

€ 4,50

APRILE 2011

NATIONAL GEOGRAPHIC

ITALIA

LA VERTIGINE
DEL POTERE

INCA

*Come una stirpe di sovrani
costruì un grande impero*

San Gottardo
il tunnel dei record

Crimea: un gioiello
per due corone

Dentro il vulcano
più pericoloso al mondo

Se il mare diventa acido

Miracolo sopra Manhattan

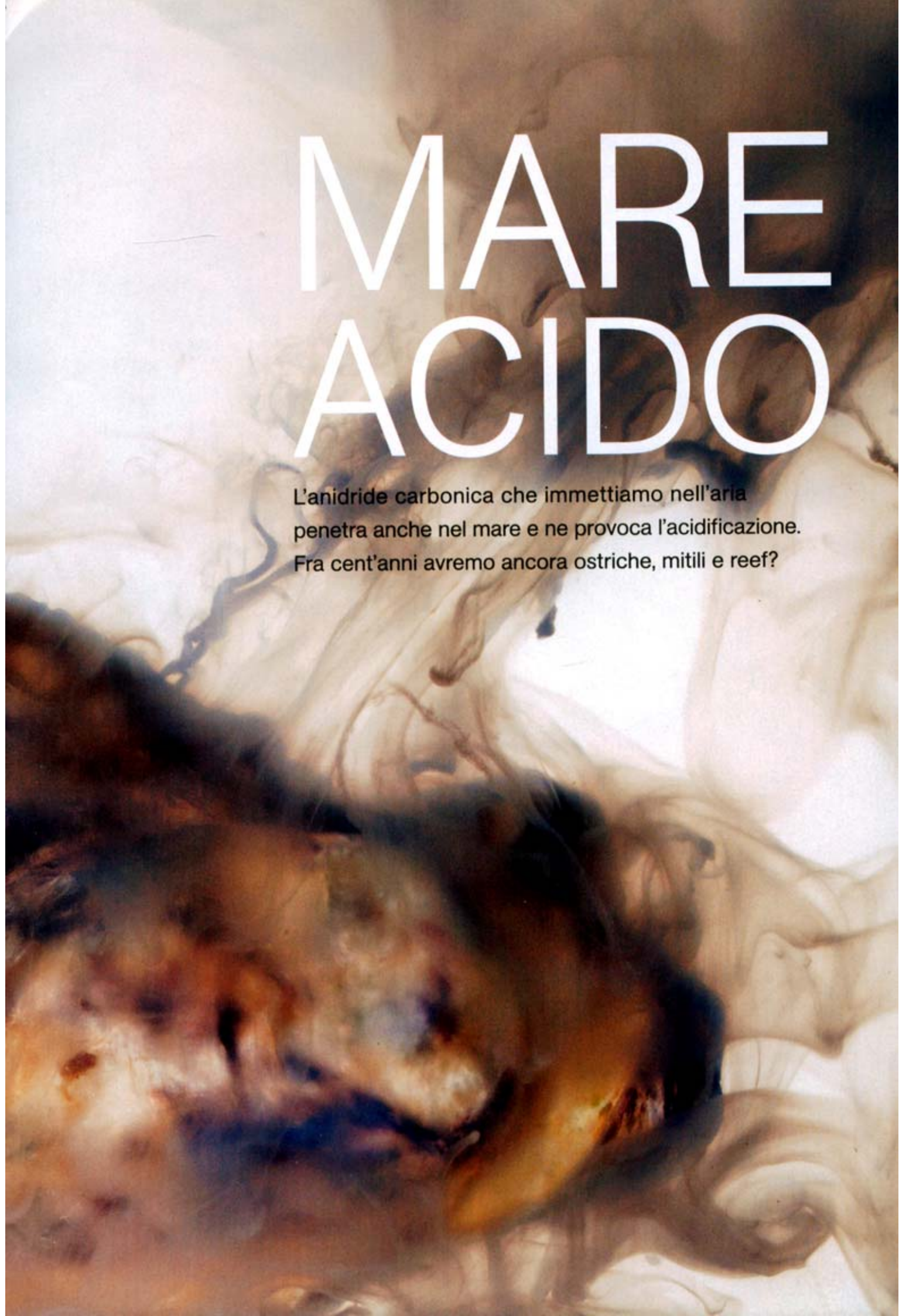


Un'ostrica concava maschio rilascia liquido seminale
nel Whiskey Creek Shellfish Hatchery dell'Oregon.
Qui l'acidificazione ha dimezzato la produzione
arrestando lo sviluppo delle larve delle ostriche.



MARE ACIDO

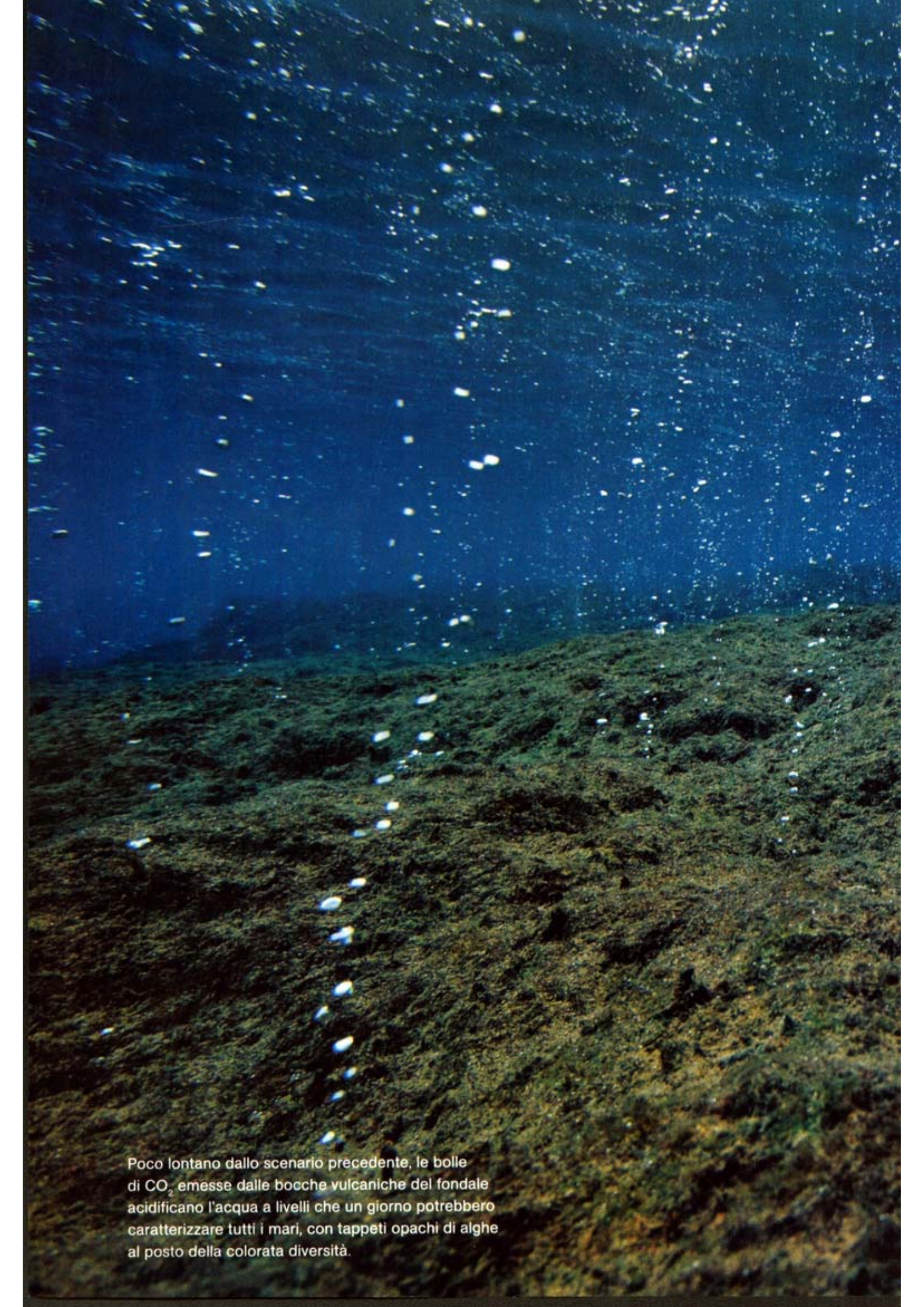
L'anidride carbonica che immettiamo nell'aria
penetra anche nel mare e ne provoca l'acidificazione.
Fra cent'anni avremo ancora ostriche, mitili e reef?



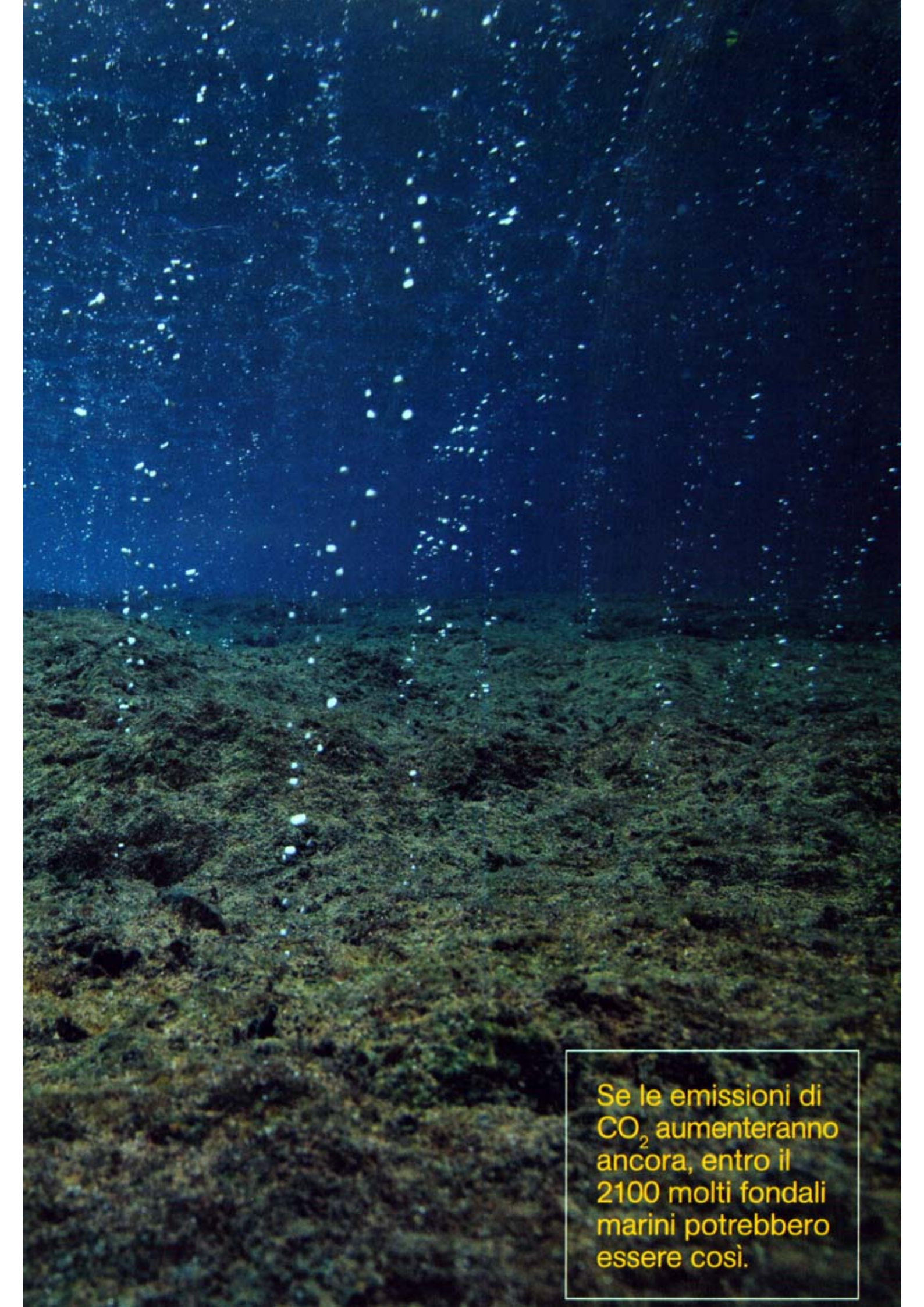




Sotto il Castello aragonese di Ischia, il fondale sano appare così: una spessa coltre di *Haliclona rosea*, denti di cane bianchi, alghe calcaree lilla, ricci di mare e (quasi al centro della foto) un pesce ben mimetizzato: è una bavosa ruggine.



Poco lontano dallo scenario precedente, le bolle di CO₂ emesse dalle bocche vulcaniche del fondale acidificano l'acqua a livelli che un giorno potrebbero caratterizzare tutti i mari, con tappeti opachi di alghe al posto della colorata diversità.

An underwater photograph showing a dark, rocky seabed in the foreground. Numerous small, white bubbles are rising from the bottom, creating vertical trails that disappear into the deep blue water above. The lighting is dim, emphasizing the texture of the seabed and the movement of the bubbles.

Se le emissioni di
CO₂ aumenteranno
ancora, entro il
2100 molti fondali
marini potrebbero
essere così.

DI ELIZABETH KOLBERT FOTOGRAFIE DAVID LIITTSCHWAGER

IL CASTELLO ARAGONESE SORGE su un isolotto che si erge come una torre nel Mar Tirreno, 27 chilometri a est di Napoli. È raggiungibile dall'isola di Ischia attraverso uno stretto ponte di pietra. I turisti che visitano il Castello sono interessati al passato: si arrampicano - o meglio ancora prendono l'ascensore - fino alla massiccia fortezza, in cui sono conservati antichi strumenti di tortura. Gli scienziati, invece, visitano l'isolotto per capire cosa ci riserva il futuro.

Per un capriccio della geologia, infatti, le acque che circondano il Castello aragonese forniscono molte indicazioni sulle possibili condizioni del mare nel 2050 e oltre. Dalle bocche vulcaniche sul fondo marino fuoriescono bolle di anidride carbonica che si dissolvono per formare acido carbonico. Si tratta di un acido relativamente debole: si trova nelle bevande gassate che beviamo abitual-

mente. Ma quando se ne forma una quantità sufficiente, l'acqua del mare diventa corrosiva. «Quasi nessun organismo vivente può tollerare quantità estremamente alte di CO_2 », afferma Jason Hall-Spencer, biologo marino dell'Università di Plymouth, in Gran Bretagna. Il mare intorno al Castello aragonese è un esempio naturale di un processo innaturale: l'acidificazione che si registra al largo di quelle coste sta interessando in maniera graduale i mari di tutto il mondo, che assorbono quantità sempre maggiori di anidride carbonica emessa da tubi di scarico e ciminiera.

Hall-Spencer studia il mare intorno all'isolotto da otto anni, analizzando le proprietà dell'acqua e osservando i pesci, i coralli e i molluschi che vivono e a volte si dissolvono in essa. In una fredda mattina d'inverno vado a fare una nuotata con lui e Maria Cristina Buia della Stazione zoologica Anton Dohrn di Napoli, per vedere da vicino gli effetti dell'acidificazione. Ancoriamo la barca a circa 45

SETTE MILIARDI è la serie sulla popolazione globale.





La foglia di una pianta che cresce nelle acque intorno al Castello aragonese è un microcosmo. È coperta di alghe coralline, su cui pascola un mollusco gasteropode, a sua volta colonizzato dai vermi tubicoli. Tutte e tre le specie producono carbonato di calcio. Vicino alle bocche che emettono CO_2 l'erba è solo verde: l'acidificazione ha eliminato il carbonato dall'acqua.

metri dalla sponda sud dell'isolotto. Colonie di denti di cane formano una fascia biancastra alla base delle rocce battute dalle onde. «Questi cirripedi sono davvero resistenti», osserva Hall-Spencer. Nelle zone in cui l'acqua è più acida, però, non ce n'è traccia. Ci tuffiamo. Buia ha un coltello e stacca da uno scoglio alcune patelle che, meschine, si erano avventurate in acque troppo caustiche per loro. I gusci sono ormai quasi trasparenti. Le bolle di anidride carbonica salgono in superficie dal fondo marino simili a palline di mercurio. Continuiamo a nuotare. Sotto di noi ondeggiano le distese di *Posidonia oceanica*. La pianta è di un bel verde intenso ma mancano i piccoli organismi che di solito ricoprono le foglie. Non ci sono neppure i ricci di mare - in genere numerosi lontano dalle bocche vulcaniche - che non tollerano la minima acidificazione dell'acqua. Intorno a noi passano sciami di meduse quasi trasparenti. «Attenta», avvisa Hall-Spencer. «Pungono».

Meduse, posidonie e alghe: non molto altro riesce a vivere vicino alle più fitte concentrazioni di bocche vulcaniche dell'isolotto. Ma anche a distanza di alcune centinaia di metri molte specie locali non sopravvivono. Qui l'acidificazione dell'acqua ha raggiunto i livelli che secondo le previsioni saranno comuni a tutti i mari entro il 2100. «Normalmente in un porto inquinato si trovano solo alcune specie, simili all'erba infestante, che resistono anche in condizioni estremamente variabili», osserva Hall-Spencer. «La stessa cosa accade quando la CO₂ aumenta a dismisura».

DALL'INIZIO DELLA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE sono stati bruciati combustibili fossili - carbone, petrolio e gas naturale - e sono state disboscate foreste in quantità tali da provocare l'immissione in aria di più di 500 miliardi di tonnellate di CO₂. Com'è noto, oggi l'atmosfera ha la più alta concentrazione di CO₂ degli ultimi 800 mila anni, se non di più. Meno noto, invece, è il fatto che le emissioni stanno cambiando anche il mare. L'aria e l'acqua si scambiano gas continuamente, così una buona percentuale di ciò che viene immesso nell'atmosfera alla fine raggiunge anche il mare. Ci pensano poi i venti a mescolare rapidamente tutto nello strato superficiale dell'acqua (i primi cento metri o giù di lì), e

con il passare dei secoli le correnti lo trasportano fin negli abissi marini. Negli anni Novanta una squadra internazionale di scienziati ha avviato un progetto di ricerca su vasta scala che prevedeva la raccolta e l'analisi di più di 77.000 campioni di acqua marina provenienti da profondità e siti diversi. Lo studio, durato 15 anni, ha dimostrato che i mari hanno assorbito il 30 per cento dell'anidride carbonica rilasciata dagli esseri umani negli ultimi due secoli. E continuano ad assorbirne circa un milione di tonnellate ogni ora.

Per la vita sulla terra il processo ha effetti benefici: ogni tonnellata di CO₂ sottratta all'atmosfera equivale a una tonnellata che non contribuisce al riscaldamento globale. Per la vita marina lo scenario è molto diverso. Jane Lubchenco, l'ecologa marina che oggi è a capo della National Oceanic and Atmospheric Administration, ha definito l'acidificazione degli oceani come «la gemella altrettanto cattiva» del riscaldamento globale. I valori della scala del pH, che misura l'acidità in termini di concentrazione degli ioni idrogeno, sono compresi tra 0 e 14. Il pH 0 corrisponde agli acidi forti, come l'acido cloridrico, che liberano idrogeno prontamente (più dell'acido carbonico). Il pH 14 corrisponde alle basi forti come le soluzioni alcaline.

L'acqua distillata pura ha pH 7, vale a dire neutro. L'acqua marina dovrebbe essere leggermente basica, in superficie il pH è di circa 8,2. Fino a oggi le emissioni di CO₂ hanno ridotto questo valore di circa 0,1 punti. Al pari della scala Richter, la scala del pH è logaritmica, pertanto piccole variazioni numeriche rappresentano effetti consistenti. Un calo del pH pari a 0,1 significa che l'acqua è diventata più acida del 30 per cento. Se questa tendenza dovesse mantenersi, nel 2100 il pH dell'acqua di superficie sarà sceso a 7,8. A quel punto l'acqua sarà più acida del 150 per cento rispetto al 1800.

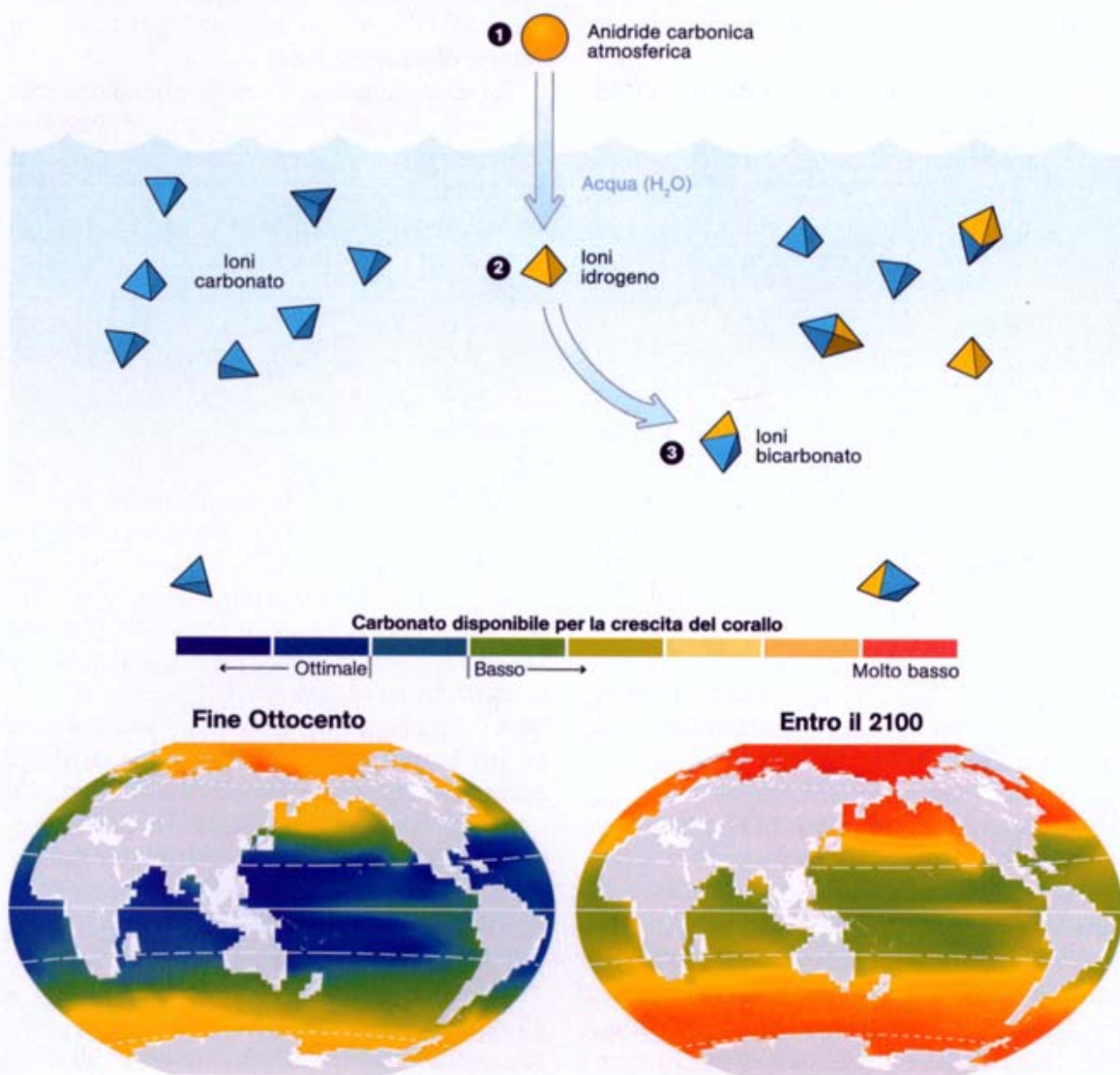
L'acidificazione avvenuta fino a oggi è probabilmente irreversibile. Benché in teoria sia possibile aggiungere sostanze per contrastare gli effetti dell'eccesso di CO₂, in pratica i volumi necessari

Elizabeth Kolbert è l'autrice dell'articolo del mese scorso Antropocene. David Liittschwager ha realizzato le foto per il servizio La vita in un cubo pubblicato nel numero di febbraio 2010.

LA DISTRUZIONE DI GUSCI E SCHELETRI

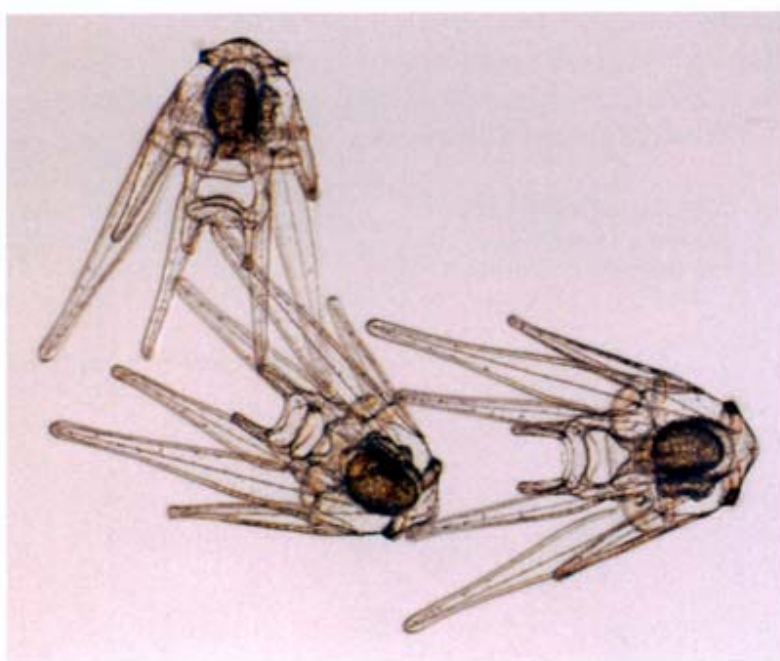
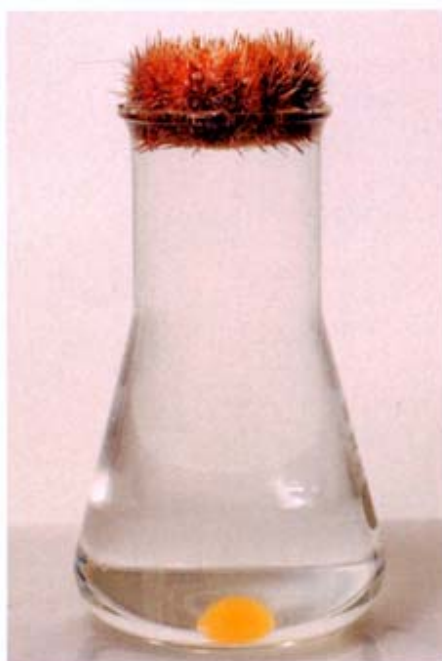
Gasteropodi, cirripedi, ricci, coralli: sono molti gli organismi marini che producono da sé le loro parti dure, combinando gli ioni calcio e carbonato che prendono dall'acqua. Alla crescita dei livelli di anidride carbonica nell'atmosfera corrisponde una diminuzione del carbonato: ecco cosa accade.

- 1 L'aumento della CO_2 nell'aria equivale a un aumento di CO_2 nelle acque di superficie.
- 2 La CO_2 reagisce con l'acqua, liberando ioni idrogeno che la acidificano (ne abbassano il pH).
- 3 L'idrogeno lega gli ioni carbonato, trasformandoli in ioni bicarbonato.



UN PROBLEMA SERIO PER LE BARRIERE CORALLINE

Alla fine dell'Ottocento, quando l'anidride carbonica dei combustibili fossili iniziò ad accumularsi nell'atmosfera e ad acidificare il mare, i coralli tropicali non erano ancora colpiti. Oggi i livelli di carbonato sono scesi vicino ai Poli; entro il 2100 la sopravvivenza dei reef potrebbe essere compromessa.



sarebbero impressionanti: ci vorrebbero almeno due tonnellate di calce viva, per esempio, per neutralizzare una sola tonnellata di anidride carbonica, e il mondo oggi emette più di 30 miliardi di tonnellate di CO_2 all'anno. Inoltre, i fenomeni naturali che possono contrastare l'acidificazione - come l'erosione delle rocce sulla terraferma - agiscono troppo lentamente per avere effetti significativi in termini cronologici umani. Anche se le emissioni di CO_2 cessassero oggi, ci vorrebbero decine di migliaia di anni prima che la chimica degli oceani tornasse alla condizione preindustriale.

L'acidificazione ha una miriade di effetti. Favorendo alcuni batteri marini sugli altri, potrebbe incidere sulla disponibilità di nutrienti chiave come il ferro e l'azoto. Per ragioni analoghe, potrebbe consentire a una quantità maggiore di raggi solari di penetrare la superficie del mare. Si presume inoltre che alterando la chimica di base dell'acqua marina l'acidificazione possa ridurre la capacità di assorbire e smorzare i suoni a bassa frequenza fino a un massimo del 40 per cento, rendendo alcune zone dell'oceano più rumorose. Infine, l'acidificazione interferisce con i sistemi riproduttivi di alcune specie e con la capacità di altre - i cosiddetti

calcificanti - di formare gusci e scheletri resistenti di carbonato di calcio. Questi ultimi effetti sono i più documentati, ma non è ancora chiaro se nel lungo termine saranno anche i più rilevanti.

Nel 2008 oltre 150 illustri scienziati hanno sottoscritto una dichiarazione in cui si esprime la profonda preoccupazione per "i recenti e rapidi cambiamenti della chimica del mare", che nel giro di alcuni decenni potrebbero "seriamente danneggiare organismi marini, catene alimentari, biodiversità e zone di pesca". Le scogliere coralline che crescono nelle acque calde rappresentano la prima preoccupazione. Tuttavia, poiché l'anidride carbonica si dissolve più facilmente nelle acque fredde, l'impatto potrebbe manifestarsi prima nelle aree vicine ai Poli. Gli scienziati hanno già documentato effetti significativi sugli pteropodi, i piccoli molluschi nuotatori che sono una fonte primaria di cibo per pesci, balene e uccelli sia nell'Artide che in Antartide. Gli esperimenti dimostrano che nell'acqua marina acidificata la conchiglia degli pteropodi cresce più lentamente.

Gli organismi saranno in grado di adattarsi alla nuova chimica del mare? Le indicazioni che vengono dalle acque intorno al Castello aragonese

Un riccio femmina poggiato sull'imboccatura del matraccio in cui ha appena depositato le uova gialle. Tre settimane dopo le larve sane (a sinistra) appaiono simili a navette spaziali di cristallo, con lunghi bastoncini di carbonato di calcio che formano lo scheletro larvale. Le larve cresciute in acqua acidificata, invece, sono rachitiche (come quella in basso) e più vulnerabili ai predatori.



non sono incoraggianti. Le bocche vulcaniche riversano CO_2 nell'acqua almeno da mille anni, mi ha spiegato Hall-Spencer durante la mia visita. Ma nell'area in cui il pH è 7,8 - il livello a cui potrebbero arrivare i mari di tutto il mondo entro la fine del secolo - manca quasi un terzo delle specie che di solito vivono lì, lontano dal sistema delle bocche. Queste specie, ha proseguito Hall-Spencer, hanno avuto «generazioni su generazioni per adattarsi a queste condizioni, eppure non ci sono. Consapevoli della sua importanza, noi uomini facciamo di tutto per mantenere costante il pH del nostro sangue. Ma alcuni organismi inferiori non sono fisiologicamente in grado di farlo. Possono soltanto cercare di tollerare ciò che accade nel loro ambiente, costretti a spingersi oltre i loro limiti».

OTTO CHILOMETRI AL LARGO DELLE COSTE dell'Australia, dall'altra parte del mondo rispetto al Castello aragonese si trova un'altra piccola isola, chiamata One Tree Island. L'isolotto, che a dispetto del nome ha centinaia di alberi, ha la forma di un boomerang con due bracci che si allungano nel Mar dei Coralli e ospita una piccola stazione di ricerca gestita dall'Università di Sid-

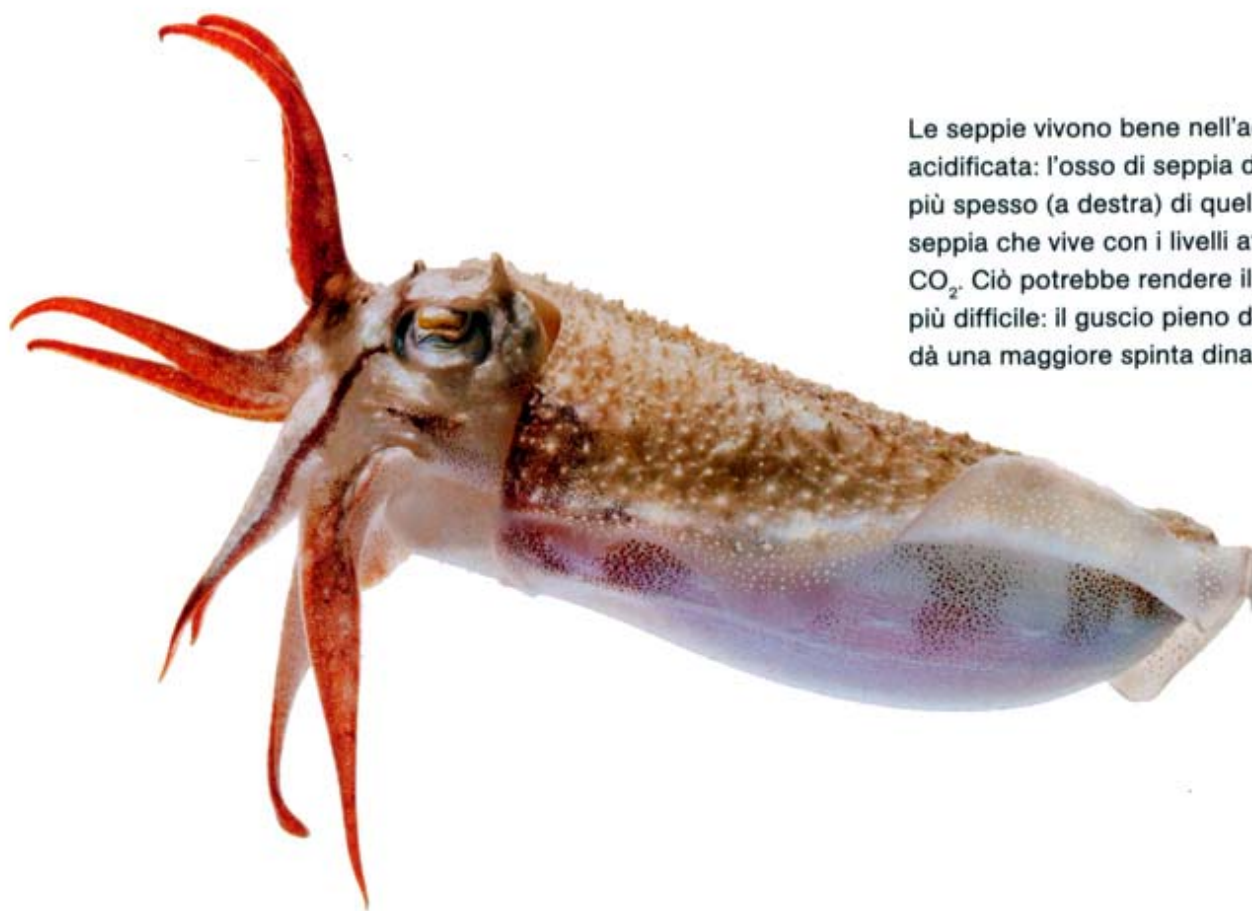
ney. Per puro caso, qualche minuto dopo il mio arrivo sull'isola, un'enorme tartaruga marina si trascina sulla spiaggia di fronte al laboratorio. L'intera popolazione umana dell'isola - 11 persone - accorre per guardarla.

One Tree Island fa parte della Grande barriera corallina, la più grande formazione madreporica del mondo, che si estende per oltre 2.250 chilometri. L'isolotto è composto interamente di frammenti di corallo che hanno iniziato ad accumularsi dopo una tempesta violenta circa 4.000 anni fa. Ancora oggi sull'isola non c'è niente che si possa davvero chiamare terriccio. Gli alberi sembrano crescere direttamente dai coralli come pennoni di bandiera. Quando gli scienziati iniziarono a visitare One Tree Island negli anni Sessanta, si posero domande come «In che modo cresce la barriera?». Oggi gli interrogativi sono più pressanti. «Circa il 25 per cento delle specie marine trascorre almeno parte della vita nei sistemi corallini», mi spiega Ken Caldeira, esperto di acidificazione dei mari della Carnegie Institution. «I coralli costruiscono l'ossatura dell'ecosistema, ed è piuttosto chiaro che la loro distruzione equivale alla morte dell'intero ecosistema».





La stella marina a sinistra è cresciuta in acque normali a Kiel, in Germania; quella a destra, all'inizio identica, è stata allevata in quelle che potrebbero essere le condizioni del Mar Baltico nel 2100. In alcune acque costiere l'acidificazione è aggravata dall'inquinamento terrestre, che favorisce la fioritura di batteri che assorbono ossigeno dall'acqua e rilasciano altra CO_2 . Le due stelle marine sono state fotografate alla stessa scala: quella di destra pesa solo un quinto dell'altra.



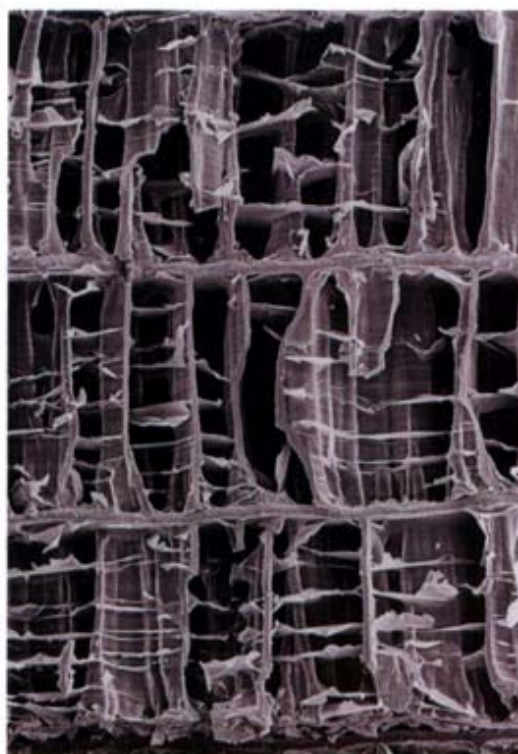
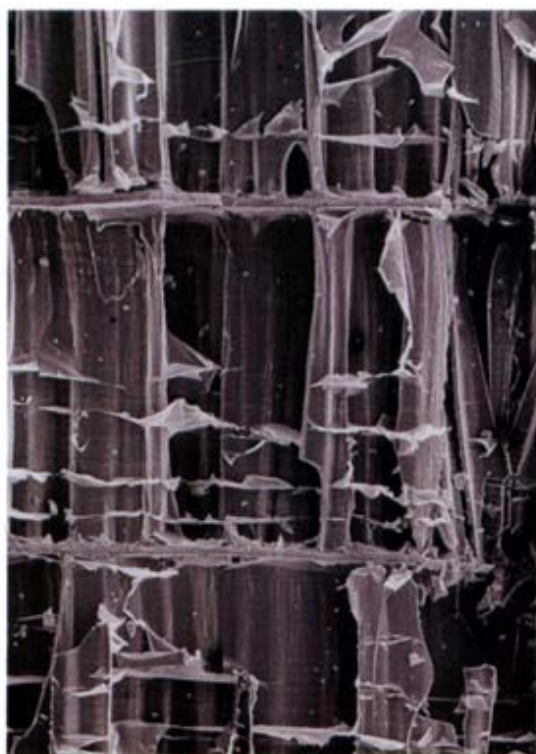
Le seppie vivono bene nell'acqua acidificata: l'osso di seppia diventa più spesso (a destra) di quello della seppia che vive con i livelli attuali di CO_2 . Ciò potrebbe rendere il nuoto più difficile: il guscio pieno di gas dà una maggiore spinta dinamica.

I reef sono già minacciati da un'ampia serie di fenomeni. L'incremento della temperatura dell'acqua dà luogo a casi più frequenti di "sbiancamento", per cui i coralli diventano completamente bianchi e spesso muoiono. La pesca in eccesso sottrae al mare tutte le creature che impediscono alle alghe di ricoprire il corallo. Gli scarichi dell'agricoltura fertilizzano le alghe, con un ulteriore disturbo dell'ecosistema corallino. Nel Mar dei Caraibi alcune specie di corallo, un tempo abbondanti, sono state devastate da un'infezione che si lascia dietro una striscia bianca di tessuti morti. Probabilmente a causa di tutti questi fattori, la copertura di coralli nei Caraibi è diminuita quasi dell'80 per cento tra il 1997 e il 2001.

L'acidificazione comporta anche un altro rischio, forse meno immediato ma più devastante, per i coralli costruttori del reef: indebolisce la loro antica struttura di base, lo scheletro resistente prodotto da milioni e milioni di polipi del corallo in migliaia di anni. I polipi del corallo sono piccoli animali che formano un sottile strato di tessuto vivente sulla superficie del reef. Hanno una forma simile ai fiori e sono dotati di sei o più tentacoli con cui catturano il cibo e lo portano alla bocca cen-

trale (in effetti molti coralli ricavano la maggior parte del nutrimento dalle alghe fotosintetizzanti con cui vivono in simbiosi; il corallo si sbianca perché lo stress ha spinto i polipi a espellere i simbionti scuri). Ogni polipo si circonda di un esoscheletro protettivo di carbonato di calcio, di forma concava, che si unisce a quelli dell'intera colonia creando lo scheletro collettivo. Per produrre il carbonato di calcio i coralli hanno bisogno di due ingredienti: gli ioni calcio e gli ioni carbonato. Gli acidi reagiscono con gli ioni carbonato, in pratica li legano, rendendoli meno disponibili. Quando i livelli di anidride carbonica dell'atmosfera aumentano, gli ioni carbonato nell'acqua diminuiscono e i coralli devono consumare più energia per raccogliarli. In condizioni di laboratorio è stato dimostrato che la crescita dell'armatura del corallo diminuisce in maniera direttamente proporzionale al calo della concentrazione di carbonato.

In laboratorio la crescita lenta non è un problema grave. In mare, invece, le barriere sono sotto costante attacco da parte di altri organismi. «La barriera corallina somiglia a una città», spiega Ove Hoegh-Guldberg, che un tempo dirigeva la stazione di ricerca di One Tree Island e adesso dirige il Glo-



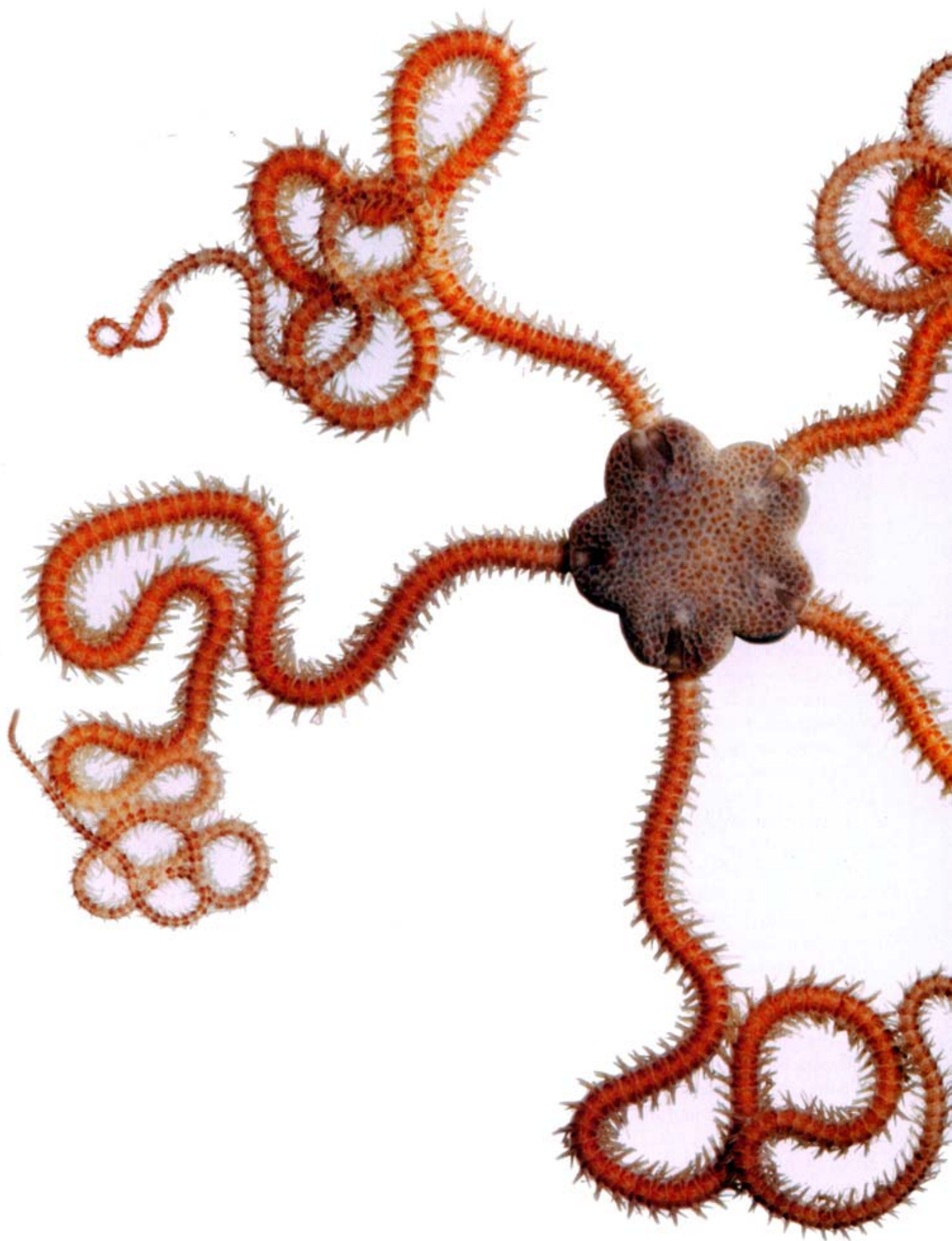
bal Change Institute della Università del Queensland. «Ci sono imprese di costruzioni e imprese di demolizione. La diminuzione dei materiali utili alle prime crea uno sbilanciamento a favore della distruzione, cosa che già avviene naturalmente anche in una barriera sana. Alla fine ne risulta una città che distrugge se stessa».

Confrontando i valori calcolati negli anni Settanta con quelli più recenti, il team di Caldeira ha scoperto che in un punto dell'estremità settentrionale del reef la calcificazione è diminuita del 40 per cento. Un altro gruppo di ricercatori che ha usato un metodo diverso ha dimostrato che nella Grande barriera corallina tra il 1990 e il 2005 la crescita dei coralli del genere *Porites*, che si uniscono in formazioni compatte simili a massi, è diminuita del 14 per cento. L'acidificazione sembra incidere anche sulla capacità dei coralli di produrre nuove colonie. Di fatto, i coralli possono clonare se stessi e spesso un'intera colonia è composta di polipi geneticamente identici. Ma una volta l'anno, d'estate, molte specie di corallo si danno a una sorta di "riproduzione di massa", come se stessero partecipando a un'attività sessuale collettiva sincronizzata. Ogni polipo produce una piccola sacca rosa simile a una

perla, che contiene uova e sperma. Nel corso della notte prestabilita tutti i polipi rilasciano le loro sacche in acqua. Le sacche sono così numerose che l'acqua sembra coperta da un velo color malva.

Selina Ward, ricercatrice dell'Università del Queensland, studia la riproduzione dei coralli di Heron Island, circa 16 chilometri a ovest di One Tree, da 16 anni. La incontro qualche ora prima dell'evento annuale, mentre aggiorna le cartelle di una dozzina di vasche di coralli gravidi, come un'ostetrica durante il suo giro al reparto maternità. Appena i coralli rilasceranno le loro sacche rosa, le raccoglierà per sottoporle a livelli diversi di acidificazione. I suoi studi indicano che i valori bassi di pH portano a un calo della fecondazione, dello sviluppo larvale e della colonizzazione, la fase in cui le larve di corallo abbandonano la colonna d'acqua, si attaccano a qualcosa di solido e danno inizio a una nuova colonia. «Se uno di questi processi non va come dovrebbe, si interrompe il sistema di ricambio dei coralli», dice Ward.

Le barriere mantenute in vita dai coralli sono fondamentali per un'incredibile varietà di organismi. Si calcola che da uno a nove milioni di specie marine vivano sopra o attorno al reef: non solo i



In laboratorio un'*Amphiura filiformis* si adatta all'acqua acidificata da un livello elevato di CO_2 . Sopravvive all'aggiunta di triclosan, un antibatterico usato nei saponi e nelle creme per la pelle, che arriva in mare con gli scarichi fognari. Questo echinoderma, a contatto con livelli elevati di CO_2 e triclosan - il "cocktail da stress" del futuro - perde le braccia (in basso).



pesci dai colori vivaci e le grandi tartarughe, ma anche tunicati e gamberi, attinie, molluschi, echinodermi e molto altro ancora. Quando la scogliera non cresce alla velocità sufficiente per contrastare l'erosione, la comunità si sgretola. «Le scogliere coralline perderanno la loro funzionalità ecologica», spiega Jack Silverman, ricercatore del gruppo di Caldeira a One Tree Island. «Non saranno più in grado di tenere in piedi la struttura. E se manca la casa, dove andranno a vivere gli inquilini?». Ciò potrebbe verificarsi entro il 2050. Se la situazione delle emissioni industriali non cambia, le concentrazioni di CO₂ nell'atmosfera dovrebbero quasi raddoppiare rispetto ai livelli preindustriali. Molti esperimenti dimostrano che in questo caso le scogliere coralline iniziano a disintegrarsi.

«Se le cose non cambiano, tra una quarantina d'anni la situazione sarà desolante», sospira Caldeira. «A dire il vero lo è già», aggiunge.

I coralli, ovviamente, non sono gli unici organismi calcificanti. In natura ne esistono migliaia di altri, tra cui i crostacei come i denti di cane, gli echinodermi come le stelle marine e i ricci di mare, e i molluschi bivalvi. Anche le alghe rosse calcaree - che producono quello che sembra un rivestimento di vernice rosa o lilla - sono calcificanti. Le loro secrezioni di carbonato di calcio contribuiscono a cementificare il reef, ma questi organismi si trovano anche altrove, sulle posidonie del mare intorno al Castello aragonese, per esempio. Era la loro assenza dalle piante vicine alle bocche vulcaniche che faceva apparire così verdi le foglie. I mari sono pieni di alghe unicellulari calcificanti, appartenenti al gruppo dei coccolitoforidi, la cui fioritura stagionale fa assumere una tonalità lattiginosa a migliaia di chilometri quadrati di oceano. Molte specie di foraminiferi planctonici - anch'essi unicellulari - hanno strutture calcificate; i loro gusci morti cadono sul fondo degli oceani in quella che è stata descritta come una pioggia ininterrotta. Gli organismi calcificanti sono talmente numerosi da aver cambiato la geologia della terra. Le bianche scogliere di Dover, per esempio, sono ciò che resta di una quantità infinita di antichi gusci calcarei che si sono accumulati durante il Cretaceo.

L'acidificazione rende più difficile il lavoro di tutti i calcificanti, anche se alcuni sembrano rea-

gire meglio di altri. Negli esperimenti condotti su 18 specie appartenenti a gruppi tassonomici diversi dai ricercatori della Woods Hole Oceanographic Institution, è risultato che in presenza di livelli alti di anidride carbonica la maggior parte delle specie calcificava meno, ma in alcune il processo manifestava un incremento. Una specie - *Mytilus edulis*, la cozza - non mostrava cambiamenti.

«Gli organismi fanno delle scelte», spiega Ulf Riebesell, oceanografo e biologo dell'Istituto Leibniz di Scienze marine di Kiel, in Germania. «Percepiscono i cambiamenti del loro ambiente e alcuni hanno l'abilità di contrastarli. Devono soltanto investire più energia nella calcificazione. Scelgono se investire meno nella riproduzione o nella crescita». Non si sa cosa guidi tali scelte; fino a oggi la maggior parte degli studi è stata condotta su creature che per un breve periodo hanno vissuto nelle vasche in assenza di altre specie concorrenti. «Se investo meno nella crescita o nella riproduzione», prosegue Riebesell, «vorrei dire che l'organismo che non deve compiere nessuna scelta, perché non calcifica, avrà la meglio e occuperà il mio posto?».

Intanto gli scienziati hanno appena iniziato a studiare gli effetti dell'acidificazione su organismi più complessi come pesci e mammiferi marini. I cambiamenti alla base della catena alimentare marina - vale a dire gli pteropodi con i loro gusci o i coccolitoforidi - colpiranno inevitabilmente anche animali che occupano posizioni più alte. Ma l'alterazione del pH degli oceani dovrebbe avere un impatto diretto anche sulla loro fisiologia. I ricercatori in Australia hanno scoperto, per esempio, che il giovane pesce pagliaccio non riesce a trovare un habitat adatto quando la CO₂ è elevata. A quanto pare l'acqua acidificata compromette il suo olfatto.

Nella lunga storia della vita sulla Terra i livelli di anidride carbonica nell'atmosfera sono stati spesso più alti di quelli attuali. Ma solo di rado, o quasi mai, sono cresciuti altrettanto rapidamente. Per la vita negli oceani, la velocità del cambiamento è ciò che conta. Per trovare un periodo analogo al presente bisogna tornare indietro almeno di 55 milioni di anni, a quello che è noto come il Massimo termico del Paleocene-Eocene (PETM), durante il quale enormi quantità di carbonio furono immesse nell'atmosfera, nessuno sa con certezza da



I pesci pagliaccio allevati in acqua acidificata non riescono a riconoscere i segnali chimici che li guidano nel loro habitat usuale, i tentacoli di un'attinia. Alcuni sono attratti dall'odore dei predatori.

quale fonte. Le temperature aumentarono di circa 6 °C e la chimica del mare cambiò radicalmente. Gli abissi divennero talmente corrosivi che in molti luoghi le specie smisero di accumularsi sui fondali e si dissolsero. Nei carotaggi dei sedimenti il periodo appare come uno strato di argilla rossa stretto fra due strati bianchi di carbonato di calcio. Molte specie di foraminiferi di acque profonde si estinsero.

Sorprendentemente, però, pare che la maggior parte degli organismi che vivono vicino alla superficie del mare sia passata quasi indenne attraverso il PETM. Forse la vita marina è più resistente di quanto non facciano pensare i risultati di siti come l'isolotto del Castello aragonese e One Tree Island. O forse il PETM, per quanto estremo, non fu drammatico come il fenomeno odierno. Il registro dei sedimenti non rivela quanto velocemente sia avvenuta l'immissione di carbonio del PETM. Ma gli studi indicano che ebbe luogo in migliaia di anni, abbastanza lentamente per consentire agli effetti chimici di diffondersi nei mari fino in profondità. Oggi la velocità delle emissioni è circa dieci volte maggiore. Nel prossimo secolo l'acidificazione sarà concentrata

vicino alla superficie, dove vivono la maggior parte dei calcificanti marini e tutti i coralli tropicali.

«Ciò che stiamo facendo è speciale sotto il profilo geologico», dice il climatologo Andy Ridgwell dell'Università di Bristol che ha ricostruito le condizioni del mare durante il PETM. Fino a che punto sarà speciale dipende da noi. Siamo ancora in tempo per evitare gli scenari di acidificazione peggiori. Ma l'unico modo per riuscirci, o per lo meno l'unico modo trovato finora, è ridurre drasticamente le emissioni di CO₂. Al momento coralli e pteropodi devono combattere contro un'economia globale costruita sui combustibili fossili a basso prezzo. Non è una lotta equa. □



SETTE MILIARDI

Sul numero di maggio ci occuperemo del Bangladesh.

Nel corso dell'anno gli approfondimenti sul tema della popolazione saranno realizzati con la collaborazione del Pulitzer Center on Crisis Reporting e di PBS NewsHour.

La rivista ringrazia la David and Lucile Packard Foundation, il Wallace Global Fund e la National Geographic Society per il generoso sostegno a questa serie di articoli.