

porte di Roma

L'area vulcanica dei Colli Albani è in uno stato di quiete da decine di migliaia di anni, ma non è inattiva. E ora sta dando segni di risveglio. I recenti allarmismi mediatici, però, sono privi di fondamento

di Fabrizio Marra

Fuori porta. Veduta del Lago Albano, detto anche di Castel Gandolfo, in una zona conosciuta come Castelli Romani, 20 chilometri a sud-est del centro di Roma.



Fabrizio Marra è primo ricercatore dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV) e il suo campo di studi è la geologia dell'area romana. Le sue attività di ricerca includono lo studio dei rapporti tra glaciazioni, variazioni del livello del mare e processi sedimentari, e lo studio della storia eruttiva dei distretti vulcanici che circondano la città di Roma e che hanno fornito i materiali (tufi e pozzolane) con cui Roma è stata costruita.



Numerosi studiosi hanno sostenuto che ci siano state eruzioni in tempi storici ai Colli Albani, il distretto vulcanico che sorge 20 chilometri a sud-est di Roma, anche basandosi sull'errata interpretazione dei miti romani riportati da Tito Livio, che narrano di «piogge di sassi» e «fuochi nella selva albana». Ultimi in ordine di tempo, all'inizio di questo secolo alcuni vulcanologi avevano creduto di aver trovato le prove delle catastrofiche esondazioni del Lago Albano che, secondo quanto riportato da Dionigi di Alicarnasso, sarebbero avvenute nel 398 a.C. e avrebbero indotto i Romani a costruire l'emissario del lago, in modo da impedire ulteriori tracimazioni delle acque.

È toccato a me, in qualità di coordinatore di un gruppo di ricerca finanziato nell'ambito dei progetti strategici promossi dal Dipartimento di Protezione Civile e dall'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV) nel triennio 2003-2006, deludere ancora una volta le aspettative dei più fantasiosi, e dimostrare che a oggi non esistono le prove di queste manifestazioni vulcaniche.

Tra i diversi elementi emersi nel corso del progetto, lo studio delle caratteristiche costruttive del tunnel emissario scavato dai Romani è stato decisivo. Quello studio ha infatti dimostrato che, a differenza di quanto affermato dai sostenitori delle esondazioni, il tunnel non avrebbe potuto essere realizzato con un livello del lago superiore a quello del tunnel stesso.

Lo scavo fu eseguito da due squadre di operai specializzati, i *fossores*, che lavoravano in direzioni opposte: l'una dal lago, l'altra dall'esterno della cinta craterica. Il tratto scavato dall'interno del cratere verso l'esterno parti alcuni metri al di sopra del livello delle acque del lago, con una maggiore inclinazione verso il basso. In corrispondenza del punto in cui lo scavo incontrava la prosecuzione ideale della galleria iniziata dall'esterno, l'inclinazione fu cambiata in maniera da renderla identica a quella della galleria opposta, e da proseguire fino all'incontro dei due tunnel. Questo artificio permetteva di scavare tutta la galleria a secco partendo dai due versanti opposti e di dimezzare i tempi di esecuzione. Completato il congiungimento, il livello di base nel tunnel più in-

clinato fu abbassato, fino a farne lambire la superficie del lago e far iniziare il deflusso dell'acqua. Nel 398 a.C., quindi, il livello del lago non poteva essere più alto della quota a cui si trova l'emissario costruito dai Romani: 70 metri al di sotto del punto più basso dell'orlo craterico da cui sarebbero dovute tracimare le acque! Troppo anche per un «prodigio» come quello descritto da Dionigi. A ben leggere le fonti, infatti, si sarebbe trovato che Tito Livio descrisse lo stesso fenomeno come «un insolito innalzamento delle acque del lago», mentre Cicerone riportò che «Il Lago Albano... superò il solito livello di stagno».

Nell'ambito del progetto strategico abbiamo anche accertato l'assenza di qualsiasi attività eruttiva dopo l'ultimo evento avvenuto 36.000 anni fa proprio nel cratere di Albano, eliminando anche i dubbi su possibili prodotti vulcanici più recenti di 5000 anni, ipotesi formulata a corollario delle presunte tracimazioni del lago. Questa età recente era risultata da una datazione effettuata con il metodo del radiocarbonio sui suoli sottostanti i depositi vulcanici: una procedura risultata inattendibile. Gli stessi depositi, datati con il metodo degli isotopi dell'argon hanno rivelato età comprese tra 69.000 e 36.000 anni fa, corrispondenti a quelle dei prodotti degli ultimi due cicli eruttivi di Albano.

Tuttavia, gli studi che ho continuato a condurre nell'ultimo decennio in collaborazione con un gran numero di esperti italiani e internazionali hanno reso giustizia a chi non si è mai rassegnato

IN BREVE

L'area vulcanica a una ventina di chilometri in direzione sud-est dal centro di Roma, conosciuta come Colli Albani, non è estinta.

Gli scienziati hanno ricostruito la storia delle eruzioni avvenute in

questo distretto vulcanico, insieme a quella delle deformazioni della crosta terrestre che hanno accompagnato nel tempo la sua evoluzione e hanno dimostrato che quest'area non solo è attiva, ma

addirittura dà segni di risveglio.

La quiete eruttiva dura ormai da 36.000 anni, un intervallo che si avvicina molto al tempo di quiescenza medio calcolato dai ricercatori.

Non è però possibile fare previsioni sui tempi in cui potrebbe avvenire una nuova eruzione. Di sicuro ci vorranno secoli, più probabilmente millenni prima, che il magma trovi una via di risalita fino alla superficie.



Occhio spaziale. L'area dei Colli Albani vista dallo spazio; in basso a destra si può notare il Lago Albano, a sinistra in alto una zona urbanizzata del comune di Roma e di comuni dell'area metropolitana.

a considerare i Colli Albani come un vulcano estinto: hanno dimostrato che l'area vulcanica alle porte di Roma, rimasta in stato di quiete da 36.000 anni a questa parte, comincia a dare segni di risveglio.

Questa è la conclusione di uno studio multidisciplinare, pubblicato lo scorso luglio dalla rivista «Geophysical Research Letters», che ho effettuato in collaborazione con altri ricercatori dell'INGV, del Dipartimento di scienze della Terra della «Sapienza» Università di Roma e dell'Istituto di geologia ambientale e geoingegneria del Consiglio nazionale delle ricerche, e con il laboratorio di geocronologia dell'Università del Wisconsin a Madison. In particolare, lo studio ha ricostruito la storia delle eruzioni avvenute nel distretto vulcanico dei Colli Albani, insieme a quella delle deformazioni della crosta terrestre che hanno accompagnato nel tempo la sua evoluzione.

Eruzioni cicliche

Gli elementi emersi sono molteplici, legati a indicatori geologici e geofisici diversi e indipendenti tra loro, ma tutti convergenti nell'indicare che l'area vulcanica è attiva e che a diversi chilometri di profondità si sta probabilmente accumulando nuovo magma. In quanto tempo questo magma potrebbe trovare una via di risalita e dare luogo a un'eruzione è difficile da stabilire con precisione; di certo i tempi fisici per cui ciò possa avvenire sono alla scala delle diverse migliaia di anni.

L'accertamento del lungo periodo di inattività durante gli ultimi 36.000 anni è proprio uno degli elementi che hanno permesso di riconoscere i segnali di un possibile risveglio dallo sta-

to di quiete, e ha in qualche modo aumentato le probabilità di una futura eruzione, anziché ridurle. Il nostro studio ha stabilito che in tutto il periodo di attività, indipendentemente dalla grandezza dei singoli eventi, le eruzioni ai Colli Albani sono avvenute con cicli molto regolari di circa 41.000 anni, separati da periodi di quiescenza quasi assoluta della durata di circa 38.000 anni. L'ultimo ciclo eruttivo, avvenuto al cratere di Albano, è iniziato proprio 41.000 fa ed è terminato 36.000 anni fa. Ciò significa che il tempo trascorso dall'ultima eruzione non è maggiore del tempo medio di ricorrenza: concetto a cui ci si riferisce per definire attivo un vulcano.

L'insieme degli studi effettuati dall'INGV negli ultimi 15 anni in collaborazione con i più importanti centri di geocronologia internazionali specializzati nella datazione di rocce (il Berkeley Geochronology Center e il Wiscar Laboratory dell'Università del Wisconsin a Madison), ha ricostruito la storia eruttiva dei Colli Albani dai lontani inizi della loro attività, oltre 600.000 anni fa, fino a oggi, e ha fornito le premesse per la ricerca pubblicata a luglio. Si è giunti a questo risultato grazie a un grande numero di datazioni (oltre 100) effettuate con il metodo del decadimento di isotopi dell'argon, elemento abbondante nelle rocce vulcaniche, su gran parte dei prodotti eruttivi affioranti nell'area romana, riconosciuti e campionati a uno a uno durante uno studio geologico durato quasi vent'anni.

Il quadro ottenuto è sintetizzato in un grafico in cui i singoli cicli eruttivi sono rappresentati come in un istogramma in funzione della grandezza (volumi eruttati) e del tempo (*si veda il box a p. 56*). Per il periodo precedente a 600.000 anni fa, per cui non sono stati trovati prodotti in affioramento, è stato possibile riconoscere l'esistenza di antichi cicli eruttivi grazie alla presenza, all'interno dei prodotti datati, di «xenocristalli»: si tratta di singoli cristalli più vecchi rispetto alla «popolazione» omogenea che corrisponde al magma dell'eruzione, inglobati all'interno del magma stesso. Que-

Storia di un'area attiva

L'illustrazione qui sotto riassume gli elementi fondamentali grazie a cui è stato stabilito che i Colli Albani sono un'area vulcanica attiva e che ha avuto inizio un nuovo ciclo di ricarica delle camere magmatiche.

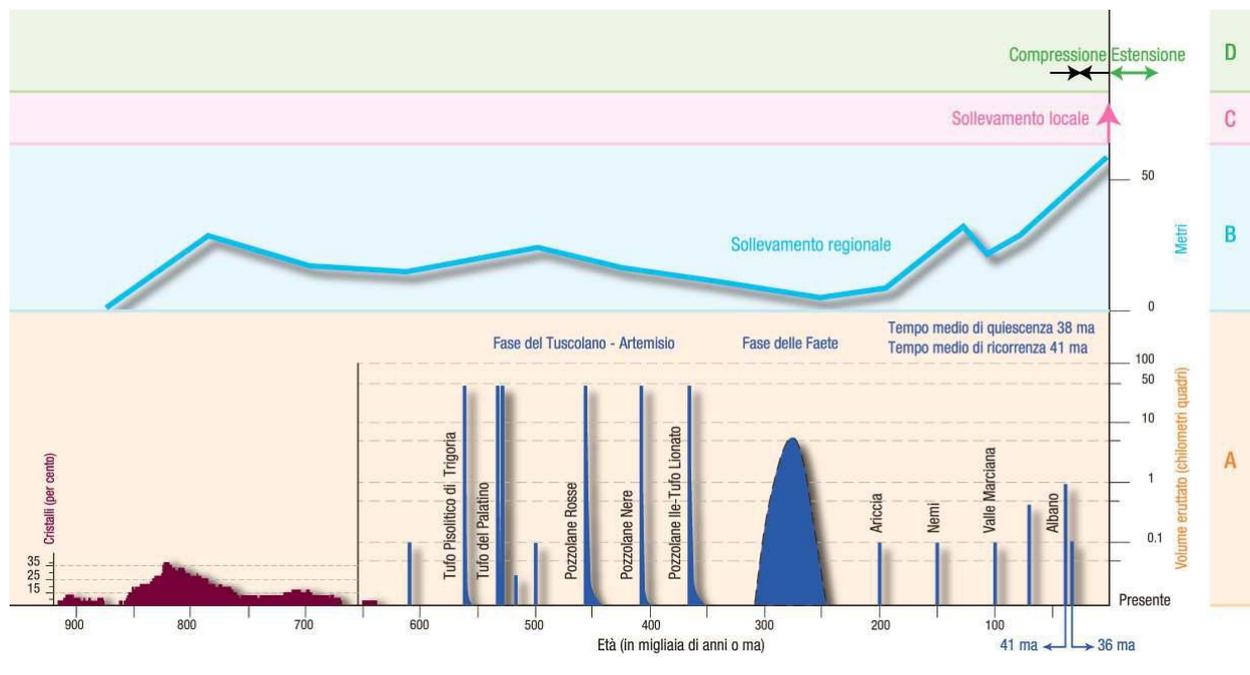
Lungo tutto il periodo di attività (A), indipendentemente dalla grandezza dei singoli eventi, le eruzioni sono avvenute con cicli molto regolari con un tempo di ricorrenza medio di 41.000 anni, calcolato dall'inizio di un ciclo a quello del successivo. A partire da 600.000 anni fa ci sono stati 13 cicli eruttivi della durata di poche migliaia di anni, rappresentati dalle asticelle verticali e dalla loro «coda»; le età sono derivate dalla datazione con isotopi di argon dei prodotti, espresse in migliaia di anni e con gli errori statistici associati indicati con \pm .

I cicli eruttivi sono separati da periodi di quiescenza quasi assoluta della durata media di 38.000 anni. L'ultimo ciclo eruttivo, avvenuto al cratere di Albano, è iniziato 41.000 anni fa ed è terminato 36.000 anni fa. Questo vuol di-

re che il tempo trascorso dall'inizio dell'ultimo ciclo eruttivo (41.000 anni) è dello stesso ordine dei tempi di ritorno. Inoltre, il tempo trascorso dalla fine dell'ultimo ciclo (36.000 anni) è simile al tempo medio di ritorno, ma addirittura maggiore di quello, 31.000 anni, relativo agli ultimi 100.000 anni: quindi il vulcano deve considerarsi attivo e «pronto» per una nuova eruzione.

Un sollevamento regionale (B) simile a quelli che hanno preceduto l'inizio dell'attività vulcanica ai Colli Albani 800.000 anni fa, e l'inizio della fase esplosiva del Tuscolano-Artemisio 600.000 anni fa, è iniziato 200.000 anni fa ed è culminato con la nuova fase di attività nel cratere di Albano.

Negli ultimi vent'anni si è osservato un sollevamento di 2 millimetri per anno (C), localizzato nell'area dove è avvenuta l'attività più recente negli ultimi 200.000 anni. Negli ultimi 2000 anni, lo stato di sforzo della crosta terrestre nell'area albana (D) è cambiato da compressivo a estensionale: una condizione che favorisce la risalita di magma lungo faglie e fratture.



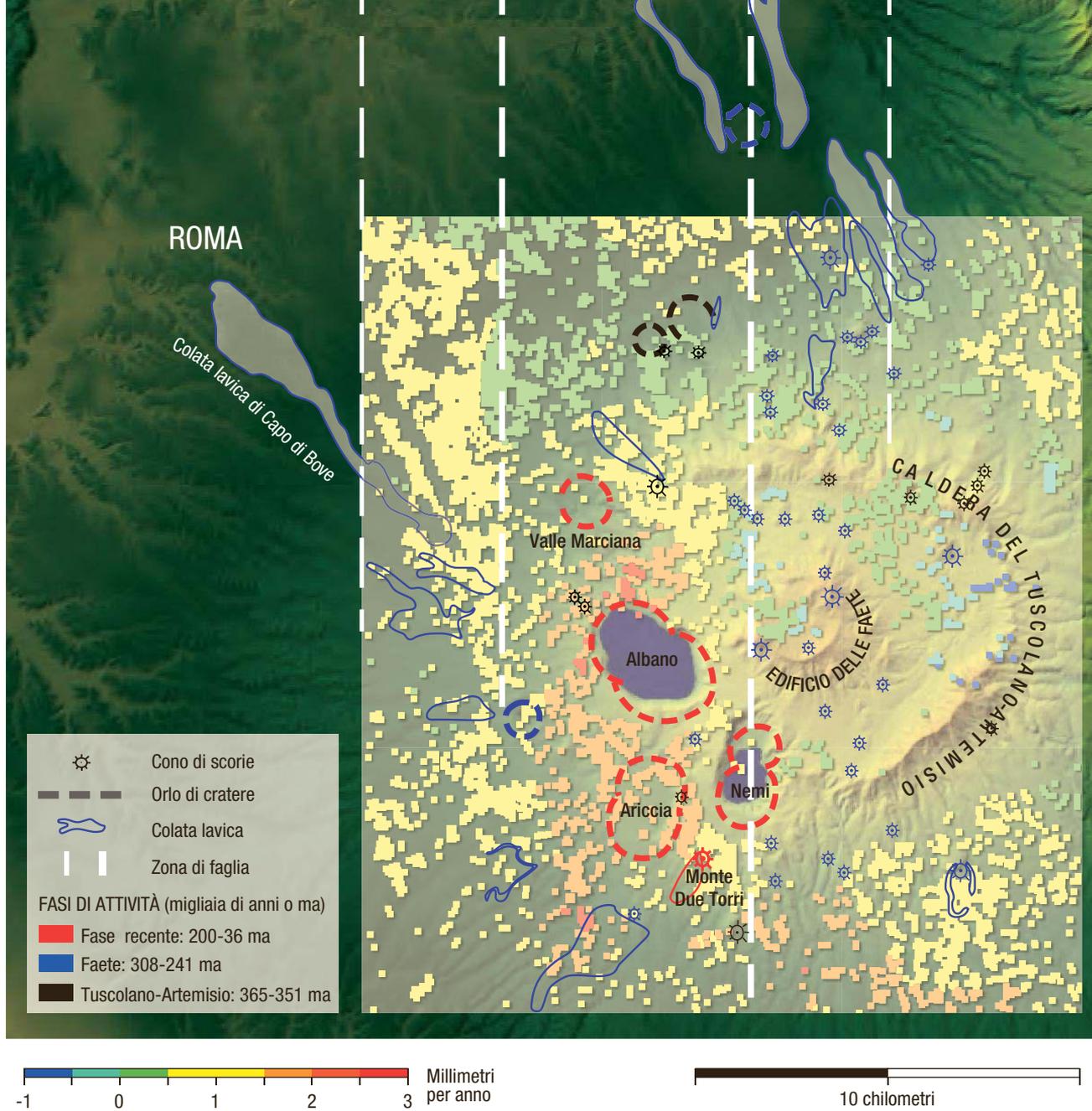
ste testimonianze di antichissime eruzioni arrivano fino a 900.000 anni fa, e in base al numero di cristalli di una determinata età è stato possibile stimare statisticamente una «frequenza eruttiva», con massimi ogni 100.000 anni.

A partire da circa 600.000 anni fa, però, l'attività si è fatta molto più intensa e frequente. Ha infatti avuto inizio la fase del Tuscolano-Artemisio, un'attività altamente esplosiva che ha determinato l'eruzione di enormi colate piroclastiche: le cosiddette «nubi ardenti» che, come nel caso della nota eruzione di Pompei, originano dal collasso della colonna eruttiva, che può raggiungere altezze di diversi chilometri, e scorrono a 360 gradi lungo i fianchi del vulcano, ricoprendo di magma diluito e incandescente le zone circostanti fino a grandi distanze.

Durante questa fase, l'area dove sarebbe sorta la città di Roma è stata completamente ricoperta più volte da depositi piroclastici spessi fino a diversi metri: questi depositi costituiscono i ben noti

tufi e pozzolane (a seconda che si siano consolidati a formare vere e proprie rocce, o che siano rimasti incoerenti, a formare una sorta di dense sabbie, estratti in cave a cielo aperto o in galleria («arenari»), e usati in edilizia fin dai tempi romani.

Durante la fase del Tuscolano-Artemisio, a partire da 561.000 anni fa, sono avvenuti cinque grandi cicli eruttivi separati da intervalli di quiescenza piuttosto regolari, dell'ordine di 30.000-45.000 anni. La peculiarità che caratterizza tutta la storia eruttiva dei Colli Albani è che questa regolarità del periodo di ricorrenza si è mantenuta nel tempo, a dispetto della progressiva diminuzione dell'intensità degli eventi. Dopo un lungo periodo di quiescenza durato 57.000 anni, alla fase del Tuscolano-Artemisio è succeduta la fase delle Faete, caratterizzata da un gran numero di eruzioni di tipo «stromboliano» (termine che prende il nome dall'attività eruttiva caratteristica del vulcano di Stromboli delle isole Eolie, moderatamente esplosiva con lancio di ceneri e lapilli). Queste eruzioni



Quadro di insieme. L'area in sollevamento rivelata dai dati di telerilevamento – punti rossi e arancioni, corrispondenti a tassi di 2-3 millimetri per anno – coincide esattamente con quella in cui sono localizzati i crateri dell'attività più recente.

hanno prodotto diverse colate di lava e hanno determinato la formazione di tanti piccoli edifici vulcanici (coni di scorie), sparsi in tutta l'area vulcanica. Si è trattato quindi di un'attività a carattere areale e continuata per 58.000 anni.

Dalle lave alle vie consolari

Tra le colate laviche della fase delle Faete c'è la grande colata di Capo di Bove, eruttata 278.000 anni fa da un cratere alle pendici nordoccidentali della caldera del Tuscolano-Artemisio, e che è avanzata in linea retta per oltre 10 chilometri in direzione di Roma, fermandosi proprio alle sue porte. Non solo in senso metaforico, perché è proprio dalla Porta di San Sebastiano, lungo la porzione sudorientale delle Mura Aureliane che cingono il centro storico di Roma, che parte l'Appia, l'antica via consolare che si sviluppa lungo la cresta della colata e la percorre tutta, per poi proseguire verso Napoli. E proprio con la lava leucitica (co-

si chiamata dai tipici cristalli bianchi globulari di leucite, che conferiscono a queste lave il nome caratteristico di «occhio di pesce») della colata di Capo di Bove sono stati realizzati i basoli con cui sono pavimentate la via Appia e tante altre vie consolari romane. Allo stesso modo, in tempi più recenti le leucititi albane, non basalti come erroneamente sono spesso chiamate le lave di queste colate, estratte in diverse cave hanno fornito il materiale lavico per realizzare i famosi sampietrini che ancora ricoprono molte strade di Roma.

Dopo una nuova fase di inattività della durata di quasi 40.000 anni che ha seguito l'ultima eruzione lavica della fase delle Faete, un nuovo tipo di attività a carattere esplosivo ha avuto inizio nel cratere di Ariccia, uno dei centri eruttivi del distretto vulcanico localizzato 2 chilometri a sud da quello di Albano, a partire da 200.000 anni fa. Si tratta della cosiddetta fase recente, o «magmatica», dal nome delle eruzioni caratterizzate dall'interazione tra

magma e acqua della falda, che produce prodotti particolari, chiamati «surge piroclastici».

Si tratta di ceneri e lapilli stratificati, che si depongono radialmente attorno al cratere a seguito delle ripetute esplosioni dovute al contatto tra magma incandescente e acqua. Queste esplosioni danno origine ad anelli di magma e vapore che si espandono come in un'esplosione nucleare, alternandosi a vere e proprie colate piroclastiche, che si formano ogni volta che si creano colonne eruttive sufficientemente alte. Nel complesso si tratta di un'attività più moderata rispetto a quella della fase Tuscolano-Artemisio, anche se ancora a carattere fortemente esplosivo e in grado di lanciare lapilli fino a grandissime distanze dal centro eruttivo. Come nel caso precedente, anche in questa fase recente i cicli eruttivi, emersi ogni volta in un cratere diverso, sono stati separati da periodi di quiescenza regolari, durati circa 50.000 anni. Ecco dunque che all'attività del cratere di Ariccia è seguita, 150.000 anni fa, quella del vicino cratere di Nemi, seguito a sua volta, circa 100.000 anni fa, da Valle Marciana, pochi chilometri a nord rispetto a quello di Albano.

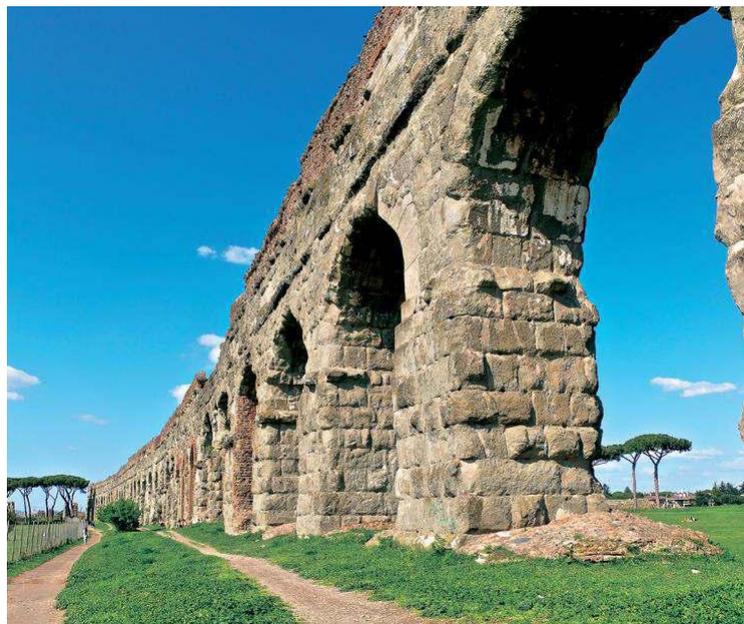
A partire da 69.000 anni fa, però, i tempi di ritorno si sono accorciati e hanno avuto una frequenza di 30.000 anni, proprio come durante le prime grandi eruzioni della fase del Tuscolano-Artemisio. Allo stesso tempo l'intensità delle eruzioni è tornata a crescere con i due cicli esplosivi avvenuti al cratere di Albano che hanno prodotto colate piroclastiche di notevoli dimensioni, come quella di 36.000 anni fa responsabile della deposizione del «peperino di Marino», o «peperino alban». Si tratta di una roccia durissima, impiegata dai Romani per realizzare sarcofagi e il basamento di templi, che deve il nome al caratteristico aspetto «sale e pepe» creato dalla presenza di abbondanti granuli neri e bianchi, costituiti rispettivamente da cristalli di pirosseno e leucite.

I prodotti dei due cicli eruttivi di Albano, avvenuti il primo 69.000 anni fa e il secondo tra 41.000 e 36.000 anni fa, hanno raggiunto distanze notevoli sia verso Roma sia soprattutto verso nord-est, dove quattro unità distali hanno scavalcato la cinta calderica del Tuscolano-Artemisio e oggi le possiamo trovare fin nei bacini intramontani dell'Appennino centrale, come il Fucino e la Piana di Sulmona, a oltre 100 chilometri di distanza. Questa decisa ripresa dell'intensità e dei volumi eruttati è testimoniata anche dal fatto che durante l'ultimo ciclo l'attività è diventata areale, con la formazione dell'edificio vulcanico di Monte Due Torri, che sorge un paio di chilometri a sud dei crateri di Ariccia e Nemi, e che 40.000 anni fa ha eruttato lava e lapilli, contemporaneamente alle violente eruzioni freato-magmatiche di Albano.

Una nuova fase

Queste caratteristiche, unite ad altre prove di cambiamenti geochimici del magma eruttato a partire da 69.000 anni fa, fanno ritenere che ad Albano sia cominciata una nuova fase vulcanica e non solo un nuovo ciclo eruttivo. L'ipotesi è ulteriormente suffragata dal fatto che l'attività di Albano ha inizio al culmine di un forte sollevamento regionale di tutta l'area laziale, messa in evidenza da studi paralleli di tettonica e paleogeografia. Si è infatti visto che negli ultimi 800.000 anni la costa prospiciente il distretto vulcanico albanese e quelli del Lazio settentrionale (Monti Sabatini, Vico e Vulsini) è stata soggetta a ripetute fasi di sollevamento che hanno coinciso con l'inizio delle fasi di attività vulcanica. In particolare, un forte sollevamento è avvenuto tra 900.000 e 800.000 anni fa, contemporaneamente all'inizio delle prime fasi di attività vulcanica, mentre un secondo sollevamento è avvenu-

Infrastrutture. L'acquedotto Claudio di Roma e la via Appia (a fronte), due infrastrutture costruite dai Romani con rocce piroclastiche (tufi) e laviche prodotte dall'area vulcanica dei Colli Albani.



to tra 600.000 e 500.000 anni fa, all'inizio della fase esplosiva del Tuscolano-Artemisio. L'ultima fase di sollevamento, infine, mostra due gradini: il primo coincide con l'inizio della fase vulcanica recente; il secondo, più marcato, con il forte incremento di attività, in termini di volumi e di frequenza, che caratterizza i due cicli eruttivi di Albano e Monte Due Torri. Questi sollevamenti regionali sono stati messi in relazione con le fasi di risalita dal mantello dei magmi che hanno formato i vulcani laziali, causando un «rigonfiamento» della crosta terrestre.

Più di recente, a questo sollevamento regionale si è sovrapposto un sollevamento locale in corrispondenza dell'area vulcanica albanese, come messo in luce dagli studi di telerilevamento effettuati dall'INGV. L'elemento fondamentale per la valutazione dello stato di attività incipiente è stato che il settore in cui le osservazioni di telemetria satellitare – ovvero realizzate registrando la distanza della superficie terrestre rispetto a un satellite a ogni suo passaggio sopra un determinato punto – hanno rivelato un continuo sollevamento, con tassi di 2-3 millimetri per anno negli ultimi vent'anni, corrisponde esattamente all'area in cui sono avvenute tutte le eruzioni più recenti (si veda l'illustrazione a p. 57). Il sollevamento è concentrato in un settore bordato da due zone di faglia che limitano una porzione di crosta terrestre allungata in direzione nord-sud, che include i crateri di Ariccia (formatosi 200.000 anni fa), Nemi (150.000 anni fa), Valle Marciana (100.000 anni fa), Albano (due cicli, 69.000 e 41.000-36.000 anni fa), e il cono vulcanico di Monte Due Torri (formatosi 40.000 anni fa).

Questo permette dunque di ipotizzare che al di sotto dell'area dove sono avvenute le eruzioni più recenti si stia accumulando nuovo magma che provoca un «rigonfiamento» della superficie.

La rivalutazione di studi di tomografia sismica condotti in passato, ovvero una «scansione» della crosta terrestre effettuata usando le registrazioni di terremoti lontani che permettono di farne una sorta di radiografia ed evidenziare l'eventuale presenza di



corpi ad alta temperatura, suggerisce che questa zona di accumulo possa essere tra 5 e 10 chilometri di profondità. Abbastanza profonda, quindi, da non destare preoccupazioni imminenti, ma comunque compatibile con la presenza di una camera di alimentazione magmatica.

Un'attesa di secoli

Un terzo importante elemento è emerso dagli studi che hanno investigato le cause dei lunghi periodi di inattività che hanno separato le diverse eruzioni ai Colli Albani. Si è infatti capito che la causa di questo comportamento peculiare, diverso dagli altri distretti vulcanici attivi nello stesso periodo di tempo nell'Italia centrale, sta nelle particolari condizioni geodinamiche dell'area di Roma, dove sono state attive forze crostali prevalentemente «compressive», rispetto a quelle «estensionali» delle aree circostanti. Questo stato di compressione orizzontale ha l'effetto di sigillare fratture e faglie che costituiscono le vie di risalita del magma durante le eruzioni. Quindi il magma rimane in profondità fino a quando il progressivo accumulo non genera pressioni che superano le forze compressive crostali. A questo punto si esercita una spinta verticale che riapre faglie e fratture: il campo di stress diventa cioè estensionale come nelle regioni circostanti, e un nuovo ciclo eruttivo ha inizio.

Studi di geologia strutturale effettuati alcuni anni fa da ricercatori dell'INGV hanno permesso di capire che l'inversione del campo di pressione, con il passaggio dallo stato di compressione allo stato estensionale attuale, è avvenuto non più di 2000 anni fa. Sono state infatti documentate deformazioni orizzontali di natura compressiva su un acquedotto romano del II secolo d.C., a testimonianza del fatto che fino ad allora in questa regione vigeva un campo di pressione nella crosta terrestre che impediva al magma di risalire verso la superficie.

Ma in qualche momento tra allora e oggi le cose sono cambiate. Al momento attuale gli indicatori geofisici indicano l'esisten-

za di un campo estensionale che tende ad allargare le fratture della crosta terrestre ai Colli Albani e nell'area romana, cioè compatibile con un sollevamento in atto e favorevole alla eventuale risalita di magma.

Non è possibile fare previsioni sui tempi in cui potrebbe avvenire una nuova eruzione, ma certamente ci vorranno secoli, e più probabilmente millenni, prima che il magma trovi una via di risalita fino alla superficie. Allo stato attuale dei fatti non ci sono prove di una camera magmatica vera e propria, e lo stesso sollevamento che si osserva nell'area dei crateri recenti potrebbe essere dovuto a fluidi e gas in pressione anziché all'accumulo di magma. Un nuovo studio di tomografia sismica e un modello al computer della sorgente della deformazione potranno chiarire se un corpo magmatico è davvero il responsabile del sollevamento in atto. A quel punto non resterebbe che mantenere l'area vulcanica sotto costante monitoraggio, in modo che i segnali di una futura eruzione posano essere eventualmente registrati per tempo dai nostri pronipoti. ■

PER APPROFONDIRE

L'attività recente del centro eruttivo di Albano tra scienza e mito: un'analisi critica del rapporto tra il vulcano laziale e la storia dell'area albana. D'Ambrosio E., Giaccio B., Lombardi L., Marra F., Rolfo M.F., Sposato A., atti del convegno *Lazio e Sabina*, sesto incontro di studi sul Lazio e la Sabina, pp. 125-136, Roma, 2010.

Assessing the volcanic hazard for Rome: 40Ar/39Ar and In-SAR constraints on the most recent eruptive activity and present-day uplift at Colli Albani Volcanic District. Marra F. e altri, in «Geophysical Research Letters», Vol. 43, n. 13, pp. 6898-6906, 16 luglio 2016. doi:10.1002/2016GL069518.

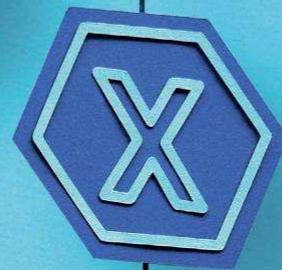
The Alban Hills and Monti Sabatini volcanic products used in ancient Roman masonry (Italy): an integrated stratigraphic, archaeological, environmental and geochemical approach. Marra F., Deocampo D., Jackson M.D., Ventura G., in «Earth-Science Reviews», Vol. 108, nn. 3-4, pp. 115-136, ottobre 2011. doi:10.1016/j.earscirev.2011.06.005.

Roma e la storia delle glaciazioni. Marra F., Florindo F., Boschi E., in «Le Scienze» n. 395, luglio 2001.



hello
bye

mommy
dadda



Why?

YES

NO



What?



Where's the...

Dog Ball



UN NUOVO MODO DI VEDERE IL LINGUAGGIO

LINGUISTICA

Gran parte della
rivoluzione in
linguistica operata
da Noam Chomsky –
compresa la spiegazione
di come impariamo le lingue
– è messa in discussione

di Paul Ibbotson e Michael Tomasello

L'idea che il nostro cervello sia intrinsecamente dotato di uno stampo mentale per l'apprendimento della grammatica – quella per cui è famoso Noam Chomsky, del Massachusetts Institute of Technology – ha dominato la linguistica per quasi mezzo secolo. Di recente però studiosi di scienze cognitive e linguisti hanno iniziato ad abbandonare in massa la teoria della «grammatica universale» di Chomsky, in seguito a nuove ricerche dedicate a molte lingue diverse e al modo in cui i bambini imparano a capire e parlare la lingua della propria comunità: ricerche che non confermano le asserzioni di Chomsky.

Questi studi suggeriscono una prospettiva radicalmente diversa, in cui l'apprendimento della prima lingua non si basa su un modulo grammaticale innato; i bambini usano invece vari tipi di pensiero che potrebbero non essere affatto specifici per il linguaggio, come la capacità di suddividere il mondo in categorie (persone o oggetti, per esempio) e quella di capire i rapporti fra le cose. Sono queste abilità, unite alla facoltà tutta umana di afferrare ciò che gli altri vogliono comunicare, a consentire che accada il linguaggio. I nuovi dati indicano che se i ricercatori intendono davvero

capire in che modo i bambini, e non solo loro, imparano le lingue, devono guardare oltre la teoria di Chomsky.

È una conclusione importante, perché lo studio del linguaggio ha un ruolo centrale in parecchie discipline, dalla poesia all'intelligenza artificiale fino alla stessa linguistica; e una teoria errata produce metodi che danno risultati discutibili. In più, il linguaggio è usato dagli esseri umani in modi che nessun animale può eguagliare: se si capisce che cos'è il linguaggio, si capisce un po' meglio la natura umana.

La prima versione della teoria di Chomsky, avanzata a metà del XX secolo, si inscriveva in due grandi tendenze emergenti della vita intellettuale dell'occidente. In primo luogo postulava che la lingua della vita quotidiana si comportasse come i linguaggi a base matematica delle discipline informatiche allora emergenti. Il suo lavoro cercava la struttura computazionale sottostante al linguaggio, e proponeva un insieme di procedure che potessero creare frasi «ben formate». L'idea rivoluzionaria era che un programma simile a quelli dei computer potesse produrre frasi che i veri esseri umani ritenevano corrette. Il programma avrebbe anche spiegato il modo in cui la gente genera le frasi che dice.

Mentre sviluppava le sue teorie computazionali, Chomsky proponeva contemporaneamente che fossero radicate nella biologia umana. Nella seconda metà del XX secolo stava diventando sempre più chiaro che la nostra particolare storia evolutiva è responsabile di molti aspetti della nostra psicologia, e dunque la teoria era in sintonia con i tempi anche in questo. La sua grammatica universale era proposta come una componente innata della mente umana, e prometteva di rivelare le basi biologiche delle oltre 6000 lingue dell'umanità. Le teorie più potenti, e più belle, della scienza sono quelle che mostrano l'unità profonda nascosta sotto le differenze superficiali, per cui la sua ebbe subito successo.

Ma i dati hanno reso superata la teoria di Chomsky, avviata da anni a morte lenta. Lenta davvero, perché, come ebbe a notare il fisico Max Plank, i vecchi studiosi tendono a restare aggrappati alle vecchie abitudini: «La scienza avanza, un funerale alla volta».

In principio

Le prime incarnazioni della grammatica universale, negli anni sessanta, partirono dalla struttura sottostante alle lingue riunite in un gruppo detto «Lega linguistica europea», quelle parlate dalla maggior parte degli esperti coinvolti. Il programma della grammatica universale operava dunque su pezzi di discorso, come frasi nominali («il bravo cane») e frasi verbali («ama i gatti»).

Presto però cominciarono ad arrivare confronti linguistici con varie lingue che non rientravano in questo schema ordinato. Alcuni linguaggi dei nativi australiani, come il Warlpiri, hanno elementi grammaticali sparsi per tutta la proposizione – frasi nominali e verbali che non sono «ben confezionate» e dunque non si riusciva a inserire nella grammatica universale di Chomsky – e anche proposizioni del tutto prive di frasi verbali.

Questi cosiddetti *outlier* (casi anomali) linguistici erano difficili da riconciliare con la grammatica universale costruita a partire da esempi tratti dalle lingue europee. Altre eccezioni alla teoria di Chomsky sono arrivate dallo studio delle lingue dette «ergative», come il basco e l'urdu, in cui l'uso del soggetto della frase è assai diverso da quello di molte lingue europee, il che mette di nuovo in discussione l'idea di una grammatica universale.

Accanto al lavoro teorico sulla linguistica, negli anni ottanta queste osservazioni condussero Chomsky e i suoi seguaci a un'ampia revisione della nozione di grammatica universale. La nuova versione, detta teoria dei principi e dei parametri, metteva

Paul Ibbotson è docente di sviluppo del linguaggio alla Open University, con sede nel Regno Unito.



Michael Tomasello è condirettore del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, in Germania.



al posto dell'unica grammatica universale valida per tutte le lingue del mondo un insieme di principi «universali» che governano la struttura del linguaggio, manifestandosi poi in modi diversi nelle varie lingue. Un'analogia può essere questa: tutti nasciamo con la capacità di percepire lo stesso insieme base di sapori, che poi interagendo con la cultura, la storia e la geografia produce l'attuale varietà della gastronomia mondiale. Principi e parametri erano un po' l'analogo linguistico dei sapori di base, e interagivano con la cultura a dare l'attuale varietà delle lingue; e allo stesso tempo definivano l'insieme delle possibili lingue umane.

Lingue come lo spagnolo (e l'italiano) formano frasi pienamente corrette senza bisogno di un soggetto distinto: *Tengo zapatos*, («ho scarpe»), per esempio in cui la persona che ha le scarpe, «io», è indicata non da una distinta parola ma dalla «o» alla fine del verbo. Chomsky sosteneva che una volta che un bambino abbia incontrato un certo numero di frasi di questo tipo, il suo cervello imposta su «acceso» un certo interruttore, che a quel punto indica che il soggetto si può omettere. Da allora saprà che può omettere il soggetto in tutte le sue frasi.

Il parametro «omissione del soggetto» si riteneva determinasse anche altri caratteri strutturali della lingua. Questa nozione dei principi universali si adatta ragionevolmente bene a molte lingue europee. Ma i dati sulle lingue non europee sono risultati poco in linea anche con questa versione rivista della teoria di Chomsky. Anzi, alla fine le ricerche che hanno cercato di identificare i parametri, come quello dell'omissione del soggetto, hanno condotto all'abbandono della seconda incarnazione della grammatica universale. Più di recente Chomsky e coautori hanno descritto una grammatica universale ridotta a un solo elemento costitutivo, detto ricorsività computazionale (anche se molti fautori della teoria continuano a preferire l'assunto che vi siano numerosi principi e parametri universali). Il nuovo aggiustamento consente di combinare un numero limitato di parole e regole per dar luogo a un numero illimitato di proposizioni.

Le possibilità sono illimitate per il modo in cui il procedimento ricorsivo inserisce una frase *all'interno* di un'altra frase dello stesso tipo. In italiano, per esempio, si possono inserire nuove frasi a destra («Giovanni spera che Maria sappia che Pietro mente») o in posizione centrale («Il ragazzo vide il gatto che inseguiva il cane, che abbaiò»). In teoria è possibile andare avanti a inzeppare que-

IN BREVE

Noam Chomsky giganteggia da decenni nel campo della linguistica, grazie soprattutto alla sua teoria della grammatica universale.

La sua idea che lo stampo mentale della grammatica sia intrinseco alla struttura del

cervello è stata messa in discussione perché non sostenuta dagli studi sul campo delle varie lingue.

La teoria ha conosciuto diverse versioni successive, per rendere conto di eccezioni che ne contraddicono postulati originari, e ha rinunciato a

molte delle sue ambizioni iniziali.

Le alternative all'idea della grammatica universale postulano che l'apprendimento infantile delle lingue si valga delle facoltà cognitive generali e della capacità di leggere le intenzioni altrui.

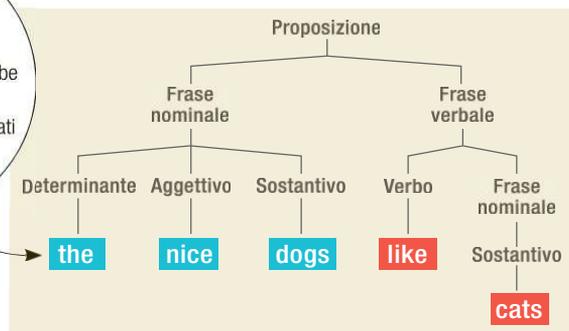
Noam-enclatura

Oltre 50 anni fa Noam Chomsky rivoluzionò la linguistica. L'idea era semplice: sotto il linguaggio c'è un insieme di regole innate in ogni bambino, che genera frasi corrette fin dalla più tenera età. Chomsky si impegnò a definire quali siano e come funzionino queste regole. Senza una grammatica universale, pensava, sarebbe stato impossibile per i bambini imparare qualsiasi lingua. Negli anni successivi, la teoria di Chomsky è stata gradualmente posta in discussione da nuove teorie, secondo cui il linguaggio è acquisito man mano che i bambini individuano gli andamenti ricorrenti della lingua che sentono intorno a sé.

La grammatica universale di Chomsky

La grammatica universale di Chomsky equipaggiava il bambino con regole che operano sulle frasi («*The nice dogs*») e regole per trasformare quelle frasi («*Cats are liked by the nice dogs*»). Negli ultimi anni la teoria si è evoluta, ma conserva l'idea centrale che i bambini nascono con la capacità di far sì che le parole si conformino a un modello grammaticale.

La macchina cerebrale innata di strutturazione delle frasi, secondo Chomsky, inserirebbe le parole negli spazi grammaticalmente appropriati – come «*nice*» (agg.) o «*dogs*» (sost.).



ste frasi all'infinito. In pratica però quando le frasi si impilano l'una sull'altra come in questi esempi la comprensione salta. Chomsky però pensava che questo non fosse legato al linguaggio in sé, ma fosse un limite della nostra memoria. Quel che più conta però è che Chomsky ha proposto che questa capacità ricorsiva sia ciò che separa il linguaggio da altri tipi di pensiero, come categorizzazione e percezione delle relazioni tra le cose. Di recente ha poi proposto anche che questa capacità sia insorta per una singola mutazione genica verificatasi tra 100.000 e 50.000 anni fa. Ma quando i linguisti sono andati a guardare le variazioni tra le lingue del mondo hanno trovato controesempi dell'affermazione che questo tipo di ricorsività sia una proprietà essenziale del linguaggio. Certe lingue – il Pirahã della regione amazzonica, per esempio – sembrano cavarsela senza ricorsività chomskiana.

Come tutte le teorie della linguistica, la grammatica universale di Chomsky è un esercizio di equilibrio. Deve essere abbastanza semplice da essere utile, cioè prevedere l'esistenza di qualcosa che non è già incluso nella teoria stessa, altrimenti sarebbe solo un elenco di fatti. Però non può neppure essere tanto semplice da non riuscire a chiarire cose che invece dovrebbe spiegare. Prendiamo l'idea di Chomsky che le frasi di tutte le lingue del mondo abbiano un «soggetto». Il problema è che il concetto di soggetto è più una «somiglianza di famiglia» fra un certo gruppo di elementi che una categoria chiara. C'è una trentina di caratteri grammaticali, all'incirca, che definisce le caratteristiche di un soggetto. Ogni particolare lingua avrà solo un sottoinsieme di questi caratteri, che spesso non si sovrappone a quello di altre lingue.

Chomsky ha tentato di definire gli elementi essenziali della «cassetta degli attrezzi» del linguaggio – il tipo di macchina mentale che consente la produzione del linguaggio umano. Ai controesempi riportati, alcuni dei suoi sostenitori hanno replicato che il fatto che una certa lingua manchi di un certo attrezzo – della ricorsività, per esempio – non significa che questo non faccia parte della cassetta. Allo stesso modo, il mero fatto che una certa cultura manchi del sale come condimento non significa che il sapore salato non faccia parte del repertorio base. Solo che, purtroppo, questo modo di ragionare rende le proposte di Chomsky difficili da mettere alla prova nella pratica, fin quasi, talora, a non essere più passibili di falsificazione.

Campane a morto

Un difetto decisivo delle teorie di Chomsky è che, applicate all'apprendimento infantile del linguaggio, sostengono che i bambini siano equipaggiati fin dall'inizio della capacità di formare proposizioni mediante regole grammaticali astratte. Molte ricerche però mostrano ora che l'acquisizione del linguaggio non avviene così. I bambini piccoli cominciano invece imparando semplici modelli grammaticali e poi, gradualmente, intuiscono un po' alla volta le regole sottostanti.

All'inizio i bambini parlano usando solo costruzioni grammaticali concrete e semplici basate su specifici schemi verbali: «Dov'è X?»; «Voglio X»; «Questo è X»; «Io lo X-o»; «Mamma lo X-a»; «Facciamo X»; «Tirami X»; «X non c'è più»; «Siediti su X»; «Apri X»; «X qui»; «X è rotto». Poi, i bambini combinano queste prime forme in schemi più complessi, come «Dov'è l'X che mamma ha X-ato?».

Molti dei proponenti della grammatica universale accettano questo modo di descrivere lo sviluppo iniziale della grammatica

Apprendimento in base all'uso

Nuovi approcci suggeriscono che la capacità innata dei bambini di intuire il pensiero altrui, unita ai meccanismi di apprendimento del cervello in sviluppo, rendano meno necessaria una grammatica universale. Ascoltando, il bambino impara schemi d'uso applicabili a frasi diverse. La parola «*food*» (cibo) può sostituire «*ball*» (palla) dopo la frase: «*The dog wants*» (il cane vuole). Gli studi mostrano che questa teoria della costruzione della conoscenza del significato delle parole e della grammatica approssima bene il modo in cui imparano a parlare i bambini.



nei bambini. Ma poi assumono che quando emergono le costruzioni nuove e più complesse il nuovo stadio rifletta la maturazione di una capacità cognitiva che si vale della grammatica universale e dei relativi principi e categorie grammaticali astratti.

Gran parte degli approcci della grammatica universale, per esempio, postula che un bambino formuli una domanda seguendo una serie di regole basate su categorie grammaticali, come, in inglese «*What* (oggetto) *did* (ausiliare) *you* (soggetto) *lose* (verbo)?» [Cosa hai perduto?]. Risposta: «*I* (soggetto) *lost* (verbo) *something* (oggetto)» [Ho perso una cosa]. Se il postulato è valido, allora in una certa fase dello sviluppo i bambini dovrebbero fare sempre gli stessi errori in tutte le domande analoghe introdotte dalle cosiddette «parole [che cominciano per] *wh*» [cioè *what*, *who*, *where*, *when*, *why*, cosa, chi, dove, quando, perché]. Ma gli errori dei bambini non confermano questa predizione. Nei primi stadi di sviluppo, molti di loro fanno errori come «*Why he can't come?*» (Perché lui non può venire?) [corretto è «*Why can't he come?*»], ma allo stesso tempo formulano correttamente altre domande con «parole *wh*» e verbi ausiliari diversi, come «*What does he want?*» (Cosa vuole?).

Studi sperimentali confermano che i bambini producono più spesso frasi interrogative corrette quando usano certi verbi ausiliari e certe parole *wh*, pur continuando a fare errori in frasi interrogative che contengono altre combinazioni, spesso meno frequenti, di parole *wh* e verbi ausiliari, come «*Why he can't come?*» La principale risposta dei «grammatici universali» a queste osservazioni è che nei bambini la competenza grammaticale c'è ma altri fattori possono ostacolarne le prestazioni e quindi da un lato celare la vera natura della grammatica di cui sono in possesso e dall'altro rendere difficoltoso lo studio della grammatica «pura» postulata dalla linguistica chomskiana. Fra i fattori che mascherano la grammatica sottostante vi è l'imaturità della memoria, dell'attenzione e delle abilità sociali.

Però questa interpretazione del comportamento infantile non è l'unica possibile. Anziché mascherare la realtà vera della grammatica, memoria, attenzione e abilità sociali potrebbero essere gli elementi essenziali e primari della costruzione della lingua. Per esempio, un recente studio ha mostrato che la capacità dei bambini di produrre correttamente il passato remoto dei verbi irregolari – come in «*Every day I fly, yesterday I flew*» (e non «*flied*») – era associata alla capacità di inibire una tendenza a dare certe risposte «spontanee» che non ha nulla a che fare con la grammatica (per esempio, dire la parola «Luna» di fronte a un'immagine del Sole). Memoria, analogie mentali, attenzione e ragionamento sulle situazioni sociali, insomma, invece di interferire con l'espressione da parte dei bambini della pura grammatica della linguistica chomskiana, potrebbero proprio essere le facoltà mentali che spiegano come mai il linguaggio si sviluppa così come fa.

Anche in questo caso, come negli altri citati in precedenza, l'idea che la prestazione mascheri la competenza è in gran parte impossibile da falsificare. Ma, anche al di là di queste difficoltà poste dai dati empirici all'ipotesi della grammatica universale, gli psicolinguisti che lavorano con i bambini fanno fatica a immaginare teoricamente un processo in cui i bambini partono tutti con le stesse regole algebrico-grammaticali buone per tutte le lingue e poi procedono a dedurre in che modo una certa lingua si ricollega allo schema generale. I linguisti parlano di «problema del collegamento», e uno dei rari tentativi sistematici di risolverlo nel contesto della teoria della grammatica universale è stato compiuto

dallo psicologo Steven Pinker per i soggetti delle frasi. La versione di Pinker, però, è risultata in disaccordo con i dati degli studi sullo sviluppo infantile e non applicabile a categorie grammaticali diverse dal soggetto. Così il problema del collegamento – che dovrebbe essere quello centrale nell'applicazione della teoria della grammatica universale all'apprendimento del linguaggio – resta irrisolto, e anzi non è mai neppure stato affrontato seriamente.

Una prospettiva alternativa

Tutto questo conduce inevitabilmente a pensare che l'idea di grammatica universale sia sbagliata. Gli scienziati, naturalmente, non rinunciamo a una teoria favorita, anche dinanzi a prove contrarie, finché non compare una ragionevole alternativa. E un'alternativa, detta linguistica *usage-based*, o «orientata all'uso», oggi c'è.

La teoria, di cui esistono varie forme, sostiene che la struttura grammaticale non è innata. La grammatica è invece un prodotto della storia (i processi che decidono come le lingue vengono trasmesse da una generazione alla successiva) e della psicologia umana (l'insieme di facoltà cognitive e sociali che, comunque, consente alle generazioni di imparare una lingua). Soprattutto, questa teoria propone che il linguaggio recluti sistemi cerebrali

Secondo un nuovo approccio i bambini non nascono con uno strumento universale dedicato all'apprendimento della grammatica, ma ereditano l'equivalente mentale di un coltellino multifunzione

che potrebbero anche non essersi evoluti specificamente per questo scopo, e dunque si differenzia dall'idea di Chomsky di una mutazione a singolo gene per la ricorsività.

Nel nuovo approccio orientato all'uso (che accoglie idee provenienti dalla linguistica funzionale, da quella cognitiva, e dalla grammatica costruttivista), i bambini non nascono con uno strumento universale espressamente dedicato all'apprendimento della grammatica: ereditano invece l'equivalente mentale del coltellino svizzero multifunzione: un insieme di strumenti di uso generale – come categorizzare, leggere le intenzioni comunicative e porre analogie – mediante il quale costruiscono categorie e regole grammaticali a partire dalla lingua che sentono intorno a sé.

Per esempio un bambino di lingua italiana capisce «Il gatto mangiò il coniglio», e per analogia capisce anche «La capra pizzicò la fata». Generalizza ascoltando un esempio dopo l'altro. A forza di esempi così potrebbe anche riuscire a indovinare chi fece cosa a chi nella frase «La galza mibbò il tommulo», benché contenga parole senza senso. La grammatica deve essere qualcosa che il bambino discerne al di là delle parole in sé, visto che a livello di parole fra queste frasi c'è ben poco di comune.

Il significato nella lingua emerge attraverso un'interazione tra i potenziali significati delle parole in sé (per esempio le varie cose che può significare la parola «mangiò») e il senso del costruito grammaticale in cui sono inserite. Per esempio, anche se «starnutire» nel dizionario è un verbo intransitivo che prevede un unico attore (colui che starnutisce), forzandolo in una costruzione transitiva – con due complementi, uno diretto e uno indiretto – si potrebbe ottenere «la bambina starnutì il fazzoletto verso di lui», in cui «starnutire» viene costruito come un'azione di trasferimento

(fece arrivare il fazzoletto fino a lui). La frase mostra che la struttura grammaticale può dare al significato di un enunciato un contributo altrettanto forte di quello delle parole. Si confronti quest'idea con quella di Chomsky, che sosteneva che certi livelli della grammatica sono interamente privi di significati.

L'idea del coltellino multifunzione spiega inoltre l'apprendimento del linguaggio senza bisogno di invocare due fenomeni di cui ha bisogno la teoria della grammatica universale: da una parte una serie di regole algebriche con cui combinare i simboli – un nucleo di «grammatica lessicale» intrinseco al cervello – dall'altra un dizionario – una lista di eccezioni che comprende tutte le altre particolarità idiomatiche e le idiosincrasie delle lingue naturali, che deve essere appresa. Il problema di questo approccio duale è che certe costruzioni grammaticali sono basate su regole, ma solo in parte. Per esempio: «Lui, candidato alle presidenziali?», in cui il soggetto mantiene la forma di un complemento oggetto, ma le parole della frase non stanno nell'ordine giusto. Un italiano madrelingua può generare un'infinita varietà di frasi mediante lo stesso approccio: «Lei, in chiesa?», o «Quello lì, un chirurgo?». Dunque si pone la questione se questi enunciati facciano parte del nucleo grammaticale o della lista delle eccezioni. Se non fanno parte del primo, allora devono essere appresi a uno a uno e separatamente. Ma se i bambini possono imparare così questi enunciati, un po' regola e un po' eccezione, perché non possono imparare il resto della lingua allo stesso modo? In altre parole, che bisogno hanno di una grammatica universale?

Nei fatti, l'idea della grammatica universale è contraria alle prove che rivelano che i bambini imparano la lingua attraverso le interazioni sociali e si esercitano nelle costruzioni della frase elaborate dalle comunità linguistiche nel corso del tempo. In qualche caso abbiamo buoni dati su come esattamente si verifica questo apprendimento. Per esempio, le clausole relative sono piuttosto frequenti nelle lingue del mondo, e spesso derivano dall'unione di frasi separate. Così potremmo dire: «Mio fratello... Abita a Milano... Ama suonare il pianoforte». In seguito a vari meccanismi di elaborazione cognitiva, chiamati per esempio schematizzazione, abituaione, decontestualizzazione e automatizzazione, queste frasi si evolvono nei tempi lunghi in una costruzione più complessa: «Mio fratello, che abita a Milano, ama suonare il pianoforte». O, per esempio, una frase come «Ho tirato la porta, ed essa si è chiusa» potrebbe gradualmente diventare «Tirando la porta l'ho chiusa».

Per di più, a quanto pare noi siamo dotati di una facoltà specie-specifica di decodificare le intenzioni comunicative altrui: ciò che chi parla intende dire. In inglese, per esempio si può dire «*She gave/bequeathed/sent/loaned/sold the library some books*» (ella diede/lasciò in eredità/inviò/prestò/vendette alla biblioteca dei libri) ma non «*She donated the library some books*» [corretto è: «*She donated some books to the library*» (Ella donò dei libri alla biblioteca)]. Recenti ricerche hanno mostrato che vi sono svariati meccanismi che conducono i bambini a limitare questo genere di analogie inappropriate. Per esempio, i bambini non traggono analogie prive di senso. Quindi non avrebbero mai la tentazione di dire «*She ate the library some books*» (ella mangiò dei libri alla biblioteca). Inoltre se i bambini sentono dire piuttosto spesso «*She donated some books to the library*», questo uso previene la tentazione di dire «*She donated the library some books*».

Questi meccanismi limitativi riducono molto l'insieme delle possibili analogie che un bambino può trarre, riportandole a quelle che si allineano alle intenzioni comunicative della persona che sta cercando di capire. È lo stesso tipo di lettura delle intenzioni

che facciamo tutti quando interpretiamo «Puoi aprirmi quella porta?» come una richiesta d'aiuto e non di informazioni sulla nostra capacità di manovrare la porta.

Anche Chomsky ammette questo genere di «pragmatica» – il modo in cui la lingua è usata nel suo contesto – nella sua teoria generale del funzionamento del linguaggio. Data l'ambiguità delle lingue, non poteva non farlo. Ma sembra trattare il ruolo della pragmatica come periferico al compito essenziale della grammatica. In un certo senso, il contributo degli approcci orientati all'uso ha spostato il dibattito nella direzione opposta: fin dove può arrivare la pragmatica, nella lingua, prima che i locutori debbano rivolgersi alle regole della sintassi?

Le teorie orientate all'uso sono ben lontane dall'offrire un quadro completo di come funziona il linguaggio. Le generalizzazioni sensate che i bambini traggono dall'udire frasi ed enunciati non sono, per esempio, tutta la storia di come fanno i bambini a costruire le frasi: certe generalizzazioni sono sensate ma grammaticalmente scorrette («Egli sparì il coniglio», per esempio). Fra tutte le generalizzazioni sensate ma scorrette che potrebbero fare, quelle che i bambini effettivamente fanno sembrano molto poche. Il motivo, pare, è che sono sensibili al fatto che la comunità linguistica cui appartengono si conforma a una norma: per comunicare certe idee «si fa così». È un delicato equilibrio, comunque, visto che nel linguaggio infantile ci sono sia la creatività («ho prenduto la palla») sia l'adesione alla norma grammaticale («ho preso la palla»). I fautori delle teorie orientate all'uso hanno ancora molto lavoro da fare per spiegare come interagiscano queste forze nell'infanzia e chiarire esattamente il cammino che segue lo sviluppo del linguaggio.

Uno sguardo al futuro

Quando fu proposto, il paradigma chomskiano rappresentò una radicale rottura con gli approcci più informali dell'epoca e indirizzò l'attenzione verso i complessi aspetti cognitivi coinvolti nell'acquisire una competenza nel parlare e capire una lingua. Mentre ci aprivano gli occhi su cose nuove, però, le teorie come quella di Chomsky ci hanno reso ciechi ad altri aspetti del linguaggio. Molti ricercatori sono sempre più insoddisfatti di un approccio totalmente formale alla lingua come quello della grammatica universale – per non dire dell'inadeguatezza empirica della teoria. In più, molti dei ricercatori oggi diffidano dalle analisi teoriche astratte adesso che ci sono vaste raccolte di dati linguistici da analizzare per mettere alla prova le teorie.

Il mutamento di paradigma è di certo tutt'altro che completo, ma a molti pare che nel campo della linguistica sia arrivata una ventata d'aria fresca. Ci sono nuove, entusiasmanti scoperte da fare studiando i dettagli delle diverse lingue del mondo, le loro somiglianze e differenze, il modo in cui cambiano nella storia e quello in cui i bambini arrivano alla competenze in una o più di esse. La teoria della grammatica universale sembra arrivata al capolinea. Al suo posto, le ricerche della linguistica orientata all'uso possono essere una buona strada per avanzare nello studio empirico dell'apprendimento, dell'uso e dello sviluppo storico delle 6000 lingue esistenti al mondo. ■

PER APPROFONDIRE

Constructing a Language: A Usage-Based Theory of Language Acquisition. Tomasello M., Harvard University Press, 2003.

Constructions at Work: The Nature of Generalization in Language. Goldberg A., Oxford University Press, 2006.

Language, Usage and Cognition. Bybee J., Cambridge University Press, 2010.



An underwater photograph of several orcas (killer whales) swimming in clear blue water. The orcas are black on top and white on the bottom, with characteristic white patches. The water is bright blue, and the surface is visible at the top of the frame with some white foam from waves.

EVOLUZIONE

Speciazione in corso

Le orche si stanno separando
in specie diverse, forse perché
le differenze culturali
tra le popolazioni le
stanno allontanando

di Rüdiger Riesch



Rüdiger Riesch è docente di biologia evolutiva all'Università di Londra. La sua ricerca è dedicata ai meccanismi che creano, mantengono e limitano la biodiversità, con particolare attenzione alla speciazione che ha luogo quando una popolazione entra in una nuova nicchia ecologica.

Al largo delle spiagge di ciottoli di Bere Point, a Malcolm Island (nella provincia canadese della British Columbia), la Naiad Explorer ondeggia dolcemente sulle acque dello stretto Queen Charlotte. Il sole ha scacciato gran parte della nebbia mattutina, tranne un piccolo strato che ancora aleggia sulle cime dei cedri e degli abeti dell'isola. Dalla barca osservo tre orche (*Orcinus orca*), tre fratelli – Cracroft, Plumper e Kaikash – che si strofinano placide sulle pietre lisce nelle acque basse a prua. È già un'ora che si dedicano a questa attività. Presto se ne andranno, a caccia di salmoni o alla ricerca di una compagna.

Perché queste creature si dedichino a questo sfregamento o «massaggio in spiaggia», non lo sappiamo. Secondo molti esperti aiuta a eliminare la pelle morta ed eventuali parassiti esterni, ma potrebbe anche essere per il solo piacere. Qualunque sia la motivazione, il massaggio – per quanto osservato raramente negli altri cetacei (il gruppo che include balene, delfini e focene: nonostante il nome, le orche in realtà sono grandi delfini) – qui è molto comune. È parte delle caratteristiche distintive della cultura delle orche settentrionali, una comunità che nei mesi estivi occupa le acque a nord dell'isola di Vancouver.

Le orche settentrionali non sono le uniche con comportamenti peculiari. Sin dagli anni settanta è stato osservato che ogni popolazione di orche nel mondo ha il proprio modo di fare le cose, dalla caccia alla comunicazione. Anche le caratteristiche fisiche, tra cui colori, dimensioni e forma delle pinne dorsali, variano tra i diversi gruppi, benché in maniera meno evidente. Queste differenze culturali e fisiche, insieme all'incredibile diversità genetica documentata negli ultimi 15 anni circa, secondo me e molti altri colleghi indicherebbero che le attuali popolazioni di orche, invece di essere un'unica specie come si è a lungo sostenuto, siano in corso di separazione lungo le proprie linee evolutive. Cioè, sembra

che si stiano dividendo in nuove specie che, se il processo dovesse continuare, alla fine saranno incapaci di produrre prole vitale o fertile se incrociate.

In questo processo, è affascinante il ruolo di spinta alla diversificazione delle differenze culturali: le orche sembrano accoppiarsi con individui che condividono gli stessi comportamenti escludendo gli altri, e questa preferenza produce le condizioni necessarie alla speciazione. Se davvero fosse così, allora le orche sarebbero un esempio perfetto di un meccanismo di speciazione normalmente poco considerato nel classico modello di evoluzione di nuove specie. Potrebbero inoltre fornire nuove idee su come un altro gruppo di esseri viventi – *Homo sapiens* e i suoi antenati estinti – si sono diversificati in una serie di specie che nel passato hanno condiviso il pianeta.

Una diversità di orche

Per oltre un secolo i biologi hanno guardato alla geografia per spiegare come avviene la speciazione. Nello scenario adottato più comunemente – la cosiddetta speciazione allopatrica – due popolazioni di una specie ancestrale si separano fisicamente, spesso a causa di una barriera geografica di qualche tipo (una catena mon-

IN BREVE

I biologi evolutivisti hanno spesso usato la geografia per spiegare l'emergere di nuove specie. **Nella spiegazione classica**, due popolazioni di una stessa specie ancestrale vengono separate

da una barriera geografica che ne impedisce l'incrocio, consentendo a ogni gruppo di seguire la propria traiettoria evolutiva. **Le popolazioni di orche, però**, sembrano aver intrapreso cammini

evolutivi separati, benché non vi siano barriere geografiche a dividerle. **Sempre più indizi** suggeriscono che differenze culturali collegate alla dieta stanno progressivamente

separando queste popolazioni. **Le scoperte sulle orche** sollevano interrogativi sulla diversificazione in un altro gruppo di organismi capaci di produrre cultura: i membri della famiglia umana.

tuosa, un deserto, un fiume) che ne impedisce l'incrocio. Se questa separazione dura abbastanza a lungo, nel tempo ogni popolazione seguirà la sua traiettoria evolutiva, acquisendo diversi geni che possono aiutarla a sopravvivere nelle diverse condizioni ambientali, per esempio, o che si accumulano casualmente in un processo noto come deriva genetica. Alla fine, secondo questo modello, le due popolazioni possono diventare così diverse tra loro che se dovessero reincontrarsi non si potrebbero incrociare con successo.

Le prove che dimostrano che l'isolamento geografico aiuta effettivamente la speciazione sono numerosissime: dai gamberi pistoleri *Alpheus* che vivono sui due lati dell'istmo di Panama alle specie di pesci *Cyprinodon*, che si trovano nelle sorgenti isolate della California e del Nevada. Tuttavia ogni tanto due o più sottopopolazioni di aspetto diverso possono emergere all'interno della stessa area geografica e alla fine differenziarsi in specie differenti. Molti ricercatori, tra cui il famoso biologo evolucionista tedesco Ernst Mayr, hanno tradizionalmente sostenuto che fosse necessario almeno un piccolo periodo di isolamento per il processo di speciazione, e che la speciazione nella stessa area fosse quindi impossibile, o almeno molto rara. Studi più recenti hanno però dimostrato che l'isolamento geografico non è sempre necessario perché abbia luogo la speciazione.

In effetti, ora molti biologi accettano che alcune specie, tra cui i pesci ciclidi incredibilmente vari che si trovano nei laghi vulcanici dell'Africa orientale e del Nicaragua, e le palme del genere *Howea*, dell'isola di Lord Howe, nel Pacifico, si sono evolute anche in assenza di quell'isolamento. Nel gergo dei biologi, hanno compiuto una speciazione simpatica, e nel caso dei ciclidi sembra che ciò sia accaduto sotto la spinta dell'adattamento a fonti diverse di cibo (ma senza l'influenza della cultura), mentre le palme di Lord Howe hanno evoluto diversi ritmi di fioritura. Esempi documentati di speciazione simpatica tra i mammiferi sono però rari, il che rende il caso delle orche particolarmente interessante.

Le orche sono i mammiferi con la più ampia distribuzione sul pianeta dopo gli esseri umani. Abitano tutti gli oceani, e possono viaggiare per 100 chilometri al giorno, mettendo insieme diverse migliaia di chilometri in poche settimane. Non conosciamo barriere geografiche che possano impedire a un individuo di una popolazione di mescolarsi con i membri di una popolazione vicina. Tuttavia è stato osservato che in diverse aree marine molte forme ecologicamente distinte di orche (gli ecotipi) possono vivere fianco a fianco senza fraternizzare. Un tipo, per esempio, può nutrirsi di un solo tipo di pesce, mentre un altro può preferire le foche.

L'insieme di ecotipi di orche più studiati vive nel Pacifico nord-orientale. Qui la ricerca ha preso il via nei primi anni settanta grazie al canadese Michael Bigg, e ha portato a risultati importanti. Per prima cosa Bigg notò che le singole orche differivano nella forma e nelle dimensioni delle pinne dorsali, e per la forma, la dimensione e la colorazione della cosiddetta sella, la macchia grigio-bianca dietro la pinna dorsale. È possibile quindi identificare singole orche, come le analisi forensi potrebbero usare i tratti del viso e le impronte digitali per identificare esseri umani.

In secondo luogo Bigg e i suoi colleghi – tra cui John K.B. Ford e Graeme M. Ellis di Fisheries and Oceans Canada, e Kenneth C. Balcomb III del Center for Whale Research dello Stato di Washington – hanno scoperto che nelle acque al largo della costa oc-

cidentale degli Stati Uniti e del Canada convivono tre diversi ecotipi di orca, le orche stanziali, transittanti e d'alto mare. Le stanziali sono specializzate nel mangiare pesce, in particolare salmoni; le transittanti cacciano invece mammiferi marini e ogni tanto anche qualche uccello; quelle d'alto mare sembrano invece specializzate in un altro tipo di dieta a base di pesce, che include halibut del Pacifico e squali dormienti (*Somniosidae*), ma le loro abitudini sono ancora misteriose, perché si incontrano raramente.

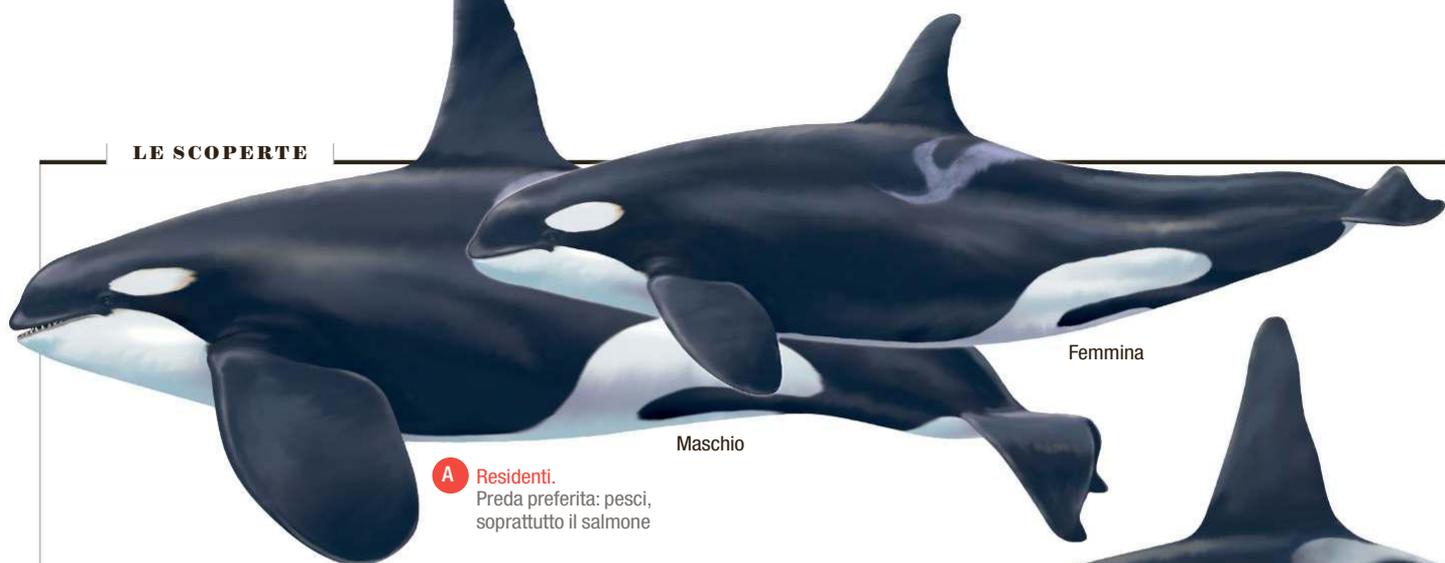
In anni recenti gli studi condotti da Olga A. Filatova, dell'Università Statale di Mosca, Alexander M. Burdin, dell'Accademia russa delle scienze, ed Erich Hoyt, di Whale and Dolphin Conservation, nel Regno Unito, hanno rivelato che ecotipi simili alle transittanti e alle stanziali condividono anche le acque russe del Pacifico nord-occidentale, intorno alla penisola della Kamchatka. Sappiamo quindi che c'è una fascia più o meno continua di popolazioni stanziali che coesistono con le popolazioni transittanti, fascia che connette il Pacifico nord-orientale e quello nord-occidentale, attraverso le isole Aleutine.

Dall'altra parte del mondo, le popolazioni di orche intorno a Islanda, isole Shetland e Norvegia, nell'Atlantico nord-orientale, hanno le loro preferenze alimentari. Le ricerche di Volker B. Deecke, dell'Università della Cumbria, nel Regno Unito, e Andrew D. Foote, dell'Università di Berna (tra gli altri), hanno osservato due gruppi: le orche di tipo 1 cacciano pesci, in particolare sgombri e aringhe, mentre quelle di tipo 2 vanno in cerca di foche. Ulteriori studi sono comunque necessari per capire le diversità alimentari tra i due gruppi.

Anche nell'emisfero australe si sovrappongono geograficamente diversi ecotipi. John W. Durban e Robert L. Pitman, della National Oceanic and Atmospheric Administration, e colleghi ne hanno scoperti almeno quattro nelle acque antartiche e sub-antartiche. Le orche di tipo A sembrano specializzate nella caccia alle balenottere minori (o rostrate), mentre le orche di tipo B hanno una forma più grande (le cosiddette orche della banchisa), che preferisce le foche, e una più piccola (l'orca di Gerlache) che cerca i pinguini. Il tipo C, l'orca più piccola che conosciamo, si ciba invece di merluzzi antartici (*Dissostichus mawsoni*). Da parte sua il tipo D, come le orche d'alto mare del Pacifico settentrionale, sembra vivere soprattutto in mare aperto, e rimane elusivo. Si sa che questo ecotipo si nutre di merluzzi della Patagonia (*Dissostichus eleginoides*) catturati nei palamiti, ma probabilmente ha anche altre prede.

Una volta riconosciuta la presenza tra le orche di tutti questi gruppi, ci si è iniziati a chiedere come hanno avuto origine. Hanno iniziato a differenziarsi mentre vivevano nella stessa regione o soltanto quando vivevano già separati e quindi hanno poi colonizzato la stessa regione dopo aver intrapreso cammini evolutivi distinti? Le informazioni disponibili non sono conclusive per ciò che riguarda le orche dell'emisfero settentrionale. Mentre molti studi di Foote e colleghi suggeriscono che la divergenza nel Pacifico settentrionale sia avvenuta mentre le popolazioni erano geograficamente isolate (speciazione allopatrica), altre analisi di Alan Rus Hoelzel della Durham University (nel Regno Unito) e colleghi indicano che questi ecotipi potrebbero essere coesistiti da sempre (speciazione simpatica). Per le orche dell'Antartico, invece, le prove sono più chiare: gran parte di questi ecotipi, se non tutti, si sono differenziati simpaticamente mentre vivevano nella stessa regione.

Non conosciamo barriere geografiche che possano impedire l'incrocio tra popolazioni diverse di orche



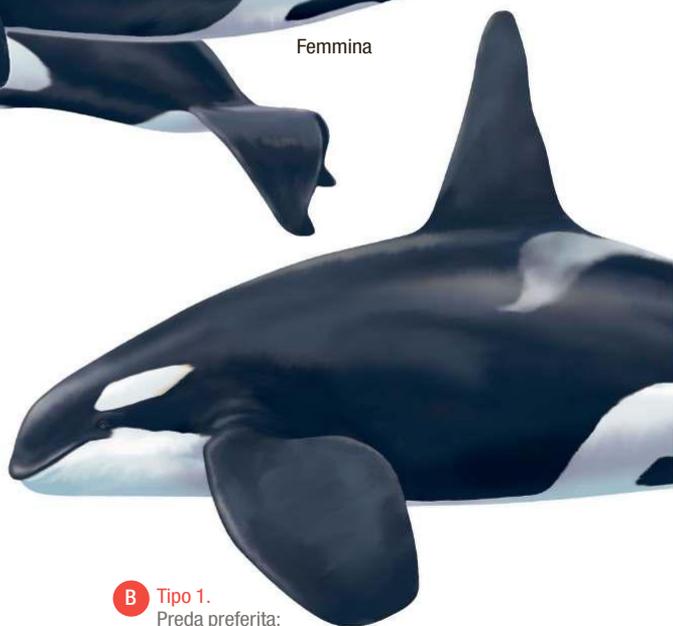
Maschio

Femmina

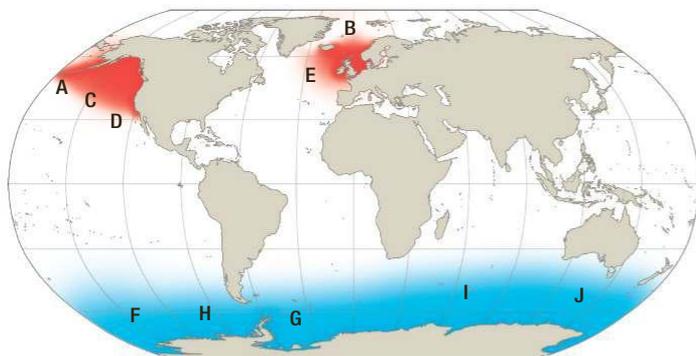
A Residenti.
Preda preferita: pesci, soprattutto il salmone

Tipi di orche

Le orche vivono in tutti gli oceani del mondo, senza barriere geografiche che impediscano l'incrocio tra le diverse popolazioni. Le ricerche mostrano però che in diverse regioni si sono formati gruppi distinti, o ecotipi, nonostante vivano a stretto contatto. Questi gruppi separati, che non si incrociano, differiscono nella scelta delle prede e nel modo in cui cacciano. Si differenziano anche per caratteri fisici, come la dimensione, la colorazione, le macchie sugli occhi, la forma della pinna dorsale e della macchia dietro di essa. Le singole orche scelgono i partner sessuali tra quelle che condividono le loro abitudini e non tra gli individui di altri ecotipi. La cultura sembra tenere gli ecotipi separati, facilitando la speciazione.



B Tipo 1.
Preda preferita: aringhe e sgombri



F Tipo B (della banchisa).
Preda preferita: foche

H Tipo A.
Preda preferita: balenottere minori

Forme dell'emisfero sud

Le acque antartiche e sub-antartiche ospitano almeno quattro ecotipi di orche. Le loro tradizioni culturali variano a seconda delle loro prede preferite. Per esempio i membri del tipo B dell'ecotipo della banchisa hanno sviluppato una strategia peculiare per spingere le foche giù dalle zattere di ghiaccio, così da catturarle più facilmente. Gli studi sul DNA indicano che la maggior parte di queste forme si sono differenziate mentre vivevano nella stessa area geografica.



C D'alto mare.
Preda preferita:
halibut del Pacifico
e squali dormienti

D Transitanti.
Preda preferita:
mammiferi marini

Forme dell'emisfero nord

Almeno cinque ecotipi di orche abitano l'emisfero nord, ognuno con le sue tradizioni di caccia. Gli individui del tipo 1, per esempio, che cacciano ariinghe e sgombri, li spingono a formare una sfera molto densa, così da ucciderli più facilmente: una tattica non osservata in altri ecotipi. Non è ancora chiaro se gli ecotipi settentrionali si siano differenziati mentre convivevano nella stessa regione o precedentemente, in aree geografiche diverse.

E Tipo 2.
Preda preferita:
foche

G Tipo B (di Gerlache).
Preda preferita:
pinguini

I Tipo D.
Preda preferita:
merluzzi della Patagonia

J Tipo C.
Preda preferita:
merluzzi antartici

Una volta iniziata, la divergenza, simpatica o allopatrica che fosse, è andata avanti rapidamente. Nel maggio scorso Foote e colleghi hanno pubblicato la loro analisi genomica di cinque ecotipi di orche del Pacifico settentrionale e dell'Antartico, mostrando che queste forme si sono evolute da un progenitore comune negli ultimi 250.000 anni. Che cosa le sta mantenendo separate? I dati sull'allevamento conservati e pubblicati di tanto in tanto dal parco marino SeaWorld, che ospita orche catturate sia nell'Atlantico settentrionale sia nel Pacifico settentrionale, dimostrano che l'accoppiamento tra i diversi ecotipi genera ancora una prole vitale e fertile, diversamente da muli e bardotti, generalmente infecondi, che nascono dall'ibridazione tra cavalli e asini. È quindi estremamente improbabile che siano incompatibilità genetiche tra gli ecotipi di orche a impedire l'incrocio tra le popolazioni naturali. Piuttosto, sempre più indizi puntano alle differenze culturali.

Scontro di culture

Come molti altri organismi che sono andati incontro a speciazione, le orche si sono diversificate sfruttando differenti fonti di cibo, evolvendo vari tratti che probabilmente le aiutano a ottenere quel cibo. Alcune di queste caratteristiche distintive sono fisiche, come la maggiore forza e dimensione delle orche che cacciano i mammiferi. Ma le specializzazioni più profonde hanno avuto luogo nei comportamenti culturali correlati alla ricerca di cibo. Poiché questi e altri comportamenti sono presenti solo in alcune popolazioni, in cui sembra che vengano trasmessi tra membri della stessa generazione e di generazione in generazione attraverso le interazioni sociali (il cosiddetto apprendimento sociale), anziché essere innati, i biologi li considerano culturali.

Per esempio le popolazioni di orche che cacciano i mammiferi marini hanno imparato a spiaggiarsi intenzionalmente per catturare i cuccioli inesperti di leoni marini e di elefanti di mare direttamente sulla spiaggia. Questo comportamento è stato osservato in due gruppi di orche diversi dai due ecotipi già citati. Uno abita le acque dell'arcipelago Crozet, nell'Oceano Indiano, tra l'Africa e l'Antartico; l'altro vive vicino alla Penisola Valdés, sulla costa atlantica dell'Argentina. A quanto sembra entrambe le popolazioni hanno inventato questa strategia di caccia indipendentemente, come conseguenza della loro scelta di prede e delle caratteristiche fisiche dei loro areali di caccia, dove canali di acque profonde e foci dei fiumi consentono alle orche di rimanere quasi del tutto sommerse fino a pochi metri dalla preda.

Nell'Antartico le grandi orche della banchisa del tipo B hanno inventato un'altra ingegnosa strategia per raggiungere le foche: il *wave washing*. Spesso le foche si issano su piccoli blocchi di ghiaccio galleggianti, dove si sentono al sicuro dai predatori. Ma le orche della banchisa hanno imparato a provocare delle onde che spazzano via le foche dal ghiaccio, facendole finire in acqua, dove sono più facili da catturare.

Le orche di tipo 1 delle acque islandesi e norvegesi, a dieta ittica, hanno invece sviluppato una strategia completamente differente per cacciare le aringhe, che sono la componente principale della loro dieta: la giostra. Un gruppo di orche circola intorno a un branco di aringhe spingendole a restringersi in una densa sfera vicino alla superficie, così che i pesci non possono scappare verso le acque più profonde. A questo punto le orche escono a turno

dalla giostra per buttarsi in mezzo alle aringhe, sbattendo le pinne caudali per indebolirle e ucciderle.

Le orche comunicano persino in modo diverso a seconda di ciò che mangiano. È proprio nei loro segnali acustici che si trova la più incredibile diversità. Come altri delfini, usano tre diversi segnali acustici: click di ecolocazione, usati per navigare e localizzare le prede, richiami e fischi a impulsi, usati per comunicare con i loro compatrioti. Fischi e richiami differiscono non solo tra le orche di diverse regioni geografiche, ma anche tra popolazioni che abitano la stessa regione.

La ragione di questa variazione intraregionale nella produzione e nell'uso di segnali diventa chiara quando si considerano le diverse sfide fronteggiate dagli ecotipi. Le orche che cacciano i mammiferi marini, per esempio, devono confrontarsi con l'eccellente capacità uditiva sottomarina delle prede: grazie all'udito, le prede possono usare qualsiasi suono emesso dalle orche per individuarle e fuggire. Le orche transitanti del Pacifico nord-orientale e quelle che cacciano mammiferi nell'Atlantico settentrionale usano quindi i segnali acustici con molta parsimonia: il più delle volte nuotano e cacciano silenziosamente. Le orche a dieta ittica non hanno lo stesso problema, quindi in genere chiacchierano molto tra di loro e non lesinano sull'ecolocazione mentre nuotano e localizzano le prede.

Inoltre molti richiami a impulsi e, come mostrato da alcune mie ricerche, alcuni fischi, sono altamente stereotipati. I segnali, cioè, possono essere ulteriormente differenziati in suoni discreti, come le lettere di un alfabeto. (Non ci sono tuttavia prove che suggeriscano che le orche utilizzino questi segnali in un modo che somigli a come noi umani usiamo le parole e le frasi. Piuttosto, sembra che il significato di un segnale dipenda dal contesto in cui viene usato.) Questi suoni discreti esibiscono variazioni geografiche ed ecotipiche, ma variano spesso anche tra i diversi gruppi sociali all'interno di un ecotipo. Per esempio, tra le orche stanziali del Nord – una popolazione di orche a dieta ittica che abita le acque all'incirca dalla metà dell'isola di Vancouver fino al sud-est dell'Alaska – ogni unità familiare ha il proprio repertorio, che va da 7 a 17 diversi segnali. Le famiglie di orche che condividono una parte dei loro dialetti sono raggruppate in clan acustici: Clan A, Clan G e Clan R per le orche stanziali settentrionali.

I diversi tipi di richiami e dialetti familiari sono così distintivi che chi studia queste popolazioni di orche può assegnare gli individui al giusto ecotipo, clan o gruppo familiare in base alle registrazioni del loro repertorio di segnali. Queste differenze sono importanti nella scelta del partner sessuale. Le analisi genetiche delle orche stanziali settentrionali condotte da Lance Barrett-Lennard del Vancouver Aquarium Marine Science Centre hanno mostrato che la somiglianza dei richiami ricalca in gran parte la somiglianza genetica. Gran parte degli accoppiamenti avviene tra membri di clan diversi, cui corrispondono richiami diversi. La scoperta implica che le orche stanziali settentrionali trovino più attraenti le altre stanziali settentrionali che hanno suoni diversi rispetto a quelle con suoni più simili. I dialetti offrono quindi un buon modo per evitare l'incrocio tra consaguinei.

Il fatto che le orche abbiano tutta questa diversità di costumi tra gli ecotipi, e sembrino evitare di socializzare e accoppiarsi con stranieri di altri ecotipi benché siano biologicamente ca-

Le differenze più profonde tra le popolazioni si osservano nei comportamenti culturali legati alla ricerca del cibo

Un gruppo di orche risale in superficie al largo delle coste della British Columbia.



pacì di farlo, suggerisce che la cultura stia mantenendo separati gli ecotipi. Alla fine, se la separazione persistesse per un numero sufficiente di generazioni, allora questi diversi ecotipi potrebbero evolvere altre differenze nel loro DNA, diventando geneticamente incompatibili. Nelle orche la cultura avrebbe quindi il potenziale di prendere il posto della separazione geografica nel facilitare la speciazione, ostacolando l'incrocio tra popolazioni.

Strade separate

Le scoperte sulle orche sollevano domande interessanti sulla diversificazione all'interno della famiglia umana. Tradizionalmente gli antropologi hanno considerato la maggior parte delle pressioni selettive che hanno influenzato la nostra evoluzione come il risultato di cambiamenti avvenuti esclusivamente nell'ambiente che ci circonda. Analisi genetiche recenti hanno però evidenziato che un'ampia parte della nostra evoluzione potrebbe essere stata il risultato di alcune innovazioni culturali, in alcuni casi molto limitate geograficamente.

La pratica dell'allevamento ha influenzato l'evoluzione della tolleranza al lattosio in alcune popolazioni europee e africane; la dieta ad alto contenuto di grassi degli Inuit della Groenlandia li ha portati a evolvere un metabolismo dei grassi più efficiente. Anche se tutte le moderne popolazioni umane appartengono chiaramente alla stessa specie e si mescolano normalmente tra loro, per gran parte della preistoria umana specie umane diverse hanno condiviso il pianeta. La cultura potrebbe aver avuto un ruolo importante nel guidare la speciazione tra i primi membri della famiglia umana?

Malgrado i fantastici progressi nella comprensione della diver-

sificazione delle orche, c'è ancora molto da imparare. Ci sono altre regioni meno studiate che ospitano ecotipi simpatici di orche? Alcuni studi, ancora all'inizio, sembrano indicare che ciò accade negli oceani che circondano l'Africa; e probabilmente anche in Sud America e in Asia meridionale. Inoltre, quali sono i sistemi di comunicazione delle orche antartiche e sub-antartiche, e quali sono le loro strutture sociali? Con l'avvento dei nuovi strumenti per lo studio del genoma, il futuro degli studi sulla speciazione in generale, e in particolare delle orche, sembra molto promettente. Forse in un tempo non troppo lontano queste e altre, nuove tecnologie ci consentiranno di determinare in modo inequivoco quale sia stata la distribuzione geografica delle popolazioni di orche durante tutte le fasi della loro diversificazione.

Sappiamo già che la cultura può dividere popolazioni di orche che vivono fianco a fianco. Forse tra pochi anni saremo in grado di riconoscere questi ecotipi come specie diverse, ognuna limitata a una specifica area geografica degli oceani, ognuna con i propri usi e la propria dieta, ognuna con il potenziale di diversificarsi e formare altre gemme sull'albero della vita. ■

PER APPROFONDIRE

Cultural Traditions and the Evolution of Reproductive Isolation: Ecological Speciation in Killer Whales? Riesch R. e altri, in «Biological Journal of the Linnean Society», Vol. 106, n. 1, pp. 1-17, maggio 2012.

Phylogenomics of the Killer Whale Indicates Ecotype Divergence in Sympatry. Moura A.E. e altri, in «Heredity», Vol. 114, n. 1, pp. 48-55, gennaio 2015.

Geographic and Temporal Dynamics of a Global Radiation and Diversification in the Killer Whale. Morin P.A. e altri, in «Molecular Ecology», Vol. 24, n. 15, pp. 3964-3979, agosto 2015.



Area in declino.

Veduta del canale industriale e commerciale di Porto Marghera, in provincia di Venezia, nei primi anni novanta. Da lungo tempo ormai questo polo industriale sta vivendo un lento declino.

Un oncologo italiano e le sue innovazioni nello studio sperimentale dei tumori sono stati cruciali per stabilire il legame tra una specifica molecola e i tanti casi di cancro tra gli operai di Porto Marghera



EPIDEMIOLOGIA

La prova del rischio

di Giulia Frezza e Mauro Capocci

Maurizio Maule/Fotogramma

Giulia Frezza ha ottenuto un PhD in filosofia della scienza (Università di Roma 3 e Université Paris Diderot-Paris 7) e un post-doc in filosofia e storia della medicina alla «Sapienza» Università di Roma. Ha in corso un progetto di ricerca sulla storia della medicina occupazionale e dell'epidemiologia in Italia.



Mauro Capocci è ricercatore nell'Unità di storia della medicina della «Sapienza» Università di Roma e si occupa soprattutto di storia delle scienze biomediche in Italia nel XX secolo. Per «Le Scienze» ha già pubblicato tre articoli: *Ricci, geni ed epigenetica* (agosto 2015), *La guerra fredda della penicillina* (aprile 2014) e *La rivoluzione mancata della biologia italiana* (novembre 2003).



Costruito tra il 1475 e il 1481, pochi chilometri a nord di Bologna lungo il canale Navile alimentato dalle acque del Reno, il castello di Bentivoglio, con la sua cinta merlata ricostruita nell'Ottocento, è un luogo incantevole: prati ben curati, poco traffico, il paese dall'altra parte della strada e i campi intorno. All'esterno, nulla fa sospettare che in quell'edificio di mattoni rossi, con il ponte levatoio e i giochi per i bambini nel prato, abbia sede un centro di ricerca biomedica all'avanguardia, che ha scritto un pezzo di storia della medicina.

Nei primi anni settanta, qui sono stati effettuati gli studi che hanno scoperto la cancerogenicità del cloruro di vinile monomero (CVM), la molecola resa tristemente famosa dal processo per la strage operaia del petrolchimico Montedison di Porto Marghera, vicino a Venezia. Nell'Istituto di oncologia da lui diretto e ospitato nel castello di Bentivoglio, Cesare Maltoni mostrò al mondo quanto l'industria chimica protagonista del nostro modello di sviluppo potesse essere pericolosa. Una storia scientifica di successo, dietro una tragedia del nostro tempo.

Uomini e topi tra rischi e prevenzione

Per quanto non sia un nome noto al grande pubblico, il CVM è la base per la produzione del cloruro di polivinile (PVC) di cui sono fatti molti oggetti della nostra vita quotidiana (tubi, pellicole, infissi e così via). Il processo industriale per la polimerizzazione del CVM è stato scoperto negli anni trenta, e da allora il PVC ha letteralmente invaso il pianeta.

In Italia era prodotto soprattutto negli stabilimenti Solvay di Rosignano, in Toscana, e Montedison di Marghera. Nel 1962 Pierluigi Viola, medico di fabbrica alla Solvay, notò due casi di acroosteolisi, una malattia delle ossa delle mani e dei piedi. Ulteriori ricerche mostrarono altri casi negli altri stabilimenti Solvay. Viola iniziò dunque un esperimento con i ratti, esponendo 26 animali a una concentrazione di CVM di 30.000 parti per milione (ppm). L'esito fu preoccupante: 17 tumori all'epitelio, 7 tumori ai polmoni, per lo più carcinomi, e 5 tumori alle cartilagini delle ossa. I ri-

sultati vennero resi noti a un congresso a Houston nel 1970, e ne ebbe notizia anche il direttore dell'Istituto oncologico «Felice Adari» di Bologna, Cesare Maltoni. Nato nel 1930 a Faenza, oncologo laureato a Bologna, con importanti esperienze di ricerca a Parigi e a Chicago, Maltoni aveva da poco avviato una ricerca sperimentale sui lavoratori del settore chimico, per analizzare gli effetti dell'esposizione a differenti agenti sugli epitelii delle vie respiratorie. Chiese a Viola di vedere i campioni prelevati dagli animali e i dati ancora non pubblicati: la dose di 30.000 ppm, che evidenziava la cancerogenicità, era però molto alta, e non realistica.

Tra fine 1970 e inizio 1971, avendo appreso i risultati di Viola, fu proprio Montedison a rivolgersi a Maltoni per avviare una ricerca approfondita per valutare la reale pericolosità del CVM. Maltoni ebbe l'occasione e i finanziamenti per mettere in pratica un nuovo modo di fare ricerca in questo campo. Si rese conto che uno dei problemi degli studi precedenti era l'assenza di modelli sperimentali affidabili, in grado di produrre prove inoppugnabili. Lo studio di Viola, per esempio, era statisticamente poco significativo, perché i numeri erano limitati e non simulava condizioni realistiche. D'altra parte gli studi sugli esseri umani avevano tempi troppo lunghi, e le condizioni sperimentali non erano controllabili.

Ci voleva qualcosa di diverso: grandi numeri, tempi dilatati e la possibilità di modulare in modo preciso le variabili in gioco. Tra il novembre 1970 e il maggio 1971 Maltoni pianificò gli esperimenti, e nelle officine di Montedison fu realizzato il macchinario adatto a soddisfare le necessità di questo nuovo approccio

IN BREVE

Il cloruro di vinile monomero (CVM) è al centro della vicenda umana e processuale di Porto Marghera: tumori da esposizione alla molecola

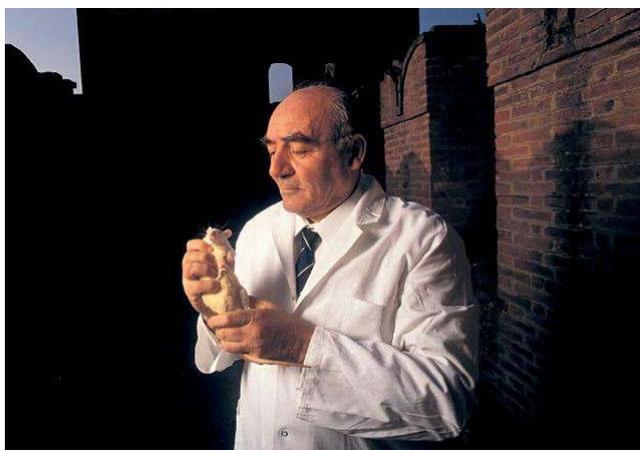
nello stabilimento Montedison (poi EniChem). **Dietro al successo del processo** c'è una storia scientifica: la

cancerogenicità del CVM fu dimostrata nei primi anni settanta da Cesare Maltoni, il quale sviluppò un nuovo approccio sperimentale

all'oncologia e i cui studi furono la base per redigere nuove norme di gestione del rischio sanitario occupazionale e ambientale.



Inquinamento da studiare. I fumi emessi dal petrolchimico di Marghera negli anni settanta. Sotto, Maltoni sulle mura del Castello di Bentivoglio, dove dal 1969 ha sede il Centro di ricerca sul cancro.



sperimentale all'oncologia. Si trattava di un dispositivo speciale che permetteva di sperimentare contemporaneamente su centinaia di animali gli effetti del CVM (o di qualsiasi altra sostanza), modulando contemporaneamente durata dell'esperimento, modalità di somministrazione (inalazione, ingestione, iniezione), numero di animali, concentrazione della molecola da testare e altri parametri fondamentali. Con questo nuovo strumento, tuttora visibile (ma non in uso) al castello di Bentivoglio, fu possibile dare il via a 15 esperimenti paralleli (inclusi i controlli).

Tra il 1971 e il 1974 diverse specie (ratti, topi e cavie), furono esposte a diverse concentrazioni di CVM, con trattamento alternato o continuo, e varie modalità di somministrazione. Furono i ratti il modello più usato: 5450 animali, dall'embrione all'adulto, furo-

no testati per una media di 600 giorni, per un totale di oltre 3 milioni di giorni di esposizione. Furono raccolte oltre 100.000 sezioni istologiche. Gli esperimenti inoltre furono progettati secondo un piano sperimentale innovativo, in modo da evitare problemi legati al ritardo nell'insorgenza delle malattie rispetto all'esposizione alla sostanza: ogni animale era costantemente monitorato, ma l'esperimento sul singolo esemplare era interrotto solo alla morte spontanea, una caratteristica distintiva del metodo di lavoro di Maltoni.

L'esperimento confermò i rischi a cui erano esposti i lavoratori, dimostrando in particolare che l'inalazione di CVM causava un raro tumore del fegato, l'angiosarcoma, e che ogni specie testata era risultata suscettibile a questa specifica malattia. Questa neoplasia sarebbe dunque diventata il segno distintivo della nocività del cloruro di vinile: assente negli animali del gruppo di controllo cui non era somministrato il CVM, era invece rilevato nei soggetti esposti. Gli studi offrirono inoltre i primi dati che correlavano la dose con il rischio di malattie, indicando l'esistenza di una soglia di 250 ppm. Prima di allora, le normative europee e statunitensi prevedevano una soglia tollerabile di 500 ppm. Con il proseguire dell'esperimento ci si rese conto che anomalie patologiche apparivano anche a una concentrazione di 50 ppm: il che indicava che di fatto non esisteva una dose sicura, soprattutto in condizione di esposizione ripetuta.

Mentre era in corso l'esperimento, le maggiori industrie europee produttrici di CVM – Montedison, Imperial Chemical Industries (Retno Unito), Solvay (Belgio) e Rhone-Progil (Francia) – diedero vita al Gruppo cooperativo europeo per lo studio degli effetti biologici del CVM, in modo da scambiarsi dati relativi alla tossicità della sostanza. Al contempo però le aziende strinsero un patto per controllare la circolazione delle informazioni e coordinare le relative strategie da adottare sia dal punto di vista della produzione, cercando di limitare i rischi per i lavoratori, sia per evita-

Due catastrofi lunghe quarant'anni

La mattina del 26 settembre 1976 una nube tossica si sprigionò dopo un'esplosione allo stabilimento dell'ANIC (poi EniChem) di Manfredonia, in provincia di Foggia, rilasciando sulla cittadina pugliese tonnellate (dalle 10 alle 32, secondo le stime) di arsenico. I rischi per i lavoratori e per la popolazione furono minimizzati e nulla fu fatto per la protezione dei cittadini, salvo una sommaria bonifica dei terreni. Per decenni – grazie al ricatto occupazionale, come in molti altri luoghi, da Marghera a Taranto – l'impianto ha continuato indisturbato a sversare rifiuti tossici in mare o nel terreno della fabbrica.

Nonostante le inchieste da parte degli operai con il supporto di Medicina Democratica e dell'Istituto superiore di Sanità, le cui perizie registrarono un aumento anomalo di neoplasie, l'unico processo è finito nel 2011 senza condanne e l'eccesso di arsenico nel corpo dei cittadini fu persino attribuito all'eccessivo consumo di crostacei. Nel frattempo la zona industriale, bonificata solo parzialmente, è stata inserita nei nuovi piani regionali di sviluppo, pur in assenza di un'adeguata valutazione ambientale. Dopo decenni di mobilitazioni da parte dei comitati civici locali, nel 2015 è partito un progetto di epidemiologia partecipata, in collaborazione con il Consiglio nazionale delle ricerche e la onlus Epidemiologia & Prevenzione, i cui risultati preliminari indicano probabili effetti nocivi dell'inquinamento nell'area.

Due mesi prima, il 10 luglio 1976, un malfunzionamento nell'impianto dell'ICMESA di Meda, in Brianza, causò la perdita di una quantità imprecisata di diossina – estremamente tossica per tutti gli esseri viventi – spinta dal vento verso Seveso. L'allarme non venne dato per una settimana, e la popolazione lasciò l'area contaminata solo con molto ritardo. Dopo un aspro dibattito, ad alcune donne che durante la gravidanza erano state esposte alla diossina fu permesso di ricorrere all'aborto terapeutico, mentre le case dell'area più vicina all'ICMESA furono abbattute e lo strato di terreno più superficiale rimosso. Le scorie sono state sepolte in grandi vasche, e sull'area è stato creato il Bosco delle Querce. Givaudan, l'azienda svizzera proprietaria dell'ICMESA, ha risarcito i danni in seguito a un accordo con governo italiano e autorità locali, evitando conseguenze giudiziarie.

A più di quarant'anni, gli effetti dell'esposizione alla diossina sono ancora misurabili, anche se sembrano estinguersi: la mortalità per neoplasie è aumentata solo in modo limitato, ma sono stati osservati effetti sulla proporzione tra i sessi e sulla funzionalità tiroidea dei nuovi nati (secondo l'esposizione dei genitori, in particolare del padre). L'incidente di Seveso ha dato il nome alla prima Direttiva Europea in materia di prevenzione dei grandi rischi industriali, emanata nel 1982 e recepita in Italia solo nel 1988.

re possibili conseguenze per le aziende. Già nel novembre 1972 le aziende europee e statunitensi erano a conoscenza dei primi risultati dell'esperimento, comunicati da Maltoni, che mostravano un evidente grado di rischio da esposizione al CVM. Accettando di lavorare su committenza Montedison, Maltoni sembrava costretto in una sorta di patto con il diavolo, e di fatto la circolazione dei suoi risultati fu limitata. Pur non avendo un vero e proprio vincolo di segretezza, solo ad aprile 1973 presentò i dati sul CVM a un convegno a Bologna, che ebbe però scarsissima risonanza. L'anno successivo Maltoni rese noti adeguatamente i risultati in varie occasioni pubbliche.

Gli studi di Maltoni furono dunque la base scientifica per adottare le nuove norme di gestione del rischio sanitario occupazionale e ambientale. Ma soprattutto le pratiche che introdusse resero chiaro ciò che fino ad allora era stato ignorato: se ben condotti, gli esperimenti *in vivo* di cancerogenesi sugli animali potevano essere indicatori affidabili per valutare quantitativamente il rischio per gli esseri umani. In seguito ai risultati sugli animali furono infatti condotte indagini epidemiologiche sui lavoratori del petrolchimico di Marghera esposti al cloruro di vinile: in questo gruppo l'angiosarcoma del fegato – estremamente raro (si parla di circa 2 casi per 10 milioni di individui) – si presentava in numeri molto più alti rispetto al resto della popolazione. Sapendo che cosa andare a cercare, emersero i primi casi di morti per angiosarcoma epatico, prima negli Stati Uniti e poi in tutta Europa.

Grazie ai suoi ratti, Maltoni aveva dimostrato che era ragionevolmente possibile prevedere la pericolosità di una sostanza prima di mettere a rischio la salute pubblica in nome dello sviluppo industriale. I test di riproduzione sulla nocività dei composti, effettuati secondo i rigorosi standard introdotti anche grazie a Maltoni sono poi diventati parte integrante delle normative progressivamente introdotte in Europa e negli Stati Uniti. Nel tempo queste norme sono uscite dalle fabbriche per allargarsi a tutta la popolazione. Già le indagini sulla produzione del cloruro di vinile avevano evidenziato che gli scarichi degli impianti emettevano con-

tinuamente CVM: 20 chilogrammi all'ora di molecola venivano dispersi nell'aria di Rosignano, e nei dintorni della fabbrica Solvay la concentrazione di CVM nell'atmosfera era di 50 ppm. Il pericolo non riguardava quindi solo gli operai addetti al ciclo di produzione, ma tutti lavoratori della fabbrica e gli abitanti delle immediate vicinanze, spesso le famiglie degli stessi operai.

L'esperimento sugli animali per il CVM è continuato fino al 1983: oltre 7000 esemplari usati e più di 200.000 campioni istologici, numeri mai raggiunti da altri laboratori. Prima dell'era -omica (genomica, proteomica e così via), Maltoni prefigurava l'uso di *big data* da esplorare a caccia di risultati significativi.

Lo standard molto rigoroso dell'esperimento CVM fu poi applicato da Maltoni negli anni successivi ad altri composti. Il più noto è il benzene, una vicenda in cui Maltoni e i suoi colleghi si trovarono in una controversia ancora più aspra e con una controparte molto «decisa», l'industria petrolifera. Nel 1974 l'International Agency for Research on Cancer (IARC) non considerava ancora solide le prove della carcinogenicità di questo composto, il cui vasto uso nelle benzine lo aveva reso praticamente onnipresente. Secondo Maltoni era un problema di esperimenti non adeguati. Si mise quindi al lavoro anche su questa sostanza, con un esperimento iniziato nel 1976, e già nel 1977 la capacità del benzene di indurre diversi tipi di tumori fu presentata da Maltoni in diversi contesti scientifici.

Il paradosso italiano

Il primato scientifico di Maltoni ci porta però a riflettere su una sorta di «paradosso italiano». Da un lato abbiamo un gruppo di medici che da anni effettuano ricerche d'avanguardia per la salvaguardia della salute pubblica e occupazionale. Dall'altro un ritardo cronico nell'accettare e adottare standard di protezione adeguati. Rispetto al primo punto vanno ricordati i tanti igienisti, medici del lavoro, oncologi, spesso parte del mondo accademico, e medici di fabbrica ed epidemiologi che dagli anni cinquanta erano impegnati per migliorare le condizioni di lavoro e in alcuni casi iniziava-



Il nome della diossina. L'impianto dell'ICMESA di Meda negli settanta, triste protagonista di un grave incidente industriale avvenuto il 10 luglio 1976, quando in seguito a un'esplosione si sprigionò una nube tossica di diossina che investì il centro abitato di Seveso.

no a pensare alle conseguenze dello sviluppo industriale su tutta la popolazione. Ricordiamo per esempio Enrico Vigliani, attivo nelle dispute sull'uso e la pericolosità delle fibre di amianto. Direttore della Clinica del lavoro di Milano, Vigliani era inserito nel network internazionale di studiosi delle malattie da amianto nei lavoratori, ma sollevò anche il problema dei cittadini che respiravano l'aria inquinata delle città, dove le fibre di amianto delle ganasce dei freni delle auto potevano contaminare l'atmosfera.

Come in altri campi della ricerca biomedica, però, non ci fu una vera collaborazione tra i diversi gruppi di ricerca impegnati in questo ambito. D'altra parte, le prime battaglie per la salute dei lavoratori e in difesa dell'ambiente, fino alla seconda metà degli anni settanta, si scontrarono con una politica industriale – accettata dai sindacati – di monetizzazione del rischio: gli operai esposti a fattori di rischio ricevevano indennizzi salariali, senza tuttavia spingere le aziende a proteggere sistematicamente i lavoratori. Tutto quello che poteva mettere a rischio lo sviluppo industriale, come per esempio l'introduzione di misure contro l'inquinamento, non era ben visto né dall'industria né dai sindacati. Solo alla fine degli anni settanta questo paradigma andò in crisi, grazie agli sforzi di molti degli attori in gioco, tra cui ricordiamo l'associazione Medicina Democratica, istituita nel 1976 da Giulio Maccacaro proprio per dare supporto medico scientifico alle rivendicazioni per la «salute in fabbrica».

Living in a chemical world

L'epidemiologia occupazionale e ambientale, nelle sue diverse declinazioni, ha avuto un ruolo fondamentale nell'inquadrare la riflessione sul mondo che abbiamo costruito a partire dalla Rivoluzione industriale. A partire dalle proprie esperienze di oncologo, e sull'onda di una serie di input ricevuti da colleghi e amici, Cesare Maltoni chiarì come non fosse più possibile pensare a un mondo senza chimica industriale, con tutto quello che ne consegue. Nel 1985 a Bologna Maltoni organizzò un grande convegno internazionale dal titolo inequivocabile, *Living in a Chemical World*. Chia-

mando a raccolta medici e ricercatori internazionali, si discussero pratiche e teorie dell'epidemiologia e dell'oncologia messe al servizio della prevenzione per i lavoratori e tutti i cittadini.

Ripetuto con cadenza decennale, il convegno del 1985 è stato anche il primo grande evento pubblico di una delle più importanti eredità di Cesare Maltoni: il Collegium Ramazzini, un'accademia indipendente che riunisce 180 membri di tutto il mondo eletti nel campo dell'epidemiologia, fondata da Maltoni insieme al suo sodale per quasi quarant'anni, lo statunitense Irving J. Selikoff. Intitolato a Bernardino Ramazzini, medico di Carpi e padre putativo della medicina occupazionale già dalla fine del Seicento, il Collegium rappresenta un luogo di scambio e reciproco supporto per i suoi membri, quasi una camera di compensazione per le tante e diverse pressioni che i ricercatori in questo campo subiscono nel loro lavoro. Anche il centro oncologico sperimentale fondato da Maltoni è stato intitolato all'illustre carpigiano, e ora nel castello di Bentivoglio le attività di ricerca sono portate avanti dall'Istituto Ramazzini ONLUS con il Centro di ricerca sul cancro «Cesare Maltoni».

La vicenda scientifica di Maltoni, scomparso nel 2001, è dunque un mix di locale e globale: la vicenda del CVM e di Marghera, con tratti peculiari italiani, si connette a una dimensione mondiale che gli epidemiologi hanno faticato a raggiungere, ma che si è poi dimostrata ineludibile: le normative sulle protezioni dagli agenti cancerogeni, come quelle varate nei paesi ricchi, non possono scaricare i costi sanitari sui cittadini di altri paesi, se non mantenendo vive pericolose disuguaglianze e mantenendo alti i rischi per la salute di tutti. ■

PER APPROFONDIRE

Carcinogenesis Bioassays And Protecting Public Health: Commemorating The Lifework Of Cesare Maltoni And Colleagues. Mehlman M. (*a cura*), in «Annals Of The New York Academy Of Sciences», Vol. 982, dicembre 2002.

Il virus del benessere. Luzzi S., Laterza, Roma-Bari, 2009.

Le donne di Seveso. Ferrara M., Editori Riuniti, Roma, 1977.

NEUROSCIENZE

Disintossicarsi a *ogni* costo

Speranza in polvere: alla Envision Recovery, in Costa Rica si preparano dosi di ibogaina per i pazienti. La sostanza è illegale negli Stati Uniti per i suoi effetti tossici.



L'ibogaina, una sostanza contro le dipendenze che alcuni ritengono più efficace del metadone, potrebbe curare più tossicodipendenti di qualsiasi altra terapia. Oppure ucciderli

di James Nestor

James Nestor, scrittore freelance, è autore di *Il respiro degli abissi. Un viaggio nel profondo* (EDT 2015).



no sciame di locuste vi riempie il campo visivo. Nubi minacciose coprono il soffitto della camera da letto. Fronte, petto e mani grondano di sudore. Non riuscite a respirare. I muri si piegano e si contorciono. Vi coprite gli occhi, ma la scena si ripete con la stessa iperrealistica intensità. Da qualche parte, un pubblico applaude. Le finestre della stanza si fondono nell'oscurità e appaiono cento televisori grandi come francobolli, che mostrano istanti della vostra infanzia: il testo di una canzone che avete ascoltato una volta alla radio quando avevate due anni, il colore dei calzini indossati per la vostra festa di compleanno all'asilo, il timbro della voce del nonno. Le immagini si fondono in una scena oscura, fatta di demoni, pugnali e legioni di diavoli. Volete fuggire, ma non potete. Non potete svegliarvi, non potete muovervi. Siete Shea Prueger, e siete bloccati qui per 48 ore.

«Non è un'esperienza che si ha voglia di ripetere», racconta. Mentre parla, Shea si dondola lentamente su una sedia di vimini nel giardino di una casa in Costa Rica, a circa 45 chilometri dalla capitale San José. La donna, 29 anni, viveva a New York, era una modella e si faceva di eroina. Oggi ricorda il tentativo disperato, cinque anni fa, di liberarsi della dipendenza da oppiacei con una sostanza psicoattiva chiamata ibogaina.

Aveva già provato metadone, suboxone, la Narcotici Anonimi e altre cure. Nulla aveva funzionato. Così nel 2011 ha trascorso due giorni sdraiata su un materasso nella stanza di una clinica clandestina in Guatemala, senza riuscire a muoversi, con una forte nausea e la mente persa nelle più oscure profondità dell'inferno. È rimasta sobria per nove mesi, ha avuto una ricaduta nel giugno 2012 e dice di non aver assunto narcotici da allora. «L'ibo-



gaina – insiste – ha fatto per me ciò che nessun'altra cura era riuscita a fare».

Alcuni ex tossicodipendenti, e alcuni scienziati, sostengono che una dose di ibogaina, una sostanza derivata da un arbusto delle foreste pluviali chiamato *Tabernanthe iboga*, contiene molecole che possono resettare i centri del cervello coinvolti nelle dipendenze, liberando le persone dal desiderio compulsivo di assumere droga. La voce si è diffusa, e centinaia – se non migliaia – di persone si sono rivolte a cliniche dove si può ottenere la sostanza, soprattutto in Messico e in America centrale, perché è illegale negli Stati Uniti. Nel 2006 solo pochi centri nel mondo offrivano l'ibogaina; oggi, secondo alcune stime, sono 40. Gli operatori sanitari affermano che una dose può arginare tossicodipendenza e depressione in circa il 70 per cento dei casi.

Se è vero, il tasso di successo renderebbe l'ibogaina un rimedio necessario contro un problema in rapida espansione. Diverse ricerche mostrano che dal 2007 il numero di eroinomani negli Stati Uniti è raddoppiato, raggiungendo il milione di individui. E il maggior consumo di aghi ha purtroppo innescato una nuova impennata di infezioni da HIV. In complesso, secondo la National Survey on Drug Use and Health, nel 2014 circa 7,1 milioni di statunitensi avevano seri problemi di droga. Molti cercano aiuto, ma invano. Il 40-60 per cento dei pazienti curati per dipendenza da oppiacei, per esempio, ha una ricaduta. In circa l'80 per cento dei casi il paziente aveva smesso di assumere il metadone, la più comune terapia sostitutiva.

Chi promuove l'uso dell'ibogaina afferma che la sostanza funziona perché agisce contemporaneamente su più vie nervose, non

IN BREVE

Si dice che l'ibogaina, una sostanza derivata da un arbusto delle foreste pluviali, possa liberare i tossicodipendenti dal desiderio

compulsivo ripristinando le vie neurali danneggiate. **Poiché la sostanza è illegale** negli Stati Uniti – è stata messa in

relazione con problemi cardiaci potenzialmente fatali – molti si rivolgono a cliniche estere. **Alcuni neuroscienziati** ritengono

che gli studi secondo cui l'ibogaina è meglio del metadone siano inaffidabili; altri cercano invece di farne una terapia autorizzata.

Tutte le fotografie di Juan Arredondo