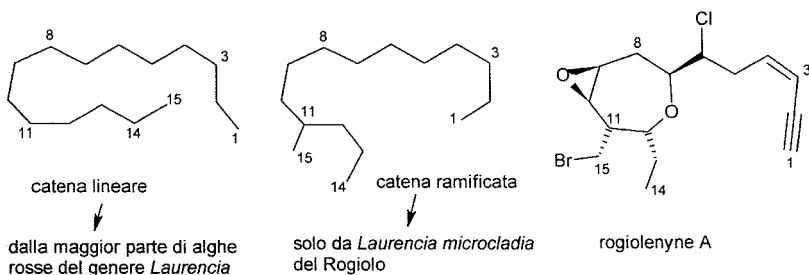
tante immersioni al freddo e ai venti invernali di quella zona di mare, rivelando un'attività antitumorale del tipo Taxol®, e anche verso cellule cancerose a questo resistenti. Questa scoperta, che è protetta da brevetto industriale, ci illustra altre risorse nascoste nel Mediterraneo e legate alla biodiversità.

L'ultimo esempio riguarda un'alga invasiva del Mediterraneo, l'alga killer del giornalista di cui parlavo. In biologia si chiama *Caulerpa taxifolia*, che, rara e minuta nel suo habitat naturale, si sta sviluppando invece fittissima e di grandi dimensioni nelle acque della Costa Azzurra, sottraendo territorio e risorse alle altre alghe e alle praterie di *Posidonia*. In più l'alga, nella pressione delle barriere coralline, ha sviluppato difese chimiche contro gli erbivori e stranamente ne ha aumentato la produzione in Mediterraneo, col che vive indisturbata non costituendo una fonte alimentare, salvo che per alcuni molluschi che, in coevoluzione, sfruttano le proprietà repellenti dei prodotti dell'alga a protezione da predatori. L'arma più abbondante, mostrata in Fig. 5, è la caulerpenyne, mentre i suoi derivati minori, caulerpenynol e 10, 11-epoxycaulerpenyne, hanno attività biologica ancor più potente. L'ultimo è anche causa di sbloccamento genetico, provocando proliferazione di colture di tessuto della pianta *Nicotiana glauca*. Se l'alga continua a progredire nel Mediterraneo come nella progressione delle dimensioni dei caratteri in Fig. 5, la biodiversità in questo mare tenderà a diminuire e la diversità molecolare ad uniformarsi verso prodotti che sono tossici per la maggior parte delle specie endemiche. L'immersione nelle zone invase dall'alga è un'esperienza unica ma terrificante. C'è da sperare che questa non diventi un'esperienza comune negli anni futuri per il subacqueo nei nostri mari e che l'alga non prenda la via del ritorno alle barriere coralline, infestandole e togliendo luce ai coralli, impedendone la crescita.

Con questo si chiude questa rapida carrellata su che cosa

può vedersi in sviluppo nel bacino Mediterraneo dalla finestra dei prodotti naturali marini. Benché i fenomeni siano stati molto semplificati, spero di essere riuscito a farvi percepire che anche questa è una finestra utile per osservare l'assetto evolutivo del Mediterraneo, traendone indicazioni su come conservare questo mare in modo armonioso, oltreché in modo specifico su quali risorse poter contare in modo ecologicamente compatibile. La conservazione della natura non è come quella dei beni culturali, che si vogliono avulsi dall'evoluzione. E un qualcosa di molto più complesso perché dell'evoluzione non si può non tener conto.

Fig. 1



Nota: La spiegazione delle figure da 1 a 5 (a colori nel testo originale!) si trovano nel testo della relazione.

Fig. 2

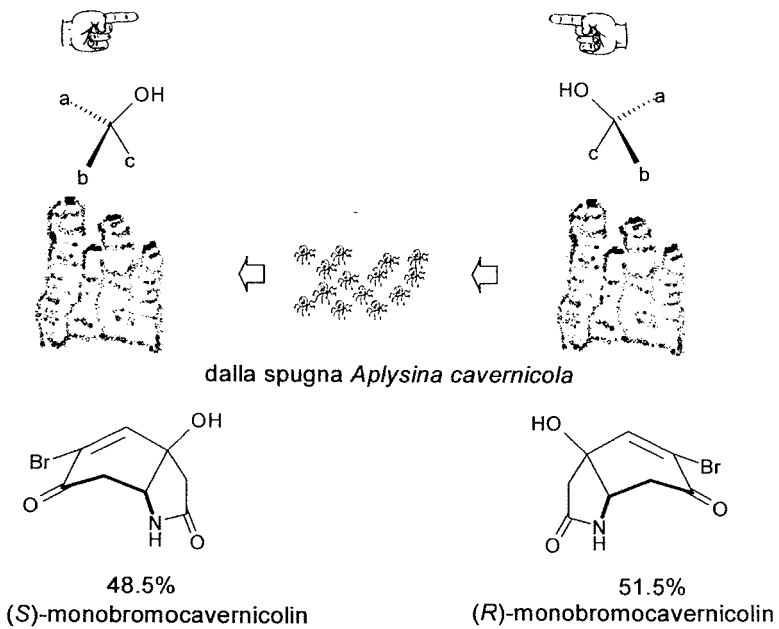
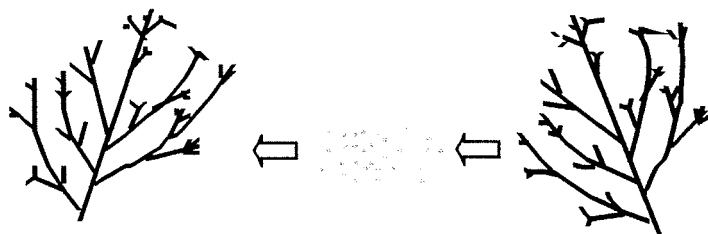
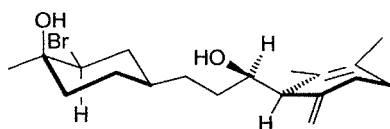


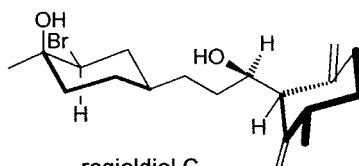
Fig. 3



dall'alga rossa *Laurencia microcladia* del Rogiolo



rogioldiol B



rogioldiol C

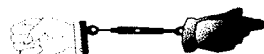
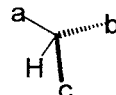
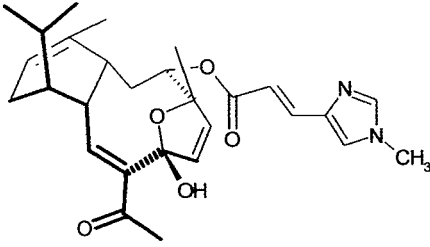
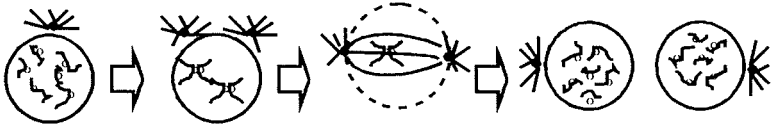


Fig. 4



sarcodictyin A
dal corallo stolonifero *Sarcodictyon roseum*

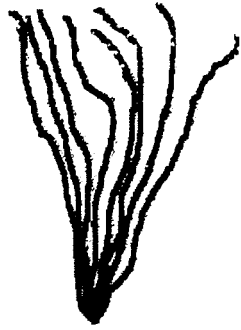


Fig. 5

L'alga verde *Caulerpa taxifolia* che invade il Mediterraneo

Caulerpa

Caulerpa

Caulerpa

Caulerpa

Caulerpa

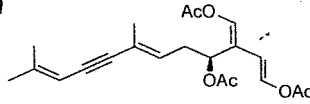
Biodiversita'

Biodiversita'

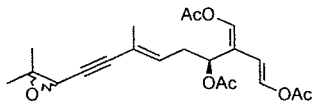
Biodiversita'

Biodiversita'

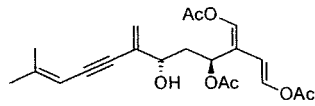
Biodiversita'



caulerpenyne



10,11-epoxycaulerpenyne



caulerpenynol



INDICE

G. GIACCONE, Introduzione	Pag. 5
R. PALLOTTA D'ACQUAPENDENTE, Saluto ai partecipanti	» 11
L. MESSINA, La Riserva Nazionale Marina Isola di Ustica	» 13
A. AGODI, Il clima nella Biosfera e nel bacino del Mediterraneo ..	» 19
A. DE MAIO, Cenni di Oceanologia fisica	» 33
S. I. DI GERONIMO, Paleoecologia del Mediterraneo	» 35
G. GIACCONE, Ecologia della biodiversità in Mediterraneo	» 43
G. RUSSO, Cambiamenti faunistici nel Mar Mediterraneo: un approccio zooarcheologico	» 61
F. PIETRA, Mediterraneo aggredito: quel che andiamo perdendo in diversità molecolare	» 73

Segreteria tecnica per l'edizione:
Dott. Lucrezia Fricano, Dott. Ciro Grillo,
Sig. Rocco Provenza

Segreteria dell'Accademia c/o Azienda Autonoma Provinciale per l'Incremento Turistico
Piazza Castelnuovo, 35 - 90141 Palermo - Tel. (091) 6058216 - Fax (091) 582788

Stampa: Grafiche Renna - Palermo