



**micron**

ecologia, scienza, conoscenza

42

/ Il sogno di Ciamician  
/ Il muro di Trump  
/ La scienza all'ombra della Brexit



controllo

prevenzione

protezione

dell'ambiente

Rivista trimestrale di Arpa Umbria  
spedizione in abbonamento postale  
70% DCB Perugia - supplemento  
al periodico [www.arpa.umbria.it](http://www.arpa.umbria.it)  
(Isc. Num. 362002 del registro  
dei periodici del Tribunale di Perugia  
in data 18/10/02). Autorizzazione al  
supplemento micron in data 31/10/03

**Direttore**  
Walter Ganapini

**Direttore responsabile**  
Fabio Mariottini

**Redazione**  
Francesco Aiello, Markos Charavgis

**Comitato scientifico**  
Enrico Alleva, Marco Angelini,  
Fabrizio Bianchi, Gianluca Bocchi,  
Antonio Boggia, Marcello Buiatti,  
Mauro Ceruti, Liliana Cori,  
Franco Cotana, Maurizio Decastri,  
Enzo Favoino, Luca Ferrucci,  
Gianluigi de Gennaro, Giovanni Gigliotti,  
Pietro Greco, Luca Lombroso,  
Luca Mercalli, Cristina Montesi,  
Enrico Rolle, Claudia Sorlini,  
Gianni Tamino, Luciano Valle

**Direzione e redazione**  
Via Pievaiola San Sisto 06132 Perugia  
Tel. 075 515961 - Fax 075 51596399  
[www.rivistamicron.it](http://www.rivistamicron.it)  
twitter: @RivistaMicron

ISSN 2239-9623

**Design / impaginazione**  
Paolo Tramontana

**Fotografia**  
Silvia Capponi

**Stampa**  
Graphicmasters

stampato su carta Fedrigoni FREELIFE CENTO g 100  
con inchiostri K+E NOVAVIT 3000 EXTREME

© Arpa Umbria 2019

<b>Stoccolma anno zero</b> Fabio Mariottini	05
<b>Lavorare per il sogno di Ciamician</b> Pietro Greco	06
<b>Web e dati personali: le preoccupazioni degli italiani</b> Barbara Saracino	11
<b>Cronaca di una fine</b> Romualdo Gianoli	16
<b>Il costo ecologico del muro di Trump</b> Francesca Buoninconti	20
<b>Dossier Salute e Ambiente</b> Francesca Gorini, Elisa Bustaffa, Fabrizio Bianchi, Maria Bonsignore, Fabio Cibella, Liliana Cori, Gaspare Drago, Daniela Salvagio Manta, Silvia Ruggeri, Mario Sprovieri	29
<b>Il cibo nell'era dell'Antropocene</b> Cristina Pulcinelli	39
<b>Il dramma dimenticato dello Yemen</b> Cristina Da Rold	43
<b>L'evoluzione della lingua: continua la sfida di Darwin</b> <i>Intervista a Cristina Guardino</i> Giuseppe Nucera	46
<b>Brexit: la posta in gioco per la scienza inglese</b> Stefano Porciello	54
<b>Micron letture</b>	60



## Stoccolma anno zero

Fabio Mariottini

In Svezia è una ragazzina di 16 anni, Greta Thunberg, a guidare la protesta contro l'indifferenza dei politici verso i cambiamenti climatici. Ogni venerdì, da sei mesi, la giovane svedese si siede davanti al parlamento di Stoccolma a manifestare contro scelte politiche che rischiano di compromettere irreversibilmente i destini della terra. Il suo esempio è diventato virale ed è stato seguito anche in altri paesi come Germania, Stati Uniti, Australia. Questa protesta, che può essere definita generazionale, nata per opporsi all'immobilismo dei governi sulle scelte ambientali, in realtà mira a mettere in discussione il nostro modello di sviluppo che sta ormai mostrando la corda sia sul piano ambientale che su quello economico. L'ultimo allarme sull'aumento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> lanciato dal *World Meteorological Organization*, l'agenzia delle Nazioni Unite operante nel campo della meteorologia e del clima, fa registrare per il 2016 una impennata record di 3,3 ppm di anidride carbonica rispetto all'anno precedente. E questo dopo gli accordi di Parigi del 2015, dove la politica sembrava aver fatto un passo in avanti ormai irreversibile sull'uso dei fossili e sul rapporto con i paesi in via di sviluppo. Allo stesso tempo Oxfam (Oxford Committee for Famine Relief), un movimento di persone che opera in tutto il mondo contro l'ingiustizia e la povertà, evidenzia la "concentrazione di enormi fortune nelle mani di pochi, a testimonianza dell'inequità sociale e l'insostenibilità dell'attuale sistema economico". A metà 2018, infatti, l'1% più ricco di popolazione mondiale deteneva poco meno della metà (47,2%) della ricchezza aggregata netta, contro uno 0,4% assegnato alla metà più povera (3,8 miliardi di persone). In Italia, per rimanere più vicini, il 20% più ricco dei nostri connazionali possedeva, nello stesso periodo, circa il 72% dell'intera ricchezza nazionale. Il 5% più ricco degli italiani era titolare da solo della stessa quota di ricchezza posseduta dal 90% più povero.

Questi due elementi aiutano a capire le ragioni dell'ampia partecipazione di giovani allo "Sciopero per il Futuro" che il 15 marzo ha visto milioni di adolescenti manifestare in tutto il mondo. Una marcia che ha messo sul banco degli imputati l'immobilismo del mondo politico e l'avidità degli attori economici ancora restii nel combattere i cambiamenti climatici che, secondo gli scienziati dell'Ippc, provocheranno a breve effetti devastanti sull'intero ecosistema. Ma, più che altro, c'era la dimostrazione palese che il tanto decantato "sviluppo sostenibile" partorito oltre trent'anni fa dal Rapporto Brundtland e pubblicato dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED) è rimasto appeso tra i buoni propositi e poco ha prodotto in termini pratici. Il modello di crescita che guida il mondo, infatti, vede ancora una centralità dell'energia fossile (solo 1/3 del totale che noi usiamo è costituito da fonti rinnovabili) e un modello economico preponderante tutt'oggi basato sul consumo e sullo spreco. Molte quindi le ragioni dei *millennials* per scendere in piazza contro chi sta consciamente o inconsciamente rubando loro il futuro.

Si tratta quindi di una grande opportunità per la politica per ritrovare una sintonia con la popolazione che sembra ormai smarrita da tempo. Sicuramente, il momento per i nostri governanti di ascoltare più i giovani; d'altronde, come affermava Einstein, non si può risolvere un problema usando gli stessi strumenti che l'hanno generato e, aggiungiamo noi, gli stessi soggetti che l'hanno determinato.



## Lavorare per il sogno di Ciamician

Pietro Greco

Nel 1912 il chimico italiano Giacomo Ciamician indicò al Congresso Internazionale di Chimica Applicata di New York la strada da seguire per il futuro della chimica e dell'industria: imparare a “fare come le piante”. Un auspicio rimasto irrealizzato, quello della fotosintesi artificiale, ma che oggi grazie alla ricerca – che vede l'Italia in prima fila – appare meno come un miraggio. Una ricerca dal valore strategico enorme, per la quale però non basta lo sforzo degli studiosi

Il 2019 è stato eletto dall'Unesco, “anno internazionale della tavola periodica degli elementi chimici”. L'occasione è data dal fatto che 150 anni fa, nel 1869, Dmitrij Mendeleev mise ordine nel caos degli elementi che da decenni i chimici stavano scoprendo a decine. Il russo ne allineò ben 63, di elementi, distribuendoli in diverse righe e colonne in modo da rispettare le loro proprietà chimiche. Con Mendeleev e la sua tavola periodica la chimica dimostra in maniera convincente che la materia – almeno quella ordinaria, presente sulla Terra – è costituita da atomi: ovvero da un numero non piccolissimo di elementi fondamentali. La parola atomo ha origine greca e significa indivisibile. Gli elementi messi in ordine da Mendeleev erano ritenuti per l'appunto tali, indivisibili: gli ultimi mattoni della materia. Oggi sappiamo che non è così. Anche gli atomi sono particelle composte. E ancora nessuno è in grado di dirci se esistano davvero particelle indivisibili. Certo è però che i fisici arriveranno molti decenni dopo i loro colleghi chimici a “scoprire” gli atomi. Determinanti furono le tre prove teoriche indipendenti che portò un giovane impiegato dell'Ufficio Brevetti di Berna, Albert Einstein, nel 1905: il suo *Annus Mirabilis*. Lontana ma non troppo si sentiva ancora l'eco del vocione di Ernst Mach che, nell'androne dell'università di Vienna andava tuonando: «Gli atomi non esistono». E invece ... non vi poteva essere smentita più solida a tanta sicurezza. All'inizio del Novecento i chimici partivano, dunque, avvantaggiati nella comprensione profonda della materia. Ma già allora essi avevano una speciale attitudine all'applicazione delle conoscenze scientifiche. Insomma, si chiedevano cosa

poteva fare la chimica per la società. È quanto fecero, per esempio, i partecipanti all'VIII Congresso Internazionale di Chimica Applicata che si tenne a New York l'11 settembre 1912. Un italiano, Giacomo Ciamician, venne chiamato a tenere la relazione conclusiva, quella prospettica. La chimica italiana vantava una buona fama. Ciamician era chimico triestino, ormai trapiantato a Bologna, molto noto, anche perché era stato allievo di un gigante, Stanislao Cannizzaro, a sua volta molto apprezzato da Mendeleev. Dunque Ciamician prese la parola per parlare de *La fotochimica dell'avvenire* e indicare ai suoi colleghi la strada da seguire nei prossimi anni e decenni.

Il futuro della chimica e dell'industria, sostenne l'italiano di fronte a una platea attentissima, è chiaro: sta tutto nella nostra capacità di imparare a “fare come le piante”. Ovvero a trasformare la luce del Sole (energia radiante) in movimento ordinato di elettroni (energia biochimica) e conservare questa energia in molecole complesse. Detto in altri termini, noi chimici dobbiamo imparare come si fa la fotosintesi. Perché il futuro non solo e non tanto della chimica, ma anche e soprattutto dell'umanità, dipenderà molto dalla nostra capacità di sviluppare la “fotosintesi artificiale”. Il motivo era chiaro a Ciamician. La rivoluzione industriale aveva sì cambiato il volto del mondo, almeno di quello europeo e nordamericano, ma divorava quantità enormi di energia. E noi, sostenne il triestino, otteniamo l'energia dal carbone. Così non va, alzò il dito con straordinaria lucidità Giacomo Ciamician. Così non durerà a lungo. Abbiamo bisogno di energia potenzialmente illimitata e pulita. Come quella ottenuta con



la fotosintesi dalle piante. Ciamician concluse così il suo intervento: «Chissà che in avvenire non sia possibile mandare in effetto delle reazioni fotochimiche, come sarebbe la seguente: gli ultimi prodotti della combustione, i rifiuti che le fabbriche mandano nell'aria, sono l'anidride carbonica e il vapore acqueo. Dato un opportuno catalizzatore si dovrebbe potere, con la partecipazione dell'energia solare, trasformarli in metano ed ossigeno i quali, bruciando, ridarebbero, naturalmente, in forma di calore tutta l'energia acquistata dal sole.

Quando un tale sogno fosse realizzato le industrie sarebbero ricondotte ad un ciclo perfetto, a macchine che produrrebbero lavoro colla forza della luce del giorno, che non costa nulla e non paga tasse!». La relazione di Giacomo Ciamician fece molto effetto. Tanto che venne pubblicata integralmente subito dopo, il 27 settembre 1912, su *Science*, la rivista dell'Associazione Americana per l'Avanzamento delle Scienze (AAAS). Perché, con capacità visionaria, affrontava due problemi strategici per il futuro dell'umanità, anche se allora poco visibili, i problemi che a partire dalla seconda parte del XX secolo saranno indicati come i termini di *depletion* (esaurimento delle risorse) e di *pollution* (inquinamento). Per quanto riguarda il primo problema, la strada indicata da Ciamician era ed è tuttora limpida: il Sole regala alla Terra una quantità praticamente illimitata di energia radiante, più che sufficiente a mandare avanti non una, ma mille e mille economie energivore del tipo di quelle sviluppate dalla specie *Homo sapiens*, la nostra specie. Se impariamo a catturare l'energia che ci regala il Sole,

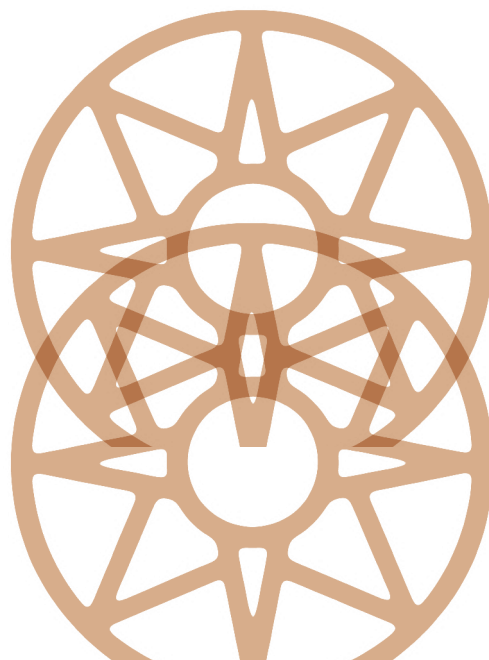
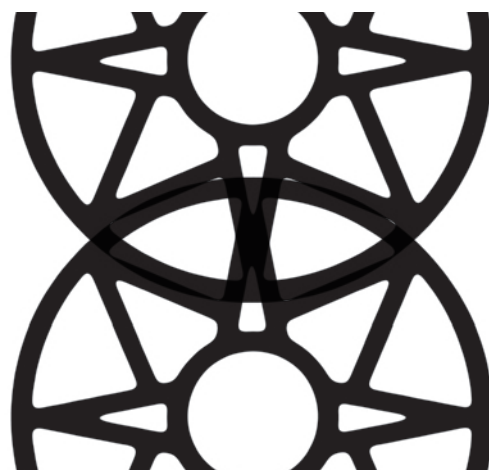
● **La fotosintesi può facilmente diventare “carbon free”: non produrre al netto CO<sub>2</sub> o altri gas serra**

avremo risolto per sempre il problema dell'approvvigionamento energetico. Il secondo motivo per imparare a “fare come le piante” riguarda l'inquinamento: un sistema produttivo fondato sul ciclo della fotosintesi – trasformazione di acqua e anidride carbonica in ossigeno e metano (o altre molecole organiche) e viceversa – sarebbe intrinsecamente pulito. La fotosintesi artificiale, dunque, è in grado di regalarci tutta l'energia e tutta la pulizia di cui abbiamo biso-

gno, proprio come sosteneva il lungimirante chimico italiano cento e più anni fa. Oggi quella lucidità ci appare ancora più evidente, perché la fotosintesi può facilmente diventare “carbon free”: non produrre, al netto, anidride carbonica o altri gas serra e, dunque, non contribuire ai cambiamenti del clima.

Nel 1912 quello di Ciamician era un sogno, per quanto lucido. Nessuno – neppure lui – sapeva come esattamente “fanno le piante”, E, dunque, nessuno sapeva come imitarle. Ancora oggi, d’altra parte, non abbiamo raggiunto l’obiettivo. Anzi, ne siamo abbastanza lontani: come dimostra lo scarto di efficienza tra una banalissima pianta e i sofisticati apparati che molti nipotini di Ciamician, fotochimici moderni, hanno messo a punto. Ma la distanza tra noi e le piante si è accorciata, come testimonia, tra gli altri, il risultato ottenuto di recente da Marcella Bonchio dell’Università di Padova e dalla sua équipe. Non è un caso che parliamo, ancora una volta, di un’impresa italiana. Abbiamo una buona scuola di fotosintesi artificiale in Italia. A Bologna, per esempio, gli eredi scientifici di Ciamician hanno battuto e stanno ancora battendo strade promettenti: Vincenzo Balzani e il suo gruppo di ricerca hanno messo a punto, negli anni scorsi, delle “macchine molecolari” capaci di trasformare energia luminosa in energia chimica. A Balzani per questi lavori non (e sottolineiamo non) è stato assegnato un Nobel che avrebbe largamente meritato.

Ciò non toglie che in giro per il mondo ci siano, anche, altri centri di ricerca – come il KAITEKI Institute in Giappone o il Joint Center for Artificial Photosynthesis negli Stati Uniti – che hanno raccolto in concreto la sfida lanciata da Giacomo Ciamician. Una sfida che sta producendo risultati concreti a ritmi crescenti. Nel 2011, ad esempio, il gruppo di Daniel Nocera presso il Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston, ha creato una “foglia artificiale”, capace non solo di produrre la fotosintesi, ma di realizzarla con un’efficienza addirittura dieci volte superiore a quella di una foglia di una pianta normale. Ahinoi la macchina fotosintetica prodotta in laboratorio non è capace di



lavorare per lungo tempo. Nell'autunno 2014, poi, Douglas MacFarlane, a capo dell'*Energy Program* della Monash University in Australia, ha annunciato sulla rivista *Advanced Energy Materials* di aver messo a punto un sistema di fotosintesi artificiale in grado, con la sola luce del sole, di trasformare anidride carbonica in metanolo in maniera stabile. E poi ci sono le proposte di "fotosintesi ibrida artificiale/naturale". Non solo quelle di Peidong Yang, ma anche quelle di Tian Zhang, un altro cinese trapiantato in Europa, presso l'Università tecnica della Danimarca, che non molto tempo fa ha annunciato sulla rivista *Frontiers in Microbiology* la realizzazione di un sistema, il MES (*microbial electrosynthesis*) in cui anodo e catodo di un sistema fotosintetico ibrido sono alimentati non dalla luce solare diretta, ma da pannelli fotovoltaici che hanno già trasformato l'energia radiante del Sole in energia elettrica. Quanto al catalizzatore messo a punto da Marcella Bonchio e colleghi, può dare un forte contributo ad accelerare la ricerca e giungere a migliorare le prestazioni finora ottenute. Quello messo a punto dalla docente dell'Università di Padova e dal suo gruppo di collaboratori è, per la verità, un dispositivo a scala atomica costituito da un'antenna molecolare in grado di catturare l'energia solare e da un catalizzatore in grado di trasformarla in energia biochimica. L'articolo sull'ossidazione foto assistita dell'acqua è stato pubblicato non molto tempo fa, il 3 dicembre 2018, sulla rivista specializzata *Nature Chemistry*. Ed è la dimostrazione che la ricerca, strategica, nel campo della fotosintesi artificiale procede spedita. Forse il sogno di Giacomo Ciamician è a un passo dall'essere realizzato. Oggi l'efficienza di alcuni sistemi di fotosintesi artificiale ha raggiunto un valore molto superiore: del 10%. Non molto lontano dal valore del 20% che l'Unione Europea ha posto come obiettivo ai suoi scienziati.

Certo, tutto questo, e molto altro ancora, non significa che l'indicazione di Giacomo Ciamician sia diventata già concreta realtà. Occorrerà ancora tempo (molto o poco non sappiamo) prima che dagli esperimenti nei laboratori chimici si passi all'applicazio-

ne su larga scala. Occorrerà attendere che la "fotosintesi artificiale" e/o la "fotosintesi ibrida" dimostrino di avere il combinato disposto del definitivo successo: i caratteri di stabilità, efficienza ed economicità che ancora, evidentemente, non hanno. Ma noi, che non siamo chimici e/o ingegneri, che possiamo fare? Dobbiamo solo aspettare? Assolutamente no. Affinché il sogno di Ciamician si realizzi, infatti, occorre che intervenga la politica. Proprio MacFarlane e Nocera, in una sorta di manifesto pubblicato nel 2013 su *Energy and Environmental Science*, proponevano la creazione di un "Global Project on Artificial Photosynthesis", un grande progetto globale sulla fotosintesi artificiale capace di risolvere i due problemi posti da Ciamician: accesso a una fonte illimitata di energia e contrasto ai cambiamenti climatici (dovuti a una forma di inquinamento). Per realizzare questo progetto di politica energetica comune occorre la volontà dei governi. E dell'opinione pubblica che li sostiene. Occorre, dunque, anche la nostra volontà. Già perché questa ricerca ha davvero un valore strategico. La fotosintesi artificiale può essere la risposta definitiva e rapida alla domanda di energia rinnovabile e *carbon free* che è alla base delle politiche di prevenzione dei cambiamenti climatici.

La proposta di uno sforzo – di un grande progetto globale – non è velleitaria. L'Unione Europea ha accettato che venga impostata l'istruttoria per fare di



**La fotosintesi artificiale altro non è che un'interazione fra gli "atomi di luce" e gli "atomi di materia" scoperti da Einstein**

questa ricerca una delle sue "mission": i grandi programmi scientifici finanziati con almeno un miliardo di euro. Speriamo che la proposta passi, perché trasformare in maniera diretta l'energia luminosa in energia chimica, come fanno le piante, cento e più anni dopo la proposta di Giacomo Ciamician non è solo più attuale che mai, è decisiva per la società umana. Gli esperti dell'IPCC, l'*Intergovernmental Panel on Climate Change*, lo ha detto chiaro e tondo

nei mesi scorsi: se vogliamo mantenere la temperatura media del pianeta sotto i 2 °C e magari gli 1,5 °C di aumento rispetto al periodo pre-industriale dobbiamo fare presto. Abbiamo ancora pochi anni. Abbiamo ancora pochi anni per imparare a “fare come le piante”. Già, ma tutto questo cosa centra con la tavola periodica di Mendeleev? Beh, la risposta è banale. Dobbiamo imparare a utilizzare un po’ tutti gli elementi messi in ordine dal chimico russo e poi dai suoi successori (gli elementi che si trovano in natura sono 92) e dobbiamo capire tutti i motivi perché questi elementi hanno un ordine periodico in quella tavola, per “fare come le piante”. Perché la fotosintesi artificiale altro non è che un’interazione fra atomi: gli “atomi di luce” scoperti da Einstein (i fotoni) e gli “atomi di materia” messi in ordine da Mendeleev.

## Web e dati personali: le preoccupazioni degli italiani

Barbara Saracino

L'aumento della connettività e la crescita di applicazioni di facile utilizzo e accessibilità da tutti i dispositivi hanno favorito l'uso di spazi di comunicazione e di contenuti, di piattaforme che permettono lo scambio di informazioni, beni e servizi, ma hanno anche messo in evidenza con più forza le questioni relative alla privacy, alla sicurezza e alla tracciabilità dei dati degli utenti. Lo conferma un'indagine realizzata da Observa – Science in Society



Nel 2018 è continuata a crescere la diffusione delle tecnologie ICT in Italia: la quota di cittadini che dichiarano di non aver mai usato Internet è scesa al 20%, mentre era pari al 50% appena dieci anni fa. Negli ultimi dodici mesi si è connesso alla Rete quasi il 70% degli italiani e il 52% lo ha fatto tutti i giorni. Come mostrano gli ultimi dati dell'Istat, i più grandi utilizzatori di Internet sono ovviamente i giovani – tra i 15-24enni la quota di quanti usano Internet è superiore al 94% – ma la diffusione comincia ad essere significativa anche tra i 65-74enni: nel 2018 è arrivata al 40%, aumentando di quasi dieci punti percentuali in un solo anno. Il rapporto con il web conferma un divario di genere (navigano su Internet il 73% degli uomini e il 65% delle donne), tuttavia fino ai 44 anni le differenze sono molto contenute e si annullano tra i più giovani. Tra chi usa Internet, lo strumento prioritario per connettersi è lo smartphone. I dieci siti più visitati sono Google, Youtube, Facebook, Amazon, Wikipedia, Ebay, Libero, Yahoo e Repubblica, mentre le attività più diffuse sono quelle legate all'uso di servizi di comunicazione e di informazione. Secondo i dati più recenti dell'Eurostat, nei tre mesi precedenti alla rilevazione effettuata, il 77% degli internauti italiani ha inviato o ricevuto e-mail, il 39% ha effettuato chiamate via Internet e il 61% ha usato un social media network. Più della metà ha letto siti di informazione o ha consultato un *wiki* e il 46% in particolare ha cercato informazioni mediche. Quasi un terzo degli utenti Internet ha poi pubblicato sul web contenuti di propria creazione (come testi, fotografie, musica, video, ecc.), ha fatto ricorso a servizi di cloud (come dropbox, google drive, ecc.) per archiviare docu-

menti, immagini o altri file, e ha ordinato o comprato merci o servizi.

L'aumento della connettività e la crescita di applicazioni di facile utilizzo e accessibilità da tutti i dispositivi hanno favorito l'uso di spazi di comunicazione e di contenuti, di piattaforme che permettono lo scambio di informazioni, beni e servizi, ma hanno anche messo in evidenza con più forza le questioni relative alla privacy, alla sicurezza e alla tracciabilità dei dati degli utenti. Non solo: nell'ultimo anno, anche a seguito degli scandali e delle vicende di cronaca che hanno coinvolto colossi dell'economia digitale come Google e Facebook, e dell'applicazione in tutti gli Stati membri del Regolamento dell'Unione Europea 2016/679, noto come GDPR (*General Data Protection Regulation*) – relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento e alla libera circolazione dei dati personali, il dibattito pubblico si è fatto più acceso.

Observa – Science in Society conduce dal 2003, attraverso l'Osservatorio Scienza Tecnologia e Società, un monitoraggio dei comportamenti e delle opinioni dei cittadini italiani su questioni relative a scienza e tecnologia, con un'indagine campionaria annuale. L'indagine viene svolta su tutto il territorio italiano e coinvolge, attraverso un misto di tecniche CATI (*Computer Assisted Telephone Interviewing*) e CAWI (*Computer Assisted Telephone Interviewing*), un campione di 1.000 casi proporzionale e rappresentativo per genere, classe d'età e provincia di residenza della popolazione italiana con età maggiore o uguale ai 15 anni. Nel 2018, tra le altre cose, l'Osservatorio ha chiesto agli italiani quanto sono preoccupati dell'uso dei dati che immettono sul

Figura 1 - Cittadini preoccupati per la privacy e per la sicurezza dei propri dati su Internet (%; 2018: n=985)

Fonte: Annuario Scienza Tecnologia Società 2019 (ed. Il Mulino)

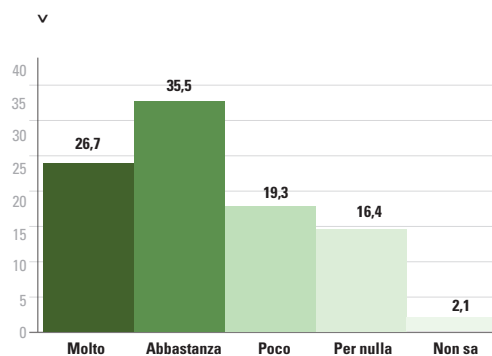


Figura 2 - Precauzioni adottate dai cittadini per proteggere i propri dati su Internet (possibili più risposte, % valida di sì; 2018: n=613)

Fonte: Annuario Scienza Tecnologia Società 2019 (ed. Il Mulino)

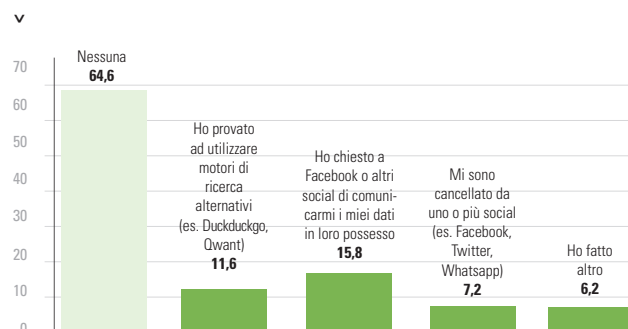


Tabella 1 - Preoccupazioni dei cittadini per gli usi dei propri dati su Internet (% valida; 2018: n=613)

Fonte: Annuario Scienza Tecnologia Società 2019 (ed. Il Mulino)

	Molto o abbastanza	Poco o per nulla	Non sa
La possibilità che informazioni sensibili e contatti siano divulgate a terzi	89,6	10,3	0,1
La possibilità che i miei gusti e preferenze siano monitorate da motori di ricerca (es. Google) e social media (es. Facebook, Whatsapp)	80,1	18,7	1,2
La possibilità che qualcuno cerchi di influenzare le mie opinioni politiche attraverso post e commenti mirati (es. su Facebook, Twitter)	61,7	37,4	0,9

web e se hanno adottato precauzioni per proteggerli. Più del 60% dei cittadini si è dichiarato molto o abbastanza preoccupato per l'uso dei propri dati. Solo il 16% ha affermato di non essere per nulla preoccupato (fig. 1). Da un certo punto di vista, la preoccupazione è comprensibilmente più diffusa tra chi maggior-



**Il 78,5% degli intervistati ritiene che chi usa i social debba essere consapevole dei rischi che corre**

mente utilizza le piattaforme digitali, ad esempio gli italiani più istruiti e che si informano di più; tuttavia, i più giovani, che ampiamente si espongono su questi mezzi, sono risultati meno preoccupati degli altri. Tra coloro che sono molto o abbastanza preoccupati, la questione che li preoccupa di più è la possibilità che

informazioni sensibili e contatti siano divulgate a terzi (90%); al secondo posto si trova invece la possibilità che gusti e preferenze siano monitorate da motori di ricerca e social media (80%) e al terzo posto la possibilità che qualcuno cerchi di influenzare le opinioni politiche attraverso post e commenti mirati (62%). A fronte di queste preoccupazioni, pochi hanno però effettivamente adottato qualche precauzione per proteggere i dati che immettono sul web (fig. 2). Tra coloro che sono molto o abbastanza preoccupati dei loro dati, il 65% non ha adottato alcuna precauzione per proteggerli. Solo il 16% dei cittadini ha chiesto a Facebook e/o ad altri social media di comunicargli che dati avessero in loro possesso e il 12% ha provato ad usare motori di ricerca alternativi. Ancora più bassa la percentuale di chi è uscito completamente da almeno uno dei social media. Nel complesso, l'atteggiamento generale sembra riassumibile con la frase:

Tabella 2 - Opinioni sulla privacy e la sicurezza dei dati su Internet (%; 2018: n=985)

Fonte: Annuario Scienza Tecnologia Società 2019 (ed. Il Mulino)

>	Molto o abbastanza	Poco o per nulla	Non sa
Aziende come Google o Facebook hanno ormai troppo potere, occorre più vigilanza e regolamentazione	83,9	10,5	5,6
Chi usa i social media deve essere consapevole dei rischi che corre, non può dare la colpa alle aziende	78,5	16,4	5,1
I social media dovrebbero essere proibiti ai minori di 18 anni	74,2	24,3	1,5

Tabella 3 - Le competenze scientifiche degli italiani: risposte alle cinque affermazioni somministrate (%; 2018: n=985)

Fonte: Annuario Scienza Tecnologia Società 2019 (ed. Il Mulino)

>	Vero	Falso	Non sa
Gli elettroni sono più piccoli degli atomi	53,9	28,2	17,9
Gli antibiotici uccidono sia i virus che i batteri	37,4	56,2	6,4
Il sole è un pianeta	33,5	62,8	3,7
L'azoto è l'elemento più diffuso nell'aria	56,5	33,4	10,1
Il bit è l'unità di misura della quantità di informazione	47,5	29,5	23,0

«sono preoccupato/a ma non rinuncio alla possibilità di essere connesso/a».

Quasi quattro italiani su cinque (78,5%) ritengono che chi usa i social media debba essere consapevole dei rischi che corre e non possa dare la colpa alle aziende. Una percentuale ancora più alta (84%) crede che sia comunque necessario un controllo in termini di vigilanza e regolamentazione, perché aziende come Google o Facebook hanno ormai troppo potere. Il 74% poi ritiene che una possibilità di protezione particolare debba riguardare i minori, vietando loro i social media prima del compimento della maggiore età (tab. 2). L'idea che chi usa i social media debba essere consapevole dei rischi che corre e non possa dare la colpa alle aziende è condivisa soprattutto dai cittadini più giovani, più istruiti e più esposti all'informazione. I più giovani però sono anche meno frequentemente d'accordo degli altri sul fatto che occorra più

vigilanza su aziende come Google e Facebook e che i social media debbano essere proibiti ai minori di 18 anni. In sintesi, la maggior parte dei cittadini italiani è preoccupato per la privacy e la sicurezza dei propri dati e delle informazioni personali che immette sul web, ma non si sente in grado di gestire in modo con-

**Tra gli italiani solo il 28% risulta possedere competenze digitali elevate, la maggioranza ne ha invece di base (35%) o basse (33%)**

vincente questo aspetto in autonomia: la percezione dominante è il rapporto impari tra le possibilità a disposizione del singolo utilizzatore e il potere assunto dai colossi del web. Emerge per questo motivo una forte richiesta di regolamentazione e vigilanza istituzionale, in particolare per le nuove generazioni ma,

paradossalmente, meno dalle nuove generazioni.

I giovani si sentono meno preoccupati e più competenti di gestire i rischi per il fatto di usare le piattaforme digitali più degli altri. Resta però una domanda: è davvero così? Si può difendere la privacy e la sicurezza dei propri dati usando più assiduamente il web o in parte è solo un'illusione e in Italia c'è bisogno di più vigilanza e regolamentazione istituzionale, ma anche di maggiore educazione e consapevolezza? Ancora una volta, anche in questo caso, i dati sembrano far diventare questa solo una domanda retorica. Nel 2018 l'Italia si è posizionata quart'ultima in Europa sulla dimensione «Capitale umano» dell'Indice di digitalizzazione dell'economia e della società calcolato dall'Eurostat; in particolare, tra gli italiani internauti solo il 28% risulta possedere competenze digitali elevate, la maggioranza ha invece competenze di base (35%) o basse (33%), e vi è una nicchia che non risulta avere alcuna competenza (3%). L'età è una variabile importante ma non decisiva: tra i giovani 16-24enni solo il 38% risulta avere livelli avanzati. Altra variabile discriminante è il grado di istruzione, ma anche in questo caso sono meno della metà i laureati che usano la Rete che hanno competenze digitali elevate.

Interessante è mettere l'accento sull'alfabetizzazione al digitale. Dal 2007, con cadenza annuale, l'Osservatorio Scienza Tecnologia e Società monitora l'andamento del cosiddetto «alfabetismo scientifico». Oltre alle tradizionali tre domande standardizzate anche su scala internazionale – «gli elettroni sono più piccoli degli atomi», «gli antibiotici uccidono sia i virus che i batteri», «il Sole è un pianeta» – nella rilevazione del 2018 l'Osservatorio ha aggiunto due nuove domande: ha chiesto ai cittadini se è vero o falso che l'azoto è l'elemento più diffuso nell'aria e il che bit è l'unità di misura della quantità di informazione (tab. 3). Sorprendentemente la quota di italiani che risponde correttamente alla domanda sul bit è pari solo al 47,5%. Per questo *item* si registra la quota più alta di non risposte tra tutte e cinque le domande somministrate: più di un italiano su cinque preferisce infatti non rispondere. Quasi il 40% tra i giovani e il 30% tra i laureati non sa cosa sia il bit.



## Cronaca di una fine

Romualdo Gianoli

Come crolla un impero? Per molti motivi: invasioni, fattori economici, lotte di potere, guerre, epidemie, carestie. Ma anche a causa dei cambiamenti climatici. Le prove? In una grotta a più di 5.000 metri sul livello del mare, nell'Iran occidentale, dove i ricercatori hanno trovato l'indizio che potrebbe spiegare in che modo, oltre 4.000 anni fa, sia crollato il primo grande impero della storia umana, quello accadico



L'impero accadico si sviluppò a partire dalle principali città del centro-nord della Mesopotamia, fra le quali Akkad (da cui prese il nome) e Babilonia. Grazie a una serie di campagne militari si estese, poi, verso il sud sumerico mentre a nord il controllo diretto del territorio giunse fino a Ebla, nell'attuale Siria. In pratica, già con il suo fondatore Sargon, quello accadico può essere considerato il genitore di ciò che con i suoi successori diventerà il primo, vero, impero "universale". Vale a dire un'entità politico-territoriale, caratterizzata da una notevole disomogeneità sul piano geografico, etnico e culturale, avente il suo fulcro in Mesopotamia ma estesa a est fino alla regione di Barakhshi, sull'altopiano iranico, a nord su tutta l'alta Mesopotamia e l'Anatolia centrale e a ovest sull'area siriana già controllata dalla città di Ebla che, infatti, fu distrutta. All'apice della sua storia, dunque, l'influenza culturale, commerciale, amministrativa e militare accadica, si estendeva su una vasta area tra Medio Oriente e Asia, lungo il Tigri e l'Eufrate, tra le attuali Siria, Turchia, Iran, Arabia Saudita e Iraq. Tuttavia, come accaduto ad altri imperi nel corso storia, anche quello accadico dopo aver raggiunto il massimo della potenza e dell'espansione territoriale crollò, a soli 150 anni circa dalla sua fondazione, a causa dell'invasione di popolazioni provenienti dal nord. Almeno secondo la storiografia più accreditata finora. Ora, però, studi provenienti da una direzione piuttosto insolita, indicano che la faccenda sarebbe stata notevolmente più complessa e svelano le vere ragioni che, come nel gioco del domino, avrebbero portato a una fine altrimenti piuttosto inspiegabile. Il primo indizio lo possiamo avere già

solo guardando la cartina geografica. L'impero si sviluppava principalmente da nord a sud finendo, così, per comprendere regioni caratterizzate da climi molto diversi. A nord c'erano le terre più fertili, considerate uno dei granai dell'Asia Minore, ma estremamente dipendenti dall'andamento delle piogge; a sud le pianure alluvionali bisognose d'irrigazione. Così, nel corso del tempo, l'impero finì per diventare sempre più dipendente dalla produzione agricola dei territori del nord. Il grano che vi si coltivava, infatti, era usato per sfamare l'esercito (la principale forza di coesione dell'impero) o distribuito tra i sostenitori dell'apparato di governo. Per oltre un secolo, le cose andarono bene, seppure basate su un delicato equilibrio finché, a un certo punto, qualcosa dovette intervenire a rompere questo equilibrio e la situazione precipitò velocemente fino al crollo finale, caratterizzato da conflitti, migrazioni di massa e mancanza d'acqua e cibo. Di questi eventi e dell'angoscia che provocarono, è rimasta traccia addirittura in un antico testo accadico, la "Maledizione di Akkad", che descrive il turbolento periodo che portò alla disgregazione dell'impero: «...i grandi campi arabili non producevano più grano, i campi inondata non producevano pesce, i frutteti non producevano sciroppo o vino, dalle spesse nubi non pioveva più». Le vere cause del crollo dell'impero accadico sono state a lungo dibattute da archeologi, storici e scienziati che si sono divisi tra varie tesi. Il brano precedente sembrerebbe, però, accreditare la spiegazione per la quale l'impero sarebbe crollato per l'improvviso insorgere di condizioni di estrema siccità, che colpirono duramente le regioni produttive setten-



trionali. È l'ipotesi sostenuta da Harvey Weiss, archeologo della Yale University, che assieme ad altri colleghi ha scoperto le prove di come il nord della Siria, una volta una regione prospera e produttiva, fosse stato improvvisamente abbandonato circa 4.200 anni fa, a causa di un'improvvisa siccità, le cui tracce sarebbero testimoniate dalla presenza di grandi quantità di sabbia portata dal vento, che ricoprì i suoli un tempo fertili. Altri archeologi, invece, hanno rigettato la possibilità di un collegamento tra siccità e cambiamenti nell'assetto della società accadica, sostenendo che le evidenze archeologiche non fossero sufficientemente accurate da rendere attendibile l'ipotesi di Weiss.

Ora a portare nuovi argomenti a favore dell'ipotesi di Weiss arriva la ricerca di un team guidato dalla paleoclimatologa di Oxford, Stacey Carolin, pubblicata lo scorso gennaio su *PNAS*. Sebbene si tratti di capire il peso che pianure fertili e aridi deserti possono aver avuto nella fine di un impero di oltre 4.000 anni fa, in questa storia il ruolo del protagonista spetta a una grotta, distante molte centinaia di chilometri a est di quello che una volta era il territorio dell'impero accadico. È la grotta di Gol-e-Zard, un ambiente che per millenni, al riparo di una grande montagna di quasi 5.000 metri a est di Teheran, ha involontariamente accumulato una gran quantità di dati climatici. È qui che il team di Stacey Carolin ha trovato una sorta di archivio, perfettamente datato e ad alta risoluzione temporale, che ha permesso di ricostruire la storia dell'andamento delle polveri e della sabbia in tutta quell'area geografica, fra 5.200 e 3.700 anni fa. Ma perché una grotta, racchiusa in un monte a cen-

**Le vere cause del crollo dell'impero accadico sono state a lungo dibattute da archeologi, storici e scienziati**

tinaia di chilometri a est del suo territorio dovrebbe fornire informazioni sulla fine di un impero di 4.000 anni fa? Perché quella grotta, fortunatamente, si trova da sempre sottovento rispetto alle correnti d'aria che storicamente interessano quella regione. Ciò ha permesso di calcolare che il 90% della sabbia presente in tutta quell'area proviene dai deserti della Siria e dell'Iraq. Ora, si dà il caso che queste sabbie e polveri siano caratterizzate da una concentrazione


di magnesio ben superiore a quella del calcare locale di cui sono principalmente costituite le stalagmiti della grotta di Gol-e-Zard. Dunque, misurando la quantità di magnesio presente nei vari strati delle stalagmiti (che si accrescono per successive deposizioni, dal pavimento verso la volta, dei minerali contenuti nell'acqua che percola dai suoli soprastanti) è possibile risalire alla quantità di polveri e sabbie del deserto presenti in superficie in ogni epoca. E questo non è altro che un metodo per misurare indirettamente l'aridità dei suoli in una determinata epoca: più alta è la concentrazione di magnesio, maggiore è la quantità di sabbia e polveri presente, di conseguenza più aridi sono i suoli. A questo punto basta semplicemente incrociare questi dati con quelli storici e archeologici disponibili sull'impero accadico et voilà, il gioco è fatto. Ciò che si ottiene è un preciso calendario naturale, in grado di mettere in relazione periodi di particolare siccità con gli sconvolgimenti sociali. E questo è proprio quanto ha fatto il team di Stacey Carolin grazie al fatto, però, che le stalagmiti hanno l'ulteriore vantaggio di poter essere datate con precisione, grazie al sistema di cronologia uranio-torio. Così facendo, il gruppo di ricercatori ha potuto ricostruire una dettagliata storia della presenza di polveri e sabbia nella zona. Polveri e sabbia trasportate dai venti che, lungo il percorso e prima di arrivare fin lì, avevano attraversato le aree settentrionali fertili dell'impero accadico, depositandovisi in gran quantità. In questo modo sono stati individuati con grande precisione due periodi di estrema e prolungata siccità: uno, iniziato nel 4.510 a.C. e durato 110 anni e un altro, iniziato nel



**Nella grotta gli studiosi hanno trovato una sorta di archivio naturale che ha permesso di ricostruire la storia climatica dell'area**

4.260 a.C. e durato addirittura 290 anni. E proprio l'inizio di quest'ultimo evento coincide esattamente con l'epoca del collasso dell'impero accadico. Se questa scoperta non può essere considerata una prova decisiva del nesso causale tra cambiamenti climatici e caduta dell'impero, quanto meno, però, è indicativa di una forte "corresponsabilità". È storicamente noto, d'altronde, che il crollo della struttura sociale accadica fu accompagnato (e determinato) dallo





spostamento in massa delle popolazioni dal nord, ormai inaridito, verso il sud, nel tentativo di sfuggire alle carestie e alla siccità. Non è azzardato dire, allora, che quella fu una delle prime ondate di migranti ambientali della storia, qualcosa che ai tempi nostri vediamo (e vedremo) sempre più spesso e che, allora come oggi, generò enormi sconvolgimenti sociali. L'esodo di massa da nord a sud, infatti, portò a un conflitto con le popolazioni locali che si videro improvvisamente invadere da questi migranti. E quale fu, a quell'epoca, la risposta a quell'invasione? La costruzione di un muro lungo 180 chilometri fra il Tigri e l'Eufrate, il cosiddetto "muro degli Amorrei". Da quei lontani tempi sono passati oltre 4.000 anni ma, pensando alla cronaca dei nostri tempi, è curioso notare che le risposte a certi problemi sono ancora le stesse di allora.

## Il costo ecologico del muro di Trump

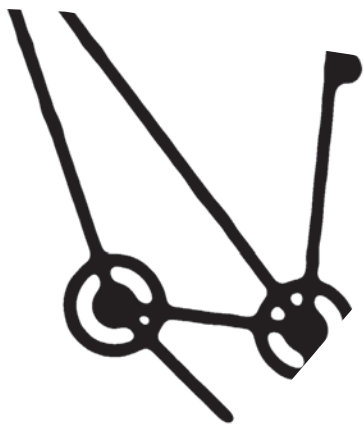
Francesca Buoninconti

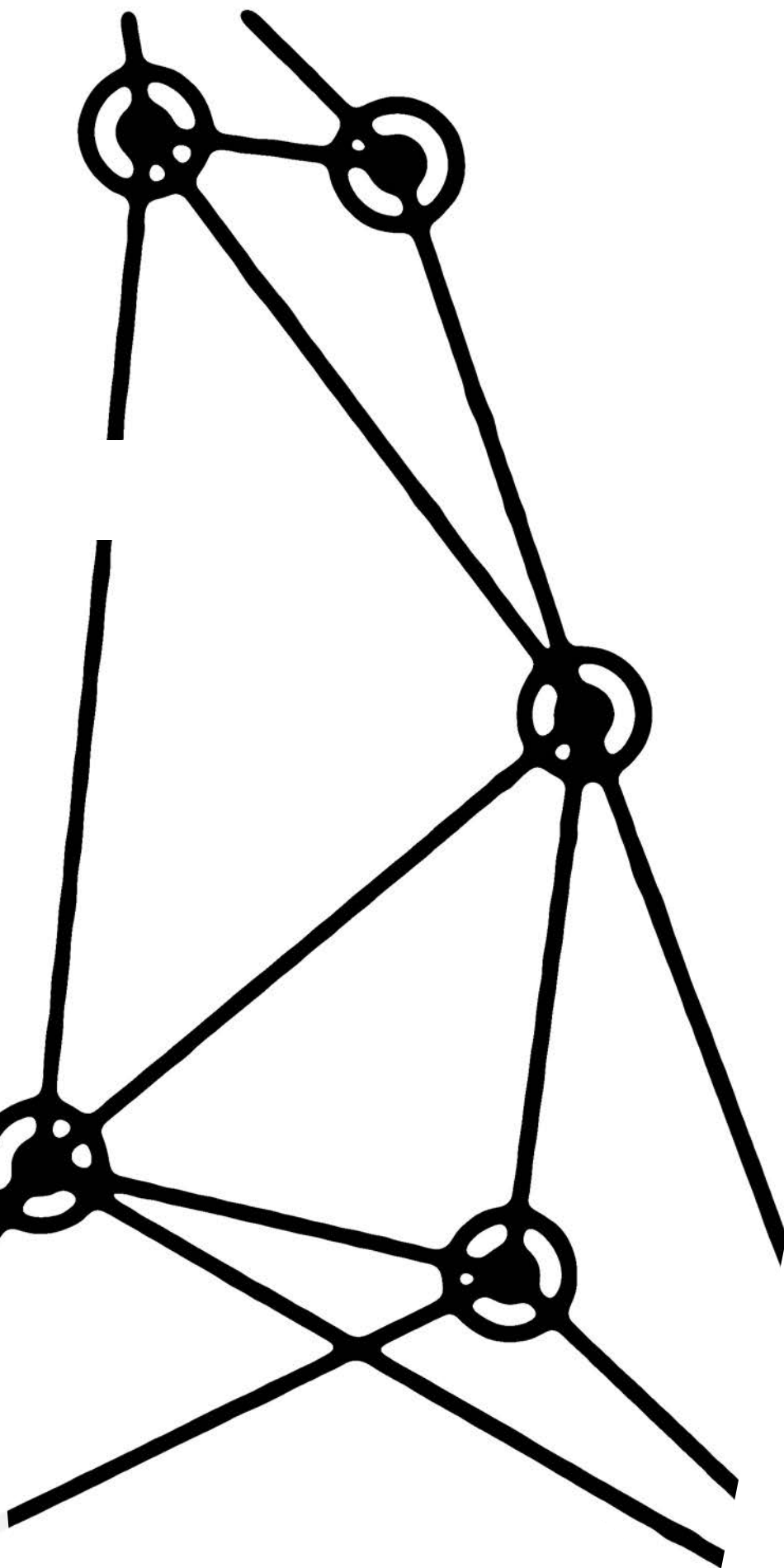
Quando si costruiscono muri non si dividono solo i popoli, ma si creano una serie di enormi impatti sull'ambiente, sulla fauna e la flora dell'area interessata. Figurarsi una barriera di ferro e cemento lunga oltre 2.000 chilometri e alta tra i 12 e i 15 metri come quella promessa dal presidente USA, il cui costo ecologico supererebbe anche quello per la sua costruzione. Un costo che pagheremmo tutti noi, cittadini del mondo

È stato lo *shutdown* più lungo della storia americana: 35 giorni di fermo delle attività amministrative, dal 22 dicembre 2018 al 25 gennaio 2019. Tutta colpa del braccio di ferro innescatosi tra il presidente Donald Trump e i democratici per approvare la legge di bilancio: motivo della discordia sono stati i 5,7 miliardi di dollari richiesti dal *tycoon* per finanziare quel muro al confine con il Messico, cavallo di battaglia della campagna elettorale. A febbraio il Congresso degli Stati Uniti, cioè Camera e Senato, ha trovato un accordo: il governo sarà finanziato fino a settembre, ma per il muro "anti-invasione" sono stati stanziati solo 1,3 miliardi sui 5,7 richiesti, che pare saranno utilizzati per costruire un tratto di oltre 100 chilometri. Una piccolissima parte, dunque, della barriera di ferro e cemento lunga oltre 3.000 chilometri e alta tra i 12 e i 15 metri promessa da Trump, che dovrà ancora aspettare (fortunatamente). *The Donald*, però, non ha rinunciato a ottenere quei soldi e ha scatenato una nuova *bagarre*. Per tener fede alle promesse fatte agli elettori ha dichiarato lo stato di emergenza nazionale al confine meridionale in modo da ottenere i fondi per la barriera, scavalcando il Congresso. Vorrebbe quindi dirottare parte dei fondi degli aiuti governativi destinati alla Florida, al Texas, alla California e ad altri stati del sud per la riparazione dei danni subiti da terribili alluvioni e incendi o per altri progetti di sviluppo. L'atto di forza è in linea con la solita dialettica dai toni sopra le righe che alimenta le paure, che contraddistingue il presidente a stelle e strisce, ma stavolta sta incontrando parecchi ostacoli. Infatti, finora ben 16 Stati hanno fatto ricorso contro la decisione del presiden-

te ed è probabile che si finirà davanti alla Corte Suprema. Trump, infatti, continua a ribadire che l'unica soluzione all'arrivo di clandestini e di droga è il muro. E lo ha affermato anche dopo l'ultima visita in Texas, proseguendo la sua campagna promuro su Twitter e cercando una legittimazione alla sua costruzione. «Al nostro confine meridionale c'è una crisi umanitaria, la situazione è molto peggiore di quanto quasi tutti possano immaginare, un'invasione» ha scritto. Poi ha aggiunto: «la barriera avrebbe dovuto essere costruita dalle precedenti amministrazioni, molto tempo fa. Non lo hanno mai fatto, lo farò io. Senza, il nostro Paese non può essere al sicuro». La storia è dunque ben confezionata per i suoi sostenitori: c'è un problema di sicurezza dovuto a un'invasione, che si può risolvere costruendo un muro e sarà lui ad avere il merito di completare ciò che i governi precedenti non hanno avuto il "coraggio" di fare.

La costruzione del muro anti-immigrazione, infatti, è iniziata quasi trent'anni fa, nel 1990 sotto la presidenza di George Bush, e il primo tratto – oltre una ventina di chilometri tra Tijuana e San Diego – venne completato nel 1993. A oggi "the wall" conta circa un migliaio di chilometri: in pratica un terzo del confine è già stato recintato con barriere in ferro, filo spinato, cemento, dissuasori vari. In alcuni punti impedisce solo il passaggio delle auto, in altri è già alto circa una decina di metri, come sulla spiaggia tra San Diego e Tijuana. Ha già devastato paesaggi, spaccato famiglie, creato danni ambientali, dovuti anche alla realizzazione di nuove strade e infrastrutture per la sua costruzione. Dunque la promessa di Trump è quella di completare il muro, sia in estensione che in altezza e un primo tratto è





già stato finito nell'ottobre del 2018. Ma per ultimare "l'opera" si dovrebbero costruire almeno altri 2.000 chilometri di recinzioni. Il confine tra i due stati corre infatti per oltre 3.100 chilometri, una distanza pari a quella che intercorre tra Napoli e San Pietroburgo. Di fatto, un'impresa che qualora venisse realizzata sarebbe anche costosissima da sorvegliare. Il costo di questa opera controversa, secondo il presidente statunitense, si aggira intorno a i 10 miliardi di dollari. Ma, stando a una stima più accurata fatta dalla *MIT Technology Review*, un muro di cemento armato e acciaio lungo 1.600 chilometri e alto 16 metri costerebbe intorno ai 38 miliardi di dollari. Senza contare le spese derivanti dall'acquisto dei terreni privati su cui dovrebbe passare il muro e quelle di sorveglianza e di manutenzione.

Al di là dei costi economici e dei pesanti risvolti umanitari, qualora venisse realizzata la barriera invalicabile che si estende per tutta la frontiera avrà un impatto devastante anche sull'ambiente. E purtroppo è una certezza: i danni arrecati da quel migliaio di chilometri di muri e recinzioni già presenti al confine tra Stati Uniti e Messico e completati negli ultimi tre decenni sono stati ben documentati. Vanno dalla distruzione dell'habitat, all'isolamento di intere popolazioni di quelli che sono alcuni degli animali più rari e meravigliosi del Nord America, come il giaguaro; fino all'inaspimento dei danni dovuti alle alluvioni: le barriere si sono comportate come dighe, impedendo all'acqua di defluire e aggravando il bilancio. Per esempio, le improvvise inondazioni verificatesi nell'agosto del 2018 a Nogales o nell'Organ Pipe Cactus National Monument in Arizona

**Un muro invalicabile per gli uomini lo è anche per tutta quella fauna che si muove a piedi o a nuoto**

hanno causato danni per milioni di dollari e due morti, anche a causa delle piene che hanno trovato la recinzione ad ostacolare il loro deflusso. Il muro, poi, si porta dietro anche un reticolo di chilometri di strade create nel nulla per raggiungere le aree di costruzione, che a loro volta hanno avuto un impatto negativo. Ora le mire di Trump puntano al Texas: il nuovo pezzo di frontiera da costruire attraverserebbe parchi nazionali, riserve indiane e per-

sino a una grossa sezione del Rio Grande, che sfocia nel Golfo del Messico ed è il terzo fiume più grande degli Stati Uniti, con tutte le aree protette e le zone umide annesse. E si preannuncia un nuovo disastro. Il prossimo passo, poi, potrebbe essere la sostituzione di quel tratto di muro storico, quanto vergognoso, tra San Diego e Tijuana. Qui il fiume Tijuana incontra l'Oceano Pacifico: l'estuario è anche una delle aree più ricche di biodiversità dell'intero stato della California. Ma il discorso vale per tutta la linea di confine, disseminata di parchi e di luoghi naturali quasi incontaminati.

Un muro invalicabile per gli uomini lo è anche per tutta quella fauna che si muove a piedi o a nuoto, o per chi non è un grande volatore. Dividerà in due l'areale di molte specie americane, alcune già in pericolo di estinzione. Molti animali selvatici che abitualmente attraversano il confine in cerca di acqua, cibo, nuovi spazi e territori non potranno più farlo e questo porterà alla frammentazione della loro popolazione. La barriera interromperà di fatto il flusso genetico tra individui, che è alla base di quella variabilità genetica che garantisce alle specie maggiori possibilità di sopravvivenza a lungo termine. La resilienza degli ecosistemi attraversati dal *Trump wall* verrà pesantemente intaccata. Chiunque mastichi un minimo di ecologia sa che la connettività del paesaggio tra aree naturali è un punto fondamentale per la tutela della natura: c'è addirittura un'intera

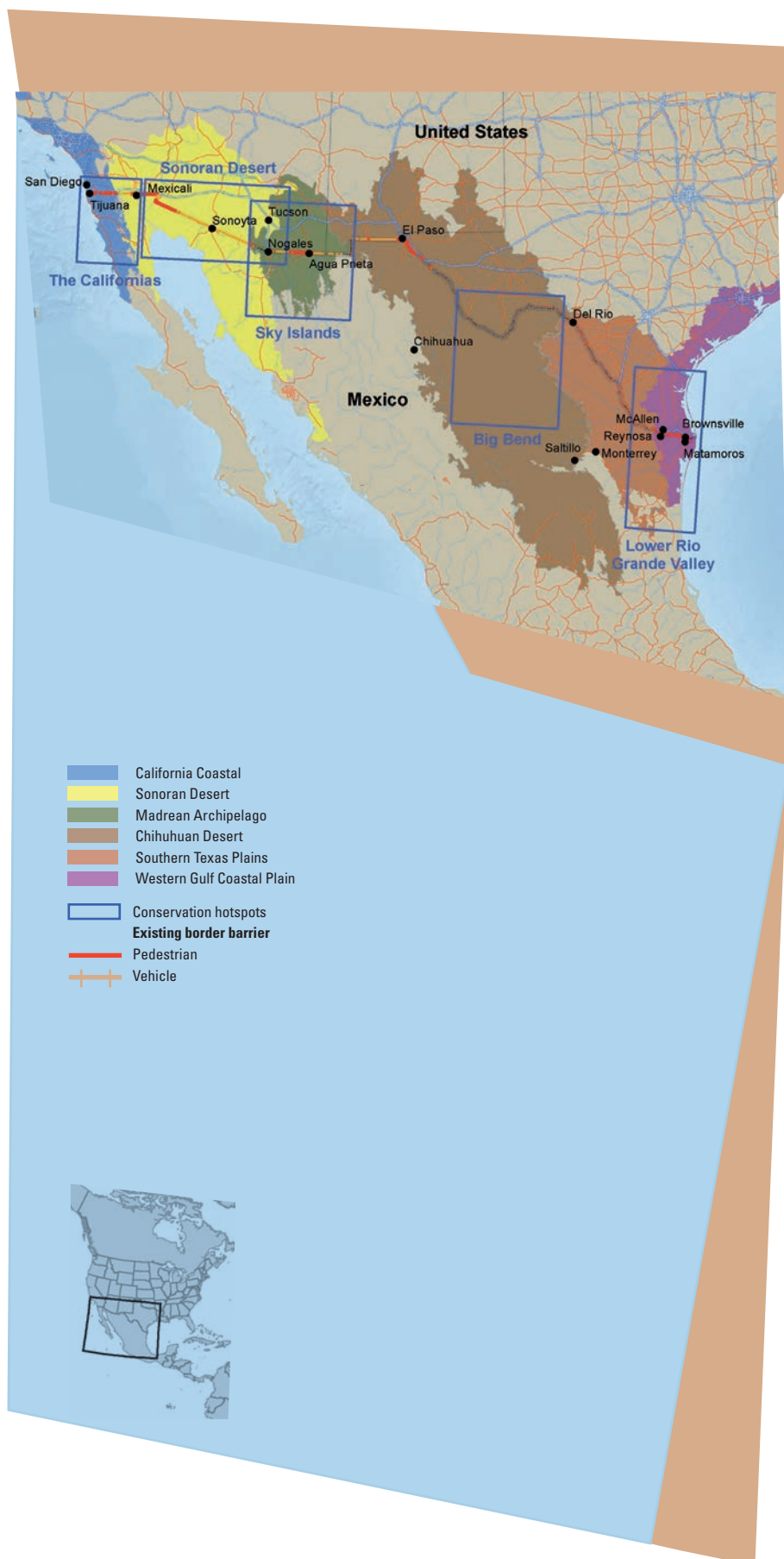


**Secondo uno studio, il muro anti-immigrazione taglierebbe l'areale di 1.500 specie animali e oltre 400 vegetali**

branca dell'ecologia che si dedica proprio allo studio degli impatti delle costruzioni umane e alla loro mitigazione. Una strada è per esempio già un confine invalicabile per moltissime specie, figuriamoci un muro alto diversi metri. Inoltre, alla costruzione della barriera si dovrà aggiungere il dedalo di strade che saranno aperte per proseguire i lavori e per consentire poi alle forze dell'ordine di sorvegliare

l'area. E, a tal proposito, si dovrà considerare anche un altro elemento: in alcune aree i fari saranno accesi costantemente e questo sarà un disturbo in più che potrebbe inficiare la sopravvivenza di tutte quelle specie che di notte cacciano o magari migrano. La costruzione del muro e delle relative infrastrutture, come strade, luci e basi operative, porta quindi alla distruzione o al degrado della vegetazione naturale, provoca la frammentazione e la perdita di habitat per molte specie, riduce la connettività degli habitat, erode il suolo e può aumentare i danni provocati dai fenomeni idrogeologici. Per non parlare dell'anidride carbonica che verrà prodotta per erigere il muro. Sempre secondo la *MIT Technology Review*, 1.600 chilometri di muro – solo per la loro costruzione – rilasceranno in atmosfera 7,4 milioni di tonnellate di anidride carbonica.

Trump però non sembra preoccuparsi di tutto ciò. Del resto, il riscaldamento globale per il presidente non esiste e non sembra curarsi neppure del fatto che la sua opera senza scrupoli attraverserebbe oltre 3.000 chilometri di catene montuose, fiumi e deserti. Spaccherebbe a metà il famoso deserto di Sonora, il Rio Grande, i canyon del parco nazionale di Big Bend, il massiccio montuoso delle Sky Islands che si estende tra Arizona e Messico. Taglierà quindi aree protette, santuari della biodiversità, e innumerevoli zone umide, minacciando la fauna e la flora locale. Per avere un'idea di quali e quante sono queste specie basta sfogliare il report "Trump wall" redatto nel 2016 dall'IPaC (*Information for Planning and Conservation*), uno strumento online sviluppato dall'U.S Fish & Wildlife Service che fornisce l'elenco di tutte le specie presenti nell'area selezionata dall'utente. Il report include oltre 200 specie della flora e della fauna americana, di cui più della metà sono già inserite nella *Red List* dell'IUCN (Unione internazionale per la conservazione della natura). Tra le più note e già a rischio ci sono il giaguaro (*Panthera onca*), l'ocelot (*Leopardus pardalis*), il lupo grigio messicano (*Canis lupus baileyi*), il lammantino dei caraibi (*Trichechus manatus*), l'aquila di mare dalla testa bianca (*Haliaeetus leucocephalus*), la

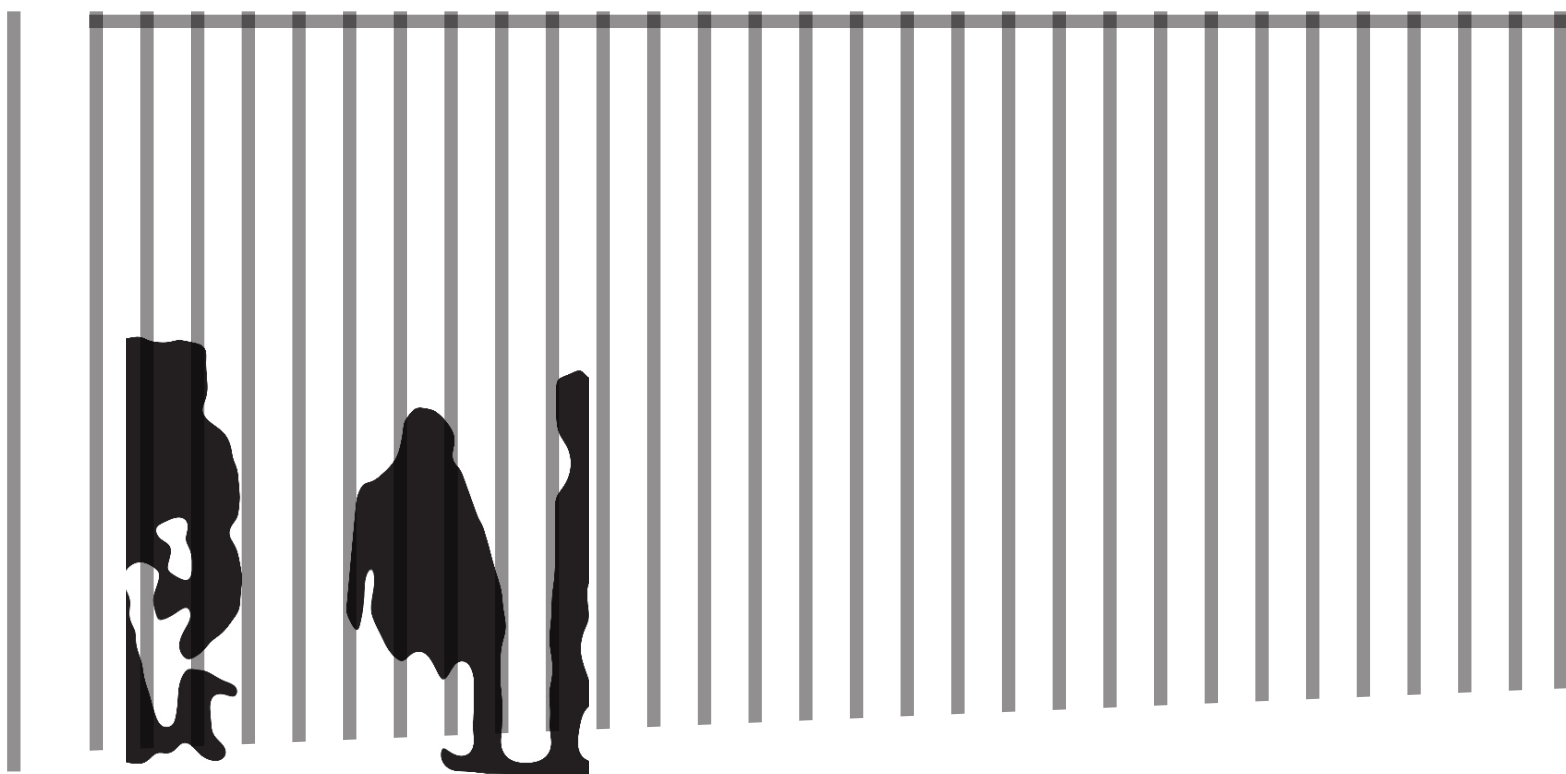


farfalla monarca (*Danaus plexippus*). O ancora il yaguarondi della costa del Golfo (*Herpailurus yagouaroundi cacomitli*), l'antilocapra americana di Sonora (*Antilocapra americana sonoriensis*), ma anche anfibi, molte specie di uccelli migratori, lumache di terra, tartarughe marine, pesci, persino pipistrelli e diverse specie di cactus. Altri studi, come quello uscito nel 2011 su *Diversity and Distribution* hanno esaminato l'impatto dei muri già presenti e delle possibili future barriere, concentrandosi solo su anfibi, rettili e mammiferi non volatori. E i risultati non sono poi molto diversi: l'aggiunta di nuove barriere lungo il confine incrementerà il numero di specie considerate a rischio per l'IUCN secondo i criteri della riduzione dell'habitat. Cosa che, come ribadito dagli autori dello studio, è già successa a 45 specie e tre sottospecie che si sono viste tagliare l'areale in due proprio dal muro di frontiera già costruito. Il dimezzamento dell'areale potrebbe essere letale per i grandi mammiferi cacciatori che solcano foreste e deserti per chilometri, come i lupi e i giaguari. Oggi ci sono meno di 150 lupi grigi tra gli Stati Uniti e il Messico. Gli ultimi censimenti hanno rivelato che la maggior parte di loro, oltre 110, sono tra l'Arizona e il New Mexico e un'altra trentina a sud, in Messico. Ma separarli metterebbe fine alla variabilità genetica di una già minuscola popolazione e potrebbe rendere impossibile il suo recupero, vanificando completamente gli sforzi di conservazione fatti finora per recupera-

**Fra gli effetti, la distruzione o degrado della vegetazione, la frammentazione e la perdita di habitat e l'erosione del suolo**

re questa sottospecie. Lo stesso vale per il giaguaro, di cui non si hanno stime di popolazioni precise. La popolazione al confine, circa 80-120 individui, vive per lo più nello stato messicano di Sonora, ma spesso attraversa il confine con incursioni in Arizona e in New Mexico, per lo più.

Il problema più grosso, però, non risiede nel numero o nella tipologia delle specie che subiranno i



danni derivati dalla messa in opera del progetto. Ma è a monte ed è costituito dalle modalità con cui il muro, o altri suoi pezzi, verranno eretti. L'opera, infatti, infrange l'articolo 7 dell'*Endangered Species Act*, che fondamentalemente dichiara che qualsiasi opera o progetto debba essere valutata dall'U.S. Fish and Wildlife Service per quanto concerne la conservazione delle specie a rischio di estinzione. Insomma, la barriera dovrebbe avere una sorta di corrispettivo delle nostre VIA, VAS e VINCA: le diverse valutazioni di incidenza e di impatto ambientale con cui si stabiliscono anche le operazioni di mitigazione. Ma così non è e non sarà per il *Trump wall*. Stavolta non è un vezzo del presidente americano, da sempre poco sensibile alle tematiche ambientali, ma è un *bias* della legge americana: il DHS, ovvero il dipartimento per la sicurezza nazionale (*Department of Homeland Security*) ha l'autorità per scavalcare qualsiasi legge rallenti il suo intervento che, si immagina, debba essere sempre il più tempestivo possibile. È più o meno lo stesso concetto per cui, per il codice stradale italiano, l'ambulanza a sirene e lampeggianti spiegate – in situazioni di emergenza – non è tenuta a osservare

rigidamente gli obblighi, i divieti e le prescrizioni relative alla circolazione. Perciò il DHS si troverà a violare l'*Endangered Species Act* (ESA) e la *National Environmental Policy Act* (NEPA), rinunciando all'analisi dell'impatto ambientale, allo sviluppo di strategie costruttive meno dannose e alla mitigazione dell'impatto. Tutte valutazioni e rimodulazioni del progetto che di fatto rallenterebbero la realizzazione della barriera alla frontiera. È accaduto lo stesso con i tratti di muro costruiti in passato. L'*Endangered Species Act* è stato varato nel 1973, vent'anni prima della costruzione delle prime barriere. Ma anche all'epoca gli esperti non hanno avuto la possibilità di valutare in anticipo quale sarebbe stato l'impatto delle recinzioni su fauna e flora, sul paesaggio o sulle piane alluvionali. Si è riusciti solo a fare la conta dei danni post-opera.

Così, proprio su questo punto fondamentale ha fatto leva uno studio uscito nel 2018 su *BioScience* e firmato da un team di ricercatori statunitensi e messicani, che hanno lanciato un appello firmato poi da oltre 2.600 scienziati di 43 paesi di tutto il mondo. "Nature divided, scientists united: US–Mexico bor-



der wall threatens biodiversity and binational conservation” – questo il titolo del *paper* – dimostrava in soli tre punti perché il muro anti-immigrazione non “s’ha da fare”. Uno: viola le leggi in materia ambientale, come detto. Due: il muro al confine tra Usa e Messico attraversa sei ecoregioni che includono zone costiere, deserti, foreste temperate e boschi, praterie e pianure, boscaglie subtropicali, zone umide di acqua dolce e paludi salmastre. Questi ambienti si estendono su porzioni di territorio enormi e, secondo lo studio, il muro anti-immigrazione taglierebbe dunque l’areale di 1.500 specie animali e oltre 400 vegetali: molte più di quante inserite nel report “*Trump wall*”. E, sempre secondo i calcoli, potrebbe limitare i movimenti del 34% di queste specie in spazi che saranno grandi meno della metà del loro areale originario, aumentando così il numero di specie da inquadrare nelle *Red List* dell’IUCN. Terzo e ultimo punto: il muro ostacola la ricerca scientifica e sminuisce il lavoro di conservazione fatto finora. Molte specie a rischio di estinzione per la degradazione dell’habitat sono state salvate – e ci si sta ancora lavorando – solo grazie a collaborazioni bi-na-

zionali, come è stato per l’antilopra americana del deserto di Sonora, per lo yaguarondi della costa del Golfo o anche per la farfalla monarca. Il muro mette a rischio tali investimenti, minando i loro obiettivi: in questo clima è difficile continuare la collaborazione per gli scienziati.

Ci sarebbe poi un quarto punto, non menzionato, che è la deturpazione del paesaggio. Al Sabal Palm Sanctuary, un’area protetta in Texas proprio sulle sponde del Rio Grande, la muraglia è già stata costruita anni fa e, da quel momento, il numero di visitatori è calato a picco. Immaginate di andare a Yellowstone o magari nel Grand Canyon per godere della pace e dello spettacolo della natura e di trovarvi di fronte a un muro, in cemento e ferro.

Gli attivisti nel mondo dell’ambientalismo hanno già dato luogo a proteste, ma questo non è un problema che va confinato alle manifestazioni dei cittadini. L’opera e il suo impatto vanno valutati da esperti scienziati, e in molti hanno già detto la propria. Anche perché quando si va ad alterare in modo così improvviso e invasivo l’equilibrio di un ecosistema, basta un solo “mattoncino” andato perso per avviare

un effetto domino e far cadere tutti gli altri. Una dinamica nota in ecologia come “effetto cascata” che si verifica quando una specie definita “chiave” (*keystone species*) viene eradicata o sensibilmente ridotta. Molto spesso però noi umani non abbiamo chiare neanche tutte le dinamiche che ci sono all’interno di un ecosistema e non riconosciamo il valore di ciò che abbiamo perso o di ciò che stiamo per perdere. Possiamo provare a dare un valore economico a un esemplare, forse a una specie, oppure anche a un servizio ecosistemico basandoci su ciò che ci fornisce. Ma già capire quanto valga la bellezza di un paesaggio da contemplare non è così semplice, anzi. Né valutare la fertilità del suolo, magari dovuta in larga parte alla presenza di un certo composto magari prodotto da una specie animale.

Attribuire un valore a tutto ciò che con la costruzione del muro verrà tolto a noi tutti, cittadini del mondo, e non solo messicani o americani, è davvero difficile. Quel che è certo è che se volessimo convertire il costo ecologico del *Trump wall* in cifre, questo supererebbe di gran lunga le spese per la sua costruzione. Per evitare un simile disastro, d'altronde, basta poco, anzi nulla. È sufficiente non costruirlo.



Silvia Capponi - Lisboa / Portogallo



conoscenza

comunicazione

inquinamento

scienza

prevenzione

informazione

infanzia

salute

diritti

ambiente

partecipazione

epidemiologia



## La crisi chimica delle PFAS

Francesca Gorini, Elisa Bustaffa, Fabrizio Bianchi

Le **sostanze perfluoroalchiliche** (PFAS – *PolyFluoroAlkyl Substances*) sono di crescente interesse e preoccupazione da quando, nell'estate 2013, fu segnalato un inquinamento diffuso delle acque superficiali e di falda in un'ampia area della regione Veneto, corrispondente al territorio della bassa Valle dell'Agno (Vicenza) e alcuni ambiti delle province di Padova e Verona. Da allora l'iceberg PFAS ha continuato ad emergere, mettendo in luce i problemi per la contaminazione della catena alimentare e per la salute umana, e allargando l'area di preoccupazione a molti territori oltre il Veneto, a conferma di una diffusione ampia di questo tipo di inquinamento, già documentata da tempo in numerose nazioni. Sulle PFAS e le loro conseguenze ambientali e sanitarie è stato scritto molto, sia da parte delle Agenzie e degli Enti coinvolti, sia di associazioni e comitati che seguono assiduamente tutte le vicende come diretti interessati, e sono in crescita anche gli articoli scientifici in materia.

*Micron* ha dedicato attenzione alle PFAS con un intervento dettagliato pubblicato nell'agosto del 2018. Anche in Europa c'è molta attenzione e risale a un mese fa la pubblicazione del primo dei due pareri dell'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA – *European Food Safety Authority*) sulla valutazione dei rischi delle PFAS per la salute umana, sulla base di nuovi dati emersi dopo la sua iniziale valutazione del 2008. Con il presente intervento ci proponiamo di offrire alcuni approfondimenti e aggiornamenti sul piano scientifico, portando all'attenzione dei lettori i contenuti della recente audizione di **Linda Birnbaum**, Direttrice del *National Institute of Environmental Health Sciences* (NIEHS) degli Stati Uniti, davanti alla Sottocommissione sulla supervisione della spesa federale e gestione delle emergenze e alla Commissione per la sicurezza interna e affari governativi del Senato degli Stati Uniti. Il **NIEHS** è una delle agenzie federali che più attivamente ha curato i molteplici aspetti della problematica legata all'inquinamento da PFAS.

La missione del NIEHS, come stabilito dal *Public Health Service Act*, è quella di condurre e sostenere la divulgazione di **informazioni** sulla ricerca, la formazione e l'impatto sulla salute derivante dai fattori ambientali che possono contribuire, direttamente o indirettamente, all'insorgenza di esiti sanitari. Inoltre il NIEHS ha anche la responsabilità del *Superfund Research Program* (SRP), un programma di ricerca volto allo sviluppo di strumenti e metodi per la

rilevazione, la mitigazione e l'eliminazione di sostanze pericolose nell'ambiente, e alla valutazione degli effetti di tali sostanze sulla salute. Da tre decenni il NIEHS sponsorizza la ricerca di base finalizzata allo studio degli effetti sull'uomo associati all'esposizione alle PFAS e, in collaborazione con il *National Toxicology Program* (NTP) e altre agenzie governative, è tuttora impegnato in studi sui meccanismi biologici e sugli impatti sanitari delle PFAS, con particolare attenzione ai **disturbi neurocomportamentali** e cognitivi in età pediatrica, alle disfunzioni del sistema immunitario, alle interferenze col sistema endocrino (obesità, infertilità e dismetabolismo dei lipidi) e al cancro. Le sostanze perfluoroalchiliche, prodotte in ampia scala a partire dal 1940 con una produzione annuale che ha superato, per alcune di queste, anche le centinaia di tonnellate (1), sono tra i 4.600 composti presenti sul mercato globale e registrati come PFAS in quanto presentano all'interno della loro struttura chimica almeno una porzione perfluoroalchilica (2). Il legame **carbonio-fluoro** è, infatti, uno dei più forti legami prodotti e raramente è riscontrato in natura. Come già descritto nella newsletter di *micron* del 07-08-2018, la peculiare struttura chimica delle PFAS rende tali composti estremamente versatili per prodotti industriali e di consumo oltre a renderli estremamente stabili nell'ambiente e rilevabili in tutte le matrici, comprese le sorgenti di acqua potabile. Se l'ingestione, in particolare l'assunzione di **acqua potabile**, è la principale via di esposizione alle PFAS (3), studi recenti suggeriscono che anche l'inalazione ed il contatto dermico possano contribuire all'esposizione umana (4). Alcune sostanze perfluoroalchiliche, inoltre, **bioaccumulano**, raggiungendo concentrazioni negli organismi viventi significativamente più alte rispetto all'ambiente circostante, ed entrano pertanto nella catena alimentare. In particolare, l'acido perfluorooctanoico (PFOA – *PerFluoroOctanoic Acid*) e l'acido perfluorooctansolfonico (PFOS – *PerFluoroOctaneSulfonic Acid*), proprio perché prodotti più massivamente rispetto ad altre PFAS, sono maggiormente diffusi nell'ambiente oltre ad essere i più studiati. Mentre il PFOA è stato utilizzato nella produzione del Teflon®, il PFOS è un componente dello Scotchgard®; entrambi, inoltre, fanno parte delle sostanze perfluoroalchiliche a catena lunga di carbonio, ossia con un numero di atomi superiore a 6. Come conseguenza dell'elevata persistenza e tossicità, oltre che dell'alto potenziale di bioaccumulo, dal 2009 il PFOS è stato inserito tra i contaminanti organici persistenti (POP – *Persistent Organic Pollutants*), e pertanto soggetto a restrizione dalla Convenzione di Stoccolma, mentre la possibilità di inserire



anche il PFOA nella lista dei POP è in corso di valutazione (5). Evidenze riscontrate in letteratura indicano che l'esposizione dell'uomo alle PFAS è estremamente diffusa, riportando valori di concentrazione rilevabili nel plasma in una percentuale di individui pari al 97% (6).

I dati più recenti del *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES) mostrano peraltro una riduzione progressiva dei livelli plasmatici di PFOA e PFOS in seguito alla loro eliminazione nei prodotti di consumo a partire dai primi anni 2000, ma, al contempo, tra le cosiddette PFAS "a catena corta", usate in sostituzione di quelle a catena più lunga, alcune costituiscono un problema emergente a livello globale a causa del carattere persistente e dell'alta mobilità all'interno delle matrici ambientali, una modalità di azione paragonabile ai composti a lunga catena, scarsa rimovibilità nei siti contaminati e nelle acque potabili, per quanto l'esposizione sia difficile da quantificare in mancanza di standard analitici. Le conoscenze attuali sugli effetti sulla salute associati alle PFAS sono basate su dati combinati provenienti da stime di associazione in studi epidemiologici di coorte, plausibilità biologica e percorsi di esposizione in studi su animali, effetti meccanicistici in tessuti e in colture cellulari umane. È importante precisare che i soli studi di associazione epidemiologica non possono accertare definitivamente un rapporto di causalità, mentre gli studi sperimentali *in vivo* sono una fonte importante di risultati scientifici ma non sono predittivi di effetti sull'uomo.

Nella ricerca di possibili impatti sulla salute da parte di determinanti ambientali, occorre inoltre sottolineare che la classe delle PFAS comprende migliaia di composti, per i quali, fatta eccezione per PFOA e PFOS, vi sono tuttora evidenze limitate di associazione con effetti avversi per la salute umana. Il metodo applicato dal NIEHS si basa sulla comprensione dei meccanismi chimici e biologici innescati da sostanze chimiche note per poter trarre conclusioni su composti strutturalmente simili che possono agire attraverso gli stessi meccanismi ed avere pertanto effetti paragonabili, auspicando in ogni caso che siano avviati studi di approfondimento sul ruolo delle PFAS quali fattori di rischio di eventi sanitari avversi.

#### **Alterazione sistema immunitario**

A partire dal 1978, è stata osservata immunotossicità nei primati, eccetto l'uomo, esposti alle PFAS. Nel 2016, l'NTP ha concluso che vi sono evidenze consistenti che PFOA e PFOS siano in grado di inibire risposta anticorpale negli animali ed evidenze limitate nell'uomo che possano influire su aspetti multipli del sistema immunitario (7).

#### **Cancro**

I dati epidemiologici inerenti l'associazione tra le PFAS ed il rischio di cancro sono limitati. In base agli studi recentemente censiti dall'*Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), esposizioni professionali al PFOA determinano un incremento del rischio di cancro ai testicoli e ai reni, mentre non vi sono evidenze epidemiologiche consistenti per altri tipi di tumore (8,9). Per quanto concerne il PFOS, solo uno studio occupazionale ha osservato associazione con cancro alla vescica (10), mentre nella popolazione generale mancano evidenze di correlazione con qualsiasi forma tumorale. Finora due soli studi hanno valutato il rischio di tumore al seno (11) e alla prostata (12) in relazione all'esposizione ad altre sostanze perfluoroalchiliche e non sono state riscontrate associazioni statisticamente significative.

#### **Sviluppo infantile**

È stato osservato che PFOA e PFOS possono causare disturbi dello sviluppo sia negli animali sia nell'uomo. In particolare, è stato osservato che l'esposizione alle PFAS durante la gravidanza è associata ad una diminuzione del peso alla nascita e della circonferenza cranica nei soli maschi (13), come già precedentemente riscontrato nei roditori. Il solo PFOS, nel caso di esposizione prenatale, è inoltre correlato a deficit cognitivi e ad una ridotta capacità di controllo del comportamento in bambini in età scolare (14). Peraltro, sono ancora del tutto insufficienti le evidenze inerenti l'esposizione prenatale a specifiche PFAS ed esiti del neurosviluppo e neurocomportamentali (abilità cognitive, sviluppo psicomotorio, disturbo da deficit di attenzione e iperattività, paralisi cerebrale).

#### **Interferenza sul sistema endocrino**

Alcuni studi suggeriscono che l'esposizione alle PFAS in fasi precoci della vita sia in grado di contribuire allo sviluppo di disturbi metabolici, inclusa l'obesità e il diabete di tipo 2. In particolare, l'esposizione ad alcune PFAS durante la gravidanza sembra interferire con il metabolismo lipidico e la tolleranza al glucosio (15). Non solo madri più esposte alle PFAS hanno bambini con maggiore concentrazione di grasso corporeo, ma gli stessi adulti con più elevati livelli plasmatici di PFAS presentano più bassi tassi metabolici (16), analogamente a quanto osservato in numerosi studi sperimentali *in vivo*. È di estremo interesse inoltre la scoperta secondo la quale le PFAS potrebbero alterare l'omeostasi della tiroide, ghiandola deputata al metabolismo e allo sviluppo (17). Infine, una recente revisione della letteratura

mostra l'associazione tra l'esposizione ad alcune PFAS e potenziali effetti sulla capacità di concepimento femminile (18), oltre al fatto che, coerentemente con quanto riportato in studi su animali, donne in gravidanza con livelli più alti di PFAS nel sangue presentano, nel tempo, una minore capacità di allattamento (19).

Pensiamo sia importante conoscere le attività di ricerca e sviluppo in corso e programmate negli Stati Uniti. Nel 2017 il NIEHS ha finanziato un progetto quinquennale alla *University of Rhode Island* sulle sorgenti, il trasporto e l'esposizione ed effetti delle PFAS (STEELP – *Sources, Transport, Exposure and Effects of PFASs*) (20). Le attività in corso sono molteplici e tutte di grande interesse anche in Italia:

- valutazione dell'impatto delle esposizioni alle PFAS sulla disfunzione immunitaria e le anomalie metaboliche esaminando la salute di bambini di 9 anni appartenenti ad una coorte di nati nelle Isole Faroe (Danimarca);
- individuazione delle impronte digitali della firma chimica delle PFAS analizzando le acque contaminate a Cape Cod (Massachusetts, USA) con lo scopo di definire l'esposizione attraverso l'acqua potabile, come funzione di chimica, geochimica e distanza dalla sorgente delle PFAS;
- sviluppo e validazione di nuovi strumenti di campionamento passivo per le PFAS per misurare le concentrazioni medie pesate nel tempo di alcune molecole e dei loro precursori volatili;
- coinvolgimento delle comunità e informazione degli *stakeholders* sulle modalità di riduzione effettiva dell'esposizione umana alle PFAS.

Le finalità dei due progetti *Small Business Innovation Research* (SBIR) in corso, sono lo sviluppo di nuovi polimeri con un'elevata affinità per la **ciclodestrina** per la bonifica economica delle PFAS pericolose nella matrice acqua (21) e di una tecnologia innovativa combinata in-situ/ex-situ per il trattamento rapido ed economico delle PFAS nei siti Superfund (22). Il *Michigan State University Superfund Research Center* sta, inoltre, sviluppando nanoreattori in grado di rompere il legame carbonio-fluoro (23). Il *Berkeley Superfund Research Center* della *University of California* sta combinando opzioni di trattamento biologico e chimico per degradare e distruggere gli schiumogeni sintetici ovvero le AFFF (*Aqueous Film Forming Foam*) (24). Oltre al suo normale programma di finanziamento, il NIEHS finanzia la ricerca *time-sensitive* sulle PFAS. I ricercatori della *Colorado School of Public Health*, della *University of Colorado Anschutz Medical Campuse* della *Colorado School of Mines*, stanno studiando le esposizioni alle PFAS nei residenti in

prossimità di Colorado Springs, dove i pozzi e sistemi di acqua pubblica sono contaminati da un ampio spettro di PFAS, compresi elevati livelli di perfluoroesano sulfonato (PFHxS) (25,26). Questo studio ha avuto inizio in corrispondenza del picco di esposizione che si è manifestato in seguito alla scoperta della contaminazione ed ha lo scopo di individuare metodologie per misurare la variazione nel tempo dei livelli di esposizione alle PFAS nei soggetti residenti in studio. Nel 2016, sono stati individuati nel fiume di **Cape Fear** nella Carolina del Nord, fiume che fornisce acqua potabile a circa 300.000 persone, elevati livelli di GenX, una PFAS a catena corta contenente un legame etere generato durante la produzione di rivestimenti antiaderenti. Il NIEHS ha così finanziato uno studio alla *North Carolina State University* per la valutazione sia dell'esposizione a **GenX** sia dei suoi effetti sulla salute, compresa la potenziale tossicità, il suo accumulo nell'organismo umano e la persistenza nell'ambiente (27,28). I primi risultati su circa 200 abitazioni mostrano livelli rilevabili di GenX nell'acqua di rubinetto proveniente dal fiume nessuno dei quali tuttavia supera 140 parti per trilione che rappresenta l'attuale obiettivo per la salute pubblica di GenX nell'acqua potabile nello Stato della Carolina del Nord. Attualmente sono in corso analisi su campioni di sangue e urine dei partecipanti allo studio. Anche l'NTP sta studiando l'impatto di GenX sull'uomo e la sua potenziale capacità di provocare effetti sulla placenta, il sistema immunitario, il fegato ed altri tessuti. Il *Responsive Evaluation and Assessment of Chemical Toxicity* (REACT) Program, in collaborazione con l'*Environmental Protection Agency* (EPA) sta testando oltre 100 molecole di PFAS con l'obiettivo di costruire librerie chimiche; inoltre, con finanziamento del NIEHS, ha attivato uno studio sulle molteplici sottoclassi di PFAS potenzialmente simili per proprietà chimiche e tossicità, per determinare la relazione tra la lunghezza delle catene ed il grado di ramificazione per una migliore comprensione della base comune per la tossicità. Il NIEHS e l'NTP continueranno a svolgere il ruolo di *leadership* scientifica sulla ricerca sulle PFAS. In particolare, si sta intensificando la collaborazione in materia di PFAS sia col *Department of Health and Human Services* sia all'interno del governo federale. Nel febbraio 2018, si è tenuto nel campus NIH a Bethesda, Maryland, un *meeting* federale di scambio di informazioni sulle PFAS (29). Il NIEHS ha partecipato al *National Leadership Summit* sulle PFAS ospitato dall'EPA nel maggio 2018 (30). Infine, il NIEHS lavora a stretto contatto con la *Food and Drugs Administration* (FDA) ed il *Center for Disease Control*



and Prevention (CDC) sulle PFAS e salute e viene consultato dall'ATSDR, nello svolgimento di valutazioni delle esposizioni e studi sanitari autorizzati dal *National Defense Authorization Act* per l'anno 2018. L'esposizione umana alle sostanze perfluoroalchiliche coinvolge spesso miscele complesse, difficilmente singole sostanze chimiche, rendendo complicata la valutazione sia dell'esposizione sia dei rischi per la salute (31). Attualmente le tecniche analitiche non consentono di determinare quali specifiche PFAS siano contenute all'interno di miscele complesse rendendo incompleta l'**informazione tossicologica**. Unitamente alla sfida della caratterizzazione delle PFAS nelle matrici ambientali vi è anche la necessità di studiare le PFAS nell'uomo. Secondo le conoscenze attuali, il tempo richiesto per l'eliminazione delle PFAS dall'organismo è variabile, di alcuni anni per le PFAS a catena lunga, un tempo minore per le molecole a catena corta, e le differenze nei tassi di eliminazione nelle due sottoclassi di molecole complica sia il biomonitoraggio sia gli studi tossicologici.

D'altra parte, la mancanza di persistenza biologica non implica assenza di tossicità, in particolare per sostanze chimiche come le PFAS che possono avere esposizioni giornaliere elevate. Occorre anche precisare che metodi tradizionali per misurare il carico corporeo delle PFAS attraverso il siero non sono efficienti per le PFAS a catena corta come per quelle a catena lunga. Gli scienziati stanno perciò iniziando a misurare le PFAS nelle urine (32), nel plasma e nel sangue intero oltre che nel siero (33), e con l'ampliamento delle tecniche di biomonitoraggio potranno essere fornite ulteriori informazioni ai fini della comprensione delle esposizioni e dei rischi. Basandosi sulla loro natura persistente, l'esposizione diffusa, e la tossicità nota, è pertanto lecita la domanda: il valore della produzione e dell'uso delle PFAS per le comodità odierne supera i potenziali costi e rischi per la salute pubblica e ambientale? La scienza si sta quindi muovendo verso alternative più sicure. Recentemente i produttori hanno infatti iniziato a produrre e commercializzare schiume sintetiche come le AFFF ma senza PFAS, e già AFFF prive di fluoro sono attualmente utilizzate, per esempio, nell'aeroporto di Heathrow a Londra, nel Regno Unito, e nei principali aeroporti svedesi. Le direttrici di ricerca del NIEHS sono di riferimento per la ricerca internazionale, e sono fondamentali per contribuire ad accrescere le conoscenze scientifiche su questa vasta e complessa classe di sostanze chimiche. Tale conoscenza è a sua volta di fondamentale importanza per supportare i legislatori a prendere decisioni basate sull'evidenza e informare le comunità mediche e le agenzie di sanità pubblica sui poten-

ziali effetti sulla salute associati all'esposizione alle PFAS. Per quanto detto fino ad ora possiamo concludere che la ricerca sulle PFAS si sta muovendo verso la valutazione delle esposizioni ambientali a miscele complesse e la comprensione e individuazione dei loro effetti combinati. I ricercatori si stanno sempre più focalizzando sul misurare l'esposizione totale alle PFAS nel loro complesso con l'obiettivo di una migliore comprensione degli effetti cumulativi delle miscele di PFAS. Valutare il rischio misurando tutte le esposizioni individuali durante il corso della vita è in linea con l'impostazione scientifica più recente (**esposoma**). Valutazioni preventive di impatto biologico e sulla salute di esposizioni alle PFAS come una classe, seppure complessa, possono fornire informazioni essenziali per proteggere la salute pubblica attraverso la prevenzione primaria.

Bibliografia >



### Mercurio, un osservato speciale

Francesca Gorini, Maria Bonsignore, Fabio Cibella, Liliana Cori, Gaspare Drago, Daniela Salvagio Manta, Silvia Ruggieri, Mario Sprovieri, Fabrizio Bianchi

Nell'ottobre 2013, nella città giapponese di Kumamoto, è stata approvata la **Convenzione di Minamata** nell'ambito dell'Unep (*United Nations Environment Programme*). Il trattato, che ha preso il nome della città giapponese vittima di un grave caso di inquinamento da mercurio (Hg), prevede controlli e riduzioni che riguardano una serie di prodotti, processi e industrie, in cui viene utilizzato, rilasciato o emesso Hg, allo scopo di contrastarne l'estrazione diretta,

l'esportazione e l'importazione del metallo, e lo stoccaggio in sicurezza di rifiuti contenenti Hg. La Convenzione di Minamata sul mercurio è entrata in vigore il 26 agosto 2017. L'Italia, assieme a Stati Uniti, Cina, Canada, Australia, ai paesi dell'Unione Europea e ad alcuni paesi di Africa ed Asia, rientra tra i primi paesi firmatari, ma, tra i Paesi dell'UE, l'Italia e la Spagna non hanno ancora ratificato. Nel settembre 2017 si è tenuta a Ginevra la prima conferenza, nella quale i governi provenienti da tutto il mondo si sono impegnati nella riduzione di emissioni e rilascio di mercurio a livello mondiale che minacciano l'ambiente e la salute di milioni di persone.

L'Unione Europea nel 2005 ha lanciato la strategia Ue sul mercurio, che prevede restrizioni alla vendita di apparecchiature come termometri e pile, il divieto di esportazione di Hg, nuove norme in materia stoccaggio in sicurezza e 20 misure per ridurre le emissioni di Hg, limitarne l'offerta e la domanda e proteggere le popolazioni potenzialmente esposte. I più alti livelli di esposizione umana al mercurio sono stati registrati nelle comunità artiche, a causa dell'accumulo di metilmercurio (MeHg) nel pesce, che costituisce la parte significativa delle diete tradizionali.

Il caso di inquinamento da mercurio che colpì la città giapponese di Minamata è tristemente famoso e ha dato il nome alla Sindrome di Minamata, causata da intossicazione acuta da mercurio, scoperta nella città della Prefettura di Kumamoto, nel 1956. A causarla, il rilascio di **metilmercurio** nelle acque reflue dell'industria chimica Chisso Corporation, che perdurò dal 1932 al 1968 producendo l'accumulo in molluschi, crostacei e pesci della baia di Minamata e del mare di Shiranui, con contaminazione della catena alimentare e avvelenamento degli abitanti del luogo. A marzo 2001, circa 2.265 vittime sono state ufficialmente riconosciute (1.784 delle quali morte), e più di 10.000 hanno ricevuto risarcimenti dalla Chisso. Le cause e le richieste di risarcimento continuano tuttora. Nel 1965, un secondo disastro ambientale nella Prefettura di Niigata provocò un riemergere della malattia, denominata Niigata-Minamata. In Italia sono molte le aree industriali interessate da inquinamento da mercurio, da quelle ex-minerarie, come l'area amiatina, sito storico per la produzione di Hg, conclusasi agli inizi degli anni '80, alle aree con impianti di produzione di cloro-soda mediante processo a celle di mercurio, attivi per molti decenni, alcuni fermati negli anni '90, alcuni fermati o riconvertiti più recentemente. Pieve Vergonte, Torviscosa, Porto Marghera, Assemmini, Volterra, Rosignano, Bussi sul Tirino, Priolo, solo per citare le aree con impianti attivi fino agli anni '2000, mentre diversi altri erano stati fermati nel

decennio precedente. Diverse decine, oltre 50 fino agli anni 2000, sono gli impianti di cloro-soda a celle di mercurio in Europa, in particolare in Francia, Germania, Spagna, Gran Bretagna e Olanda. Il progetto CISAS (Centro Internazionale di Studi avanzati su Ambiente, ecosistema e Salute umana), coordinato dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), sta studiando l'associazione tra ambiente e salute in siti contaminati, e specificamente nei SIN (Siti di Bonifica di Interesse Nazionale) di **Priolo, Milazzo e Crotone**. Tra i tanti inquinanti presenti nei tre SIN, l'attenzione dei ricercatori si è concentrata anche sul mercurio, rappresentato in particolare nel SIN di Priolo, dove la preoccupazione per la contaminazione si accompagna a quella per la ritardata bonifica. L'eliminazione dovrebbe avvenire sequestrando e isolando la sostanza perché i cicli naturali non riescono né a far diminuire il mercurio né ad annullarne gli effetti negativi. La rassegna delle conoscenze che proponiamo di seguito nasce dall'esigenza di riportare il mercurio all'attenzione degli studiosi, degli operatori del settore ambientale e della sanità pubblica e degli amministratori ai diversi livelli di competenza.

Gli studi CISAS e altri precedenti hanno evidenziato gli effetti e i potenziali rischi della contaminazione da mercurio nel SIN di Priolo, inserito nel 1998 tra le aree fortemente contaminate destinate ad interventi di bonifica (art. 1, c. 4, Legge 9-12- 1998, n. 426). La successiva perimetrazione comprende una parte a terra (comuni di Augusta, Priolo, Melilli e Siracusa, già dichiarati "Area di elevato rischio di crisi ambientale" nel 1990) e una parte a mare, con le aree portuali di Augusta e di Siracusa. Il grave stato di inquinamento del SIN è conseguenza degli sversamenti incontrollati di contaminanti chimici verificatisi a partire dai primi anni Sessanta da impianti petrolchimici, un cementificio e un impianto cloro-soda con celle a mercurio. L'attività dell'impianto cloro-soda è stata ridotta a partire dal 1978 e interrotta nel 2005, ma le enormi quantità di mercurio accumulate nell'ambiente, specialmente nei sedimenti marini, hanno determinato un grave degrado ambientale. Il mercurio è stato rilevato durante diverse indagini di monitoraggio ambientale e biologico condotte dal CNR nell'area di Priolo, evidenziando i potenziali rischi dell'esposizione sulla salute dell'ecosistema e della popolazione residente.

#### IL SIN di Priolo

Nei sedimenti superficiali (0-4 cm) della Rada di Augusta sono state rilevate elevate concentrazioni di mercurio (tra 10-20 mg/kg) (Oliveri et. al., 2016; Salvagio Manta et al., 2016), risultate due ordini di grandezza superiori ai limi-



ti soglia previsti dall'attuale legislazione (D.lgs 172/2015). Misure in-situ dei flussi bentici di mercurio, effettuate all'interfaccia sedimento-acqua ( $1,3 \pm 0,2$  Kmol/anno), hanno dimostrato la presenza di attivi ed efficienti processi di mobilizzazione del contaminante dal sedimento (Salvagio Manta et al, 2016). Dalle concentrazioni misurate nelle acque in corrispondenza delle bocche del porto di Levante e di Scirocco, è stato possibile stimare un flusso di Hg in uscita, dalla rada verso il mare aperto, di  $0,54 \pm 0,08$  Kmol/anno, corrispondente a circa il 4% dell'input totale di questo contaminante al Mediterraneo (Salvagio Manta et al, 2016). Questo risultato ha evidenziato il ruolo cruciale giocato dalla rada di Augusta come area-sorgente per l'intero bacino del Mediterraneo.

Alti contenuti di Hg sono stati rilevati anche nella fauna ittica, in particolare nelle specie demersali e bentoniche, evidenziando un elevato fattore di rischio per la salute della popolazione locale associato al consumo di pesce catturato sia all'interno sia esternamente alla baia (Bonsignore et al., 2013). In organismi appartenenti alla specie bentonica *M. barbatus*, campionati vicino alle coste nei pressi dell'impianto cloro-soda, il contenuto di Hg è stato di circa  $10 \mu\text{g/g}$  nei muscoli, fino a  $30 \mu\text{g/g}$  nel fegato, approssimativamente 60 volte più elevato rispetto a quello misurato in organismi di controllo (Ausili et al. 2008). Sulla base dei dati raccolti è stato possibile effettuare una stima dell'assunzione settimanale (EWI) per gli abitanti di Augusta, che nel 63% dei casi eccede il valore di dose settimanale tollerabile (PTWI) indicato dalla US EPA ( $0,7 \mu\text{g/kg}$  di peso corporeo), e nel 33% dei casi, il PTWI fissato dalla FAO/OMS ( $1,6 \mu\text{g/kg}$  di peso corporeo; Bonsignore et al. 2015). Inoltre, assumendo che il consumo medio di pesce nella popolazione locale sia uguale a quello della popolazione italiana, pari a 240 g la settimana, è stato stimato che una donna di 60 kg che consuma pesce locale, potrebbe avere una assunzione settimanale di mercurio da 2 a 12 volte superiore rispetto a quanto raccomandato (Ausili et al. 2008).

Uno studio di biomonitoraggio, basato sull'analisi del mercurio nel sangue, nei capelli e nelle urine, è stato condotto, tra ottobre 2012 e aprile 2013, dal CNR in collaborazione con l'ASP-Siracusa, su un campione di 224 residenti nei comuni di Augusta, Melilli e Priolo di età compresa tra i 20 e i 46 anni (Bonsignore et al., 2016b). I livelli di mercurio misurati nel sangue ( $0,20\text{-}39,7 \mu\text{g/L}$ ) risultarono più elevati rispetto ai valori di riferimento della popolazione italiana ( $1,68\text{-}2,40 \mu\text{g/L}$ ) in circa 2/3 dei casi osservati. Anche i valori di Hg misurati nei capelli ( $0,04\text{-}10,5 \mu\text{g/g}$ ) sono risultati più alti del valore soglia suggerito dall'US-EPA ( $1,0$

$\mu\text{g/g}$ ) e del valore di riferimento della popolazione italiana ( $1,14 \mu\text{g/g}$ ), in più del 60% dei casi. Diversamente, le concentrazioni di Hg nelle urine sono risultate generalmente comparabili o addirittura inferiori al valore di riferimento ( $0,8\text{-}3,5 \mu\text{g/L}$ ). Differenze significative sono state riscontrate tra i tre comuni, con valori più elevati ad Augusta. I livelli di Hg più elevati sono stati ritrovati nel sangue e nei capelli di chi aveva dichiarato di consumare elevate quantità di pesce locale, in particolare ad Augusta dove i maggiori consumatori di pesce hanno mostrato contenuti medi di Hg nel sangue e nelle urine più che doppi rispetto agli assuntori saltuari. In particolare era il consumo di pesce locale nei tre giorni precedenti al prelievo a risultare più correlato con le concentrazioni di Hg. Importante inoltre l'osservazione dell'assenza di correlazione tra Hg e consumo di pesce e crostacei di provenienza non locale. I risultati ottenuti rafforzavano l'evidenza che la popolazione residente nei comuni del SIN di Priolo è esposta a mercurio per consumo di pesce locale. Il contributo da esposizione a Hg elementare, presente principalmente in atmosfera, è invece da considerarsi trascurabile, dato il basso livello trovato nelle urine, che come già evidenziato, rappresentano il bio-indicatore del meccanismo di accumulo del contaminante con la respirazione. Infine, il rapporto tra concentrazione di Hg nei capelli e nel sangue determinato in questo studio ( $350:1 \mu\text{g/g}\text{-mgHg/L}$ ) suggerisce un'esposizione cronica.

#### Uno sguardo alla letteratura internazionale

Il mercurio (Hg) è un elemento tossico per l'uomo e l'ambiente. La IARC ha classificato i composti metilati del mercurio come possibili carcinogeni per l'uomo (gruppo 2B), mentre il mercurio metallico e i composti a base di mercurio inorganico non sono classificabili per la loro cancerogenicità (gruppo 3, evidenza di cancerogenicità inadeguata nell'uomo e inadeguata o limitata nell'animale da esperimento) (Alimonti et al. 2011). Il metilmercurio (MeHg) risulta essere la forma chimica più tossica per gli organismi viventi, capace di accumularsi nei tessuti in ragione della sua liposolubilità, e di dare luogo al fenomeno della biomagnificazione, per il quale, in un determinato ecosistema, si verifica una concentrazione più elevata del contaminante negli organismi posti al vertice della catena alimentare. Nell'uomo il MeHg, assunto principalmente attraverso il consumo di pesce e alimenti di origine marina, viene assorbito attraverso l'intestino, provoca danni ai reni, al fegato e gravi neuropatie.

La forma chimica del mercurio determina in maniera consistente la sua capacità di attraversare la barriera placen-

tare e di raggiungere il feto in via di sviluppo. È stato osservato, infatti, che sia il mercurio elementare ( $Hg^0$ ) sia il MeHg sono capaci di oltrepassare la placenta, utilizzando rispettivamente la diffusione passiva e carrier amminoacidici (Kajiwara et al., 1996; Ask et al., 2002). Il mercurio in forma inorganica ( $Hg(II)$ ), invece, rimane intrappolato in placenta, limitando di fatto l'esposizione fetale (Yoshida, 2002). Pur non raggiungendo il feto, la presenza di ioni di mercurio nella placenta è capace di influire significativamente sugli esiti della gravidanza attraverso l'alterazione della secrezione ormonale placentare, l'interferenza nel trasferimento di amminoacidi dal versante materno a quello fetale e l'incremento del consumo di ossigeno da parte della placenta (Urbach et al., 1992; Boadi et al., 1992).

La causa del suo **progressivo bioaccumulo** negli organismi viventi è da imputare al meccanismo d'escrezione, che avviene attraverso le urine solamente per il 10% e per ben il 90% tramite le feci. Infatti, il MeHg viene escreto nelle feci, per via biliare, attraverso il cosiddetto "ciclo enteroepatico", e durante la sua eliminazione, viene in parte riassorbito nel tratto gastro-intestinale e trasportato nuovamente dal sangue ai tessuti e al fegato (riciclo enteroepatico). Nell'uomo, l'emivita del MeHg è di circa 70 giorni. Le tecniche odierne permettono di diagnosticare la presenza di Hg nel corpo umano tramite l'analisi delle urine, del sangue o dei capelli.

È stato osservato che la concentrazione di mercurio totale nel sangue è direttamente proporzionale al consumo di pesce, ed è universalmente riconosciuta come biomarcatore di esposizione a metilmercurio. La concentrazione di mercurio nei capelli rappresenta invece un tracciante specifico dell'esposizione su una scala temporale compresa tra settimane e qualche mese, tenendo conto che i capelli hanno un tasso di crescita di 1 cm al mese. Infine, il mercurio presente nelle urine è usato come marcatore biologico per la valutazione dell'esposizione cronica a mercurio inorganico, principalmente nella forma elementare  $Hg^0$  che, dopo essere stato inalato ed assorbito attraverso i polmoni, è escreto attraverso l'emuntorio renale (Bonsignore et al. 2016a). In Italia i valori medi di Hg misurati nella popolazione generale sono 3,49-6,36  $\mu g/L$  nel sangue (Alimonti et al., 2005; Alimonti et al., 2009), 1,32-2,1  $\mu g/L$  nel siero (Alimonti et al., 2009; Soleo et al., 2003), 1,15-3,5  $\mu g/L$  nelle urine (Alimonti et al., 2007).

Come conseguenza della sua elevata versatilità, il mercurio è stato estesamente utilizzato in processi industriali, nel comparto farmaceutico, nell'estrazione mineraria

dell'oro, in agricoltura. In Europa gli impianti industriali di produzione di cloro-soda sono responsabili delle emissioni di mercurio di origine antropica, che rappresentano fino al 15% delle emissioni totali (Pacyna et al., 2001). Gran parte del mercurio di origine antropica si riversa in mare attraverso le precipitazioni, la deposizione di polveri atmosferiche, gli scarichi urbani o industriali ed i corsi d'acqua naturali. Nell'ambiente marino questo elemento viene sottoposto ad una serie di trasformazioni chimiche, spesso mediate da microrganismi e batteri, che danno origine ad un ciclo biogeochimico molto complesso. Nella colonna d'acqua, la maggior parte del Hg è presente in forma inorganica e si trova in fase disciolta (complessato da cloro, zolfo o sostanza organica disciolta) o particellata (adsorbito da particelle organiche ed inorganiche). Un'alta percentuale di Hg finisce per depositarsi e stabilizzarsi nei sedimenti di fondo. Tuttavia, cambiamenti delle condizioni chimico-fisiche (Eh, pH, T,  $O_2$ ), possono portare alla mobilitazione del contaminante ed al suo rilascio nell'acqua interstiziale dove, per azione di alcuni batteri (principalmente zolfo riduttori), il mercurio può essere trasformato in metilmercurio, MeHg (forma mobile e bioaccumulabile), ed entrare nella catena alimentare, secondo la sequenza: fitoplancton, zooplancton, pesci predatori ed infine persone. Quando piante ed animali muoiono, il Hg in essi contenuto viene rilasciato, ed il ciclo può ricominciare. Non sono da sottovalutare i possibili effetti dell'esposizione a mercurio sulla **salute dei bambini**. In uno studio di coorte effettuato su 242 bambini residenti in tre città localizzate a diversa distanza da un SIN, la concentrazione di mercurio nei capelli è risultata associata ad esiti avversi neuropsicologici (Deroma et al. 2013). In generale, i dati del biomonitoraggio umano condotto in Italia hanno mostrato che bassi livelli di esposizione a Hg sono ancora un problema di salute importante per i bambini, e hanno fornito le basi per intraprendere azioni di mitigazione dell'esposizione in contesti specifici (Ruggeri et al. 2017). Un recente studio multicentrico condotto su **1.308 coppie madri-bambino** provenienti da quattro paesi europei ha dimostrato una diminuzione dei punteggi dei test di sviluppo motorio a 18 mesi in relazione alla concentrazione di mercurio totale analizzata in diverse matrici biologiche (capelli materni, sangue materno e sangue cordonale). A tale studio hanno preso parte 607 soggetti residenti a Trieste. I dati di biomonitoraggio Italiani non si sono discostati da quanto riscontrato negli altri centri (1062,1 ng/g nei capelli; 3,2 ng/g nel sangue materno e 5,6 ng/g nel sangue cordonale) (Barbone et al,



2019). I valori di mercurio nei capelli dei soggetti Italiani è risultata al di sotto della soglia di 1.400 ng/gr stabilita dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) quale la più alta concentrazione di Hg nei capelli materni alla quale non si osservano effetti neurotossici sui feti (NOEL). La media della concentrazione di mercurio riscontrata nel sangue cordonale è risultata ai limiti della dose di riferimento di 5,5 ng/g proposta dalla Environmental Protection Agency (EPA) statunitense (Rice et al, 2004). Nel 2011 è stato condotto uno studio di coorte con biomonitoraggio su capelli di donne gravide in Friuli Venezia Giulia allo scopo di stimare l'esposizione prenatale e neonatale a Hg e valutare l'associazione con le frequenze di consumo di pesce in gravidanza. L'area oggetto dello studio comprendeva il SIN di Grado e Marano lungo la costa adriatica, in cui studi precedenti avevano riscontrato un inquinamento ambientale da Hg (Brambati, 1996). Complessivamente sono stati arruolati 119 soggetti provenienti dall'area lagunare definita ad alta esposizione e 123 soggetti provenienti dall'entroterra a bassa esposizione. I valori riscontrati si sono dimostrati al di sotto dei valori soglia previsti dall'OMS e generalmente in linea con quanto mostrato in altri studi di biomonitoraggio. Lo studio ha osservato tuttavia una elevata variabilità anche tra soggetti residenti nelle stesse aree. Tali differenze sono risultate associate alle frequenze di consumo di pesce e soprattutto alla provenienza locale del prodotto ittico (Valent et al, 2011, 2013). Di converso, una successiva analisi non ha identificato associazioni significative fra IQ score e concentrazione di Hg nei capelli materni (Deroma et al, 2013) La valutazione degli effetti neurotossici dei contaminanti ambientali strettamente legati al consumo di pesce come il mercurio, è complicata dal fatto che il pesce è una fonte importante di nutrienti, come acidi grassi polinsaturi (PUFA), proteine, ferro, iodio, selenio, vitamine e colina, che favoriscono il corretto sviluppo del sistema nervoso centrale (Taylor et al, 2016; Gil and Gil, 2015; Starling et al., 2015). Questo potrebbe essere alla base delle evidenze contrastanti. Il passaggio transplacentare è stato dimostrato avvenire anche per diffusione attiva attraverso i trasportatori ABC. In particolare nel 2014 Llop e coautori hanno identificato un polimorfismo del gene del trasportatore ABC associato ad una maggiore concentrazione di MeHg nel sangue cordonale (Llop et al, 2014). È estremamente interessante notare che i dati presenti in letteratura indicano chiaramente delle differenze nella capacità di detossificazione dal mercurio tra le primissime fasi della gravidanza e il suo prosieguo, principal-

mente correlate alla capacità della placenta di esprimere molecole ad azione antiossidante (superossido dismutasi, catalasi e glutatione perossidasi) che è minima nelle prime otto settimane per poi aumentare progressivamente nel corso della gravidanza (Syme et al., 2004; Myllynen et., 2009; Prouillac and Lecoœur, 2010). Sebbene vi siano delle indicazioni consistenti in relazione al ruolo della placenta nel mediare l'esposizione fetale al mercurio ed il grande potenziale informativo, gli studi al riguardo sono ancora frammentari. Pertanto, nell'ambito del Progetto Interdipartimentale CNR "Centro Internazionale di Studi Avanzati su Ambiente, ecosistema e Salute umana" – CISAS, è stata creata la coorte di nascita NEHO "Neonatal Environment and Health Outcome" che recluta coppie madre-bambino nei SIN di Milazzo/Valle del Mela, Augusta/Priolo e Crotone, e in aree di riferimento locale. Lo studio prevede attività di biomonitoraggio su sangue materno e cordonale e su biopsie placentari. Il monitoraggio longitudinale prevede la valutazione della trascrittomicca placentare e dello sviluppo neurocompartamentale del bambino in relazione all'esposizione prenatale.

#### Bibliografia





Silvia Capponi - Perugia / Italia

## Il cibo nell'era dell'Antropocene

Cristiana Pulcinelli

Diete insalubri e sistemi di produzione, trasformazione, trasporto e distribuzione impattanti. Il cibo nell'era dell'Antropocene deve cambiare. E secondo le conclusioni della Commissione EAT-Lancet “Food in Anthropocene”, composta da un team di esperti di sanità, agricoltura, scienze politiche e ambiente di 16 paesi diversi, questo è possibile: i sistemi alimentari del mondo sono in grado di garantire a 10 miliardi di individui entro il 2050 una dieta “win win”, capace di conciliare salute e ambiente



La buona notizia è che i sistemi alimentari – ovvero le attività di produzione, trasformazione, trasporto, distribuzione e consumo di prodotti alimentari – avrebbero la potenzialità di nutrire in modo salutare tutti gli abitanti del pianeta e nello stesso tempo garantire la sostenibilità ambientale. La cattiva notizia è che quegli stessi sistemi alimentari stanno minacciando sia la salute degli esseri umani che l'ambiente in cui vivono. Il rapporto della Commissione EAT-Lancet “Food in Anthropocene” è partito da questo evidente paradosso per cercare di capire se sia possibile (e, in caso, come) conciliare una dieta salutare con un sistema alimentare sostenibile. Insomma, come mettere insieme la salute degli individui con quella dell'ambiente nell'era dell'Antropocene, ovvero in un'era in cui all'essere umano e alle sue attività sono attribuite le cause principali dei cambiamenti territoriali, strutturali e climatiche. Della commissione fanno parte 19 membri, più 18 coautori, provenienti da 16 paesi diversi. Si tratta di esperti di sanità, agricoltura, scienze politiche e ambiente che hanno condiviso la proprie competenze per individuare, sulla base delle migliori evidenze disponibili ad oggi, target scientifici che permettano di raggiungere gli obiettivi fissati dai *Sustainable Development Goals* (SDG) delle Nazioni Unite (tra i quali ci sono: sconfiggere la fame, garantire una vita sana per tutti, garantire modelli di produzione e consumo sostenibili, un utilizzo sostenibile del mare e della terra, la lotta al cambiamento climatico), ma anche quelli dell'accordo di Parigi sul clima (che prevede di mantenere l'aumento della temperatura globale entro i 2 gradi centigradi al di sopra dei livelli

pre-industriali). Gli sforzi della commissione si sono concentrati su due punti critici dei sistemi alimentari: la produzione e il consumo, ovvero l'inizio e la fine del processo. E a questi due estremi i dati non sono confortanti. Partiamo dal consumo: nonostante la produzione alimentare di calorie vada ormai di pari passo con la crescita della popolazione, oltre 820 milioni di persone nel mondo hanno a disposizione quantità di cibo insufficienti e molte di più consumano cibi di bassa qualità che, da un lato, causano carenza di micronutrienti (un problema che oggi nel mondo affligge oltre 2 miliardi di persone), dall'altro contribuiscono a un aumento sostanziale dell'incidenza di obesità e di malattie correlate al cibo, come malattie cardiovascolari, ictus e diabete. Si calcola che seguire diete non salutari si traduca in un rischio di sviluppare malattie e di morire superiore a quello che deriva dall'insieme di attività come consumare droghe, tabacco, alcol e praticare sesso non sicuro. È chiaro che le diete della maggior parte degli abitanti della Terra vanno trasformate. E che va fatto piuttosto urgentemente. I dati che arrivano dalla produzione alimentare sono ugualmente sconfortanti: produrre cibo è la principale causa di cambiamenti ambientali. L'agricoltura occupa circa il 40% delle terre del pianeta, mentre la produzione alimentare è responsabile di oltre il 30% delle emissioni globali di gas serra e del 70% dell'uso di acqua dolce. La riconversione degli ecosistemi naturali in terre coltivabili e pascoli è il fattore principale dell'estinzione delle specie. L'uso eccessivo o inadeguato di azoto e fosforo come fertilizzanti causa eutrofizzazione e l'emergere di zone morte nei laghi e nelle zone costiere. Se guardiamo

al mare le cose non vanno meglio. Il 33% degli stock ittici mondiali monitorati è sfruttato in eccesso e più del 60% è sfruttato al massimo delle loro capacità. Inoltre, l'espansione dell'acquacoltura sta avendo effetti negativi sull'habitat costiero. Considerando che le previsioni dicono che nel 2050 avremo 10 miliardi di persone da sfamare nel mondo e che un numero sempre crescente di sistemi ambientali vengono spinti oltre i limiti di sicurezza proprio per darci cibo, è chiaro che i metodi di produzione alimentare devono essere rivisti e in tempi rapidi.

Accertato quindi che un cambiamento è necessario da tutti i punti di vista, la Commissione si è chiesta se questo cambiamento è anche possibile e ha concluso il suo rapporto con l'affermazione che sì, i sistemi alimentari del mondo sono in grado di garantire una dieta "win win" a 10 miliardi di individui entro il 2050. La dieta "win win" è quella in cui tutti vincono: la persona che la segue, ma anche l'ambiente che deve sostenere i costi della produzione dei cibi. «Raggiungere questo obiettivo tuttavia richiede una rapida adozione di numerosi cambiamenti e una collaborazio-

**La produzione alimentare è responsabile del 30% delle emissioni globali di gas serra e del 70% dell'uso di acqua dolce**

ne e un impegno mondiale senza precedenti», scrivono gli esperti. Prima di tutto, però, bisogna capire quale è la dieta buona per la nostra salute. Per farlo, la commissione ha analizzato una sterminata letteratura scientifica sull'argomento: studi osservazionali sul lungo periodo e trial clinici randomizzati. Tutte le ricerche giungono alla conclusione che una dieta con alcune caratteristiche è associata a un rischio più basso di malattie croniche e a un generale stato di benessere (che si richiama alla definizione di salute secondo l'Oms: "uno stato di completo benessere fisico, psichico e sociale e non semplice assenza di malattia"). Le principali caratteristiche di questa dieta sono cinque:

1 - Come fonti primarie di proteine, utilizzare piante, inclusa la soia, legumi, frutta a guscio. Pesci (o fonti alternative di acidi grassi omega 3) più volte a settimana, pollame e uova in modo opzionale e comunque moderato, poco (o anche niente) la carne rossa, specialmente lavorata.

2 - Consumare grassi per lo più insaturi; è ammesso un basso consumo di grassi saturi e nessuno di grassi idrogenati.

3 - Assumere carboidrati in primo luogo da cereali integrali con un piccolo apporto da cereali raffinati e ricavare dagli zuccheri meno del 5% dell'energia necessaria.

4 - Mangiare almeno 5 porzioni al giorno tra frutta e verdura, escluse le patate.

5 - Consumare in modo moderato (e opzionale) prodotti caseari.

Questi elementi sono compatibili con una grande varietà di cibi, sistemi agricoli, tradizioni culturali e preferenze individuali. Inoltre, gli elementi possono essere combinati insieme in diversi tipi di dieta: onnivora, vegetariana, vegana. Grande flessibilità, quindi, che permette di adottare questo regime alimentare un po' ovunque nel mondo.

Ma la trasformazione della dieta degli abitanti del pianeta richiede cambiamenti radicali: prima di tutto la riduzione di più del 50% del consumo mondiale di cibo non salutare, come la carne rossa e lo zucchero, e poi un aumento di oltre il 100% di consumo di cibo salutare, come frutta e frutta a guscio, vegetali e legumi. Lo sforzo vale la pena: si calcola che il cambiamento di dieta eviterebbe da 10.8 a 11.6 milioni di morti per anno, una riduzione di circa il 20%. E da un punto di vista ambientale, invece, cosa dovremmo fare? La produzione di cibo sostenibile per circa 10 miliardi di persone dovrebbe avvenire senza usare terra in più rispetto a quella attuale, salvaguardando la biodiversità esistente oggi, riducendo il consumo di acqua, riducendo anche l'inquinamento da fosforo e azoto, producendo zero emissioni di CO<sub>2</sub> e non facendo aumentare le emissioni di metano e di ossido nitroso. Un programma ambizioso, ma fattibile. Tuttavia, aggiungono gli esperti, attenzione perché anche un piccolo aumento nel consumo di carne rossa o di prodotti caseari renderebbe questo obiettivo difficile da raggiungere.

Si tratta di un'impresa complicata, una Grande Trasformazione Alimentare, per attuare la quale la commissione individua cinque strategie:

1 - Puntare su un impegno internazionale e nazionale per favorire lo spostamento verso una dieta salutare. Un impegno che si potrebbe concretizzare negli investimenti in informazione sulla salute pubblica e in educazione alla sostenibilità, nonché in una maggiore coordinazione tra i dipartimenti della salute e dell'ambiente dei diversi stati.

2 - Riorientare le priorità agricole passando dal produrre grandi quantità di cibo al produrre cibo sano. La produzione dovrebbe focalizzarsi su una gamma diversificata di alimenti nutrienti che vengano da sistemi alimentari che favoriscono la biodiversità piuttosto che sul far crescere di volume poche colture, molte delle quali peraltro sono utilizzate per l'alimentazione animale.

3 - Intensificare in modo sostenibile la produzione alimentare per far crescere una produzione di qualità. L'intensificazione deve essere guidata dalla sostenibilità e dall'innovazione dei sistemi. Questo porterebbe a una riduzione del divario delle rese dei



**820 milioni di persone nel mondo non ha cibo a sufficienza e molte di più ne consumano di bassa qualità**

terreni coltivati, a un miglioramento nell'efficienza dei fertilizzanti e dell'uso dell'acqua, e a una valorizzazione della biodiversità in agricoltura.

4 - Una governance forte e coordinata delle terre e degli oceani. Il che significa, ad esempio, mettere in atto politiche che prevedano che le terre coltivabili non si espandano più a svantaggio degli ecosistemi naturali e delle foreste, che le terre degradate vengano riforestate e che si adotti una strategia "Half Earth" per la conservazione della biodiversità senza intaccare la produttività. La strategia "Half Earth" è un appello per proteggere la metà delle terre emerse e dei mari del pianeta in modo da avere un habitat sufficiente per fermare l'estinzione delle specie. Si è calcolato infatti che proteggere la metà della superficie terrestre vuol dire proteggere l'85% delle specie: la Terra entrerebbe così in una zona

di sicurezza. Inoltre, i mari vanno monitorati per assicurarsi che la pesca non colpisca negativamente gli ecosistemi. 5 - Diminuire almeno del 50% la perdita e lo spreco di cibo, in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile.

La commissione utilizza nel suo documento il concetto di “confini planetari” (*Planetary Boundaries*), introdotto nel 2009 con un articolo su *Nature* da un gruppo di esperti di scienze del sistema Terra e della sostenibilità guidato da Johan Rockström per definire uno “spazio operativo sicuro” in cui poter agire senza compromettere il futuro del pianeta. Il rischio dell’era dell’Antropocene è che i cambiamenti prodotti dalle nostre attività potrebbero mettere a rischio la nostra stessa sopravvivenza o portare a un pesante regresso delle nostre condizioni di vita. Per evitare questo, quindi, non dobbiamo oltrepassare certe “soglie” caratteristiche di nove processi-chiave legati alla capacità del sistema Terra di autoregolarsi, su cui l’umanità ha potere di intervenire: cambiamento climatico, perdita di biodiversità, variazione del ciclo biogeochimico dell’azoto e del fosforo, acidificazione degli oceani, consumo di suolo e di acqua, riduzione della fascia di ozono nella stratosfera, diffusione di aerosol in atmosfera e inquinamento chimico.

Il cammino sarà cosparso di ostacoli, a cominciare dal fatto che molte persone nei paesi ricchi spesso mangiano fuori casa. L’agenzia nazionale per la sanità pubblica inglese ha recentemente raccomandato che i pasti di mezzogiorno e della sera non contengano più di 600 kcal ciascuno. Ma un recente studio pubblicato dal *British Medical Journal* ha dimostrato che l’89% dei piatti nei ristoranti e l’83% dei piatti nei fast food supera questo limite. Nei ristoranti dei paesi ricchi del mondo, in sostanza, si mangia molto più di quello che si dovrebbe. C’è poi il discorso di quali politiche conviene seguire per ottenere lo scopo prefissato di non far guadagnare peso alla popolazione. Conviene intervenire sull’ambiente dove il cibo viene offerto – come supermercati, ristoranti, bar – oppure puntare sulla sensibilizzazione dei cittadini? I decisori politici sono spesso oscillanti. Ad esempio, si legge sempre in un articolo su BMJ, il governo britannico nel piano contro l’obesità infantile propone interventi come restrizioni sulla pubblicità degli alimenti non salutari e il divieto per i supermercati di mettere in promozione questi cibi. In un altro documento, tuttavia, si insiste invece sulla responsabilità personale dei cittadini per uno stile di vita più sano.

## Il dramma dimenticato dello Yemen

Cristina Da Rold

In Yemen è in corso la più grande epidemia di colera nella storia recente. Un dramma nel dramma, in un paese martoriato da quattro anni di guerra devastante. La malattia ha campo libero laddove mancano le infrastrutture, un'adeguata rete fognaria e l'accesso ad acqua pulita.

In questo quadro, studiare gli aspetti genomici dell'epidemia è fondamentale

C'è Abdulmajeed Yahya, che ha 8 mesi e pesa poco più di 3 chilogrammi. È gravemente malnutrito da oltre un mese e gli è stato diagnosticato il colera all'ospedale Al Sabeen sette giorni fa, dopo aver fatto il viaggio di 5 ore a Sana'a da Al Haymaharea con sua madre e suo padre. E poi ci sono Ramez di due anni e mezzo e Mohamed di otto mesi, fratelli, entrambi malati di colera e malnutriti. La loro famiglia si è trasferita da Hajja a Sana'a dopo che il padre ha perso il lavoro, ma ancora non c'è la certezza di un pasto caldo ogni sera. «A Hajjah bevevamo acqua pura dai pozzi – racconta la madre dei due bambini – ma dopo esserci trasferiti a Sana'a abbiamo dovuto bere da camion d'acqua. Ho altri 3 bambini ed è il padre ora a prendersi cura di loro a casa». Mentre racconta la sua storia, la donna riceve una telefonata dal marito che le comunica che anche gli altri tre bambini stanno iniziando a mostrare segni di infezione. «Vediamo due nuovi pazienti affetti da colera e malnutrizione al giorno, molti dei quali da famiglie che possiedono quasi nulla» racconta Suha Abdeen, un'infermiera nel reparto di nutrizione dell'ospedale. «La struttura non può ospitare i pazienti ricoverati, quindi i casi di malnutrizione acuta grave con complicazioni mediche devono essere indirizzati ad altri ospedali».

Da marzo 2015 in Yemen si sta consumando una guerra devastante. Save the Children lo scorso novembre stimava che 85.000 bambini sotto i cinque anni potrebbero essere morti per fame o malattie gravi dall'inizio dell'escalation del conflitto, l'equivalente di 3 bambini italiani su 100 della stessa età. Il 21 dicembre 2018 l'UNHCR ha reso noto che circa 12.500 persone sarebbero fug-

gite combattendo nel governatorato di Al Dhale'e. Il distretto di Damt, che è a metà strada tra la capitale Sana'a e Aden, è stato colpito da continui combattimenti, obbligando oltre 1.750 famiglie a fuggire dalle loro case. Oltre 900 famiglie sono state ospitate nel vicino distretto di Qa'atabah, mentre altre 800 sono state trasferite in diversi villaggi sempre a Damt. Alcuni rapporti indicano che alcune famiglie sfollate vivono in caverne e quasi tutte hanno urgente bisogno di assistenza e protezione umanitaria. Come spiega Joost Hiltermann sul sito di Ispi – Istituto per gli Studi di Politica Internazionale, la principale causa scatenante la guerra è stata la presa della capitale Sana'a da parte delle milizie di Ansar Allah (Huthi) e da forze vicine all'ex-presidente nel 2014, a cui è seguito un golpe contro il governo di transizione del presidente Abed-Rabbo Mansour Had. «Il conflitto ha assunto presto una dimensione internazionale – spiega Hiltermann – con il coinvolgimento della coalizione guidata dall'Arabia Saudita che cercava di rovesciare quanto era stato ottenuto dalle forze Huthi/Saleh». L'inizio ufficiale è avvenuto la notte fra il 25 e il 26 marzo 2015, quando alcuni aerei sauditi e di altri paesi arabi hanno bombardato le postazioni in Yemen dei ribelli sciiti Houthi, un movimento armato di ispirazione sciita zaydita, che aveva appena depresso il presidente Abdrabbuh Mansour Hadi. La situazione era già complessa dalla fine del 2011, quando Ali Abdullah Saleh, alla guida del paese da oltre trent'anni, ha lasciato il suo ruolo. Alla fine del 2018 sono stati annunciati i negoziati di pace.

Le storie di Ramez, Mohammed, Abdulmajeed e dei tanti bambini citati in aper-



tura, riportate dal sito dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, non sono isolate. Dagli ultimi dati provenienti da Al Sabeen Hospital di Sana'a (fine dicembre 2018, sempre dal sito dell'OMS) emerge che il 20% dei 150 pazienti ricoverati ogni giorno con grave diarrea acquosa era in realtà malato di colera. Si tratta della più grande epidemia di colera nella storia recente. La malattia ha campo libero laddove mancano le infrastrutture, un'adeguata rete fognaria e la possibilità di lavarsi adeguatamente. L'ONU stima che 16 su 29 milioni di persone nello Yemen non abbiano accesso all'acqua pulita e ai servizi igienici di base a causa della distruzione delle infrastrutture pubbliche e sanitarie durante gli anni di conflitto civile. Già nel 2015, alla vigilia dello scoppiare dell'epidemia, l'OMS titolava un suo comunicato "Health system in Yemen close to collapse", il sistema sanitario yemenita è vicino al collasso. La crisi umanitaria era già iniziata: oltre 1,4 milioni di persone erano sfollate internamente, quasi l'80% della popolazione

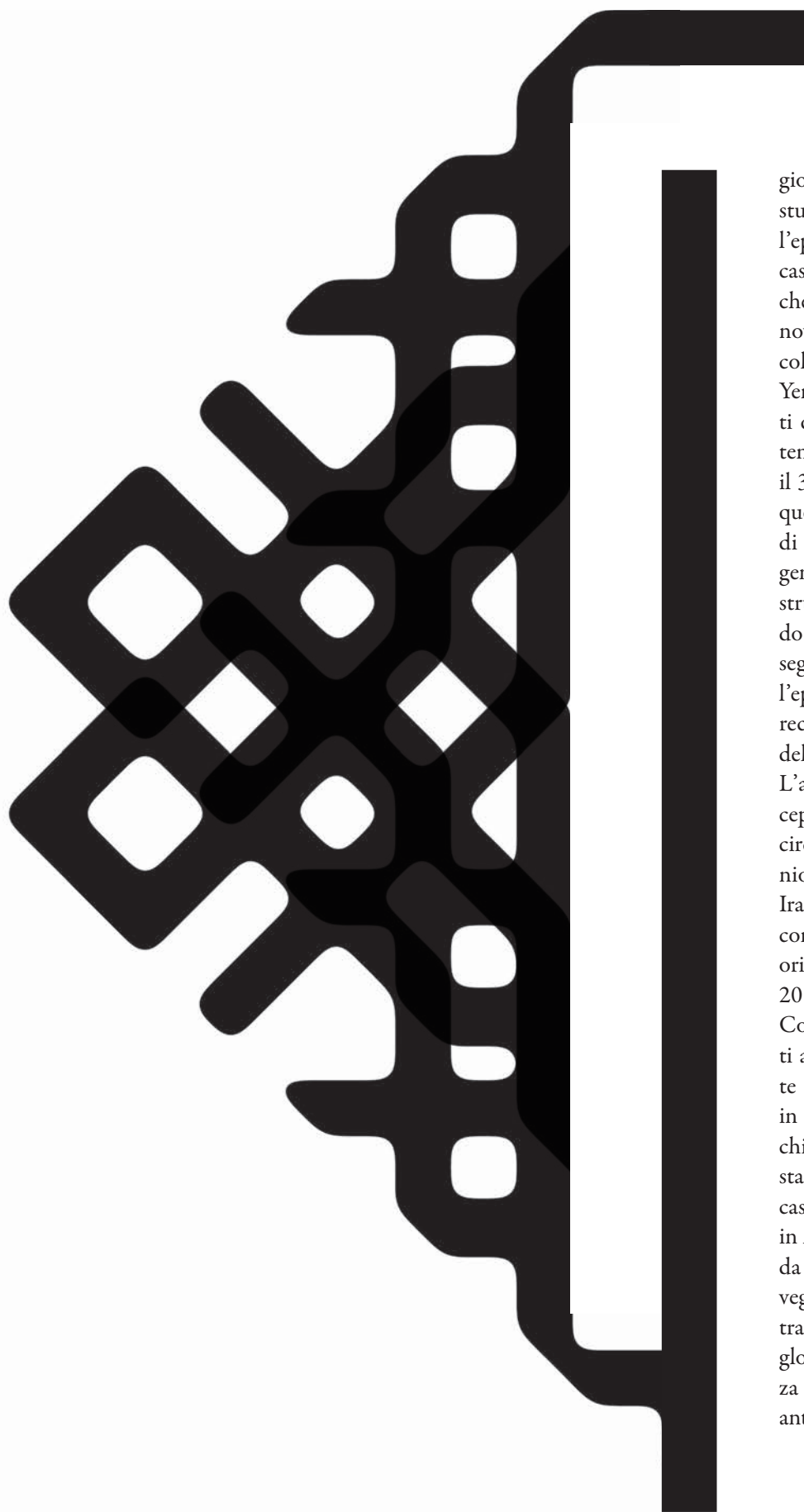


**Oltre 85.000 bambini sotto i cinque anni sono morti per fame o malattie gravi dall'inizio del conflitto**

da marzo a ottobre 2015 aveva bisogno di assistenza umanitaria e 7 milioni di persone, quasi un terzo della popolazione, era malnutrita. I primi casi sono stati dichiarati a settembre 2016 e, da allora, sono stati segnalati oltre 1,1 milioni di casi e 2.300 decessi. Si sono registrati 280.198 casi sospetti di colera solo dall'inizio del 2018, 372 decessi e i bambini sotto i 5 anni rappresentano il 32% del totale dei casi sospetti. Il colera è stato segnalato in tutti e 22 i governatorati dello Yemen e in 306 dei 333 distretti del paese. Solo fra il dicembre 2018 e il gennaio 2019 15,9 milioni di persone (il 53% della popolazione yemenita) sono state colpite da carenza di cibo. Di questi, il 17% della popolazione – circa 5 milioni di persone – sono classificati come IPC Fase 4 (Situazione di emergenza) e il 36%, cioè 10,8 milioni di persone, come IPC Fase 3 (Situazione di crisi).

Studiare gli aspetti genomici dell'epidemia è fondamentale. Un articolo pubblicato di recente su *Nature* da parte di un team internazionale ha indagato le relazioni filogenetiche, la patogenesi e i determinanti della resistenza antimicrobica sequenziando i genomi degli isolati di *Vibrio cholerae* nella regione in due ondate epidemiche: la prima tra il 28 settembre 2016 e il 23 aprile 2017 (25.839 casi sospetti) e la seconda a partire dal 24 aprile 2017 (oltre 1 milione di casi sospetti). I primi risultati indicano un nesso fra l'epidemia nello Yemen e la presenza globale di *V. cholerae* pandemico, originato dall'Asia meridionale e che ha causato epidemie in Africa orientale prima di apparire in Yemen. Il Corno d'Africa funge infatti da importante centro di migrazione nello Yemen.

Questa regione, che collega Asia e Africa, è stata a lungo un crocevia di vie commerciali e di comunicazione ed è probabile che diverse importazioni di colera 7PET dall'Asia nel Corno d'Africa abbiano seguito questa rotta. Inoltre, lo studio dimostra che i ceppi isolati in Yemen sono suscettibili a diversi antibiotici comunemente usati per trattare il colera, come l'acido nalidixico, agente antibatterico capostipite della classe antibiotica dei chinoloni, l'agente vibriostatico O129 e la nitrofurantoina, un chemioterapico con azione antibiotica battericida o batteriostatica. Sono risultati suscettibili anche alla polymixina B, che svolge attività battericida nei confronti di un gran numero di bacilli gram-negativi, e la cui resistenza è utilizzata come marcatore del biotipo El Tor. El Tor è uno dei due ceppi contagiosi da uomo a uomo conosciuti del batterio del colera. Tra i due, è quello che più facilmente si adatta all'ambiente e, quindi, il più pericoloso. La diversità dell'antigene O è alla base della distinzione del batterio *Vibrio* in sierotipi: si contano 140 sierogruppi O (O1-O140) di *V. Cholerae*, 7 sierogruppi O di *V. vulnificus* e 13 sierogruppi O di *V. parahaemolyticus*. Solo *V. cholerae* O1 e O139 però producono la tossina pericolosa per l'uomo e sono responsabili delle epidemie di colera. Il sierogruppo O1 a sua volta si suddivide in sierotipi (i principali sono Inaba, Ogawa e Hikojima) e in biotipi (classico ed El Tor), che si differenziano per ra-



gioni fenotipiche e morfologiche. I ricercatori hanno studiato le popolazioni batteriche che hanno causato l'epidemia di colera nello Yemen sequenziando 42 casi di *Vibrio cholerae* O1 di sierotipo Ogawa isolati che sono stati recuperati durante l'epidemia. Trentanove di questi casi sono stati raccolti da pazienti con colera che vivevano in tre diversi governatorati dello Yemen, mentre i tre rimanenti casi sono stati raccolti da pazienti provenienti da un centro di rifugiati temporaneo al confine tra Arabia Saudita e Yemen il 30 agosto 2017. I ricercatori hanno poi collocato questi risultati nel contesto di una raccolta globale di 1.087 sequenze genomiche, costruendo una filogenesi (cioè la storia evolutiva basata sull'analisi della struttura delle molecole) di 1.203 genomi, utilizzando 9.986 varianti. È stato rilevato inoltre un forte segnale temporale, che ha permesso di osservare che l'epidemia nello Yemen si è originata da una ondata recentemente emersa, che contiene la stessa variante del gene B dell'allele ctxB7.

L'analisi filogenetica mostra che geneticamente i ceppi di colera in Yemen sono diversi da quelli che circolavano in Medio Oriente nell'ultimo decennio, come quelli isolati in Iraq nel 2007 e 2015 e in Iran dal 2012 al 2015. Sono invece più strettamente correlati ai ceppi isolati raccolti dai focolai in Africa orientale (Kenya, Tanzania e Uganda) dal 2015 al 2016.

Correlati, ma non gli stessi. Essi appartengono infatti a un'altra ramificazione, detta T13 geneticamente diversa da quelle precedentemente individuate in Africa occidentale o orientale (rispettivamente chiamate T12 e T10). I dati suggeriscono che questa nuova onda 7PET di colera, che contiene tutti i casi con l'allele ctxB7, è emersa per la prima volta in Asia meridionale nei primi anni 2000. È evidente da questi risultati il ruolo chiave giocato dalla sorveglianza microbica genomica e delle collaborazioni transfrontaliere nella comprensione della diffusione globale del colera, nell'evoluzione della sua virulenza e nel valutare i determinanti della resistenza agli antibiotici.

## L'evoluzione della lingua: continua la sfida di Darwin


Intervista a Cristina Guardiano, linguista dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Giuseppe Nucera

Cavalli-Sforza è stato uno dei più grandi genetisti del secolo scorso, grazie al quale la ricerca genetica fu spinta fuori dal piccolo laboratorio e trasformata in impresa mondiale, come nel caso dello *Human Genome Diversity Project*. Ma tutto ciò è stato possibile anche grazie all'ambizione che ebbe lo scienziato italiano di perseguire la sfida di Darwin, ossia scoprire se esista una relazione tra il patrimonio biologico e quello linguistico nelle popolazioni del mondo. Nella celebre opera alla base della teoria dell'evoluzione, *L'origine della specie*, Charles Darwin affermava, infatti, che «se possedessimo un albero genealogico perfetto dell'umanità, un ordinamento genealogico delle razze dell'uomo permetterebbe la migliore classificazione delle lingue che oggi si parlano al mondo». Più di un secolo dopo, durante l'immenso lavoro di costruzione del primo atlante genetico mondiale, Cavalli-Sforza riscontra un risultato importante quanto inaspettato: oltre alla scoperta della genesi africana e del ruolo delle migrazioni come pressione e opportunità al cambiamento, riscontrò una forte correlazione tra la distribuzione dei geni e quella delle lingue. Dall'articolo *Geni, popolazioni e lingue* in poi, Cavalli-Sforza concentrerà la sua carriera sullo studio di come geni e lingue si distribuiscano e si sviluppino in un reciproco rapporto, capaci ciascuno di influenzare l'evoluzione dell'altro fino al punto di concettualizzare una coevoluzione biologica-culturale. Ancora oggi, molte sfide nella ricerca linguistica sono aperte come, ad esempio, capire se sia mai esistita una protolingua comune da cui tutte le 6.000 lingue del mondo discendano. Molti studi si basano ancora sul lavoro di Cavalli-Sforza: uno di questi è il progetto LanGeLin (*Language and Gene Lineages*). Con Cristina Guardiano, linguista dell'Università di Reggio Emilia che lavora sul progetto LanGeLin, abbiamo voluto capire quale sia il valore a decenni di distanza del lavoro di Cavalli-Sforza per la ricerca nella linguistica e se ancora oggi abbia senso portare avanti la sfida di Darwin.

**Le ricerche di Cavalli-Sforza, avviate ormai più di 50 anni fa, si sono concentrate sulla relazione tra la distribuzione dei geni e delle lingue nelle diverse popolazioni del mondo. Il suo lavoro è ancora un punto di riferimento per la ricerca nella linguistica?**

Da circa dieci anni lavoro nel progetto LanGeLin (*Language and Gene Lineages*), coordinato dal linguista Giuseppe Longobardi dell'Università di York, progetto che ha vinto un *ERC Advanced Grant* 2012-2018. Il gruppo di ricerca coinvolto ha pensato che potesse essere il momento di riprendere il discorso che aveva iniziato Charles Darwin nel libro *L'origine della specie* e che proprio Cavalli-Sforza, in modo particolare, aveva ripreso nel lavoro *Geni, popoli e lingue*: ossia l'intenzione di capire se il percorso biologico della storia delle popolazioni umane possa in qualche modo essere equiparabile o sovrapponibile a quello delle lingue umane. Continuare insomma la sfida che Darwin aveva lanciato in una predizione: se prendessimo l'albero genealogico



di tutte le popolazioni umane e lo sovrapponevamo all'albero delle lingue avremmo una sovrapposizione perfetta. In questa ricostruzione della storia dell'umanità, la genetica delle popolazioni e la linguistica ci aiuterebbero a creare un quadro unitario.

**Quindi, a 20 anni dal lavoro di Cavalli-Sforza e un secolo e mezzo dopo l'opera di Darwin, perseguite ancora l'ambizione di definire una sovrapposizione universale tra l'albero genealogico genetico e quello linguistico-culturale?**

Esattamente. Così come i tratti biologici, anche la competenza linguistica degli individui è consolidata nella struttura biologica degli individui stessi, quindi la lingua non è soltanto un prodotto culturale ma anche una proprietà universale del comportamento umano. È chiaro che la componente culturale nel caso delle lingue incide in modo cruciale sull'esistenza della diversità linguistica. I linguisti storici si chiedono come questa variazione sia stata modellata nel corso della storia, partendo dal presupposto che le strutture linguistiche di fondo, cioè quell'insieme di capacità che ci fanno parlanti una qualunque lingua, sono universali, appartengono a tutti gli essere umani e sono codificati in qualche modo biologicamente, ma questo è un altro settore di studi. Cavalli-Sforza ha provato proprio a fare questa sovrapposizione, trovando conferme da questo punto di vista ma anche una non piena condivisione tra i linguisti: non hanno mai accettato l'albero linguistico di partenza da lui utilizzato. Non c'è mai stato tra i ricercatori un pieno accordo sulla validità scientifica dei dati linguistici da lui utilizzati, non perché ce ne fossero di migliori ma perché, fino a poco tempo fa, la linguistica non era in grado di produrre dei risultati storici che potessero andare particolarmente indietro nel tempo, o per lo meno quanto fa la biologia molecolare. Quindi, per quanto la linguistica negli ultimi 200 anni si sia sviluppata molto per ricostruire le parentele linguistiche e fare luce sull'origine delle lingue, questi metodi davano risultati solidi, scientificamente riconosciuti, oggettivi per la comunità ma fino a un certo punto.

**Ci troviamo davanti a un gradino tra genetica e linguistica praticamente insormontabile?**

Finché la linguistica lavora su famiglie ormai molto note, come quelle indoeuropea, uralica o altaica, abbiamo certezze, ma se si vuole andare ancora più indietro nel tempo, capire quindi se queste siano a loro volta legate, cioè se derivassero da una origine comune, i metodi della ricerca linguistica non permettono di farlo con certezza. Joseph Greenberg, un linguista a Stanford e collega di Luigi Cavalli-Sforza, ha provato a superare questo problema a suo tempo. Anche i tentativi di Greenberg hanno comunque prodotto dei risultati che la comunità non riconosce in modo uniforme. Nel momento in cui si pensa di tornare indietro nel tempo e costruire famiglie linguistiche che stiano al passo con la storia genetica, i linguisti non riescono più a essere sicuri e uniformi.

**Cavalli-Sforza trovò le tracce genetiche della genesi di *Homo sapiens* in Africa circa 100.000 anni fa, confutando le tesi di una multigenesi della nostra specie. Al contrario, in linguistica la comunità scientifica è ancora oggi fortemente separata: da un lato l'approccio unitarista, che pensa sia esistita una proto lingua da cui tutte deriverebbero, dall'altro quello divisionista, che crede in una multigenesi delle lingue. Quando avremo maggiori certezze sull'esistenza o meno di una lingua madre e generatrice?**

Al momento attuale la linguistica non è in grado di dare una risposta scientifica definitiva a questo quesito. In questi 30 anni non abbiamo avuto sviluppi su tale punto, è ancora oggi impossibile giungere a un accordo su un solo albero che contenga tutte le famiglie esistenti. Che cosa è emerso in questi 30 anni, dalle ricerche di Cavalli-Sforza e Greenberg, e perché oggi è un buon momento per riaprire questo dibattito? Perché se da un lato in linguistica la ricostruzione storica non ha avuto sviluppi se non su un solo versante, ossia il dotarsi di metodi di analisi quantitativa, sviluppati, raffinati e ormai associati

all'analisi linguistica in senso stretto, come è d'altronde ormai imprescindibile per tutte le scienze, dall'altro lato assistiamo all'adozione di caratteri qualitativamente più astratti nella ricerca linguistica. Già Cavalli-Sforza diceva che uno dei grandi avanzamenti era stato dato da una frattura, ma da leggere in senso positivo, che ha permesso alla biologia molecolare di fare un salto di qualità: l'assunzione dei caratteri genetici e poi genomici, quindi la sostituzione nelle ricerche dei tratti fenotipici con i tratti genotipici; un salto rivoluzionario per la ricostruzione delle popolazioni umane che ha permesso di giungere a quelle conoscenze di cui dicevamo prima.

Se la linguistica riuscisse a fare oggi un salto simile potrebbe mettersi alla pari della genetica e della biologia molecolare e, a quel punto, avere delle armi pari per costruire un confronto tra geni e lingue in cui il materiale genetico e linguistico abbiano lo stesso livello e peso, sia in analisi di tipo qualitativo che quantitativo. La nostra ambizione è quella di introdurre filogenesi linguistiche che possano essere scientificamente consolidate sia qualitativamente che quantitativamente, quindi su dati riconosciuti e su risultati condivisi dal mondo scientifico. Certo, anche la genetica è cambiata molto negli ultimi decenni e anche qui cerchiamo di utilizzare tutto il materiale più aggiornato di cui la disciplina dispone.

**Voi state provando a sviluppare e proporre quello che lei chiama una frattura metodologica. Qual è l'innovazione su cui intendete sperimentare?**

Noi lavoriamo su dati sintattici, ossia dati che prima del nostro lavoro non sono mai stati utilizzati per fare ricostruzioni storiche in linguistiche. Sono molto diversi da quelli che altri tentativi di correlazione tra geni e lingue e altri nella ricostruzione storica della diversità linguistica hanno utilizzato finora. Normalmente si utilizzano tratti legati alla forma delle parole, alla forma fonologica, all'ordine delle parole o alla struttura frasale e via di seguito. Noi stiamo lavorando su dei dati un po' più astratti, un po' più invisibili, diciamo così, dei tratti che si chia-

mo teoricamente parametri sintattici. Un'astrazione che potrebbe esser positiva: questi dati dovrebbero essere più profondi in quanto meno esposti alle intemperie, cioè al mutamento rapido. Si dovrebbe risolvere, almeno parzialmente, uno dei problemi che lo stesso Cavalli-Sforza aveva individuato: le lingue si evolvono molto più rapidamente rispetto ai geni e questo crea una discrasia, cioè si va molto più indietro guardando la struttura genetica che non quella linguistica. La nostra idea è proprio quella di guardare strutture linguistiche più profonde, meno soggette al cambiamento rapido.

**Cavalli-Sforza non propose mai un determinismo genetico sulla cultura, caso mai un rapporto di reciproca influenza tra geni e lingue. I primi controllano le strutture biologiche e gli organi alla base del linguaggio, le seconde costituiscono delle barriere genetiche, cioè dove abbiamo una lingua comune si osserva uno scambio maggiore tra i patrimoni genetici. Il vostro nuovo approccio costituisce uno strumento di conferma da questo punto di vista?**

Abbiamo una risposta da uno studio che stiamo effettuando su un gruppo di popolazioni e di lingue selezionati sul continente euroasiatico, un campione di 37 lingue e popolazioni con una copertura dalla penisola iberica fino al Giappone e alla Corea. Innanzitutto, almeno su questo dominio, sembrerebbe che la distribuzione delle lingue sia molto meno condizionata da fattori geografici rispetto a quanto non lo sia la distribuzione della struttura genetica delle popolazioni. Ossia, le popolazioni vicine si somigliano geneticamente di più rispetto a popolazioni che sono tra loro lontane nello spazio, ma ciò non sempre vale per la lingua: ci sono casi in cui in uno spazio molto piccolo si parlano lingue appartenenti ad aree dell'albero genealogico diverse, quindi a famiglie o raggruppamenti differenti, ma anche zone del globo molto distanti l'una dall'altra in cui si parlano lingue che hanno un'origine comune. Quello che abbiamo osservato è una certa distribuzione e profondità sto-

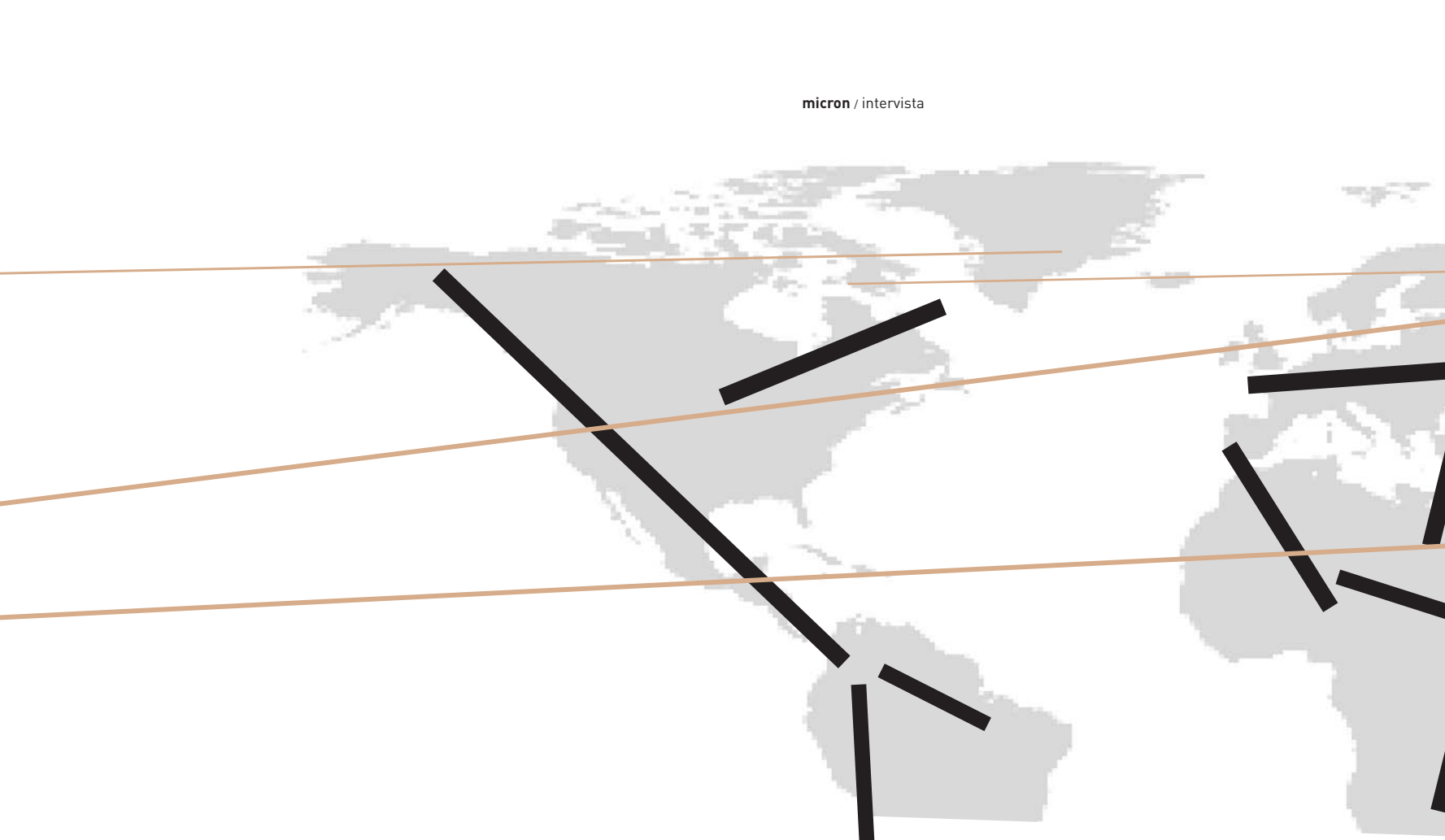
rica per cui, mentre i geni tendono a distribuirsi in modo orizzontale fortemente correlato con la geografia, le lingue lo fanno molto di meno. Nonostante questo, c'è comunque una discreta correlazione tra i geni e le lingue, correlazione che aumenta nel momento in cui si sottrae l'effetto della geografia.

Altro risultato: in contesti dove è documentata una forte mescolanza, ossia prolungata nel tempo in un contesto geografico limitrofo senza barriere fisiche, tra popolazioni geneticamente differenti, quello che sembra succedere è che esse tendono a uniformarsi geneticamente ma rimangono differenziate e ben distinte dal punto di vista linguistico. Un risultato importante che in parte risponde alla domanda.

**Quindi possiamo dire che non esiste una legge universale nel rapporto tra geni e lingue?**

Nel nostro dominio abbiamo trovato che quando c'è una sostituzione genetica tra due popolazioni non è detto che ci sia una sostituzione linguistica. Quando vediamo una sostituzione linguistica questa è invece sempre associata a una sostituzione genetica, mentre quest'ultima può avvenire indipendentemente dalla sostituzione linguistica. Fuori dal nostro dominio, ci sono ricerche interessanti e recenti sull'Oceania che fanno vedere il contrario, cioè fanno vedere un risultato di forte difformità genetica su cui è innestata una sostituzione linguistica. I geni non vengono cambiati ma c'è stato un *language replacment*. Quindi le casistiche sono molte e non c'è una regola universale: ogni area del globo ha avuto una storia sia linguistica che genetica a sé stante e quando si lavora e si cerca di fare ipotesi di congruenza geni e lingue, tutti i fattori che possono aver condizionato la storia genetica e linguistica devono essere presi in considerazione.

**In *Geni, popoli e lingue* si legge che “il linguaggio è un'innovazione a un tempo biologica e culturale, poiché le basi anatomiche e fisiologiche che lo rendono possibile si sono evolute genericamente, per selezione naturale”. Questo vale anche per le lingue?**



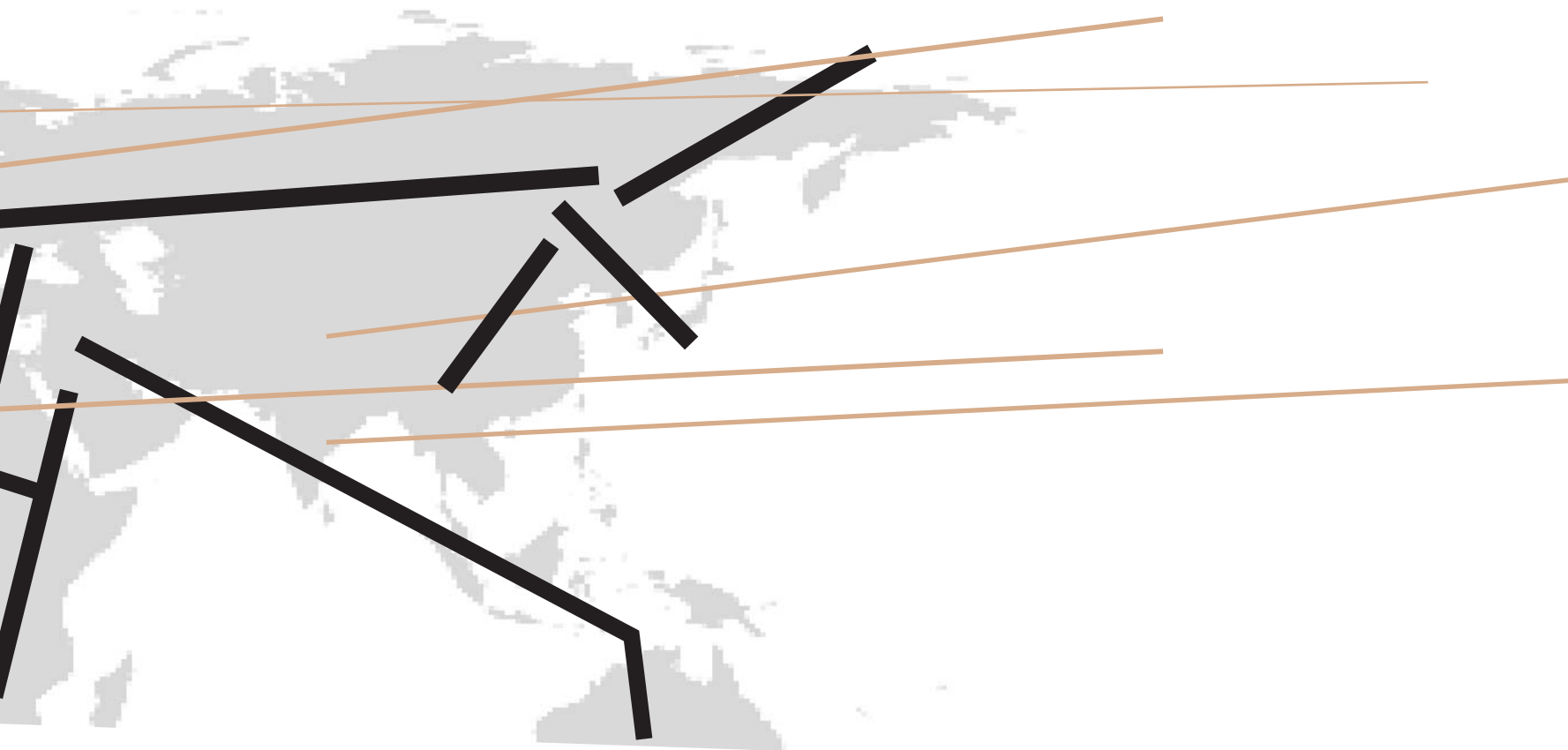
Noi sappiamo molto poco di come si è evoluta la capacità linguistica, di come è nata la competenza linguistica. Quella che sembra essere una convinzione tra chi si occupa di evoluzione del linguaggio è che da quando la capacità del linguaggio si è sviluppata nella specie umana la sua sostanza di fatto non si è evoluta in modo significativo. Ciò che è cambiato è come i parlanti nelle diverse parti del mondo hanno esplicitato tale capacità, l'*output* è variabile e queste variazioni sono quelle che noi studiamo: come si evolvono e si diffondono lungo la nostra storia linguistica. Il dato di fatto è che tutti gli individui della specie umana hanno la stessa capacità linguistica, che si manifesta poi in modo diverso come per effetto delle variabili sociali e ambientali di cui abbiamo parlato.

Come e quando la facoltà del linguaggio, invece, si sia sviluppata è un punto focale su cui ancora si deve lavorare, un settore su cui bisognerà aspettare, ma è certo che uno degli ambiti che si incrocia in modo inscindibile dal discorso genetico.

**Cavalli-Sforza non solo studiò la distribuzione di geni e lingue, ma anche la trasmissione del patrimonio genetico, ovviamente, e di quello cultura-**

**le: i geni si trasmettono verticalmente, da genitori a figli, mentre la cultura e la lingua, pur con le dovute eccezioni come la trasmissione del linguaggio dalla madre al figlio nei primi anni di vita, si trasmette principalmente in orizzontale, a livello sociale. È d'accordo?**

Sicuramente i fattori di trasmissione culturale incidono in modo molto marcato sulla diffusione delle lingue, ma i nostri studi mostrano che dal punto di vista della distribuzione storica le strutture sintattiche, ossia i tratti linguistici che noi stiamo osservando, si ha una trasmissione molto verticale, a differenza del contatto linguistico, fattore di distribuzione orizzontale. C'è da dire che se i nostri studi sono relativamente all'inizio e che per consolidare un metodo ci vogliono decenni, i tratti da noi osservati sono molto solidi e probabilmente lo sono di più dei risultati che emergono da altri tipi di carattere linguistici. Nella trasmissione di tratti genetici incidono fattori che sono legati alla trasmissione verticale, un padre e una madre trasmettono al loro figlio ciascuno una porzione del loro genoma, nella trasmissione delle lingue non succede esattamente così. Non è che un pezzo di struttura o genoma linguistico è data dal-



la madre e un pezzo dal padre. Se i genitori parlano la stessa lingua, il bambino acquisirà la stessa lingua con delle variazioni generazionali minime. Ma se i genitori parlano lingue diverse, il bambino acquisisce due grammatiche distinte e separate. E non una sola grammatica che per metà è acquisita dal padre e l'altra metà dalla madre, come avviene in genetica.

I processi di trasmissione linguistica sono diversi. Qui incidono, inoltre, gli stimoli linguistici che arrivano dal contesto esterno. Ad esempio nel caso di plurilinguismo, il figlio di genitori italiani che vivono in America, a casa sentirà parlare italiano o un dialetto italiano, nel contesto esterno sentirà parlare inglese, o altre lingue. Lui acquisirà diverse lingue, ma per ogni di essa di cui sarà nativo parlante, svilupperà una grammatica linguistica distinta, mentre il patrimonio genetico non ha generalmente un'influenza dal contesto esterno sull'individuo. Uno non acquisisce il patrimonio genetico in base al contesto sociale in cui si trova. Linguisticamente osserviamo una moltiplicazione delle grammatiche linguistiche, a livello genetico non avviene una moltiplicazione del patrimonio genetico. Nei contesti in cui i parlanti di una lingua si trovano sottoposti a stimoli plurilingui, il cambiamento della lingua è condizionato da

tutti questi fattori sociali.

**Un individuo si trova fin dalla nascita un determinato patrimonio genetico, mentre la lingua e la struttura linguistica sono apprese, sviluppate nei primi anni di vita: come gioca in questo caso il ruolo dell'individuo in riferimento al contesto socio-ambientale?**

La modalità con la quale il contesto sociale ha delle influenze sulla linguistica è assolutamente inconscia e indiretta: ad esempio, se una famiglia italiana cresce un figlio in Giappone, il figlio parlerà sia italiano che giapponese. Ma se la prima lingua usa gli articoli, a differenza della seconda, non succederà che il parlante nativo italiano e giapponese quando parla in italiano smette di utilizzare gli articoli. Le sue grammatiche linguistiche sono indipendenti e distinte e questo è un processo che avviene non in modo consapevole. Le strutture della mia lingua cambia nel tempo, ma attraverso tempi che non sono rapidi. Per questo la struttura linguistica iniziale si mantiene intatta anche quando ci sono fenomeni o contesti socioculturali che potrebbero incidere fortemente su suoi cambiamenti.

C'è da fare però un'annotazione importante sulla differenza tra apprendimento e acquisizione linguistica. Un parlante acquisisce la lingua come parte della sua grammatica interna. L'apprendimento è invece un fenomeno diverso, come quando un italiano nativo studia inglese. Le modalità con cui si accosta a una lingua, cioè se la acquisisce come un nativo o la apprende in modo secondario, generano delle varietà di lingua diversa.

**Nel caso di immigrazioni di una parte di una popolazione, come quelle che stanno avvenendo in questi anni, cosa osserviamo dal punto di vista linguistico?**

Nel caso dell'incontro di diverse popolazioni dal diverso ceto sociale, quindi quando solo una parte di una popolazione giunge su un nuovo territorio e incontra un'altra lingua, si creano nuove lingue: le lingue romanze sono nate così. Prendo delle parole da una lingua diversa ma nella sostanza non cambio le strutture grammaticali della lingua di origine. Sono le lingue che noi definiamo creole. In questo cambiamento coinvolgo solo la parte superficiale della mia struttura, le pareti del mio edificio linguistico, ma solo nel caso in cui il cambiamento arriva alla struttura portante posso assistere alla nascita di una nuova lingua.

La storia linguistica degli ultimi 200 anni è intrisa di mutamenti, alcuni di questi fenomeni potrebbero incidere su mutamenti a lunga distanza, altri sono più estemporanei, come gli slang giovanili o appunto le lingue creole.

C'è un caso emblematico e molto interessante di correlazione tra geni e lingue in cui questo quadro di sovrapposizione è turbato: ad esempio quando avviene un importante evento come la colonizzazione o il dominio di una popolazione su un altro popolo. A volte in modo violento si è costretti a cambiare la lingua e acquisire quella dei conquistatori. Questo caso crea un po' di discrasia tra l'acquisizione linguistica e genetica: lo scambio dei geni non avviene in modo così rapido come avviene con la sostituzione

linguistica. Quindi può succedere in certi contesti che una popolazione piccola riesca a imporre la lingua a una popolazione più ampia, ma non può imporre il patrimonio genetico.

**La critica del linguista Colin Renfrew a Cavalli-Sforza era centrata proprio sulla diversa natura dei processi di diffusione delle lingue. Secondo il linguista, Luigi Cavalli-Sforza avrebbe studiato casi di diffusione demica, ossia quando un popolo conquista un territorio non popolato implicando così una sovrapposizione tra patrimonio linguistico e genetico di partenza.**

**Renfrew, invece, riteneva che fosse la sostituzione linguistica il processo più diffuso, caso in cui, al contrario, a una diffusione linguistica e culturale non coinciderebbe una sostituzione genetica. Salta la sovrapposizione, per lo meno quella universale?**

Nella diffusione demica troviamo la sovrapposizione e congruenza perfetta di lingua e geni, è il classico caso di cui parlava Darwin. Un caso di correlazione che si registra con forza anche in Europa, a parte dei punti di discrasia, specialmente per le popolazioni che parlano inglese. La critica di Renfrew ci ricorda, però, l'impossibilità di un modello unico e universale: a tendenze generali a livello continentali e macrocontinentali dove si osservano una buona corrispondenza tra la distribuzione delle lingue e dei geni, nel piccolo si riscontrano casi di discontinuità che abbassano la correlazione.

Questo però, non vuol dire che Cavalli-Sforza avesse torto, piuttosto che la storia dell'umanità è caratterizzata da eventi complessi, entità che va dunque osservata tenendo presente tutte le variabili che potrebbero avere un ruolo nel fenomeno. L'osservazione di Renfrew si basa su dati archeologici ben documentati e su fenomeni che incidono sicuramente sulla correlazione, però da quello che ci sembra di osservare è che la predizione di Darwin, e che Cavalli-Sforza ha ripreso, non è ancora stata smentita e probabilmente non lo sarà mai.

WC



## Brexit: la posta in gioco per la scienza inglese

Stefano Porciello

L'epilogo di Brexit non poteva essere più caotico. Sempre che si tratti di un epilogo e non di un nuovo atto dalle conseguenze imprevedibili. La scienza inglese si sta giocando l'accesso a un miliardo di fondi UE, all'Erasmus e a network e consorzi di ricerca internazionali. Ecco cosa c'è sul piatto

Non abbiamo la più pallida idea di come finirà la saga – o la tragedia, nel senso teatrale del termine – della Brexit. Nel momento in cui mandiamo in stampa questo giornale la situazione è ancora troppo ingarbugliata. Ma di una cosa siamo certi: il mondo della scienza non ha mai smesso di fare pressioni per evitare un'uscita senza accordo, scenario che ha da sempre considerato il più catastrofico di tutti e che solo negli ultimi mesi si è trasformato da lontana, improbabile prospettiva, in potenziale realtà. Come siamo arrivati a questo punto? Che cosa teme il mondo della ricerca inglese e cosa si sta giocando di voto parlamentare in voto parlamentare sul filo di questa scommessa che sembra sempre più azzardata? «I leader delle università sono uniti nel considerare [la prospettiva che] il Regno Unito lasci l'UE senza un accordo sia una delle maggiori minacce che le nostre università abbiano mai dovuto affrontare [...] I collegamenti vitali della ricerca saranno compromessi, dai nuovi trattamenti contro il cancro alle tecnologie che combattono i cambiamenti climatici. Il prezioso scambio di studenti, personale e conoscenze sarebbe seriamente danneggiato. E condividiamo le preoccupazioni del mondo, degli affari sull'impatto di un *no-deal* su tutto: dalle catene di approvvigionamento, alla sicurezza e ai viaggi. Non è esagerato suggerire che si tratterebbe di una battuta d'arresto accademica, culturale e scientifica da cui ci vorranno decenni per riprendersi». Iniziava così una lettera aperta del 4 gennaio scorso spedita dalle più importanti associazioni di università del Regno Unito (Universities UK, Russell Group, Guild HE, Million Plus e University Alliance) ai parlamentari inglesi; una

lettera che preparava il terreno per gli ultimi mesi di pressing per sventare il pericolo di una Brexit senza accordo. Sono state ascoltate? A leggere i giornali, gli articoli e i reportage di oggi non potremmo essere più confusi. Negli ultimi tempi il Parlamento inglese ha svolto una serie di votazioni fondamentali: ha rigettato per due volte l'accordo negoziato (e poi revisionato) stretto tra il governo e l'Unione Europea. Il 13 marzo si è espresso contro la prospettiva di un *no-deal* e il 14 marzo ha chiesto al governo un rinvio della data d'uscita del 29 marzo. Nel momento in cui andiamo in stampa, Theresa May è ancora decisa a presentare il suo accordo in Parlamento per una terza volta, mentre come ha scritto *Politico* «Ora i leader dell'UE27 hanno davvero tutte le carte [nelle loro mani]». A pochi giorni di distanza da quella che doveva essere la data d'uscita dall'Unione – fissata, è bene ricordarlo, proprio dagli inglesi a novembre 2017 – la Brexit non ha trovato un suo epilogo e definitivo chiarimento e si è invece ingarbugliata ancora più di prima. Nel suo piccolo, il mondo della scienza inglese si sta giocando una partita determinante per il suo futuro sulla scena internazionale.

Potevamo aspettarci di finire in questa situazione? Forse. Quello che però era difficile aspettarsi solo un paio di anni fa, però, è che la sola prospettiva della Brexit potrebbe già aver contribuito a indebolire l'attrattiva dell'accademia inglese. Secondo gli ultimi dati pubblicati dalla Higher Education Statistics Agency, anche se i cittadini UE continuano a iscriversi in forze alle lauree triennali e magistrali inglesi, le iscrizioni dei *postgraduate research students* – cioè i giovani ricercatori che vanno nelle università



tà del Regno Unito per proseguire la loro carriera (come i dottorandi, per intenderci) – sta lentamente diminuendo dal 2016. Meno 1,44% nel 2016-2017 e meno 2,76% nel 2017/2018: sono poche centinaia di persone, si dirà. Vero, ma il dato è in controtendenza rispetto agli anni precedenti, in cui le iscrizioni dei *postgraduate research students* sono generalmente aumentate, passando dai 12.500 iscritti circa del 2007-2008 agli oltre 15.000 dell'A.A. 2015-2016. E se i dati non sono poi così gravi in generale, la storia è diversa per le università del Russell Group, quel club di 24 istituti d'eccellenza che annovera tra i propri membri la UCL, l'Imperial College, Oxford e Cambridge. Grazie ai dati raccolti a dicembre 2018 in 22 delle 24 istituzioni, si scopre un calo del 5% degli studenti iscritti a un master nell'A.A. 2018-2019, e addirittura del 9% di studenti-ricercatori per il secondo anno di fila. «È giusto ipotizzare che l'incertezza sulla Brexit e le future relazioni del Regno Unito con l'Europa potrebbero essere un fattore significativo. Il calo nei corsi di ricerca post-laurea è particolarmente preoccupante: questi studenti contribuiscono direttamente alla capacità di ricerca del Regno Unito» aveva commentato al riguardo Hollie Chandler, Senior Policy Analyst del Russell Group. «Se lasciamo l'UE senza un accordo», aveva aggiunto all'epoca «l'incertezza percepita dai futuri studenti europei non farà che peggiorare».

Con il dibattito in pieno svolgimento sulla strada che la Brexit dovrebbe intraprendere è davvero difficile fare una previsione di quale sarà l'impatto per il mondo della ricerca inglese in ognuno dei possibili scenari. Per il momento,

**Le più importanti associazioni universitarie si sono espresse con una lettera ai parlamentari inglesi**

dacché se ne stavano discutendo solo tre (uscita il 29 marzo con l'accordo May, no-deal o breve rinvio), oggi gli scenari sono ben sette. Come abbiamo detto, il *no-deal* è ancora possibile. E siamo a uno. Mentre le altre prospettive sono: accettazione dell'accordo May, presentato per la terza volta al Parlamento; una rinegoziazione; un nuovo referendum; nuove elezioni legislative; un voto di sfiducia contro il governo (con la nomina di un nuovo governo di maggio-

ranza) e – infine – la cancellazione della Brexit *tout-court*. Gli avvenimenti che si susseguiranno nei prossimi giorni dovranno necessariamente semplificare il quadro, ma nel frattempo queste prime settimane di marzo hanno solo contribuito a rendere difficilmente prevedibile il futuro anziché offrire le certezze tanto attese. E il mondo della ricerca, che si era davvero preoccupato all'idea di venir travolto dal *no-deal*, attende di capire cosa lo aspetta. L'accordo di Theresa May e le diverse garanzie offerte dal suo governo a studenti, ricercatori e staff universitario sembra dare un'opportunità al mondo accademico: davvero poco dovrebbe cambiare almeno fino al 2021 e il paese potrebbe continuare a far parte tanto del programma Erasmus che di *Horizon 2020*. Si tratta, inutile dirlo, di risorse importanti. È stato calcolato che il Regno Unito riceve ogni anno circa 1 miliardo/1 miliardo e mezzo di sterline di fondi diretti della Commissione europea per la ricerca e l'innovazione. Tra questi, gioca un ruolo di primo piano proprio l'assegnazio-



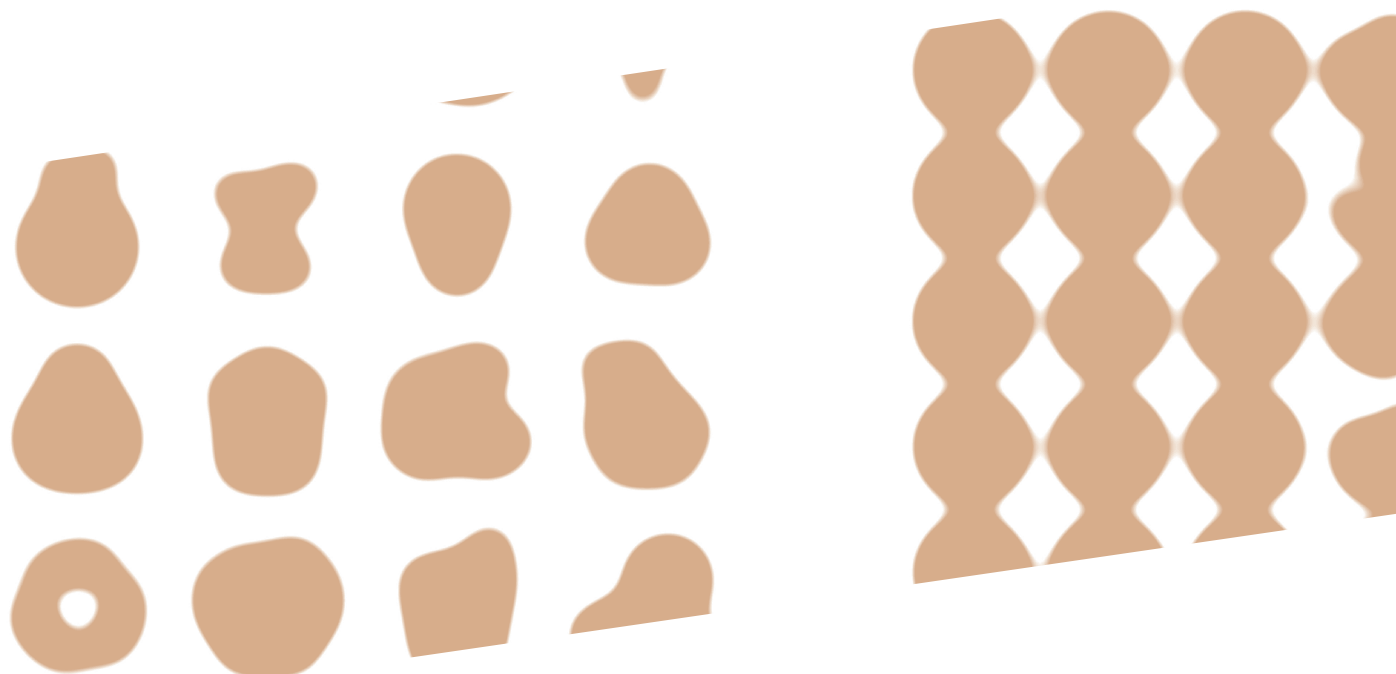
**Stando ai dati, la Brexit potrebbe già aver contribuito a indebolire l'attrattività dell'accademia inglese**

ne dei finanziamenti del programma *Horizon 2020*, che include le Azioni Marie Skłodowska-Curie e i prestigiosi *grant* dell'European Research Council. Quando questi fondi sono assegnati a ricercatori basati in Regno Unito servono spesso a supportare ricerche internazionali e vengono quindi distribuiti tra i diversi partecipanti dei progetti di ricerca, ma la quantità di denaro che l'accademia inglese è stata in grado di attrarre sinora dall'Europa è davvero elevata. *Horizon 2020* ha un budget totale di circa 77 miliardi di euro spalmati in sette anni (2014-2020). Bene: un *working paper* del parlamento inglese riporta che circa il 14% dei fondi allocati fino ad oggi sono stati assegnati a istituzioni inglesi e quattro università di punta (UCL, Oxford, Cambridge e Imperial) hanno ricevuto da sole circa un miliardo di euro tra il 2014 e maggio 2018. Già nel *Framework Programme*

7 (2007-2013) il paese era stato il secondo maggior beneficiario di fondi europei per la ricerca e l'innovazione, subito dopo la Germania, ottenendo ben 6,94 miliardi di euro sui 55,4 stanziati. In altre parole, il 12,5% dei fondi del programma. Allo stesso modo, grazie alle proposte di ricerca di quegli scienziati e ricercatori ospitati nelle sue università (e quindi sia inglesi che europei), tra il 2007 e il 2013 ha ricevuto 1,66 miliardi dai *grants* ERC (il 22,4% dell'intero budget del programma) e 1,08 miliardi dalle Azioni Skłodowska-Curie, sbaragliando la concorrenza di tutti gli altri paesi europei. La prospettiva di un *no-deal*, insomma, aveva spaventato tanti *big* della scienza inglese. Venki Ramakrishnan, Presidente della Royal Society, aveva fatto un appello ai parlamentari lo scorso 13 marzo, dichiarando: «Una Brexit senza accordo sarebbe un disastro per la scienza e l'innovazione del Regno Unito. Questa non sarà l'unica considerazione dei parlamentari quando voteranno oggi, ma senza un forte settore di ricerca e innovazione il futuro del Regno Unito sarà desolante». Il governo inglese ha promesso sin dal 2016 che qualora

**La speranza è che scienza e ricerca inglesi possano essere risparmiate dalle prospettive più fosche della Brexit**

università e centri di ricerca dovessero rimanere esclusi dai programmi europei a causa della Brexit, interverrà per coprire i costi dei programmi di ricerca che hanno già vinto un finanziamento europeo e per questo motivo sta facendo raccogliere a UK Research & Innovation (UKRI) dati su tutti i progetti già finanziati. Tuttavia, la garanzia del governo – almeno per il momento – non copre i finanziamenti per le organizzazioni di altri paesi che sono consorziate con i partecipanti inglesi e sottoscriverà, quindi, solo gli impegni finanziari delle istituzioni britanniche. Anche in caso di *no-deal*, quindi, il governo si è impegnato a coprire le spese dei ricercatori, ma in questo scenario – ed è davvero il colmo – l'accademia inglese rischia di non avere più accesso proprio ai *grant* dello European Research Council o ad alcune Azioni Marie Skłodowska-Curie. E molte preoccupazioni sono sorte anche in riferimento all'Erasmus, che ogni anno coinvolge più di 15.000 ragaz-



zi e ragazze inglesi. «È ormai chiaro che se non riusciranno a garantirlo, non ci sarà un'alternativa nazionale che consenta agli studenti di studiare all'estero in Europa. Se perdiamo Erasmus, non ci saranno schemi per sostituirlo» aveva scritto Vivienne Stern, Direttrice di Universities UK International. Per questo il 6 febbraio Universities UK (UUK) ha lanciato la campagna social nazionale *#SupportStudyAbroad* per chiedere al governo di impegnarsi a finanziare le opportunità di studio all'estero dei suoi studenti anche in caso di esclusione dal programma Erasmus Plus. Possiamo sperare. Sperare che queste preoccupazioni vengano presto superate dagli eventi, ma non è ancora il momento di tirare un sospiro di sollievo. Anzi, in qualsiasi scenario che non sia l'accordo May o la revoca dell'uscita del Paese dall'UE, queste campagne d'informazione e *lobbying* sulla politica continueranno a essere fondamentali nel definire il futuro non solo dei colleghi e dei compagni d'Oltremarica,

ma anche dei consorzi, delle collaborazioni, dei legami accademici e di ricerca che si sono stabiliti in questi anni.

Come europei, saremo sicuramente investiti dalla Brexit. Comunque vada a finire, potremo ancora andare a lavorare e a studiare in Regno Unito. Così come i nostri ricercatori partono per paesi extraeuropei come gli Stati Uniti o il Canada, così si potrà continuare a viaggiare e a lavorare da una parte all'altra della Manica. Certo è che, rispetto alla facilità con cui questo poteva essere fatto sino ad oggi, l'uscita dall'UE comporterà la necessità di visti e permessi soprattutto in caso di *no-deal* – scenario in cui, come è stato chiarito dal governo a fine gennaio, sarà necessario ottenere sin da subito un *European Temporary Leave to Remain* per permanenze superiori ai tre mesi. Le università si sono impegnate in ogni modo per supportare il loro staff, i loro ricercatori e gli studenti europei. Dovunque si trovano guide aggiornate



nate per rispondere agli interrogativi su cosa fare in ogni possibile scenario, e alcune università – come l’Imperial College – hanno messo a disposizione di studenti e lavoratori pagine web, gruppi di sostegno ed esperti che possano aiutarli nella svolta cruciale della Brexit. Chi ha già fatto domanda per l’*EU Settlement Scheme* potrà continuare a risiedere e a lavorare in Regno Unito, e il programma continuerà ad essere implementato anche se l’accordo May non dovesse essere accettato.

Non ci sono vincitori in questa guerra per la Brexit. Di certo, difficilmente scienziati e ricercatori inglesi che, oltre a rischiare di perdere soldi e prestigio, vedono messi a repentaglio anche i collegamenti, i consorzi e i network costruiti in anni di lavoro possono dirsi soddisfatti dalle premesse sull’epilogo di questi anni di negoziazioni. Il referendum del 2016 aveva già mostrato quanto distanti fossero le città dalle campagne, i mondi dentro e fuori dall’accademia, i

ricchi e i meno ricchi, le generazioni anziane e quelle giovani. E, qualunque sia il verdetto finale, questa spaccatura della società britannica non si risolverà con un voto o con la firma di un accordo. Come ha scritto *The Guardian* in un editoriale di gennaio: «Non c’è nessuna delle opzioni sul tavolo [...] che non sarà divisiva negli anni a venire». Né un no-deal, né una “soft Brexit” secondo l’accordo negoziato dalla May, né un nuovo referendum. Né, aggiungiamo noi, un completo ribaltamento della situazione. Speriamo solo che scienza e ricerca inglesi possano essere risparmiate dalle prospettive più fosche di questi ultimi atti della Brexit. Perché senza Regno Unito, senza le loro università, i loro studi e la loro collaborazione nelle ricerche internazionali saremmo tutti quanti un passo indietro rispetto a dove siamo oggi. Ed è un peccato, perché la scienza vuole – e deve – andare avanti: regredire non è nella sua natura.

## lettore

### Gli scienziati e la ricerca secondo i giovani

Andrea Rubin

Le scoperte in ambito scientifico e i costanti sviluppi nel settore tecnologico, con la conseguente applicazione nella vita di tutti i giorni, ci pongono di fronte a continue e sempre nuove domande di *governance* del processo tecnoscientifico. A rispondere a queste domande sono chiamati i cittadini di oggi ma, ancor più interessati, sono soprattutto i giovani. Nonostante le ragazze e i ragazzi, con le proprie scelte, avranno un ruolo determinante nel (ri)definire il quadro dei rapporti tra scienza e società, sono assai sporadiche – soprattutto in Italia – ricerche sistematiche che indagano il rapporto e le opinioni dei giovani rispetto alla scienza e allo sviluppo tecnologico. Eppure, come hanno osservato le rilevazioni condotte da *Observe – Science in Society* ormai da oltre un decennio, sono proprio i più giovani quelli che fruiscono maggiormente di contenuti relativi alla scienza e alla tecnologia nei media (in particolare attraverso i social network), visitano più assiduamente mostre e musei scientifici e, in generale, mostrano un approccio più favorevole allo sviluppo tecnoscientifico oltre a risultare più «alfabetizzati» alla scienza. Le ricerche condotte si concentrano prevalentemente sulla *science education* ma trascurano (troppo) spesso le opinioni e l'immagine che i giovani hanno della scienza, della tecnologia e degli scienziati.

L'aver rivolto l'attenzione su questi aspetti è, forse, il merito maggiore di Giuseppe Pellegrini, sociologo della scienza e presidente del centro di ricerca *Observe – Science in Society*, che nel suo libro *Narrazioni di mondi possibili* ha analizzato 1.600 racconti sulla scienza scritti per il concorso "La scienza narrata", un'iniziativa promossa da Merck, che da oltre dieci anni impegna gli studenti delle scuole superiori italiane. Ne emergono importanti spunti di riflessione. Per prima cosa, dai racconti degli adolescenti la scienza ricopre un ruolo centrale nella società e nella quotidianità contemporanea e i giovani rivolgono molte aspettative nei confronti della ricerca tecnoscientifica. È soprattutto la biomedicina a rappresentare la scienza nell'immaginario giovanile. Ciò permette agli adolescenti di esprimere i propri dubbi rispetto agli effetti sociali e individuali dello sviluppo tecnologico: nei racconti, le malattie vengono spesso presentate come «effetti collaterali dello sviluppo scientifico». I giovani non evitano di porre la ricerca scientifica dinnanzi a una serie di fondamentali «dilemmi morali», evidenziando che «la fiducia nella scienza e nelle istituzioni non è mai disgiunta dalle questioni morali e dai valori». Pellegrini mette così in luce che, se da un lato ragazze e ragazzi esaltano i benefici che possono derivare dall'attività scientifica, dall'altro però non mancano di sottolineare alcune preoccupazioni per i possibili effetti negativi della tecnologia o le implicazioni etiche connesse al suo sviluppo. «Incertezza e impotenza sono elementi che caratterizzano la scienza in modo inevitabile» secondo i racconti scritti dai ragazzi e dalle ragazze. A dimostrazione delle capacità analitiche degli adolescenti, si tratta di questioni a lungo dibattute da filosofi ed epistemologi della scienza. Un altro ri-

sultato interessante per quanto riguarda i futuri sviluppi del rapporto tra scienza e società è riservato all'immagine che degli scienziati e dei ricercatori esce dai racconti scritti dai giovani italiani e dal ruolo pubblico che essi attribuiscono a chi fa scienza: gli scienziati non sono più uomini e donne, solitari e strani, chiusi nei loro laboratori polverosi e disordinati, bensì figure con un'importante rilevanza sociale e dalla forte presenza pubblica.

Per quanto riguarda il lavoro dello scienziato, i giovani lo immaginano sia come un'attività dura e particolarmente impegnativa, sia un mestiere sconosciuto e misterioso. Lo scienziato è una figura tutto sommato isolata, che fa un lavoro speciale – sia nel senso di un po' strano, sia non accessibile a tutti perché complicato. Un'immagine che richiama le figure di scienziati presenti nella letteratura o nei film (si pensi, per esempio, alla figura di Doc in *Ritorno al Futuro*) che ancora oggi continuano a rappresentare la scienza in modo caricaturale e fantasioso.

Pur partendo dai racconti di ragazze e ragazzi, Pellegrini trae considerazioni utili a una riflessione generale sul ruolo della scienza nella società. L'autore osserva che «le tematiche oggetto di valutazioni negative, proposte nei racconti, segnalano casi in cui la scienza pretende di dare risposte definitive». Si tratta di "preoccupazioni" condivise dall'opinione pubblica italiana, come rivelano le indagini annuali su questi temi, che esprime «scetticismo nei confronti dell'onnipotenza scientifica». La scienza, inoltre, non è mai affrontata acriticamente dai giovani studenti. Nella loro valutazione dell'impresa scientifica rientrano sempre delle considerazioni morali, così come non vengono trascurati i già sottolineati limiti di incertezza e indesiderabilità che l'attività scientifica e lo sviluppo tecnologico portano con sé. Il rischio, insomma, di incorrere in una «eterogenesi dei fini», per utilizzare l'espressione nietzschiana, magistralmente riassunta da Stanley Kubrick in *2001: Odissea nello spazio*. Studenti e studentesse si muovono, di volta in volta, tra una visione che esalta le potenzialità della scienza e della tecnologia, e una visione critica che pone interrogativi su temi come la sperimentazione animale o il rapporto con la tecnologia. *Narrazioni di mondi possibili* si pone dunque come un breve e utile strumento per capire come i giovani vivono il complesso rapporto fra conoscenza scientifica e qualità della vita, ma anche per tratteggiare i principali argomenti in cui si articola il rapporto tra scienza, tecnologia e società. Date le scarse ricerche sull'importante rapporto tra giovani e scienza, approfondimenti come quello proposto da Pellegrini sono quanto mai auspicabili oltre che necessari.

**Narrazioni di mondi possibili.**  
Giovani e immaginario scientifico  
GIUSEPPE PELLEGRINI  
Il Mulino, 2018  
pp. 131, euro 14,00



**Il futuro alle porte**

Salvatore Marazzita

Non è singolare notare come il visionario della robotica Isaac Asimov si fosse premurato di inserire i suoi racconti sui robots e i loro rapporti con gli umani in un quadro etico di riferimento, le tre leggi della robotica? Si tratta di norme atte a regolare le implicazioni possibili tra esseri umani e automi. Tutti i racconti di robotica del chimico scrittore si fondano sulle possibili distorsioni e interpretazioni di queste leggi fondamentali. Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa del proprio mancato intervento, un essere umano riceva danno; un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge; un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questa autodifesa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge. Un impianto etico vero e proprio, un modo di regolare cioè il comportamento dei futuri uomini meccanici, umanoidi e non, che con i loro cervelli "positronici" rischiano di mettere in discussione i pilastri della civiltà contemporanea. In un mondo che si avvia verso una convivenza sempre più massiva tra uomini e macchine, già di fatto in atto, è necessario fissare dei confini, interrogarsi eticamente sui possibili tipi di relazione e implicanze relazionali. Asimov ha saputo mostrare le sfumature più sottili e problematiche del mondo uomo-macchina, lo ha fatto al modo della fantascienza e della futurologia, ma si comincia realmente ad imporre una riflessione che sia in grado di percorrere e analizzare le vie indicate dallo scrittore di "Io, Robot" nel 1950.

L'intelligenza artificiale mostra delle strade di percorribilità scientifica e sociale mai pensate prima. L'intelligenza artificiale è già qualcosa in più del semplice braccio meccanico che opera in fabbrica o del personal computer e inquieta e affascina perché il lavoro degli sviluppatori ha l'obiettivo di varcare una soglia, di andare ad occupare uno spazio che fino ad oggi è stato considerato il discrimine tra l'uomo e la macchina, ma anche tra l'uomo e l'animale: la comprensione, la conoscenza. Il fatto che una macchina possa essere in grado di comprendere il nostro linguaggio, forma ed espressione della nostra articolazione di pensiero, e di rispondere alle nostre esigenze, di analizzare i nostri bisogni, di entrare nella nostra vita. Questo ci affascina e ci turba al contempo, dal momento che si ha la netta percezione che possa venire meno una separazione millenaria, quella tra l'uomo come creatore e il prodotto della sua creazione, tra il soggetto e l'oggetto. L'intelligenza artificiale potrebbe distorcere questo rapporto, dal momento che, attraverso di essa, l'oggetto potrebbe iniziare a possedere una "soggettività", espressa attraverso la comprensione e la possibilità di apprendimento. L'indistinzione fra naturale e prodotto potrebbe implicare una mutazione della modalità esistenziale in cui ciascuno si pone anche nei confronti di sé stesso e della propria identità.

Le possibilità di una tecnologia in via di forte sviluppo sembrano quindi toccare e implicare questioni che non riguardano solo la scienza, ma si affacciano invece alla finestra della filosofia, della psicologia e delle

scienze cognitive. Si pensi al solo concetto di coscienza, con tutte le complesse questioni a cui necessariamente è legato. La possibilità di riprodurre artificialmente una forma di coscienza, che lo crediamo possibile o meno, apre ad una riflessione sull'essere umano, sul tentativo di definirne la natura, procedendo perfino per opposizione, ovvero ragionando in senso negativo su ciò che non si può definire umano, come le macchine. Il punto sta qui: i confini si stanno assottigliando. Ci staremmo dunque avvicinando ad una "singolarità" in campo tecnologico? Ad un punto in cui il progresso tecnologico arriverebbe ad un livello tale da sfuggire alla capacità di comprensione e previsione dell'uomo su di esso? Una singolarità di questo tipo avrebbe lo stesso impatto della rivoluzione copernicana nel '500: potrebbe modificare l'assetto stesso della nostra società, il nostro concetto di umanità, mettere in crisi i nostri sistemi economici e sociali, modificare le nostre regole di convivenza, i nostri sistemi di pensiero. Gli avanzamenti della conoscenza nei campi dell'Intelligenza artificiale e della neurotecnologia rendono l'avvento della singolarità tecnologica realmente probabile, lavorando entrambe sul terreno dell'intelletto, organo cognitivo e creativo dell'uomo. Intelletto potenziato, protrazione della coscienza, riparazioni neurologiche, "transumanesimo" come possibili scenari determinati da una singolarità tecnologica sono i temi trattati, analizzati e ragionati da Murray Shanahan, professore di Robotica cognitiva al dipartimento di Computing dell'Imperial College di Londra. Nel suo libro *La rivolta delle macchine* si entra nel complesso concetto di singolarità tecnologica e si tenta di comprendere se sia possibile che un evento così impattante sulla vita dell'uomo possa accadere e, se può, quando. È l'occasione di guardare da vicino, esposte in maniera chiara e dettagliata, le teorie e le applicazioni scientifiche sull'intelligenza artificiale e le sue implicazioni e possibilità. Una lettura importante per guardare ad un futuro tecnologico che si avvicina e si sta concretizzando sotto i nostri sguardi.

**La rivolta delle macchine**  
MURRAY SHANAHAN  
LUISS University Press, 2018  
pp. 208, euro 20,00





Silvia Capponi - Londra / Regno Unito

controllo prevenzione protezione dell'ambiente

## Hanno collaborato a questo numero:

### **Fabrizio Bianchi**

Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

### **Maria Bonsignore**

Istituto di Biomedicina e Immunologia del CNR, Palermo

### **Elisa Bustaffa**

Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

### **Francesca Buoninconti**

Giornalista scientifica

### **Fabio Cibella**

Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino, Capo Granitola

### **Liliana Cori**

Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

### **Cristina Da Rold**

Giornalista scientifica

### **Gaspare Drago**

Istituto per lo studio degli impatti Antropici e Sostenibilità in ambiente marino, Capo Granitola

### **Romualdo Gianoli**

Giornalista scientifico

### **Francesca Gorini**

Istituto di Fisiologia Clinica del CNR, Pisa

### **Pietro Greco**

Giornalista scientifico

### **Salvatore Marazzita**

Comunicatore della scienza

### **Giuseppe Nucera**

Comunicatore della scienza

### **Stefano Porciello**

Esperto di relazioni internazionali

### **Cristiana Pulcinelli**

Giornalista scientifica

### **Barbara Saracino**

Observe Science in Society

### **Daniela Salvagio Manta**

Istituto di Biomedicina e Immunologia del CNR, Palermo

### **Mario Sprovieri**

Istituto di Biomedicina e Immunologia del CNR, Palermo

### **Andrea Rubin**

Comunicatore della scienza

*Il 23 maggio 2007 per la prima volta nella storia la popolazione che vive nelle città ha superato quella delle campagne. Da quel giorno di 12 anni fa la vita dell'umanità è definitivamente cambiata e, insieme ad essa, si è modificato il rapporto dell'uomo con l'ecosistema.*

**micron**

ecologia, scienza, conoscenza