

STEFANO MANCUSO

LE PIANTE HANNO GIÀ INVENTATO
IL NOSTRO FUTURO

PLANT REVOLUTION



GIUNTI

STEFANO MANCUSO



PLANT REVOLUTION

Le piante hanno già inventato il nostro futuro

GIUNTI

Realizzazione editoriale
Studio Editoriale Littera, Rescaldina (MI)

Progetto grafico di copertina
Yoshihito Furuya

www.giunti.it
© 2017 Giunti
Via Bolognese 165, 50139 Firenze – Italia
Piazza Virgilio 4, 20123 Milano – Italia
ISBN 9788809857230
Prima edizione digitale: marzo 2017



Stefano MANCUSO
PLANT REVOLUTION
Le piante hanno già inventato il nostro futuro

Ad Annina

Sommario

Realizzazione editoriale

Studio Editoriale Littera, Rescaldina (MI)

Progetto grafico di copertina

Yoshihito Furuya

Stefano MANCUSO

PLANT REVOLUTION

Le piante hanno già inventato il nostro futuro

Sommario

Prefazione

Riferimenti bibliografici

I Memorie senza cervello

Animali o piante: l'esperienza insegna

La pianta non ha la memoria corta

Riferimenti bibliografici

II Dalle piante ai plantoidi

L'approccio bioispirato è una novità?

Perché le piante

Individualità nelle piante

Il plantoide: un esempio di bioispirazione vegetale

Riferimenti bibliografici

III La sublime arte della mimesi

Un modello, un mimo, un destinatario

La *Boquilla trifoliata,* regina della mimesi,e gli *ocelli* delle piante

Piante, pietre e segnali colorati

Risorse umane. O meglio, l'uomo come risorsa delle piante

Riferimenti bibliografici

IV Muoversi senza muscoli

Eppur si muovono!

Pigne e reste di avena

Un seme molto attivo: l'Erodium cicutarium

Riferimenti bibliografici

V Capsicofagi e altri schiavi delle piante

L'arte della manipolazione

Le Spacciatori e consumatori di nettare extrafiorale

Quella volta in cui incontrai i miei primi *capsicofagi*

Manipolazione chimica

Riferimenti bibliografici

VI Democrazie verdi

Alcune considerazioni preliminari sul corpo delle piante

Chi risolve problemi e chi li evita

Sciami di radici e insetti sociali

Ateniesi, api, democrazia e moduli vegetali

Il teorema della giuria

La partita doppia della logica

Organizzazione e caos

Cooperativi come le piante

Riferimenti bibliografici

VII Archipiante

Torri come rami

La *Vlctorfa amazoniar.* come una foglia salvò la prima Esposizione universale

Cactus, acqua e grattacieli

Riferimenti bibliografici

VIII Cosmopiante

Le nostre compagne di viaggio nello spazio

Paria dei cieli

Riferimenti bibliografici

IX Vivere senza acqua dolce

La disponibilità La disponibilità di acqua dolce non è illimitata...

Vivere di acqua salata

Jellyfish Barge - la serra galleggiante

Riferimenti bibliografici

Referenze fotografiche

Prefazione

Ho L'impressione che la reale importanza delle piante per la vita dell'uomo non sia percepita nella sua interezza dalla maggior parte delle persone. Certo, tutti sanno - o almeno me lo auguro - che respiriamo grazie all'ossigeno prodotto dai vegetali, e che l'intera catena alimentare, e quindi il cibo che mitre tutti gli animali della Terra, si basa sulle piante. Ma quanti hanno chiaro che petrolio, carbone, gas e tutte le cosiddette risorse energetiche non rinnovabili non sono altro che una forma diversa dell'energia del sole fissata dalle piante milioni di anni fa? Quanti sanno che i principi attivi delle nostre medicine sono in gran parte di origine vegetale? O che il legno, grazie alle sue sorprendenti caratteristiche, in molte aree del mondo è ancora oggi il più utilizzato materiale da costruzione? La nostra vita, così come quella di ogni altra forma animale su questo pianeta, dipende dal mondo vegetale.

Si potrebbe pensare che di organismi così importanti per la sopravvivenza dell'umanità - e dai quali dipende una bella fetta della nostra economia - si sappia tutto. Niente affatto: soltanto nel 2015 sono state scoperte 2034 nuove specie vegetali. E non pensiate che si tratti di piantine microscopiche sfuggite all'attenzione dei botanici; una di queste, il *Gilbertiodendron maximum*, è un albero endemico della foresta pluviale del Gabon, alto circa quarantacinque metri, con un tronco che può raggiungere il metro e mezzo di diametro e una massa totale di oltre cento tonnellate. E il 2015 non è stato un caso eccezionale: nell'ultimo decennio il numero di nuove specie descritte ha superato le duemila per anno.

È sempre un buon affare andare alla ricerca di nuove piante: non sai mai cosa puoi scoprire. Più di 31.000 differenti specie hanno un uso documentato; fra queste, quasi 18.000 sono utilizzate a scopi medicinali, 6000 per la nostra alimentazione, 11.000 come fibre tessili e materiali da costruzione, 1300 a fini sociali (inclusi usi religiosi e come droghe), 1600 quali fonte energetica, 4000 come cibo per animali, 8000 a scopi ambientali, 2500 come veleni eccetera. Il conto è presto fatto: circa un decimo delle specie ha un uso immediato per l'umanità. Come detto, un buon affare. Che potrebbe diventare ottimo, qualora iniziassimo a servirci delle piante non solo per ciò che producono, ma anche per quello che possono insegnarci

Esse, infatti, sono un modello di modernità; e il fine di questo libro è proprio renderlo evidente. Dai materiati all'autonomia energetica, dalle capacità di resistenza alle strategie di adattabilità, le piante hanno trovato da tempo immemorabile le migliori soluzioni alla maggior parte dei problemi che affliggono l'umanità. Basta sapere come e dove guardare.

Fra i quattrocento milioni e il miliardo di anni fa, a differenza degli animali che

scelsero di muoversi per trovare il nutrimento indispensabile, te piante presero una decisione evoluzionisticamente opposta. Preferirono non spostarsi, ottenendo dal sole tutta l'energia necessaria per sopravvivere e adattando il proprio corpo alla predazione e agli altri innumerevoli vincoli derivanti dall'essere radicate al terreno. La cosa non è per niente facile. Provate a pensare quanto sia complicato restare in vita in un ambiente ostile senza potersi spostare.

Immaginate di essere una pianta, circondata da insetti, animali erbivori e predatori di ogni specie, e di non poter scappare. L'unica maniera per sopravvivere è essere indistruttibili; essere costruiti in modo interamente diverso da un animale. Essere una pianta, appunto.

Per eludere i problemi relativi alla predazione, si sono evolute secondo una strada unica e insolita, sviluppando soluzioni così lontane da quelle animali da essere per noi l'esempio stesso della diversità. Organismi così differenti da noi che, per quanto ci riguarda, potrebbero benissimo essere alieni Molte delle soluzioni sviluppate dalle piante sono l'esatto opposto di quelle ideate dal mondo animale. Ciò che lì è bianco, per le piante è nero, e viceversa: gli animali si spostano, le piante sono ferme; gli animali sono veloci, le piante lente; gli animali consumano, le piante producono; gli animali generano CO_2, le piante fissano CO_2... E così via, fino alla contrapposizione decisiva, la più importante e la più sconosciuta: quella fra diffusione e concentrazione. Qualunque funzione che negli animali è affidata a organi specializzati, nelle piante è diffusa sull'intero corpo. È una differenza fondamentale, di cui è difficile comprendere appieno le conseguenze. Tale struttura così diversa è proprio uno dei motivi per cui le piante ci appaiono così diverse.

Il nostro approccio verso la progettazione è stato quello di una sostituzione, espansione 0 miglioramento delle funzioni umane. In pratica, l'uomo ha sempre tentato di replicare l'essenziale dell'organizzazione animale nella costruzione dei suoi strumenti. Prendiamo il computer. È progettato su schemi ancestrali: un processore, in rappresentanza del cervello, che ha la funzione di governare l'hardware, e poi dischi rigidi, ram, schede video e audio... Cioè la banale trasposizione dei nostri organi in chiave sintetica. Tutto ciò che l'uomo progetta tende ad avere, in maniera più 0 meno palese, questa architettura: un cervello centrale che governa e organi che eseguono i suoi comandi. Perfino le nostre società sono costruite su questo stesso arcaico disegno, gerarchico e centralizzato. Un modello il cui unico vantaggio è di fornire risposte rapide - quindi, in quanto tali, non sempre corrette -, ma che è molto fragile e per nulla innovatore.

Pur senza alcun organo assimilabile a un cervello centrale, le piante riescono a percepire l'ambiente circostante con una sensibilità superiore a quella degli animali;

competono attivamente per le limitate risorse disponibili nel suolo e nell'atmosfera; valutano con precisione le circostanze; compiono sofisticate analisi costi-benefici; e, infine, definiscono e intraprendono le appropriate azioni in risposta agli stimoli ambientali. La loro via, dunque, è un'alternativa di cui tenere conto, soprattutto in tempi in cui la percezione dei cambiamenti e la predisposizione di soluzioni innovative diventano attitudini fondamentali.

Qualsiasi organizzazione centralizzata è inerentemente debole. Il 22 aprile 1519 Hernàn Cortes sbarcava in Messico, presso l'odierna Veracruz, con cento marinai, circa cinquecento soldati e pochi cavalli. Due anni dopo, il 13 agosto 1521, la caduta della capitale Tenochtitlàn segnava la fine della civiltà azteca. La stessa sorte sarebbe toccata agli Inca per mano di Francisco Pizarro pochi anni più tardi, nel 1533. In ambedue i casi, eserciti minuscoli erano stati in grado di far crollare imperi grandi, secolari e fragili, grazie alla cattura dei loro sovrani: Montezuma e Atahualpa. Questo perché i sistemi centralizzati sono delicati. Poche centinaia di chilometri a nord di Tenochtitlàn, gli Apache - molto meno progrediti degli Aztechi, ma che a differenza loro non avevano alcun tipo di potere centralizzato - resistettero allo stesso Cortes, nonostante una lunga guerra.

Le piante incarnano un modello molto più resistente e moderno di quello animale; sono la rappresentazione vivente di come solidità e flessibilità possano coniugarsi. La loro costruzione modulare è la quintessenza della modernità: un'architettura cooperativa, distribuita, senza centri di comando, capace di resistere alta perfezione a ripetuti eventi catastrofici senza perdere funzionalità e in grado di adattarsi con grande rapidità a enormi cambiamenti ambientali.

La complessa organizzazione anatomica e le principali funzionalità della pianta richiedono un sistema sensoriale ben sviluppato, che permetta all'organismo di esplorare con efficienza l'ambiente e di reagire con prontezza a eventi potenzialmente dannosi. Così, per utilizzare le risorse dell'ambiente, le piante si avvalgono tra l'altro di una raffinata rete radicale formata da apici in continuo sviluppo, che esplorano in modo attivo il suolo. Non è un caso che internet, il simbolo stesso del moderno, sia costruita come una rete radicale.

Quando si tratta di robustezza e innovazione, nulla può stare al pari delle piante. Grazie all'evoluzione - che le ha portate a sviluppare soluzioni molto diverse da quelle trovate dagli animali - esse sono, da questo punto dì vista, organismi molto più moderni.

Faremmo bene a tenerne conto, nel progettare il nostro futuro.

Riferimenti bibliografici

C. Risen, The world's most advanced building material is… wood. And it's going to remake skyline, «Popular science», 284 (3), 2014.

State of the world's plants, report del 2016 a cura dell'RBG Kew, consultabile al sito https://stateoftheworldsplants.com/report/ sotwp_2016.pdf.



Gli aceri producono frutti secchi detti *sàmare*, dotati di un'ala membranacea utile per sfruttare la forza del vento.

I Memorie senza cervello



Siamo abituati a identificare le piante soltanto con ciò che esce dal terreno. In realtà l'apparato radicale rappresenta almeno la metà del corpo di ima pianta; e probabilmente è la metà più interessante.

MEMORIA: IN GENERALE, LA CAPACITÀ, COMUNE A MOLTI ORGANISMI, DI CONSERVARE TRACCIA PIÙ O MENO COMPLETA E DURATURA DEGLI STIMOLI ESTERNI SPERIMENTATI E DELLE RELATIVE RISPOSTE.
(*Il vocabolario della lingua italiana Trecconi)*

L'INTELLIGENZA È LA MOGLIE, L'IMMAGINAZIONE È L'AMANTE, LA MEMORIA È LA SERVA.
(Victor Hugo, *Post scriptum della mia vita)*

NOI ABBIAMO UNA MEMORIA IMMENSA, PRESENTE IN NOI A NOSTRA INSAPUTA.
(Denis Diderot)

Animali o piante: l'esperienza insegna

Mi sono sempre occupato dell'intelligenza delle piante, quindi non potevo evitare

di occuparmi anche della loro memoria. Forse quest'ultima affermazione potrà suonarvi strana, ma provate a rifletterci un attimo. Si può facilmente immaginare che un'intelligenza non sia il frutto del lavoro di un singolo organo; essa è connaturata alla vita, che ci sia un cervello o meno. Le piante, da questo punto di vista, sono la dimostrazione più evidente di come l'encefalo sia un accidente evolutosi soltanto in uno sparuto numero di esseri viventi, gli animali, mentre nella stragrande maggioranza della vita - rappresentata dagli organismi vegetali - l'intelligenza si è sviluppata anche senza un organo dedicato. D'altro canto, non riesco a immaginare alcun tipo d'intelligenza che non abbia una sua, seppur particolare, forma di memoria.

La memoria, infatti, è qualcosa di differente dall'intelligenza in sé: senza di essa non è possibile apprendere, e l'apprendimento è uno dei requisiti dell'intelligenza stessa. Come potremmo ipotizzare un essere dotato d'ingegno che non migliora l'efficienza della sua reazione quando sottoposto ripetute volte al medesimo tipo di problema? Lo so, ciascuno di noi ha spesso la sensazione di rispondere sempre nella stessa maniera agli stessi problemi, anche sapendo di sbagliare; e so anche che ciascuno di noi potrebbe portare numerosi esempi di amici e parenti che non migliorano te proprie performance come reazione a specifiche questioni. Ma è solo un'impressione: al netto delle tante eccezioni o dei casi particolari, spesso legati a patologie più o meno sottili, in generale gli organismi sono in grado di apprendere dall'esperienza. Le piante non si sottraggono a questa regola aurea, e rispondono in maniera sempre più appropriata quando problemi noti si ripetono nel corso della loro esistenza. Tutto ciò non potrebbe avvenire senza la capacità di conservare da qualche parte le informazioni rilevanti per il superamento di quegli specifici ostacoli. Ossia, senza la memoria.

Ma non aspettatevi che qualcun altro parli apertamente di memoria per le numerose attività vegetali analoghe a quelle che negli animali richiedono l'uso del cervello. Quando si discute di piante, che il cervello non ce l'hanno, ci si inventa di solito termini specifici: acclimatazione, indurimento, *priming*, condizionamento... Tutti funambolismi linguistici coniati negli anni dagli scienziati, pur di evitare l'uso della vecchia, comoda e semplice parola memoria.

Eppure tutte le piante sono in grado di imparare dall'esperienza, e possiedono quindi dei meccanismi di memorizzazione. Facciamo un esempio. Se si sottopone una pianta qualunque, diciamo un olivo, a uno stress quale siccità, salinità o simili, essa risponderà mettendo in atto le modificazioni della propria anatomia e del proprio metabolismo necessarie a garantirsi la sopravvivenza. Fin qui nulla di strano, giusto? Se poi, dopo un certo periodo di tempo, proponiamo alla stessa pianta il medesimo stimolo, magari con un'intensità anche più forte, ci accorgiamo di un dato solo in

apparenza sorprendente: essa risponde meglio allo stress. Ha dunque imparato la lezione! Ha conservato da qualche parte traccia delle soluzioni utilizzate e, quando ce n'è stato bisogno, le ha richiamate velocemente, così da reagire in maniera più efficiente e precisa. Insomma, ha appreso e conservato nella propria memoria le risposte migliori, aumentando le possibilità di sopravvivenza.

La pianta non ha la memoria corta

A differenza di molti aspetti della vita delle piante che presentano importanti somiglianze con il mondo animale e hanno una storia di studi che anche se non lunga è ormai abbastanza consolidata (penso a intelligenza, abilità comunicative, capacità di elaborare strategie di difesa, comportamento eccetera), nel caso della memoria i test comparativi sono iniziati in tempi piuttosto recenti. La prima personalità a occuparsene, però, è d'importanza tale da giustificare la lunga attesa: si tratta, infatti, di Lamarck. O meglio, di Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, cavaliere di Lamarck (1744-1829), perché solo il nome completo rende al meglio la rilevanza della sua attività di scienziato. Il padre della biologia - nel senso letterale del termine, avendo coniato la parola stessa - si interessò, come altri naturalisti della sua epoca, alla vita delle piante, soprattutto ai fenomeni legati ai movimenti rapidi tipici delle cosiddette *sensitive* (piante che rispondono in maniera immediatamente evidente a determinati stimoli). In particolare, per lunga parte della sua carriera mostrò uno spiccato interesse riguardo l'esalto funzionamento del meccanismo di chiusura delle foglioline della *Mimosa pudica,* adoperandosi a capire per quale motivo fosse messo in atto. C'è da dire che, in merito, non abbiamo ancor oggi le idee chiare.

Suppongo conosciate tutti la Mimosa pudica: oggi si trova in vendita anche nei supermercati; comunque, per quei pochissimi che non l'avessero mai vista, si tratta di un'insolita e aggraziata piantina che, come dice bene il suo nome, richiude delicatamente le foglioline, in un movimento di estrema pudicizia, quando vengono sottoposte a qualche stimolo esterno (ad esempio se le tocchiamo). Proprio grazie a tale risposta immediata, così rara nel mondo vegetale, questa pianta originaria delle regioni tropicali del continente americano suscitò un grande interesse, al suo arrivo in Europa. Se ne occuparono scienziati del calibro di Robert Hooke (1635-1703), il famoso microscopista inglese che per primo visualizzò e descrisse una cellula, o del medico francese Henri Dutrochet de Néons (1776-1847), considerato il padre della biologia cellulare. Insomma, per alcuni anni la Mimosa pudica fu una vera e propria star della botanica.



Mimosa pudica in fioritura: le infiorescenze di colore rosa sono caratterizzate dai moltissimi stami allungati che le donano il tipico aspetto piumoso.

Al suo fascino Al suo fascino non sfuggì neppure il nostro cavaliere di Lamarck, che ne approfondì la conoscenza servendosi di innumerevoli esperimenti e studiandone il comportamento in situazioni a dir poco originali. Ma fu soprattutto una particolarità a colpire Lamarck: il fatto che, se sottoposte a stimoli ripetuti della stessa natura, a un certo punto le foglie non rispondevano più e ignoravano del tutto ogni successiva stimolazione. Lamarck era nel giusto quando attribuiva questa interruzione alla stanchezza; in sostanza, dopo ripetute chiusure delle foglioline, la pianta non aveva più energie a disposizione per ulteriori movimenti. Qualcosa di simile a quanto avviene con il lavoro muscolare negli animali, che non può continuare all'infinito ed è limitato dalla quantità di energia a disposizione, caratterizzava anche la Mimosa pudica. Ma non sempre.

Lamarck notò che a volte, dopo stimoli sempre uguali, il soggetto smetteva di chiudere le foglie ben prima di aver esaurito la propria energia. Era una cosa che lo lasciava perplesso; non riusciva a capire la ragione di questo comportamento apparentemente imprevedibile. Finché un giorno non si imbatte in un originale esperimento eseguito da Rene Desfontaines (1750-1833) che sembrava rispondere ai suoi interrogativi. Il botanico francese architettò un originale esperimento: chiese a un suo studente di portare in carrozza un folto gruppo di piantine, per un bel tour di Parigi, e di controllarne scrupolosamente i comportamenti. Soprattutto, doveva fare

attenzione a quando avessero chiuso le foglioline. Lo studente, di cui non sappiamo il nome, evidentemente abituato alle stravaganti richieste del suo maestro, non batte ciglio. Sistemati sui sedili di una vettura di piazza diversi vasetti di Mimosa pudica, ordinò al fiaccheraio di compiere un giro delle località più interessanti della città, al trotto moderato e se possibile senza mai fermarsi.

Non si godette molto la passeggiata: era troppo impegnato a riportare sul suo taccuino da campo le più minute osservazioni riguardo al comportamento delle piante, mentre queste ultime chiudevano le proprie foglie all'iniziare delle prime vibrazioni della carrozza sul pavé parigino. In fin dei conti, al giovane allievo non dovette sembrare un esperimento molto interessante; Desfontaines non ne sarebbe rimasto soddisfatto. Com'era da prevedere, le piantine avevano serrato le foglioline alle prime vibrazioni della carrozza... Quindi? Cosa si aspettava il suo maestro da quest'esperimento? Qualunque cosa fosse, non sembrava la giornata buona per ottenere un risultato soddisfacente. Tuttavia, mentre proseguiva il giro, accadde qualcosa di inatteso. Prima una, poi due, poi altre cinque, infine tutte le piantine cominciarono ad aprire le foglioline anche se le vibrazioni della carrozza continuavano con uguale intensità. Era un dato interessante. Cosa stava succedendo? Lo sconosciuto studente ebbe come una folgorazione e l'annotò sul taccuino: le piantine si stavano *abituando.*



La *Mimosa pudica* è una pianta sensitiva originaria dell'America latina e dei Caraibi e si è diffusa in numerosi Paesi della fascia tropicale.

I risultati I risultati dell'esperimento condotto nelle strade di Parigi andarono a

comporre un'interessante memoria della Società di botanica e un breve testo della *Flore franca/se* scritta da Lamarck e Augustin-Pyramus de Candolle (1778- 1841), ma furono presto dimenticati, come accade molto più spesso di quanto non si pensi a molte geniali intuizioni. Eppure le indicazioni del test di Desfontaines erano fin troppo chiare già allora, e puntavano decisamente all'individuazione di un comportamento adattivo derivante dalla memorizzazione di informazioni. Come avrebbero potuto le piante di Mimosa pudica abituarsi ai continui scossoni della carrozza, se non avessero avuto una qualche forma di memoria? Dubbio di sicuro affascinante, cui però furono a lungo negate delle conferme scientifiche.

Poi, nel maggio del 2013, una ricercatrice della University of Western Australia di Perth, Monica Gagliano, si trasferì per sei mesi nel mio laboratorio. Quando arrivò al Linv (il Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale dell'Università di Firenze che io dirigo), Monica era una ricercatrice di biologia marina con interessi molto vari, che spaziavano dalla filosofia all'evoluzione delle specie alla botanica, e la visita aveva proprio lo scopo di approfondire le sue conoscenze sul mondo vegetale. O meglio, su un aspetto particolare del mondo vegetale: i comportamenti delle piante. Così, com'è naturale che accada durante le lunghe discussioni sui rispettivi ambiti di studio, iniziammo a progettare qualche esperimento che potesse da un lato giustificare agli occhi della sua università il soggiorno presso il Linv, e dall'altro fosse in grado di fornire qualche risposta ad alcune delle molte curiosità nate durante le nostre conversazioni sul comportamento delle piante. Fra queste, a me sembrava d'importanza fondamentale poter dimostrare sperimentalmente qualcosa che da tempo molti ritenevano essere vero, ma senza alcuna reale base scientifica, cioè che le piante fossero dotate di un'efficace memoria. Una volta concordato l'argomento della nostra ricerca, rimaneva però la parte più difficile: come dimostrare che le piante migliorano l'efficienza della loro risposta in quanto dotate di una particolare forma di memoria?

Qualche mese prima, durante una visita presso la sede giapponese del Linv a Kitakyùshù, il mio caro amico e collega Tomonori Kawano (che dirige quella sezione) mi aveva mostrato con legittimo orgoglio alcuni delle molte migliaia di volumi che l'Università della Sorbona di Parigi aveva destinato al macero e che lui, grazie a un'abile trattativa, era riuscito a salvare dalla distruzione e a trasferire in Giappone. In mezzo alle molte meraviglie vi era anche una copia originale della *Flore francaise* di Lamarck e De Candolle in cui si raccontava dell'esperimento di Desfontaines sugli effetti del trasporto delle piantine di Mimosa pudica per le strade della capitale francese. Quella storia di improbabili viaggi in carrozza che ci aveva divertito molto - con ironia, Tomonori definiva l'allievo di Desfontaines un esempio del perfetto studente giapponese - mi era tornata alla mente. Ne parlai dunque a Monica. Era

possibile immaginare una riedizione di questo classico, elaborandolo in maniera da essere scientificamente plausibile? Dopo pochi giorni, il nuovo protocollo di ciò che fin da subito convenimmo di chiamare esperimento Lamarck e Desfontaines era pronto a partire.

Nel 2013 era impensabile riproporre la gita in carrozza con le piante, ma l'idea dello stimolo ripetuto, quella sì, volevamo riprenderla. Lo scopo dell'esperimento era duplice: da un lato dimostrare che le piantine di Mimosa pudica erano in grado, dopo un certo numero di ripetizioni, di identificare uno stimolo come non pericoloso e, quindi, di non chiudere le foglioline; dall'altro accertare che le stesse, dopo un adeguato periodo di preparazione, fossero in grado di distinguere tra due stimoli, uno dei quali noto, e di rispondere in maniera appropriata. In altre parole, eravamo curiosi di sapere se le piantine fossero in grado di *ricordare* uno stimolo non pericoloso cui erano state sottoposte e distinguerlo da uno nuovo potenzialmente rischioso.

Preparammo in breve tempo un apparato sperimentale semplice ma efficace. Il Lamarck e Desfontaines prevedeva che le piante, poste in vasetti, fossero sottoposte a ripetute cadute da un'altezza di circa dieci centimetri. Il salto, quantificabile con precisione, rappresentava lo stimolo. I risultati si rivelarono da subito entusiasmanti, confermandoci la correttezza delle osservazioni di Desfontaines: dopo una serie di ripetizioni (sette o otto, circa) le piante iniziavano a non chiudere più le foglioline, ignorando con sovrano distacco ogni successiva caduta. Ora bisognava capire se si trattava di semplice stanchezza o se davvero le piante avevano compreso che non c'era nulla da temere. L'unico modo per farlo era sottoporle a uno stimolo diverso dal primo. Predisponemmo quindi un marchingegno con cui scuotere i vasetti in direzione orizzontale, e iniziammo a trattare le piante con questo nuovo impulso, anch'esso perfettamente quantificabile; esse risposero chiudendo subito le foglioline. Un bellissimo risultato. Grazie al Lamarck e Desfontaines eravamo riusciti a dimostrare che le piante potevano apprendere La non pericolosità di un evento e distinguerlo da altri potenzialmente rischiosi Erano quindi in grado di *ricordare* un'esperienza passata.

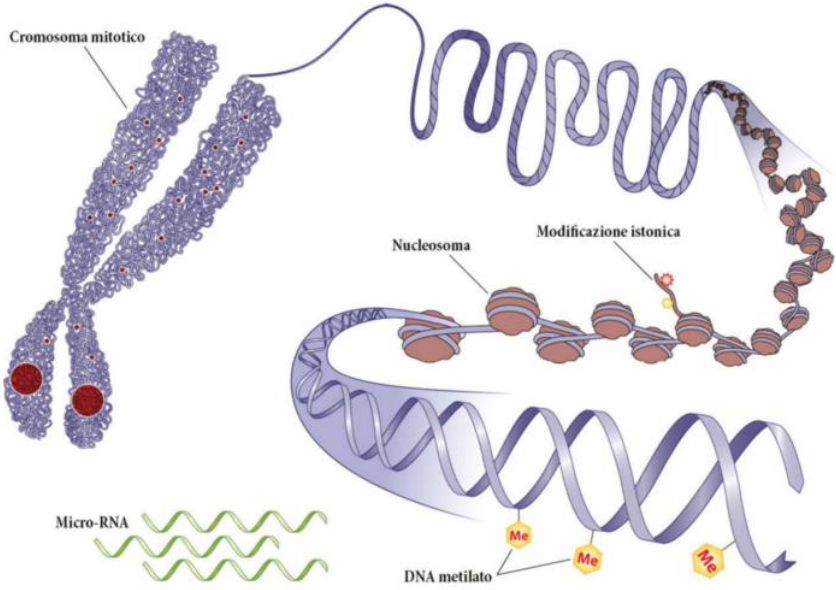
Ma quanto era lunga questa memoria? Per rispondere a tale domanda, lasciammo indisturbate alcune centinaia di piante che erano state addestrate a distinguere fra i due stimoli controllando, in tempi successivi, se mantenevano la memoria di ciò che avevano appreso. Il risultato superò ogni nostra aspettativa: la Mimosa pudica ricordava per oltre quaranta giorni. Un tempo lunghissimo, se paragonato agli standard di durata della memoria in molti insetti, e simile invece a quello di diversi animali superiori.



Opportunamente addestrate, le piantine di Mimosa pudica riconoscono stimoli non pericolosi (come una caduta del vaso di pochi centimetri) e imparano a non chiudere le foglie quando sottoposte a essi.

Come funzioni un simile meccanismo in esseri privi di cervello quali le piante è ancora un mistero. Numerose ricerche, svolte soprattutto nell'ambito della memoria da stress, sembrano dimostrare l'importanza fondamentale dell'epigenetica nella formazione di questo tipo di ricordi. L'epigenetica descrive l'ereditabilità di variazioni che non sono attribuibili a modifiche della sequenza del DNA; in altre parole si tratta di cambiamenti - quali la modificazione degli *istorii*, proteine il cui ruolo principale è di organizzare il DNÀ, o la *mediazione*, il legame di un gruppo metiie-CH3 a una base azotata del DNÀ stesso - che alterano l'espressione dei geni ma non la loro sequenza.

Recentemente, buona parte del DNA non codificante presente nella cellula, un tempo conosciuto come DNA spazzatura, ha iniziato a rivelare funzioni inaspettate di estrema importanza per la biologia cellulare. Ad esempio è responsabile della produzione di molecole di RNA che svolgono un ruolo chiave nello sviluppo dell'embrione, nelle funzioni cerebrali e in altri passaggi cruciali delta vita degli individui. Come spesso è accaduto nella storia della biologia, molti progressi in questo campo sono stati resi possibili dalla ricerca sulle piante; soprattutto, negli ultimi tempi, da studi volti a chiarire il mistero della memoria vegetale. Tanto per citare un caso concreto, come fanno le piante a ricordare l'esatto momento in cui devono fiorire? Il loro successo riproduttivo e l'abilità di generare una progenie si basano, prima di ogni altra considerazione, sulla capacità di sbocciare al momento giusto. Molte piante fioriscono soltanto dopo un certo numero di giorni dall'esposizione al freddo invernale. Sono quindi in grado di ricordare quanto tempo è passato.



La metilazione del DNA è la più comune delle modificazioni epigenetiche.

Si tratta evidentemente di una memoria Si tratta evidentemente di una memoria epigenetica, ma sul suo funzionamento non si sapeva nulla fino a poco tempo fa. Poi, nel numero di settembre 2016 della rivista Celi reports, il gruppo di lavoro coordinato da Karissa Sanbonmatsu del Los Alamos national laboratory ha pubblicato i risultati ottenuti lavorando su una particolare sequenza di RNA, chiamata COOLAIR, che controlla il tempo della fioritura delle piante in primavera rilevando quanto è passato dall'esposizione al freddo. Quando questo pezzo di RNA è disattivato o rimosso, le piante non sono in grado di fiorire. Senza entrare nelle complicate dinamiche di funzionamento di COOLAIR (che sarebbe in sostanza il repressore di un repressore della fioritura), quello che ci interessa è che questi meccanismi potrebbero essere molto più comuni di quanto pensavamo un tempo e rappresentare la base del funzionamento della memoria vegetale. D'altronde, nelle piante, le modificazioni epigenetiche sembrano rivestire un ruolo più rilevante che negli animali. Così è probabile che alterazioni dell'espressione dei geni a seguito di stress possano essere ricordate dalle cellule attraverso modificazioni epigenetiche.

Di recente, una ricerca del gruppo diretto da Susan Lindquist del dipartimento di biologia del Mit (Massachusetts institute of technology) di Cambridge (Usa) ha avanzato un'ipotesi: le piante, almeno in casi quali la memoria della fioritura, possono utilizzare delle proteine *prionkJie.* I prioni sono proteine in cui la catena di

amminoacidi è avvolta in maniera scorretta *(misfolding*, in inglese), e che propagano in una specie di effetto domino questa malformazione a tutte le proteine vicine. Negli animali i prioni non portano nulla di buono; tanto per fare un esempio la malattia di Creutzfeldt-Jakob, più conosciuta come morbo della mucca pazza, è dovuta proprio a loro. Nelle piante, tuttavia, potrebbero fornire un modo originale di memoria biochimica.

Al contrario di quanto si potrebbe forse pensare, l'importanza di questi studi travalica il puro interesse botanico, seppure alto: capire il funzionamento della memoria in esseri senza cervello, oltre a risolvere il mistero su come facciano le piante a ricordare, servirà anche a comprendere meglio come funziona la nostra, di memoria; quali meccanismi portano a sue alterazioni o patologie e come sue forme particolari possano localizzarsi anche al di fuori del sistema nervoso. Inoltre, qualsiasi scoperta sul funzionamento biologico della memoria è di grande interesse per le applicazioni tecnologiche. In altre parole, ogni avanzamento nella ricerca su questi temi è d'interesse generale, e ha potenzialità che non possiamo al momento immaginare.

Riferimenti bibliografici

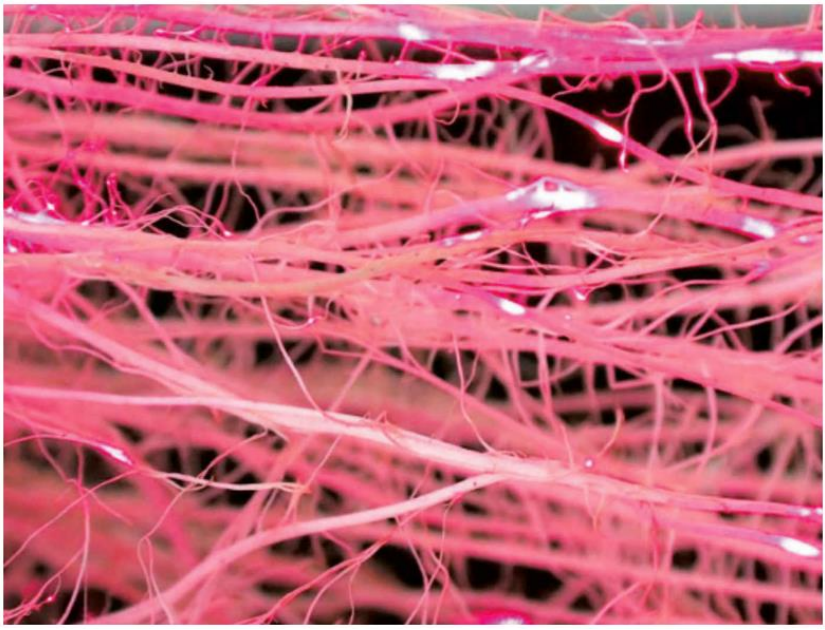
A.-P. De Candolle, J.B. Lamarck, Flore francaise ou descriptions succinctes de toutes les plantes qui croissent naturellement en France, Parigi 18 0 5 3.

S. Iindquist et al, Luminidependens (LD) is an arabidopsis protein with prion behavior, Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America, 113 (21), 2016, pp. 6065-6070.

S. Mancuso et al, Experience teachesplants to learn faster and forget slower in environments where it matters, Oecologia, 175 (1), 2014, pp. 63-72.

K.Y. Sanbonmatsu et al, COOLAIR antisense RNAs from evolutionarily conserved elaborate secondary structures, Celi reports, 16 (12), 2016, pp. 3087- 3096.

II Dalle piante ai plantoidi



Un singolo apparato radicale può essere composto da miliardi di apici. Nell'immagine la complessità di una piccola porzione dell'apparato radicale del mais.

GUARDA CON PROFONDITÀ LA NATURA, CAPIRAI MEGLIO OGNI COSA.
(Albert Einstein)

L'approccio bioispirato è una novità?

Dopo anni di prematuri annunci, preoccupazioni, rettifiche e chiarimenti, la tanto attesa rivoluzione robotica sembra stia per vincere la sua sfida; automi economici e affidabili stanno sostituendo l'uomo in molte attività che fino a pochi decenni fa richiedevano esclusivamente il lavoro umano. Alcuni fanno già parte della nostra vita quotidiana: robot in grado di spolverare gli appartamenti, tosare l'erba dei giardini o ripulire dalle cartacce le strade non sono più prerogativa dei film di fantascienza.

Nonostante questa incontestabile realtà, e benché i robot siano oggi divenuti degli strumenti indispensabili in molti campi, la percezione generale è che il loro avvento, tanto temuto da alcuni quanto auspicato da altri, sia ancora di là da venire. È una

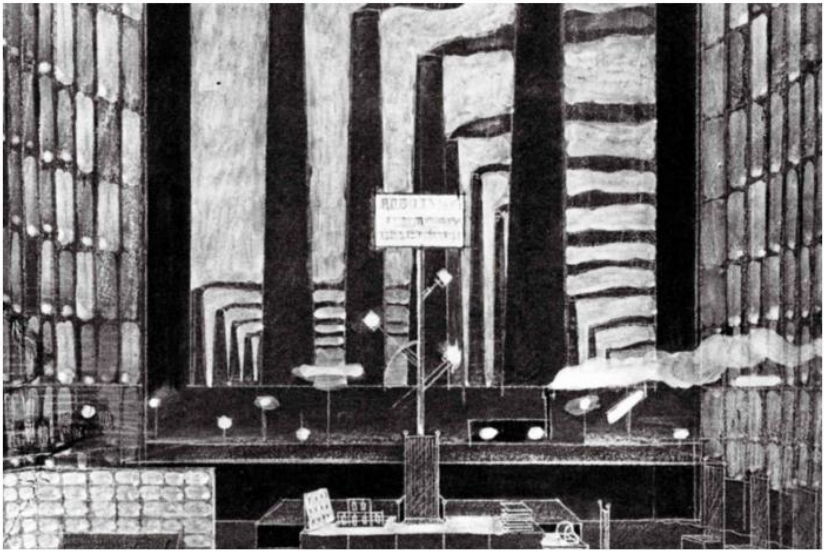
percezione in gran parte sbagliata, legata all'idea che abbiamo di tali macchine. In verità, la loro diffusione è aumentata in maniera esponenziale; in campi come l'automazione industriale, la medicina, la ricerca subacquea e simili, il loro uso è ormai insostituibile. Ogni giorno sentiamo di nuove applicazioni: robot artificieri, robot spazzini, robot sottomarini... Eppure, se ne parliamo con i nostri amici, nessuno sembra avvertire che ci siano oggi in giro più automi di quanti ce ne fossero, diciamo, trentanni fa. Da cosa dipende tutto ciò? La mia personale opinione è che tale percezione sia legata all'idea popolare di robot, formatasi grazie alle centinaia di film e romanzi sull'argomento; un'idea che corrisponde a quella di un androide, costruito in maniera da imitare le faltezze e le caratteristiche dell'uomo.

Com'è noto, il termine robot deriva dal ceco *rodata*, lavoro pesante o forzato (in polacco il termine *roàotnik significa* operaio). Fu usato per la prima volta dallo scrittore ceco Karel Capete nell'opera teatrale del 1920 *R.U.R. - Rossum's Un/versoi Robots*, e diventò subito motto popolare, favorendo la diffusione dell'idea che ne stava alla base. Ma, nel dramma fantascientifico di Capek, gli operai artificiali che dovrebbero semplificare la vita dell'uomo sono in realtà dei *replicanti,* cioè umanoidi organici. Forse per questo ebbe presto larga diffusione la convinzione che un robot, anche se meccanico, fosse essenzialmente uno schiavo umanoide, una nostra replica semplificata. E di li a poco, nel 1927, il capolavoro del cinema espressionista di Fritz Lang, *Metropolis,* fissava per sempre nell'immaginario collettivo la figura dell'uomo-macchina. Ma, al di fuori della finzione narrativa, chi ha mai detto che la forma umana sia la più adeguata alla costruzione di un robot?

Il nostro preconcetto secondo cui queste macchine debbano per forza assomigliare a un uomo è tuttavia affascinante, giacché ci suggerisce che il nostro approccio verso la produzione di nuove tecnologie è quello di una sostituzione, espansione o miglioramento delle funzioni umane. In pratica, l'uomo ha sempre tentato di replicare se stesso - o almeno l'essenziale della sua progettazione animale - nella costruzione dei propri strumenti. Prendiamo il computer, questo insostituibile apparecchio simbolo stesso della modernità. Può sembrare qualcosa di totalmente altro da noi, eppure è progettato su schemi ancestrali: un processore che rappresenta il cervello e ha la funzione di governare l'hardware; periferiche, dischi rigidi, ram, schede video e audio che traspongono in chiave tecnologica, *sic etsimplkìter*, i nostri organi. Tutto quello che l'uomo costruisce tende ad avere, in maniera più o meno evidente, la stessa comune architettura di fondo, con un cervello pensante che governa degli organi attuatori. Addirittura te nostre società, come vedremo, sono costruite su questo modello.



Una scenografia per il dramma fantascientifico messo in scena a Praga nel 1921.



L'ufficio di Domin, il demiurgo protagonista dell'opera teatrale, nel disegno di Vlastislav Hofman.

Per fortuna, negli ultimi anni, l'approccio cosiddetto *bioispirato*- quello che guarda alla natura come a un modello da imitare per la risoluzione di problemi tecnologici- ha iniziato a essere utilizzato per la progettazione e la produzione di nuovi materiali e macchinari. Nulla di nuovo sotto il sole: si tratta dello stesso metodo utilizzato da Leonardo (1452-1519) nella maggior parte dei suoi lavori, compreso

l'automa cavaliere concepito intorno al 1495, che rappresenta il primo progetto documentato di un robot umanoide in grado, secondo gli appunti contenuti nel *Codice atlantico* e in altri taccuini, di alzarsi in piedi, muovere le braccia e la testa, aprire la bocca ed emettere dei suoni. L'invenzione, forse preparata per una delle magnifiche feste della corte sforzesca di Milano, era chiaramente bioispirata, perché si basava sulle ricerche anatomiche rappresentate *neli'Uomo vitruviano,* il celebre disegno a penna e inchiostro del genio toscano.

Ma la bioispirazione ha portato una ventata di aria nuova anche nella robotica contemporanea. L'uomo non è più l'unico modello cui ispirarsi: l'intero mondo animale è diventato una miniera di soluzioni da studiare e imitare. Negli ultimi anni hanno preso sempre più piede *animato/die insettoidi,* e sono stati progettati con buoni esiti robot che replicano le salamandre, i muli, addirittura i polpi. D'altronde, se volete costruire un robot che sott'acqua afferri e muova oggetti, ispirarsi alla vivace intelligenza tentacolare del polpo è di sicuro un'ottima idea. E se si deve progettare un robot anfibio, che passi agevolmente dall'ambiente acquatico a quello terrestre, cosa c'è di meglio di una salamandra? Tuttavia, al momento, la bioispirazione sembra limitarsi al regno animale. E le piante? Be', finora non si è ritenuto che possano dare un significativo contributo alla questione.

lo, però, non sono d'accordo. Credo ci siano molti buoni motivi per imitare il regno vegetale. Le piante consumano pochissima energia, compiono movimenti passivi, sono costruite a moduli, sono robuste, hanno un'intelligenza distribuita (al contrario di quella centralizzata degli animali), si comportano come delle colonie. Quando si voglia progettare qualcosa di robusto, energeticamente sostenibile e adattabile a un ambiente in continua modificazione, non c'è nulla di meglio sulla Terra a cui ispirarsi.

Perché le piante

Magari vi starete domandando: Sul serio, robot ispirati ai vegetali? Come potrebbero esserci utili? . Be', ricapitoliamo. Le piante sono organismi multicellulari eucariotici e fotosintetizzanti, caratterizzati, pur con alcune eccezioni, da una parte aerea e da un sistema radicale; per compensare la loro natura sessile, e adattarsi alle mutevoli condizioni ambientali senza potersi spostare, hanno sviluppato la possibilità di muoversi attraverso la crescita, dando prova di straordinaria plasticità.

L'insieme delle risposte all'ambiente che si manifestano con un movimento sono comunemente note con il nome di *tropismi.* Sono caratterizzati da una marcata crescita direzionale degli organi, soprattutto della radice, in risposta a stimoli esterni, i principati fra i quali sono la luce (fototropismo), la gravita (gravitropismo), il contatto

(tigmotropismo), il gradiente di umidità

(idrotropismo), l'ossigeno (ossitropismo) e il campo elettrico (elettrotropismo). A questi, di recente e grazie agli studi effettuati presso il mio laboratorio, si è aggiunto anche il cosiddetto *fonotropismo,* ossia la crescita regolata da una fonte sonora. La combinazione di tali meccanismi permette alla pianta di sopravvivere in ambienti ostili e colonizzare il suolo attraverso la creazione di un sistema radicale che ne assicura la sopravvivenza e la stabilità (e che spesso è ben superiore alla chioma in massa e lunghezza, potendo raggiungere dimensioni difficilmente immaginabili).

Per aumentare a dismisura la superficie assorbente delle radici, poi, la natura è ricorsa a un trucco simile a quello attribuito da una poetica leggenda a Didone, la mitica fondatrice di Cartagine. Si narra infatti che il sovrano africano larba avesse concesso alla regina e al suo popolo, esuli di Tiro, tutta la terra che fosse possibile coprire con una pelle di bue. Si trattava, com'è ovvio, di un inganno. Tuttavia, la futura regina di Cartagine seppe risolvere la situazione a proprio favore: tagliò la pelle in strisce sottilissime, che legò fra loro, riuscendo così a circondare l'altura su cui doveva sorgere la città. In modo analogo, una singola pianta di grano può raggiungere uno sviluppo lineare superiore ai venti chilometri, considerando la lunghezza totale dei peli radicali; se, d'altra parte, misuriamo il volume di quegli stessi peli, ci accorgiamo che possono trovare posto in un cubo di un centimetro e mezzo di lato.

Un'altra fondamentale caratteristica degli apici radicali è la loro abilità di trovare una via di crescita anche in materiali molto resistenti. Nonostante l'apparenza fragile e la delicata struttura, essi sono capaci di esercitare pressioni straordinarie, e si rivelano in grado di fratturare anche la roccia più solida grazie alla divisione ed espansione cellulare. Perché te radici possano crescere, infatti, la grandezza dei pori o fessure nel suolo deve essere maggiore delle dimensioni dell'apice radicale. Cosi, l'acqua all'interno delle sue cellule è in grado di generare un turgore che gli fornisce la forza necessaria per l'allungamento e la crescita. Il potenziale osmotico di una radice crea un gradiente di potenziale che sostiene l'ingresso di acqua all'interno delle cellule e queste, gonfiandosi, spingono la propria membrana cellulare contro la parete rigida. La pressione esercitata in questa maniera può variare, a seconda della specie, tra l'uno e i tre megapascal, e spiega come mai le radici siano in grado di spezzare materiali resistenti come l'asfalto, il cemento e addirittura il granito.

Individualità nelle piante

Un'altra caratteristica dei vegetali poco conosciuta, e dalla quale la robotica potrebbe trarre ispirazione, è la loro costruzione modulare reiterata. Il corpo di un albero è composto da unità replicate che, insieme, ne costituiscono l'architettura

generale e ne definiscono la fisiologia. Dunque, qualcosa di ben diverso da quanto accade nel regno animale. Per quanto possa sembrare assurdo, perfino la definizione di individuo che adoperiamo per gli animali ha poca attinenza con il mondo delle piante. Vediamo meglio. Esistono perlomeno due differenti definizioni di individuo.

1. Etimologica: un individuo è un'entità biologica che non può essere divisa in due parti senza che almeno una delle due muoia.
2. Genetica: un individuo è un'entità biologica che dispone di un genoma stabile nello spazio e nel tempo. Nello spazio perché è lo stesso in qualunque cellula dell'organismo; nel tempo perché si prolunga per tutta la durata della vita.

È facile dimostrare come tali definizioni abbiano poco senso se applicate alla quasi totalità delle piante. Cominciamo con La questione etimologica: una pianta, se divisa in due, si moltiplica. Alla fine del XIX secolo il naturalista francese Jean- Henri Fabre (1823-1915) scriveva che relativamente agli animali, nella stragrande maggioranza dei casi, dividere significa distruggere; relativamente ai vegetali, dividere è moltiplicare. Una nozione chiara non solo agli studiosi delle piante, ma anche ai semplici appassionati: la produzione vivaistica, basata sulla propagazione per talea o per innesto, sfrutta proprio questa prerogativa.

Ma anche la stabilità genetica sembra una qualità poco cara al regno vegetale. In un animale, qualunque sia la sua dimensione, il genoma è stabile in tutte le cellule e per l'intero arco della vita. Nelle piante questa regola non sembra valere, come ben sa chiunque abbia studiato le cosiddette *mutazioni gemmarie* degli alberi da frutto. Nella storia dell'arboricoltura da frutto, infatti, è capitato spesso che su un albero siano state individuate delle branche mutanti, i cui frutti erano di speciale interesse. Gli esempi non mancano, visto che numerose varietà si sono originate in questo modo: le nettarine provengono quasi certamente da una mutazione gemmaria di pesco; il pinot grigio è una mutazione gemmaria del pinot nero...

Un altro esempio affascinante di genomi differenti che coesistono nella stessa pianta sono le cosiddette *chimere,* ossia individui che - come i mostri della mitologia greca - sono costituiti da caratteri specifici diversi, derivanti dalle parti di un innesto che si sviluppano insieme. Le numerose bizzarrie comuni in molte specie da frutto, come l'arancio o la vite, sono un esempio lampante di questa particolarità della vita vegetale. E, fra le tante chimere, merita una menzione almeno il celeberrimo *Citrus x aurantium bizzarria,* una varietà molto rara di agrume con la peculiarità di produrre frutti che presentano assieme, irregolarmente distribuiti, gli aspetti dell'arancio amaro e del cedro. Questa pianta, per lungo tempo vanto delle collezioni medicee e descritta per la prima volta nel 1674 dall'allora direttore dell'Orto botanico di Pisa Pietro Nati (1624- 1715), fu a lungo ritenuta estinta, e ritrovata soltanto negli anni Settanta dello

scorso secolo. Esempi curiosi a parte, però, in tutti gli alberi di una certa età è facile riscontrare simili differenze genetiche.



Una delle molte chimere degli agrumi: il celeberrimo *Citrus x aurantium bizzarria*. Oggi lo si può ammirare nelle collezioni della Villa medicea di Castello e del Giardino di Boboli a Firenze.

Insomma, pare proprio difficile definire una pianta come un individuo. Tanto che già alla fine del Settecento iniziò a circolare l'idea che i vegetali - e in particolare gli alberi - si potessero considerare delle vere e proprie colonie, costituite da unità architetturali reiterate. Nel 1790 Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832), brillante botanico oltre che grande letterato, scriveva: Le branche laterali che si originano dai nodi di una pianta possono essere considerate come delle giovani piante singole che si attaccano al corpo della loro madre, nella stessa maniera con cui quest'ultima si fissa al suolo. Ed Erasmus Darwin (1731-1802), nonno del più noto naturalista inglese Charles (1809-1882), riprendendo il pensiero di Goethe affermava nel 1800: Ciascuna gemma di un albero è una pianta individuale; un albero è, dunque, una famiglia di piante singole. Nel 1839 il nipote Charles aggiungeva: Sembra stupefacente che individui diversi possano essere uniti fra di essi, eppure gli alberi ne sono la conferma; in effetti le sue gemme devono essere considerate come delle piante individuali. Possiamo considerare i polipi dentro un corallo, o i germogli di un albero, come degli esempi nei quali la separazione fra gli individui non è completa. Infine, nel 1855, il botanico tedesco Alexander Braun (1805-1877) osservava: La vista delle piante, e

soprattutto quella degli alberi, porta a pensare che non si tratti di un essere unico e individuale, come un animale o un uomo, ma piuttosto di un insieme di individui riuniti gli uni agli altri.

Come si può vedere, quindi, il concetto di pianta-colonia ha sostenitori illustri già da tempo; inoltre implica l'idea - molto interessante per qualunque applicazione di robotica - di longevità accresciuta: la colonia sopravvive ai suoi componenti; il singolo polipo campa qualche mese soltanto, mentre il corallo che lo ospita è in potenza immortale. L'albero mostra qualcosa di simile: l'unità architetturale di base ha vita breve, mentre la colonia (l'albero) potrebbe virtualmente vivere per sempre.

A ciò si può aggiungere che il concetto di unità reiterate è valido non soltanto per la parte aerea della pianta, ma anche per l'apparato radicale. Ogni singola radice ha infatti un suo proprio centro di comando autonomo che agisce guidandone la direzione ma che, come in una vera e propria colonia, coopera con gli altri apici radicali alla risoluzione dei problemi riguardanti la vita complessiva della pianta. E l'aver sviluppato un'intelligenza distribuita - cioè un sistema semplice e funzionale che permette loro di trovare risposte efficaci alle sfide dell'ambiente in cui vivono - attesta quanto le piante si siano evolute.



Un singolo albero può essere considerato come una colonia di moduli architetturali che si ripetono.

Il plantoide: un esempio di bioispirazione vegetale

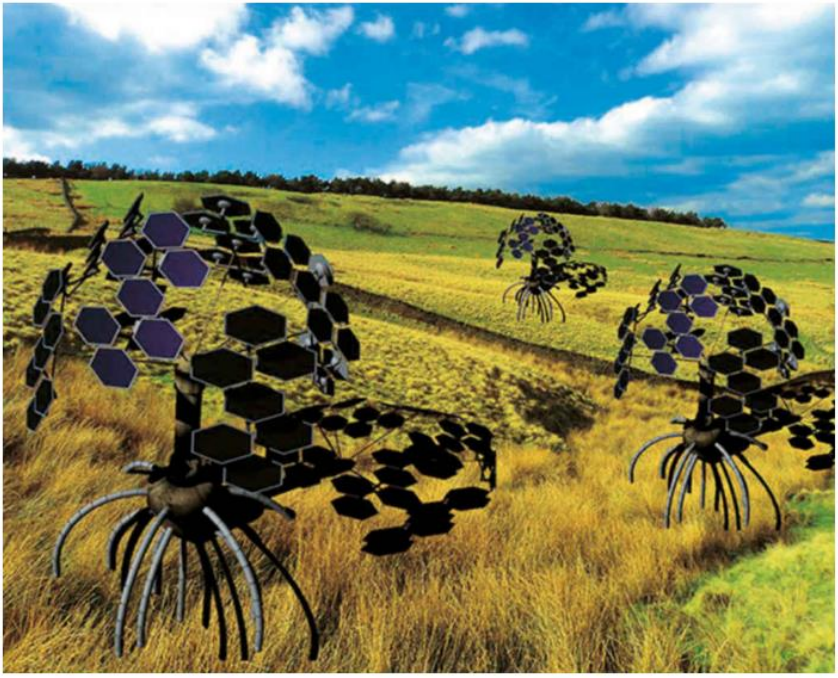
Come abbiamo visto, i motivi per ispirarsi alle piante nella costruzione di robot sono molteplici e importanti. Convinto di ciò, nel 2003 ho iniziato a sviluppare l'idea dei *piantoteli*. Ero affascinato dalle possibilità offerte dalle piante nella costruzione di nuovi robot, e la parola plantoide mi sembrava la più adeguata, per prossimità con androide, a rappresentare questa nuova tipologia di automi. Macchine che, fantasticavo, avrebbero potuto rendersi utili in un'infinità di modi: dall'esplorazione del suolo a quella dello spazio. Ovviamente le mie conoscenze di robotica erano, e continuano a essere, molto limitate. Era chiaro che da solo non avrei mai avuto la possibilità di trasformare la mia visione in qualcosa di tangibile. In effetti temevo che, come spesso accade in ambito accademico, anche quest'idea sarebbe rimasta irrealizzata, chiusa in un cassetto.

Per fortuna non andò così. Nei giorni in cui ragionavo senza sosta sulla possibilità di costruire dei plantoidi con chiunque fosse così incauto da fermarsi a parlare con me (ho spesso constatato che se qualcosa m'interessa tendo a essere monomaniaco; un pericolo ben noto a chi mi conosce), ho incontrato la persona perfetta con la quale trasformare in realtà ciò che fino ad allora era rimasto un

fantasioso, benché avvincente, argomento di discussione teorica. Barbara Mazzolai, che oggi dirige il Centro di microbiorobotica dell'lit (l'Istituto italiano di tecnologia, con sede a Pisa), era già nel 2003, quando la incontrai per la prima volta, un'eccellente ricercatrice di robotica. Grazie alla sua formazione universitaria, era inoltre estremamente preparata in campo biologico. Parlare con lei di automi e piante divenne un'abitudine che si sviluppò in modo direi naturale. L'idea del plantoide ci entusiasmava. Più discutevamo insieme delle possibilità di costruirlo, più ci convincevamo che era realizzabile. C'erano molti problemi tecnici da affrontare, certo, ma potevano essere risolti. Il plantoide, ne eravamo sicuri entrambi, doveva vedere la luce.

Costruire dal nulla un robot - specie se totalmente nuovo nella sua concezione - che funzioni sul serio e non sia soltanto un giocattolo meccanico è un affare che richiede tempo, lavoro e denaro. Come tutti i ricercatori entusiasti eravamo pronti a impegnare il nostro tempo e il nostro lavoro, ma i nostri soldi, anche volendo, non sarebbero serviti a nulla (informatevi sullo stipendio di un ricercatore italiano, io mi vergogno troppo a rivelarlo). E individuare un ente, una fondazione o altro che fosse disposto a imbarcarsi in questa impresa, sostenendo anche le spese, non fu facile. Ci volle tempo, molto tempo. Sulle prime la fondatezza delle basi teoriche e la solidità dell'impianto, che a me e Barbara sembravano di cristallina chiarezza e senza punti deboli, lasciarono del tutto freddi (o perlomeno tiepidi) i nostri interlocutori.

Purtroppo, come tante volte ho potuto constatare, non è facile convincere delle loro straordinarie capacità chi ha sempre guardato alle piante come a organismi al limite dell'inorganico, buoni al massimo a decorare i nostri giardini. E ancor più difficile era persuadere i nostri finanziatori che, imitando le piante, avremmo potuto realizzare una nuova generazione di robot Per me, il fascino di questa sfida e di questo approccio erano evidenti, e spero lo siano anche per voi, gentili lettori, ma di certo non lo erano per i mastini a guardia dei fondi! Loro non vedevano nessun fascino né sbocchi concreti nella ricerca. Scontrarsi contro quella che loro chiamano prudenza, e che io chiamo mancanza di immaginazione, è quasi sempre una partita persa.



Una rappresentazione artistica di plantoidi. Ispirati al funzionamento delle piante, questi robot potranno essere utilizzati in tutti i casi che richiedano l'esplorazione dei suoli, dalla ricerca di risorse a quella di contaminanti.

Ma non bisogna mai disperare quando si va a caccia di fondi per realizzare un progetto visionario: se credi davvero in ciò che proponi, alla fine qualcuno rimarrà contagiato dal tuo stesso entusiasmo. È quello che ci accadde con Ariadna, un'iniziativa dell'Advanced concepts team dell'Esa. Le nostre argomentazioni sulla possibilità di ispirarsi alle piante per la costruzione di robot da utilizzare nell'esplorazione spaziale li convinsero; così, senza indugio, finanziarono quello che si chiama uno *studio di fattibilità*. L'investimento era limitato e non ci permetteva di

costruire alcunché, ma ci ha aiutato molto a fissare le idee e a prevedere i problemi che sarebbero potuti insorgere nella costruzione di un plantoide. Alla fine compilammo per l'Esa un bel documento (che si può trovare ancora in rete) dal titolo promettente: *Bio-inspiration from plants' roots* (Bioispirazione dalle radici vegetali); trattava con dovizia di particolari i piani di costruzione di un plantoide e i suoi possibili utilizzi per l'esplorazione dello spazio (di Marte nello specifico).

La nostra tesi di fondo era semplice: poiché le piante sono gli organismi pionieri per eccellenza, studiando i loro sistemi di sopravvivenza e replicandoli in un plantoide avremmo potuto realizzare una macchina con maggiori possibilità di resistere in ambienti ostili. E nulla è più ostile di un ambiente extraterrestre come Marte. Il progetto prevedeva il trasporto di un grande numero di plantoidi fin nell'atmosfera marziana, dove sarebbero stati rilasciati. Grandi poco più di dieci centimetri, questi plantoidi si sarebbero sparsi sul Pianeta rosso aprendosi all'istante e innestando le loro radici nel suolo. Con queste ultime avrebbero esplorato il sottosuolo, mentre una serie di similfoglie in superficie avrebbe alimentato all'infinito il robot grazie a cellule fotovoltaiche. Il nostro progetto rappresentava un completo rovesciamento del punto di vista con cui si era pensato all'esplorazione marziana! Anziché continuare a spedire lassù enormi robot costosissimi, che si muovono con grande lentezza ed esplorano soltanto aree minuscole, avremmo mandato migliaia di plantoidi; questi, esplodendo nell'atmosfera come semi, si sarebbero diffusi su grandissime aree e, senza muoversi, comunicando fra loro e con la Terra, ci avrebbero trasmesso dati sulla composizione del suolo, tanto numerosi e accurati da permetterci delle serie mappature continentali.



Il primo prototipo di plantoide costruito nell'ambito del progetto europeo Fet, in grado di accrescere i suoi apici radicali nel suolo.

Finito lo studio per l'Esa il progetto si arenò nuovamente, e per anni nessuno si dimostrò disposto a finanziarlo. Finché, nel 2011, Barbara e io non provammo a ottenere un contributo dall'Unione Europea attraverso un'iniziativa che premiava le idee più visionarie, caratterizzate da alto rischio di fallimento ma anche da altissimo tasso di innovazione. I Fet (Future and emerging technologies) erano, e sono tuttora, l'arena più importante nella quale si sfidano, per ottenere i finanziamenti adeguati, i progetti più rivoluzionari della tecnologia europea. La nostra proposta, dal titolo *Ptantoid. Innovative robotic artefacts ìnspiredby plant roots fot so/1 monitoring*, raggiunse una strabiliante valutaz^ne di 15/15! Il massimo assoluto. E si aggiudicò dunque un finanziamento adeguato, che ci avrebbe permesso di costruire finalmente il primo plantoide.

I tre anni successivi furono dedicati alla risoluzione dei mille problemi posti dalla progettazione e costruzione dei tanti moduli che componevano un plantoide e, infine, dalla sua realizzazione finale. Uno degli scogli che diede più filo da torcere al

laboratorio di Barbara fu come imitare la crescita della radice. Non era questione di poco conto: disporre di meccanismi di autoaccrescimento rimane ancora oggi uno degli obiettivi più difficili da realizzare in robotica.

Nelle piante, i processi di accrescimento e di movimento delle radici sono attuati in sostanza tramite due meccanismi: la divisione cellulare nell'apice meristematico, immediatamente al di sotto della punta della radice, e la distensione cellulare di un'area posteriore all'apice, chiamata, appunto, *zona di allungamento.* Entrambi i meccanismi furono imitati, nella costruzione dei nostri apici radicali robotici, attraverso l'impiego di un serbatoio di materiale plastico che era utilizzato per promuovere l'accrescimento della radice robotica. Inoltre, con l'intento di replicare le diverse capacità sensoriali della radice, il nostro apice radicale robotico fu dotato di: un accelerometro, per reiterare le capacità di seguire la direzione della gravita; un sensore di umidità, per imitare l'abilità nel percepire minimi gradienti idrici; un certo numero di sensori chimici; degli attuatori osmotici (particolari dispositivi in grado di trasformare la pressione osmotica in movimento) che garantivano la direzione e la penetrazione nel suolo; un microcontrollore, che avrebbe gestito le informazioni derivanti dai diversi sensori e ricreato l'intelligenza distribuita tipica degli apparati radicali. Costruite le radici robotiche del nostro plantoide, non rimaneva che occuparsi delle foglie. Il problema, meno complesso, si poteva risolvere con delle celle fotovoltaiche che avrebbero imitato il processo fotosintetico e fornito l'energia necessaria per svolgere tutte le funzioni operative.

Replicando la strategia adattativa della pianta, il plantoide si muove molto piano, così da esplorare l'ambiente con efficienza e mostrare elevate forze di attuazione e basso consumo energetico. L'apice del plantoide cresce e si sposta nel terreno attraverso una nuova classe di attuatori osmotici; nello stesso tempo comunica con tutti gli altri, raccogliendone i dati e rendendo così possibile utilizzare le strategie d'intelligenza distribuita tipiche del mondo vegetale.

Oggi i plantoidi sono una realtà che può essere utilizzata nelle più diverse circostanze: inquinamenti radioattivi o chimici, attacchi terroristici, mappatura di campi minati, esplorazione spaziale, ricerche minerarie o petrolifere, bonifiche speciali, agricoltura 2.0. Barbara continua a migliorarli e a specializzarli per applicazioni particolari. Insomma, siamo appena agli inizi di un cammino molto interessante, ma già cresce il numero delle persone che si convincono delle possibilità tecnologiche offerte dalla bioispirazione vegetale. Mi auguro, anzi, ne sono convinto: non passerà troppo tempo prima di vedere gruppi di pacifici plantoidi prendersi cura dei nostri giardini e delle nostre fattorie.

Riferimenti bibliografici

F. Baluska, S. Mancuso, D. Volkmann, Communication inplants. Neuronalaspects ofplantlife, Springer, Berlino 2006.

P.B. Barraclough, LJ. Clark, W.R. Whalley, How do roots penetrate strongsoil?, Plant and soil, 255, 2003, pp. 93-104.

A. Braun, The vegetable individual, in its relation to species, The American journal of science and arts, 19, 1855, pp. 297-318.

C. Darwin, Journal of researches into the geology and natural history of the various countries visited by H.M.S. Beagle, unde/the command of captain Fitzroy, R.N., from 1832 to 1836, Colburn, Londra 1839 (trad. it. Viaggio di un naturalista intorno al mondo, Giunti, Firenze 2002).

E. Darwin, Phytologia. Or the philosophy of agriculture and gardening, Johnson, Londra 1800.

J.H. Fabre, La piante. Leconsà monfilssurla botanique, Librairie Charles Delagrave, Parigi 1876.

J.W. von Goethe, Versuch die Metamorphose der Pflanzen zu erklären, C.W. Ettinger, Gotha 1790 (trad. it. La metamorfosi delle piante, Guanda, Parma 2013).

E.L. Greacen, J.S. Oh, *Physics of root growth*, Nature new biology, 235,1972, pp. 24-25.

S. Mancuso et al., Plant neurobiology. An integrated view of plant signaling, Trends in plant science, 11 (8), 2006, pp. 413-419.

S. Mancuso et al., The plant as a biomechatronic System, Plant signaling & behavior, 5 (2), 2010, pp. 90-93.

S. Mancuso, B. Mazzolai, II plantoide. Un possibile prezioso robot ispirato al mondo vegetale, Atti dei Georgofili 2006, serie Vili, voi. 3, tomo II, 2007, pp. 223-234.

D. Murawski, Genetic variation within tropical tree crowns, in Biologie d'une canopée deforèt equatoriale. Ili: rapport de la mission d'exploration scientifique de la canopée de Guyane, octobre-décembre 1996, a cura di F. Halle et al., Pronatura International e Opération canopée, Parigi-Lione 1998.

III La sublime arte della mimesi



Le piante appartenenti al genere *Lithops* sono comunemente note con il nome di sassi viventi. Crescono nelle zone più aride del Sudafrica e della Namibia.

L'IMITAZIONE DEL BELLO DELLA NATURA O SI ATTIENE A UN SOLO MODELLO O È DATA DALLE OSSERVAZIONI FATTE SU VARI MODELLI RIUNITE IN UN SOGGETTO SOLO.

(Johann Winckelmann, *Pensieri sull'imitazione)*

QUANTO PIÙ IO STUDIO LA NATURA, TANTO PIÙ PROFONDA SI FA IN ME LA CONVINZIONE CHE GLI APPARECCHI E GLI ADATTAMENTI MIRABILI, LENTAMENTE RAGGIUNTI IN SEGUITO ALLA VARIAZIONE OCCASIONALE, LENTA E ASSAI MOLTEPLICE DI CIASCUNA PARTE E PER LA CONSERVAZIONE E L'ACCUMULAMENTO DI QUELLE VARIAZIONI CHE SONO UTILI ALL'ORGANISMO NELLE COMPLICATE E SEMPRE VARIABILI CONDIZIONI DI VITA, SORPASSANO DI GRAN LUNGA GLI APPARECCHI E GLI ADATTAMENTI CHE LA PIÙ FECONDA FANTASIA DELL'UOMO POSSA INVENTARE.

(Charles Darwin, I diversi apparecchi col mezzo dei quali le orchidee vengono fecondate dagli insetti)

Un modello, un mimo, un destinatario

Quando si parla di capacità mimetiche, gli esempi citati sono di norma quelli già noti ai più, appartenenti al solo mondo animale: il camaleonte, l'insetto stecco, la

mantide, un certo numero di farfalle, dei bruchi, diversi pesci, la sogliola, il polpo... Eppure alcune piante hanno capacità che possono rivaleggiare ad armi pari con la più spregiudicata mimesi animale, e che anzi in molti casi arrivano a livelli di raffinatezza a questa sconosciuti.

Esistono numerose forme di mimetismo in natura. Quelli che normalmente intendiamo per fenomeni mimetici, nel discorrere comune, sono essenzialmente due: il *mimetismo fanerieo* (dal greco *phanerós,* manifesto), nel quale un organismo ne imita un altro in comportamenti, forme o colorì, e il cosiddetto *mimetismo eriptico* (dal greco *kryptòs,* nascosto), in cui un organismo si rende invece invisibile imitando l'ambiente che lo circonda. Tuttavia, con il termine mimetismo si deve intendere un fenomeno molto più ampio, che può avere aspetti assai diversi. Per comprenderne a fondo la natura e i meccanismi, però, è necessaria una piccola digressione introduttiva. Vedrete che sarà utile per il seguito della narrazione.

Essere in grado di mantenere la propria organizzazione interna a fronte della naturale spinta verso la degradazione e il disordine è una caratteristica che qualunque organismo deve avere, a prescindere dal suo livello di complessità. Questa capacità si manifesta grazie alla bravura dimostrata nell'essere selettivo e saper fare le scelte giuste. Ad esempio scegliere alcune molecole dal substrato sul quale vive invece di altre, distinguere amici da nemici, espandersi o contrarsi in funzione della disponibilità di risorse eccetera. Un organismo è un sistema aperto, nel quale fluiscono informazioni da e verso l'ambiente. In sintesi, ogni essere scambia con il mondo circostante i dati che gli permettono di sopravvivere. È questa la ragione per cui la comunicazione è un carattere imprescindibile delta vita: senza di essa, anche gli organismi più semplici non avrebbero la possibilità di mantenere il delicatissimo equilibrio che rappresenta la vita stessa.

Insomma, riconoscere gli oggetti, i membri della propria specie, i pericoli e via dicendo è una necessità cui ciascun essere vivente deve rispondere in ogni momento. L'interazione con gli altri organismi in determinati momenti del ciclo vitale è, dunque, un bisogno ineludibile, che si manifesta attraverso l'emissione o la ricezione di messaggi.

Quando un essere vivente emette un segnale di qualunque tipo (visivo, olfattivo, uditivo...) verso un altro, con lo scopo di influenzarne il comportamento a proprio favore, siamo di fronte a un fenomeno mimetico. Perché ci sia mimesi c'è bisogno, quindi, dì un *modello* (cioè l'organismo emittente che produce il messaggio autentico), di un *mimo (che* riproducendo il segnale del modello si avvantaggia) e, infine, di un *destinatario* (colui che deve reagire al messaggio in maniera utile al mimo).

La *Boquilla trifoliata,* regina della mimesi, e gli *ocelli* delle piante

A mio parere, anche se forse di parte, più di un esempio della sublime arte della mimesi raggiunge nel mondo vegetale livelli così sofisticati di virtuosismo che non hanno eguali fra gli animali per abilità ed efficienza. Ma intendere a quale grado di raffinatezza possano giungere le capacità mimetiche delle piante ha un ulteriore aspetto di interesse. Infatti, lo studio di questi fenomeni può rappresentare la porta che conduce alla comprensione di capacità di senso insospettate fra le piante. È il caso della *Boquilla trifotiata,* con la sua straordinaria capacità mimetica.

La Boquilla è una vera Zelig del mondo vegetale; sicuramente il più straordinario esempio di mimesi che si possa trovare in natura. Si tratta di una liana che cresce nelle foreste temperate del Cile e dell'Argentina e ha la particolarità di essere l'unica specie del suo genere. È una pianta in realtà piuttosto comune, tanto da essere conosciuta in Cile con diverse denominazioni (pilpil, voqui, voquicillo, voquillo, voqui bianco), e che produce bacche commestibili. La specie è nota da moltissimo tempo ed è stata studiata da centinaia di botanici, esperti o semplici amatori che l'hanno vista crescere e prosperare nel suo habitat originale. Eppure, fino a pochi anni fa, nessuno si era accorto delle sue incredibili capacità mimetiche.

Nel 2013, durante una tranquilla passeggiata nella foresta del Sud del Cile, il botanico Ernesto Gianoli incontra per l'ennesima volta nella sua carriera la Boquilla trif oliata. Nulla di strano, la pianta era già ben conosciuta e descritta, ma questa volta qualcosa colpisce la sua attenzione. Perché, vedete, un botanico nella foresta è come un collezionista in un mercato delle pulci: con i sensi all'erta, alla ricerca di qualcosa che sia sfuggito a tutti gli altri. Quando si vaga nella foresta per scovare specie nuove, gli occhi sono addestrati a osservare i particolari più nascosti, ogni piccola differenza di forma o di colore, qualcosa di nuovo che differenzi la pianta che si sta studiando. Magari dei dettagli di secondaria importanza. Così, osservando con più attenzione un cespuglio molto comune in quella regione del Cile, Ernesto si accorge che le foglie davanti a sé sono leggermente diverse da quelle che si sarebbe aspettato di trovare. Avvicinandosi, nota che non appartengono al cespuglio in questione, ma a un rampicante che vi cresce intorno. A tutti gli effetti è una Boquilla trifoliata, ma le foglie, anziché essere come le ricordava, sono sorprendentemente simili a quelle dell'arbusto sul quale si è arrampicata.



La *Boquilla trifoliata*, pianta lianosa molto comune nelle foreste temperate del Cile, ha incredibili capacità mimetiche. Nella foto vediamo le foglie nella loro condizione normale.

Si guarda intomo incuriosito, per vedere se qualche altra pianta di Boquilla li vicino presenta le stesse caratteristiche. E quello che trova lo lascia senza parole: su ogni arbusto o albero sul quale cresce, la Boquilla trifoliata imita ogni volta, e con grande abilità, le foglie della specie ospite. Non solo, la Boquilla sembra in grado di replicare con disinvoltura le foglie più diverse. Per quanto ne sa, nessuna pianta è in grado di fare nulla di analogo; anche le orchidee, che sono considerate le campionesse della mimesi vegetale, sono in grado di imitare una sola specie, o al massimo producono fiori che assomigliano a quelli di molte specie diverse. La capacità di imitare modelli differenti era finora stata esclusiva pertinenza del mondo animale. Galvanizzato dalla scoperta, ma anche un po' incredulo per ciò che ha visto, insieme allo studente Fernando Carrasco-Urra inizia la lunga serie di prove e verifiche necessarie a rendere inattaccabile la sua scoperta. Non sarà facile, infatti, convincere la comunità scientifica del fatto che una pianta sia in grado di imitare le dimensioni, la forma e il colore di specie completamente diverse. Alla fine il risultato sarà ancor più sorprendente di quanto si sarebbe potuto immaginare.

Non solo la Boquilla è in grado di imitare le tante specie su cui si arrampica: fa molto altro. Crescendo in prossimità di due o addirittura tre differenti specie, una singola pianta è in grado di modificare le proprie foglie così da confondersi ogni volta con quella più vicina. In altre parole, la stessa Boquilla può cambiare forma, dimensione e colore delle foglie *più volte*, a seconda di quale specie sia più vicina. La

scoperta di Gianoti e Carrasco-Urra avrà conseguenze fondamentali Poter regolare con una simile flessibilità i caratteri delle foglie significa modulare l'espressione dei propri geni in un modo finora mai visto.

Come avrete ormai capito, con la Boquilla ci troviamo di fronte a un caso unico di mimesi. Certo, non sono un esperto del campo, e non è facile avere un'idea chiara delle innumerevoli forme in cui le capacità mimetiche si sono evolute negli organismi viventi; tuttavia, credo di poter affermare con una certa sicurezza che non esista un altro esempio di mimesi che implichi la modifica contemporanea di forma, dimensione e colore del proprio corpo. Una sola di queste trasformazioni (la più comune è il colore) è abbastanza frequente, talvolta due, ma tre e tutte insieme sono una novità anche per il mondo animale.

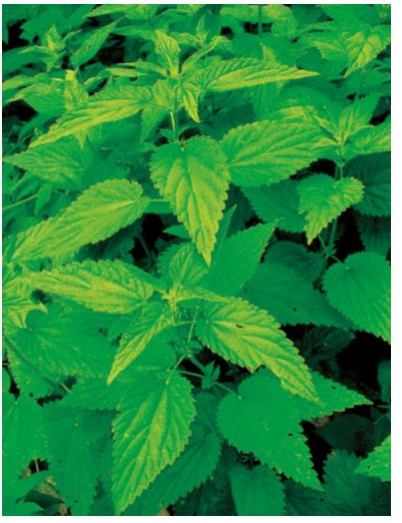
Come dicevamo a inizio capitolo, la capacità mimetica deve arrecare in qualche modo un vantaggio al mimo, in questo caso alla nostra Boquilla; ma quale beneficio può ottenere una pianta che modifica le proprie foglie imitando quelle dell'ospite? Una prima possibilità riguarda la protezione da insetti dannosi. Se, ad esempio, le foglie che la Boquilla imita appartengono a una pianta tossica per gli insetti erbivori, e che quindi gli stessi hanno imparato a evitare, ecco che il mimo, confondendosi, ne trae vantaggio. Questa forma di mimetismo si definisce *batesiano* dal nome del naturalista inglese Henry Walter Bates (1825-1892), e indica il caso in cui, per così dire, una pecora si traveste da lupo. Gli esempi di mimetismo batesiano nel regno vegetate sono abbastanza comuni; alcuni dei più conosciuti riguardano la protezione dagli animali erbivori ottenuta da certe specie delta famiglia delle Labiate come *Lamium album* e *Stachyssylvatica*, grazie alla loro capacità di imitazione quasi perfetta delle foglie dell'ortica. Una seconda ipotesi, più semplice e quindi - secondo il famoso rasoio di Occam - preferibile, è che mescolando le sue foglie a quelle di un'altra pianta, per la nostra Boquilla trifoliata diminuiscano statisticamente le probabilità di essere attaccata da insetti erbivori. Infatti, in caso di assalto, l'ospite, con le sue foglie più numerose, sarà maggiormente danneggiato rispetto alla Boquilla. Al momento non sappiamo ancora quale sia la teoria giusta; è probabile però, come spesso accade, che la risposta esatta coinvolga un insieme di più fattori.



La *Stachys sylvatica,* nota con il nome di stregona dei boschi, imita alla perfezione le foglie dell'ortica.

Racconta ancora Ernesto Gianoli che, per la Boquilla, le caratteristiche specifiche di alcune foglie - come, ad esempio, la seghettatura - erano difficili da riprodurre; tuttavia era evidente che la pianta faceva del proprio meglio per imitarle, generando foglie con abbozzi di dente di sega lungo i margini.

Osservare il fenomeno, comunque, è solo l'inizio della storia. Ora, se ci pensate un attimo, l'interrogativo più importante suscitato dai comportamenti della Boquilla non è tanto come riesca a modificare il proprio corpo con tale velocità, quanto come faccia a sapere *cosa deve* imitare. Nello studio in cui descrivono per la prima volta le straordinarie caratteristiche mimetiche di questa specie, Ernesto Gianoli e Fernando Carrasco-Urra avanzano due ipotesi. La prima è che, grazie alla percezione delle emissioni di sostanze volatili, le piante di Boquilla siano in grado di identificare il modello da imitare. Ma è una congettura altamente improbabile, poiché la Boquilla replica le foglie più vicine sebbene immersa in un *blend^* composti volatili prodotti da decine di specie diverse. La seconda ipotesi, che presuppone un eventuale trasferimento orizzontale di geni dalla pianta ospite alla Boquilla, veicolato da qualche microrganismo, pare però ancora più improbabile. Insomma, come facesse questa maestra della mimesi a sapere cosa imitare rimaneva un mistero.



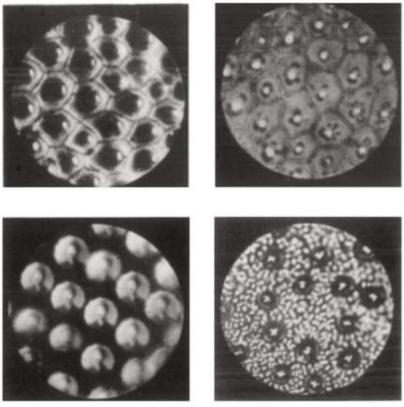
L'ortica *(Urtica dioica)* ha foglie e fusti ricoperti di una sostanza altamente urticante che utilizza a scopi difensivi.

Nel settembre del 2016 - insieme al professor Frantisele Baluska dell'Università di Bonn, mio caro amico e collaboratore (abbiamo scritto una cinquantina di articoli scientifici) - ho avanzato una nuova soluzione al rompicapo: che la pianta sia dotata di una sorta di capacità di visione. Può sembrare un'ipotesi incredibile o addirittura fantascientifica, ma è, a parer mio, quella che ha le maggiori probabilità di essere vera. Vi state chiedendo perché? Bene, eccovi la spiegazione.

Già nel 1905, il famoso botanico Gottlieb Haberlandt (1854-1945) propose, in un suo scritto che al tempo fece scalpore nella comunità scientifica e non solo, che le piante fossero in grado di percepire le immagini- quindi possedessero una sorta di capacità visiva - grazie alle cellule dell'epidermide. Molto spesso, infatti, queste ultime sono convesse come lenti, e potrebbero facilmente convogliare le immagini sullo strato cellulare sottostante. Secondo Haberlandt, le cellule epidermiche delle piante funzionano dunque come gli *ocelli* (sorta di occhi semplici e primitivi) presenti in molti invertebrati. La sua teoria piacque molto a Francis Darwin (1848-1925), figlio del celeberrimo Charles e a sua volta autorevole professore di fisiologia delle piante all'Università di Cambridge, che ne parla diffusamente nei suoi scritti in relazione alle capacità percettive delle piante, sottolineandone la fondatezza scientifica.

E, in occasione del congresso a Dublino in cui Francis Darwin sostenne che le piante fossero in grado di ricordare e di avere comportamenti (ne ho parlato nel volume *Verde brillante*^, Harold Wager (1862-1929), fellow della Royal Society, mostrò a un attonito pubblico numerose fotografie prodotte utilizzando come lenti le

cellule dell'epidermide fogliare di diverse specie: ritratti abbastanza dettagliati di persone e panorami della campagna inglese che dimostravano, almeno dal punto di vista della semplice ottica, come il fenomeno della visione nelle piante fosse perfettamente plausibile. Poi, più nulla. Come accade in biologia a numerose teorie, soprattutto se riguardanti le piante, quella di Haberlandt fu dimenticata. Nessuno si prese la briga di dimostrarla o negarla del tutto. Probabilmente la capacità di visione nelle piante era un argomento troppo eccentrico per essere preso in considerazione, e non meritava uno spreco di tempo e denaro.



PLANTS HAVE EYES, BOTANIST SHOWS

Prof. Wager Finds Outer Skins of Leaves Are Lenses Much Like Eyes of Insects.

PHOTOGRAPHS WITH THEM

And Pictures of Persons and Landscapes Thus Secured Are Remarkably Clearly Defined.

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.

LONDON, Sept. 7.—The interest aroused by the contention made by Francis Darwin, son of the author of

Fotografie realizzate da Harold Wager utilizzando come lente l'epidermide delle foglie di specie vegetali. A fianco, l'annuncio apparso sul New York Times.

La teoria di Haberlandt cadde così nell'oblio; nessun articolo scientifico la menziona nell'ultimo secolo. Morta e sepolta. Fin quando, negli ultimi cinque anni, una serie di scoperte sorprendenti, che dimostrano con solide argomentazioni la capacità di visione anche in organismi unicellulari, non l'ha riportata in auge, spingendoci a una nuova e approfondita riflessione sulla possibilità che la visione nelle piante e gli ocelli di Haberlandt siano qualcosa di più che una affascinante vecchia teoria.

Che le piante siano dotate di una rudimentale forma di visione è infatti, come dicevo, l'argomento più plausibile per spiegare il mutevole comportamento mimetico della Boquilla. E ciò che è richiesto alla pianta, infine, è qualcosa di cui molti organismi unicellulari sono dotati. Un recente studio condotto su un procariota, il cianobatterio *Synechocystis* sp. PCC 6803, ha dimostrato che esso è in grado di misurare intensità e colore della luce attraverso diversi fotorecettori, e di far funzionare l'unica cellula di cui è composto come una microlente che misura la propria posizione rispetto a una sorgente luminosa. L'immagine della sorgente luminosa entra attraverso la membrana convessa della cellula ed è proiettata sulla sua faccia opposta,

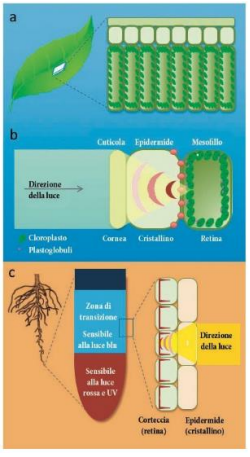
innescando movimenti di allontanamento.

Anche altri organismi unicellulari - ma questa volta eucarioti, quindi a un livello superiore di complessità cellulare, come i dinoflagellati - possiedono degli ocelloidi straordinariamente ingegnosi, che funzionano grazie a strutture simili a lenti e retina. Molti invertebrati, infine, hanno ocelloidi, ocelli e tutto un armamentario di organi più o meno complessi, ma sempre molto differenti dai nostri occhi; infatti, anche se siamo subito portati a pensare a questi quando si parla di vista, i sistemi di visione in natura sono moltissimi e diversi. Insomma, ci sono tutti i presupposti perché le piante (o almeno alcune di queste, come la Boquilla trifoliata) siano in grado di esercitare una primitiva forma di visione.

A questo punto vi è rimasta la curiosità di sapere se la mia ipotesi sia o meno corretta? Tranquilli, non manca molto per scoprire se è reale o è soltanto un'altra delle tante, come ricordava Einstein, «belle teorie rovinate da brutti fatti».



I dinoflagellati sono alghe microscopiche che rappresentano uno dei più importanti gruppi del fitoplancton. Alcune specie dispongono di ocelli molto complessi.



Le caratteristiche tipiche degli ocelli, con strutture simili alla cornea e alla retina, si possono ritrovare anche nell'epidermide delle foglie e delle radici.

Piante, pietre e segnali colorati

Mimi se ne trovano dappertutto nel mondo vegetale; forse non capaci di prestazioni iperboliche come la Boquilla, ma sempre affascinanti. Il mimetismo criptico delle Lithops, ad esempio, merita di essere citato. Infatti non si può parlare di questo fenomeno nelle piante senza ricordare un tale caso di destrezza mimetica. Lithops (dal greco *lithos*, pietra, e *ops/'s*, aspetto) è un genere della famiglia delle Aizoaceae che raccoglie specie di piante originarie soprattutto delle zone desertiche

della Namibia e del Sudafrica. Si tratta di piante che, come dice il loro stesso nome, somigliano a delle pietre. E, oltre alle capacità mimetiche, possiedono un'altra serie di straordinari adattamenti che le fanno sopravvivere nei deserti di cui sono originarie.



La *Blossfeldia Hliputana* è una cactacea che, come le *Lithops,* imita le pietre per sfuggire alla predazione.

Le Lithops hanno Le Lithops hanno dimensioni molto contenute e un apparato fogliare limitato a due sole foglie, divise da una fenditura dalla quale spuntano i fiori. Succulente e di colore variabile (dal verde al rosso ruggine, dal crema al grigio e al viola, attraverso la presenza di striature e macchie), le foglie imitano in maniera perfetta forme e sfumature di piccoli sassi. Probabilmente le avrete viste in qualche mercatino, dove si trovano con il nome di pietre vive, sassi viventi o simili. Per sopravvivere alle alte temperature e alla mancanza d'acqua, queste piante hanno sviluppato un fusto ridotto al minimo, spesso sotterraneo, cosicché solo le foglie, e spesso soltanto la loro sommità piatta, fuoriescono dal terreno, imitando in tutto e per tutto dei sassolini. Le foglie di Lithops, poi, sono spesso *finestrate*, cioè presentano delle zone trasparenti per la mancanza di clorofilla che permettono alla luce di arrivare in profondità, fin nelle parti più interne e non direttamente illuminate della pianta.



Esemplari di *Lithops aucampiae*. Le due metà di ogni ovale sono le foglie della pianta, che si sono adattate a condizioni di estrema aridità diventando spesse e succulente.

Quanto al vantaggio di confondersi con il sottofondo sassoso del deserto, è evidente per piante che, non essendo difese da spine o altro, non avrebbero alcuna possibilità di sopravvivere alla predazione animale. Soprattutto in un ambiente in cui l'acqua contenuta nelle foglie succulente è un bene preziosissimo. Inoltre, le combinazioni e i cambiamenti cromatici nelle piante sono efficaci strumenti di comunicazione. Eppure, benché la funzione dei colori in chiave evoluzionistica sia un importante campo di studio della biologia animale, nel mondo vegetale questo argomento è stato colpevolmente ignorato, se si esclude la centralità dei fiori nei rapporti pianta-impollinatore. In realtà, mentre piante come le Lithops utilizzano le forme e i colori per nascondersi da eventuali predatori, ce ne sono altre, molto più comuni, che ti adoperano per inviare messaggi di segno contrario: annunciare la loro forza o la loro pericolosità.

Uno dei più interessanti esempi di questo tipo di mimesi sembrerebbe essere quello prodotto da molte specie arboree con la spettacolare colorazione esibita durante l'autunno. Uso la forma ipotetica perché non è ancora chiaro quanto questa teoria sia fondata. Fino a pochi anni fa si riteneva che l'esplosione autunnale di rossi, arancio e gialli che colorano te nostre foreste fosse un banale effetto collaterale della degradazione della clorofilla, la quale scomparendo lascerebbe trasparire gli altri colori prima mascherati dal verde. Il sospetto che il fenomeno rappresenti invece qualcosa di più complicato si è avuto con la scoperta che alcune specie investono importanti risorse nella produzione di molecole necessarie a colorare le foglie; e questo proprio pochi giorni, o settimane, prima di perderle, in autunno. Ora, perché investire risorse in qualcosa di così palesemente inutile, e che andrebbe comunque

perso a breve? La teoria formulata da Bill Hamilton - dell'Università di Oxford - nel 2000, alcuni mesi prima di morire, spiegherebbe l'arcano: secondo lo studioso, lo sforzo degli alberi decidui nel produrre la brillante colorazione autunnale sarebbe un cosiddetto *segnale onesto,* cioè un messaggio di forza della pianta diretto agli afidi. Un messaggio che è tanto più attendibile quanto più appare evidente lo sforzo sostenuto per emetterlo.

Non so se avete presente quelle gazzelle che alla vista di un leone iniziano a saltare sul posto come una molla, senza scappare. A prima vista anche il loro sembrerebbe un comportamento inutile, uno spreco di energia; in realtà, ciò che fanno è inviare il seguente messaggio al leone: Guarda come sono robusta e forte, sarebbe una perdita di energia e di tempo, per te, cercare di cacciarmi. Con la loro colorazione intensa, dunque, gli alberi trasmetterebbero agli afidi, che hanno un picco migratorio proprio durante l'autunno, un segnate di forza e vigore, invitandoli a cercare un ospite meno ostico. Non è un caso, quindi, che gli aceri - notoriamente molto suscettibili agli attacchi degli afidi - mostrino alcune fra le più straordinarie colorazioni autunnali. Altri esempi caratteristici di questo tipo di segnale sono la coda del pavone o l'ostentazione tutta umana di vari status symbot, ambedue manifestazioni inspiegabili se non in un'ottica di trasmissione di messaggi di potenza. Lo studioso di fisiologia e biologia evolutiva americano Jared Diamond ha perfino sostenuto che certi nostri comportamenti eccessivamente rischiosi, come il bungee jumping, possono essere classificati come segnali di questa natura.

Risorse umane. O meglio, l'uomo come risorsa delle piante

Fra i dodicimila e i quindicimila anni fa, in quella regione del mondo oggi funestata da continue guerre e un tempo conosciuta come la Mezzaluna fertile, nasceva l'agricoltura. E, con essa, la civiltà. Ma nel momento in cui l'uomo abbandona l'attività di cacciatore-raccoglitore e diventa stanziale, coltivando la terra, inizia anche la sua storia di coevoluzione con le piante. Alcune di queste diventano inseparabili compagne, che gli forniscono il cibo di cui ha bisogno ricevendo in cambio difesa e cura; ma, soprattutto, ottenendo un *vettore superefficiente* in grado di diffonderle per tutto il pianeta. Un ottimo affare per ambedue i contraenti, che ha funzionato e continua a funzionare perfettamente a distanza di migliaia di anni dalla firma del contratto originale. Un affare talmente vantaggioso che oggi tre specie vegetali - grano, mais e riso - forniscono da sole circa il 60 per cento delle calorie consumate dall'umanità, e in cambio hanno colonizzato enormi superfici in ogni continente, surclassando qualunque concorrente vegetale in quanto a diffusione sulla Terra. Il rapporto fra noi e queste piante è così stretto da poter essere considerato alla stregua

di una vera e propria simbiosi. Pensate che il carbonio di cui è mediamente composto un cittadino statunitense proviene per il 69 per cento da una sola specie: il mais.

Ma, se per queste tre piante avere di fatto il monopolio dell'alimentazione umana può essere un buon affare, stento a credere che legare la propria sopravvivenza a sole tre o quattro specie sia un vantaggio per l'umanità: si tratta di una selezione troppo esigua di fornitori cui affidare il rifornimento quasi totale del nostro consumo calorico. Non solo, è anche in costante diminuzione. Nel passato, infatti, l'uomo ha attinto a un numero di specie molto più alto. Nel XVIII secolo, nonostante le piante commestibili disponibili in Europa fossero molte meno di quelle odierne (tutte quelle esotiche e di provenienza coloniale non erano ancora in uso), il numero di specie vegetali comunemente consumate era il triplo di oggi. Per non parlare di tempi più antichi, prima dell'invenzione dell'agricoltura, quando l'uomo consumava letteralmente centinaia di specie vegetali diverse, insomma, negli ultimi diecimila anni, e con un'accelerazione drammatica nell'ultimo secolo, abbiamo sempre di più legato le nostre vite a un numero ridotto di specie vegetali. Un'idea tutt'altro che brillante: più basso è il numero di specie da cui dipendiamo, più alto è il rischio che qualcosa possa

andare storto. Una malattia che attaccasse il grano o il riso, ad esempio, sarebbe catastrofica per l'umanità. È già successo. E, come ben sa qualunque risparmiatore, differenziare l'investimento è sempre una buona strategia.

Comunque sia, un affare così redditizio per le piante doveva per forza di cose richiamare imitatori, truffatori o semplicemente altri attori preoccupati di arraffare la loro parte di profitto. Infatti è proprio quello che è successo; con il trucco e l'inganno moltissime specie hanno tentato di spacciarsi per piante coltivate, così da ottenere gli stessi benefici. L'imbroglio messo in atto da molte di loro è un fenomeno di mimesi: trasformare i propri caratteri distintivi in modo da ingannare l'attenzione dell'uomo.

Fin dall'inizio dell'agricoltura, l'umanità ha selezionato le piante che, per un motivo o per un altro, riteneva migliori: grandezza del frutto o del seme, forma, colore, resistenza alle malattie, taglia... Ma ogni volta che l'uomo decideva quali caratteristiche selezionare per le proprie coltivazioni, ecco che le piante cosiddette infestanti imparavano a rispondere a quelle stesse preferenze. Uno dei casi meglio conosciuti in cui una specie è riuscita a mimetizzarsi con un'altra, così da ricevere i vantaggi impliciti nella coltivazione, è quello della *V/a'asat/Va([a* veccia comune) nei confronti della *Lens culinaris* (lenticchia). Quest'ultima è una delle più antiche specie coltivate dall'uomo; il suo consumo era documentato già quindicimila anni fa, e da allora è stata una delle più comuni coltivazioni nell'area del Mediterraneo, come attesta anche l'episodio di Esaù nella *Genesi(2S,2^-Z4;* quando, per un piatto di lenticchie, il giovane cacciatore Esaù baratta la primogenitura con il fratello

Giacobbe).



La lenticchia *(Lens culinaris)* è una delle prime specie domesticate dall'uomo. Testimonianze archeologiche ne attestano il consumo fra il l3.000 e il 10.000 a.C.

La Vicia sativa, d'altra parte, condivide con la lenticchia le stesse necessità di suolo e di clima. Ciò ha reso inevitabile che, da sempre, nei campi di lenticchie si trovassero anche delle piante di veccia. Ma non era un problema: il suo seme rotondo, molto diverso dai semi di Lens culinaris, poteva essere facilmente rimosso. Non c'era nessuna possibilità di errore. La veccia, com'è ovvio, non gradiva essere scartata in questo modo. Così, generazione dopo generazione, ecco apparire nei semi della veccia i primi cambiamenti, che l'avrebbero resa sempre più affine alla lenticchia; fino a rendere i propri semi così simili per forma, dimensione e colore da non essere facilmente distinguibili. L'affare era fatto: poiché assomigliava alla lenticchia, l'uomo l'avrebbe selezionata insieme a questa e se la sarebbe portata dietro in ogni successiva coltivazione. Un artificio molto redditizio per la veccia, che dunque poteva associarsi alla lenticchia e beneficiare di tutti i vantaggi legati alla coltivazione.

Questo particolare tipo di mimetismo, esclusivo del mondo vegetale, è detto *mimetismo voviloviano,* in onore del grande genetista e agronomo russo Nikolaj Ivanovic Vavilov (1887-1943) che per primo lo studiò, rilevando le potenziali conseguenze che potevano derivarne. Di Vavilov ho già scritto in *Uomini che amano le piante,* ma vale la pena ricordarne qui la figura di scienziato. Autore di un testo pionieristico sull'origine e sulla geograffa delle piante coltivate *{Genetica and agronomy,* 1912), Vavilov non solo ha scoperto i centri di diffusione delle specie coltivate, ma è stato il propugnatore della necessità di conservare in depositi sicuri i loro semi. Dopo la prima banca dei semi, ancora funzionante a San Pietroburgo, l'idea

di Vavilov ha trovato la sua realizzazione più importante nel Global seed vault delle isole Svalbard, una struttura il cui obiettivo è proprio quello di fornire una rete di sicurezza e conservazione contro la perdita accidentale del patrimonio genetico tradizionale delle specie più importanti, quali il riso, il mais, il frumento, te patate, le mele, la manioca, il taro, la noce di cocco eccetera, garantendo così la diversità genetica. E che l'intuizione di Vavilov sulta necessità di conservare i semi delle specie vegetali, preservandone almeno una piccola parte dalla distruzione, fosse corretta e importante, ne abbiamo avuto concretissima evidenza negli ultimi mesi, quando la Siria ha richiesto al Global seed vault un certo numero di semi necessari per riavviare le pratiche agricole in regioni devastate dalla guerra. Soprattutto, però, Vavilov è stato il primo accanito sostenitore del fatto che con la genetica si sarebbero potute migliorare le piante coltivate, fino a renderle in grado di produrre anche nelle condizioni climatiche più estreme come quelle di alcune regioni della Russia.



La veccia comune (*Vicia sativd)* Esistono centinaia di varietà di è una pianta da foraggio molto diffusa, che produce semi simili a quelli della lenticchia.



Esistono centinaia di varietà di lenticchie; i loro semi hanno colori che vanno dal verde al bruno, al giallo, all'arancio.

Questo gigante delle scienze agrarie e della genetica, condannato a morire di fame in carcere per ordine di Stalin, oggi è completamente dimenticato. Ma ancor più inconcepibile è che la sua nemesi, l'insignificante e orribile figura del sedicente scienziato Trofim Denisovic Lysenko (1898-1976), sostenitore della folle idea che la genetica non avesse alcuna base scientifica e fosse solo una teoria borghese, sia oggi molto più nota di Vavilov, persino fra gli addetti ai lavori. Questa, comunque, è un'altra storia...



Il Global seed vault ha sede sull'isola norvegese di Spitsbergen. Il suo compito è fornire una rete di sicurezza e conservazione contro la perdita accidentale del patrimonio genetico tradizionale delle piante coltivate.

Insomma, Vavilov se ne intendeva, e molto, di piante coltivate e attività connesse. È stato il primo a segnalare che la selezione umana per degli specifici caratteri potesse indurre fenomeni mimetici in altre piante, con conseguenze non prevedibili e non sempre negative come si sarebbe indotti a pensare. Anzi, molte piante oggi coltivate sono nate grazie a questa capacità mimetica.

Prendiamo il caso della segale *{Secale cereale^*, una specie coltivata da almeno tremila anni. Questo cereale era in origine un'erba infestante del grano e dell'orzo, con cui condivideva alcune caratteristiche fondamentali riguardo al seme. Per capire come un'infestante possa diventare una pianta coltivata, però, dobbiamo per un momento metterci nei panni dei primi agricoltori. Immaginate i nostri antenati - che pian piano abbandonavano una vita basata sulla caccia e sulla raccolta - intenti alla ricerca delle piante da domesticare. Quali avranno trovato desiderabili? Con che caratteristiche le avranno cercate? Di sicuro avranno optato per specie dai semi molto grandi, meglio ancora se presenti in gran numero all'interno di qualcosa che si poteva facilmente raccogliere, come le spighe. E di certo non avranno gradito quelle piante che disperdevano i semi spontaneamente: troppo faticoso raccoglierli da terra! La trasformazione dell'uomo da cacciatore ad agricoltore è stata lunga e faticosa, costellata di errori e ripensamenti. Siamo sicuri che alcune piante come il grano o l'orzo, con i loro semi grandi e le spighe per contenerli, perfettamente adeguate alle esigenze dei primi agricoltori, furono fra le prime a essere scelte per la domesticazione; insieme a questi gloriosi cereali, tuttavia, gli uomini selezionarono

senza saperlo anche le loro infestanti più temibili.



La segale *(Secale cereale)* è un cereale tipico delle zone temperate. Si è diffusa in coltivazione circa tremila anni fa, migrando dalla Turchia insieme al grano con il quale si mimetizzava *(mimesi vaviloviana).*

Qui ha inizio la storia della segale, nel ruolo poco invidiabile di pianta infestante. Gli antenati della segale che conosciamo oggi erano un classico caso di mimetismo vaviloviano. Poiché erano molto simili al grano e all'orzo, per eliminarli le antiche popolazioni della Mezzaluna fertile avrebbero dovuto selezionare con cura le loro sementi alla ricerca degli intrusi. Non era però un'impresa facile. In breve, dunque, la segale divenne una delle principali infestanti. E quando la coltivazione del grano e dell'orzo si espanse verso regioni più lontane a nord, est e ovest dell'area originaria, la segale si aggregò al viaggio (l'uomo è un vettore superefficiente, non dimenticatelo) espandendo anch'essa il proprio areale di distribuzione. Arrivata così in regioni con inverni più freddi o con terreni più poveri, la segale fece valere le proprie doti di rusticità producendo di più e meglio del grano e dell'orzo cui si era aggregata, e in breve tempo ti soppiantò. La segale era diventata a tutti gli effetti una pianta domestica.

Se quella della Secale cereale è una storia di mimetismo vaviloviano a lieto fine, molte altre, al contrario, non lo sono. Mi riferisco alla resistenza agli erbicidi che molte specie riescono a sviluppare in risposta alla somministrazione di quantità sempre più elevate di diserbanti utilizzati in agricoltura. Negli ultimi decenni l'uso degli erbicidi è cresciuto in maniera esponenziale. E, accanto a un aumento che

potremmo definire fisiologico, alcuni diserbanti come il glifosato hanno mostrato un incremento addirittura patologico, in parte dovuto all'introduzione in coltivazione di piante geneticamente modificate per resistere alla loro azione. Si tratta di esemplari sui quali, ad esempio, il glifosato non ha alcun effetto, e che quindi permettono agli agricoltori un uso indiscriminato dell'erbicida. Dopotutto, se la coltura principale è protetta e non subisce alcun danno, cosa impedisce di intervenire somministrando quantità crescenti di erbicida fino a eliminare ognuna delle fastidiose erbacce? A riprova di ciò, i dati sull'utilizzo di questo diserbante sono inquietanti: nel 1974, nei soli Stati Uniti, si consumavano 360.000 chili di glifosato per l'agricoltura; nel 2014 si è arrivati a 113,4 milioni di chili. In quarantanni, quindi, l'uso di questo erbicida è aumentato di oltre trecento volte!



L'amaranto è una pianta originaria dell'America centrale. I suoi semi sono commestibili e simili a quelli dei cereali (pseudocereale).

Questa enorme pressione chimica sulle infestanti ha favorito l'evoluzione di casi di resistenza anche nelle specie normalmente associate alla coltura principale, ovvero le infestanti mimetiche cui ho già fatto cenno. Così, oggi, esistono negli Stati Uniti popolazioni di *Amaronthus palmeti* - un cereale per altro commestibile, ma inviso agli agricoltori perché infestante - perfettamente resistenti al glifosato. La diffusione di questi cereali che prosperano nei campi di mais o di soia è diventata un grave problema, e lo si combatte con dosi più alte di glifosato e con mix di altri erbicidi.

Ed ecco che le infestanti resistenti sono in aumento ovunque. A me la cosa non disturba affatto: ho sempre amato le infestanti; la loro capacità di sopravvivere dove non sono volute mi ha sempre affascinato, come la loro intelligenza e adattabilità. In

ogni caso, però, una simile espansione non dovrebbe essere contrastata con la somministrazione di erbicidi - distruggendo così ogni speranza di salvare i nostri ecosistemi agricoli - ma con altre tecniche più rispettose dell'ambiente. Quando possibile, dovremmo imparare a conviverci. A me, lo ripeto, stanno simpatiche; sia quando diventano utili come la segale, sia quando se ne fregano dell'uomo come tutte le altre. E sarebbe anche bene ricordarsi che i danni provocati all'ambiente mentre tentiamo di fermarle sono di gran lunga maggiori di quelli che loro potrebbero mai arrecare alle nostre coltivazioni. Sempre ammesso che questi ultimi esistano...

Riferimenti bibliografici

F. Baluska, S. Mancuso, Vision inplants viaplant-specific ocelli?, Trends in plant science, 21 (9), 2016, pp. 727-730.

-, Plant ocellifor visually guide plant behavior, Trends in plant science, 22 (1), 2017, pp. 5-6.

C.M. Benbrook, Trends in glyphosate herbicide use in the United *States and globally*, Environmental sciences Europe, 28 (l),2016, p.3.

S.P. Brown, W.D. Hamilton, Autumn tree colours as a handicap *signal*, Proceedings of the Royal Society of London B, 268 (1475), 2001, pp. 1489-1493.

F. Darwin, Lectures on the physiology of movement in plants. V. Thesense-organsforgravity and light, New phytologist, 6, 1907, pp. 69-76.

G.S. Gavelis et al., Eye-like ocelloids are built from different endosymbiotically acquired components, Nature, 523 (7559), 2015, pp. 204-207.

G. Haberlandt, *Die Lichtsinnesorgane der Laubblàtter*, W. Engelmann, Lipsia 1905.

S. Hayakawa et al., Function and evolutionary origin of unicellular camera-type eye structure, Plos ONE, 10 (3), 2015.

S. Mancuso, A. Viola, Verde brillante. Sensibilità e intelligenza del mondo vegetale, Giunti, Firenze-Milano 2013.

S. Mancuso, Uomini che amano le piante. Storie di scienziati del mondo vegetale, Giunti, Firenze-Milano 2014.

N. Schuergers et al., Cyanobacteria use micro-optics to sense light *direction*, elife, 5, 2016.

N.I. Vavilov, Origin and geography of cultivated plants, Cambridge University Press, Cambridge 1992.

H. Wager, The perception of tight in plants, Annals of botany, 23 (3), 1909, pp. 459-490.

IV Muoversi senza muscoli



II tarassaco (Taraxacum officinale) è una specie molto comune appartenente alla famiglia delle Asteraceae. Come si desume dalla denominazione scientifica, è una pianta le cui virtù medicinali sono note fin dall'antichità. La sua diffusione fa sì che abbia moltissimi nomi comuni, tra cui: soffione, dente di leone, dente di cane, ingrassaporci, piscialletto e girasole dei prati.

LA COSCIENZA È POSSIBILE SOLO ATTRAVERSO IL CAMBIAMENTO, IL CAMBIAMENTO È POSSIBILE SOLO CON IL MOVIMENTO.

(Aldous Huxley, L'arte Di Vedere)

MI MUOVO, QUINDI SONO.

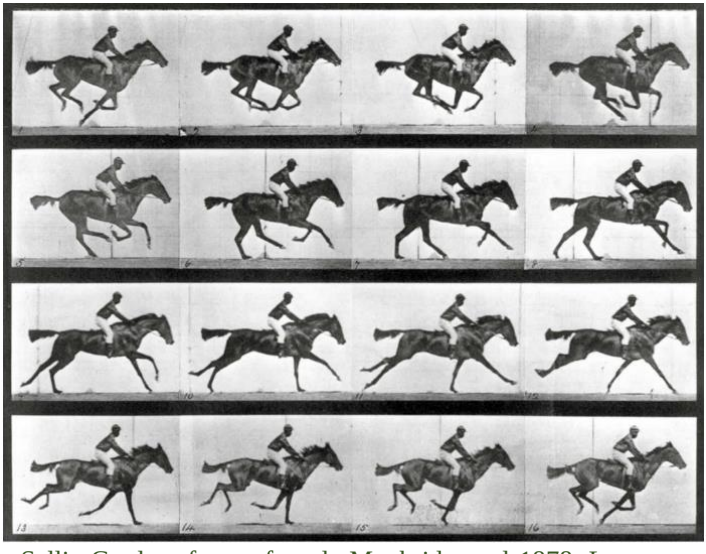
(Haruki Murakami, 1084)

Eppur si muovono!

Nel 1896 parlare di *Urne lapse*, *stop motion* o foto intervallate - comunque vogliate chiamare quella fantastica tecnica fotografico-cinematografica che permette di visualizzare in pochi secondi o minuti di filmato eventi che nel tempo reale impiegano ore o giorni (o anche mesi o anni) per concludersi - sembrava pura fantascienza. D'altronde erano trascorsi soltanto pochi mesi dalla prima proiezione cinematografica organizzata dai fratelli Auguste e Louis Lumière, il 28 dicembre

1895, al numero 14 del Boulevard des Capucines a Parigi, davanti a trentatré spettatori (tra i quali due giornalisti) accorsi a scoprire le possibilità di questa nuova forma d'intrattenimento.

Eppure fu proprio nel 1896, pochi mesi dopo l'invenzione ufficiale del cinema, che il botanico Wilhelm Friedrich Philipp Pfeffer (1845-1920), già nel pieno della sua maturità scientifica, per la prima volta realizzò un filmato in time lapse. Allo sviluppo di questa tecnica Pfeffer aveva lavorato per molti anni, da quando, intrapresi gli studi di botanica, aveva avuto il privilegio di assistere al primo filmato sperimentale della storia: il famoso galoppo del cavallo da corsa Sallie Gardner, realizzato da Eadweard Muybridge nel 1878. Fin da allora, rendere evidenti i movimenti delle piante e velocizzarli affinchè tutti potessero coglierne la bellezza e il significato, ma soprattutto per poterli studiare in quanto risultato ultimo del comportamento della pianta, era diventata per Pfeffer una vera vocazione; vocazione che si collegava agli interessi nati nel periodo in cui, giovane assistente del grande Julius von Sachs (1832-1897) presso l'Università di Wùrzburg, aveva avuto modo di partecipare agli studi sui movimenti gravitropici (cioè attuati in risposta alla gravita) della radice.



Il cavallo da corsa Sallie Gardner fotografato da Muybridge nel 1878. La sequenza delle immagini corrisponde a un venticinquesimo di secondo.

Tali studi, motivo di polemiche e lunghe diatribe scientifiche fra il suo maestro e Charles Darwin, ne avevano indirizzato la carriera. Anzi, poiché i suoi esperimenti avevano dato ragione a Darwin e non a Sachs, le prospettive di continuare le proprie ricerche in Germania sì erano molto affievolite. Anche a quei tempi, infatti, contraddire il proprio potente professore non agevolava certo la carriera universitaria.

Cosi, spinto dalla necessità di riabilitare il proprio buon nome di ricercatore messo in dubbio dalle maldicenze di Sachs, Pfeffer, che aveva compreso le possibilità offerte dalla cinematografia, iniziò a pensare a come trasformare queste tecniche in uno strumento per lo studio del movimento delle piante.

Per secoli, biologi e botanici avevano eluso di proposito la necessità di concettualizzare tale forma di comportamento vegetale, tentando con ogni mezzo di salvaguardare la validità delle onorate categorie di animali e piante, e definendo anomalie o variazioni aberranti le piante che mostravano movimenti rapidi. Erano arrivati pensino a chiamarle *zoospore*, proprio per sottolinearne la loro vicinanza al mondo animale. Non a caso, la sorpresa e il divertimento che colpiscono, ancora oggi, chiunque si trovi di fronte per la prima volta ai movimenti rapidi di una pianta come la Mimosa pudica testimoniano la profonda convinzione che l'immobilità sia la caratteristica fondamentale che contraddistingue la pianta dall'animale.

Il tentativo di Pfeffer di rendere evidenti a tutti le capacità motorie delle piante fu il primo nella storia della scienza ad avere successo. Pochi mesi dopo la prima proiezione dei fratelli Lumière, Pfeffer, infatti, era in grado di presentare a una stupefatta platea di botanici le sensazionali applicazioni di questa nuova tecnica. Per la prima volta nella storia si potevano vedere le piante in azione, studiarne le mosse e, quindi, i comportamenti. Davanti ai volti attoniti dei colleghi, il botanico tedesco mostrò in sequenza la fioritura di un tulipano, i movimenti diurni e la *nictinastia* - o sonno delle piante - della Mimosa pudica (ancora lei), il movimento continuo del *Desmodium gyrans* (pianta telegrafo) e, infine, la perla della collezione, la cosa più difficile da mostrare: la crescita e il movimento esplorativo, così simile a quello sotterraneo di una formica o di un lombrico, della radice nel suolo.



Il *Desmodium gyrans* (o *Codariocalyx motorius)* è una leguminosa molto diffusa nelle aree tropicali dell'Asia. La speciale caratteristica della pianta telegrafo è di muovere le proprie foglioline laterali a una velocità abbastanza alta da essere percepita a occhio nudo. La finizione di questo movimento è ancora sconosciuta.

Grazie a Pfeffer il sogno di generazioni di scienziati - già nel IV secolo a.C. Androstene, un ufficiale di Alessandro Magno, annotava che le foglie possono muoversi fra giorno e notte - finalmente diventava realtà. Con l'invenzione del time lapse, Pfeffer regalava ai botanici uno strumento per rendere visibile ciò che fino a quel momento non lo era stato. Così come il telescopio di Hans Lippershey (no, non fu Galileo a inventarlo) aveva reso accessibile allo studio l'infinitamente lontano dell'universo, e il microscopio di Zacharias Janssen aveva reso disponibile all'osservazione l'infinitamente piccolo, con questa nuova tecnica cinematografica Wilhelm Pfeffer rendeva possibile studiare l'infinitamente lento.

L'accesso a questa nuova dimensione del reale non rimase senza conseguenze. Le piante - ovvero la quasi totalità della vita sulla Terra -, che fino ad allora erano state percepite più come oggetti che come esseri viventi, iniziarono a dischiudere i propri misteri e a rivelare le sconcertanti varietà dei loro movimenti. Fu una vera e propria rivoluzione, che interessò la percezione comune delle persone; chi fino a quel momento aveva guardato a un cespuglio di rose o a un albero di tiglio come a qualcosa di esteticamente piacevole, ma pressoché inanimato, iniziò a mostrare per le piante un interesse e un rispetto nuovi. Non è un caso se, tra la fine dell'Ottocento e la Prima

guerra mondiale, fiori una moltitudine di studi sui tropismi (movimenti dipendenti dalla direzione di uno stimolo), sulle nastie (movimenti indipendenti da stimoli esterni), sui movimenti e i comportamenti delle piante e, infine, sulle loro capacità cognitive; studi che culminarono con la relazione di apertura letta il 2 settembre 1908 da Sir Francis Darwin al congresso annuale della British association for the advancement of science, durante la quale il primo docente di fisiologia delle piante e figlio del grande botanico Charles dichiarò senza mezzi termini che le piante erano organismi dotati di intelligenza, in maniera non dissimile dagli animali.

È grazie all'ingegno di Pfeffer se oggi possiamo dottamente disquisire dei vari tipi di movimento delle piante, distinguerli fra attivi e passivi e comprendere i meccanismi attraverso i quali si verificano, pur in assenza di muscoli. Un argomento di cruciale importanza, che potrebbe avere conseguenze significative per il futuro delle nostre tecnologie, soprattutto per quanto riguarda la produzione di nuovi materiali.

Pigne e reste di avena

Le piante possiedono movimenti attivi, che richiedono il consumo di energia interna, e passivi, che al contrario non ne hanno bisogno e utilizzano l'energia presente nell'ambiente. Ad esempio, numerosissimi organismi vegetali sfruttano la differenza di umidità fra giorno e notte per eseguire azioni anche assai complicate. In generale un importante aspetto comune a tutti i movimenti vegetali è che, come già detto, essi non si basano sul funzionamento di complicate strutture proteiche come i muscoli, ma sono perlopiù idraulici, basandosi essenzialmente sul semplice trasporto di acqua, sia sotto forma di liquido sia di vapore, in entrata e in uscita dai tessuti.

Nei cosiddetti *movimenti attivi*, la creazione del moto è la diretta conseguenza di cambiamenti nel turgore delle cellule, a sua volta causato dal flusso osmotico di acqua attraverso le membrane cellulari In pratica l'acqua, entrando nella cellula guidata da una diversa concentrazione di soluto, provoca un aumento di pressione che spinge la membrana contro la parete cellulare e induce così rigidità all'organo, e quindi il movimento. Controllando attivamente la concentrazione di soluto cellulare, le piante possono generare movimenti quali l'apertura degli stomi e la fioritura, la mimosa può chiudere le foglioline e la dionea far scattare la sua trappola.



L'immagine di un singolo stoma di pomodoro al microscopio elettronico. Attraverso gli stomi entra nella pianta la CO_2 necessaria alla fotosintesi.



La *Dionaea muscipula* (Dionea è uno dei tanti appellativi di Afrodite) è una pianta carnivora originaria delle zone paludose della Carolina (Stati Uniti).

I cosiddetti *movimentipassivi*sono invece dovuti a variazioni igroscopiche di alcuni costituenti della parete cellulare. Quest'ultima è un elemento tipico della cellula vegetale; direi, anzi, che insieme al *cloroplasto* (l'organulo cellulare responsabile del processo fotosintetico) ne è il marchio di fabbrica. Non esiste niente di simile a questa robusta struttura nelle cellule animati. La parete cellulare costituisce lo scheletro della pianta, è il componente strutturale che conferisce rigidità e capacità di mantenimento della forma, ed è costituita da fibre di cellulosa immerse in una matrice soffice di

polisaccaridi strutturati, emicellulosa, proteine solubili e altre sostanze. È proprio questa matrice morbida che, espandendosi in maniera reversibile quando si combina con le molecole d'acqua, è responsabile dell'apertura delle pigne, dell'esplosivo schiudersi dei baccelli del glicine e del movimento sul terreno dei semi di *Erodium cicutarium* o dell'avena selvatica.

Se vi è rimasto qualche dubbio o curiosità in merito, meglio esaminare in dettaglio come funzionano questi movimenti passivi, attraverso alcuni casi concreti e molto conosciuti.

La pigna- ossia l'organo che contiene le strutture riproduttive delle conifere, e il cui nome scientifico è in realtà *strobilo* - riesce ad esempio in un'impresa tutt'altro che semplice per dei tessuti morti: apre le squame legnose in un ambiente secco e le richiude quando invece l'umidità dell'aria è alta. Avete mai osservato una pigna in un giorno di pioggia? Se sì, vi sarete accorti che è ben serrata, per impedire la fuoriuscita dei semi, mentre in un giorno soleggiato le squame si aprono completamente permettendone il rilascio. A quanto pare, tale strategia trova giustificazione nel fatto che nei giorni umidi o piovosi il seme ricadrebbe così vicino alla pianta madre da impedirne un'efficace dispersione nell'ambiente.



La pigna (o *strobilo)* è una struttura formata da *brattee* legnose nelle quali alloggiano i semi delle Gimnosperme. Nel pino le brattee sono disposte in spirali secondo la serie di Fibonacci.

Come funziona, però, questo movimento in apparenza semplice e in realtà

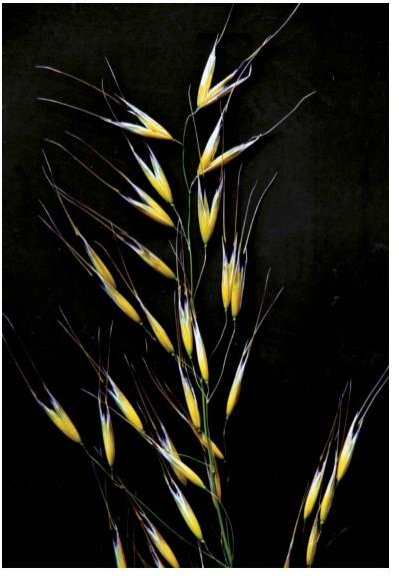
incredibilmente complesso (specie se pensiamo che a eseguirlo sono tessuti morti che non utilizzano alcuna energia interna)? L'artificio sta nella natura delle squame. Ognuna di esse è costituita da due diversi tessuti, indistinguibili a occhio nudo; è solo attraverso un'accurata osservazione microscopica, quindi, che esibiscono tutta la loro differenza. La superficie interna della squama è composta da *fibre sclerenchimatìche* raggruppate insieme a formare come dei microscopici cavi, mentre la superficie esterna è composta da *sclereìdi,* più grosse e corte. I due componenti hanno una differente affinità per l'acqua, e si dice dunque che sono diversamente igroscopici. Come hanno scoperto nel 1997 Colin Dawson, Julian F.V. Vincent e Anne-Marie Rocca, a 23 "C un cambiamento in umidità dell'I per cento determina un'espansione maggiore del 33 per cento nelle sclereidi rispetto alle fibre sclerenchimatiche. Ecco dunque svelato l'arcano: quando l'acqua è assorbita o persa da queste fibre, i tessuti si espandono o restringono in maniera non uniforme, permettendo una macroscopica chiusura o apertura della pigna.

Il fenomeno si può replicare facilmente in laboratorio (anche in casa, a dir la verità: basta immergere la pigna aperta nell'acqua per vederne gli effetti) e ha prodotto una lunga serie di studi, molti dei quali mossi dall'aspirazione a creare materiali artificiali che permettessero le stesse performance. Immaginate quante possibili applicazioni si potrebbero trovare per un materiale in grado di muoversi sfruttando soltanto i gradienti di umidità dell'ambiente? Ecco dunque che, nel 2013, il dottor Mingming Ma e alcuni collaboratori del Mit hanno sviluppato un film polimerico in grado di scambiare acqua con l'ambiente e di espandersi e contrarsi rapidamente, generando movimento: può sviluppare una pressione di 27 megapascal e sollevare oggetti 380 volte più pesanti di se stesso. Inoltre, associando questo attuatore a un elemento piezoelettrico, gli scienziati sono in grado di produrre energia elettrica con una tensione di picco di circa 1 volt, grazie alla quale si potrebbero alimentare dispositivi di micro e nanoelettronica. Il tutto sfruttando solo dei gradienti di umidità.

Le possibilità di utilizzo sono moltissime, e includono l'alimentazione di un numero enorme di dispositivi. Noi, ad esempio, stiamo cercando di sfruttare un sistema analogo per rendere autonomi dal punto di vista energetico dei sensori che monitorano l'attività elettrica degli alberi. Ma non è certo l'unica strada percorribile. Sistemi di questo tipo (che, vi ricordo, sono di dimensioni pressoché microscopkhe), distribuiti nelle fibre dei nostri vestiti, nelle tappezzerie o in altri tessuti, li renderebbero energeticamente autonomi e in grado di far funzionare qualunque tipo di sensore o dispositivo non troppo energivoro. Potremmo immaginare stoffe che, a contatto con il nostro corpo, siano in grado di rilevarne i dati clinici più importanti; o tessuti capaci di misurare i parametri ambientali, il livello di stress o qualunque altra

cosa ci passasse per la testa. Fra non molto tutto ciò sarà realtà, e una parte decisiva delle tecnologie e dei materiati che permetteranno questi avanzamenti sarà stata ispirata dal funzionamento delle piante.

Le potenzialità dei movimenti passivi delle piante non si fermano certo qui. Solo per citare un altro caso, anche le *reste* (i filamenti sottili e lunghi tipici delle spighe di numerose graminacee) rispondono ai cambiamenti di umidità. In alcune specie di avena - quali ^'*Avena sterilis*, *l'Avena fatua* o *l'Avena barbata*, comunissime nelle nostre campagne o nelle aree incolte lungo le strade - questi filamenti hanno la proprietà di torcersi in relazione alla quantità di umidità atmosferica. E per lungo tempo tale capacità è stata utilizzata per la costruzione d'igrometri abbastanza precisi. Provate a farvene uno personale: vedrete come la sola presenza di umidità nell'aria sia in grado di indurre un notevole movimento. Come realizzarlo? Eccovi qualche suggerimento pratico. Prendete la parte centrale della resta, visibilmente avvolta a spirale, e fissatene una delle estremità al centro di un disco che riporti la divisione in gradi; poi, all'altra estremità, attaccate una setola o un qualunque altro elemento rigido e leggero che funzioni da indicatore. Coprite ora il tutto con un vetro, ed ecco pronto un formidabile igrometro naturale, la cui unica pecca sarà nella manutenzione: la durata della resta, infatti, è limitata nel tempo, e andrà quindi sostituita di tanto in tanto.



Il genere *Avena* comprende molte specie originarie dell'Europa, dell'Africa e dell'Asia. Fra queste, alcune sono state coltivate per migliaia di anni come fonte di cibo sia umano sia animale.

Un seme molto attivo: l'Erodium cicutarium

Fra tutti i movimenti passivi che possiamo trovare nel mondo delle piante - e ne esistono di veramente bizzarri - nessuno, secondo me, supera per interesse e curiosità quelli messi in atto dai semi di Erodium cicutarium, i quali esplodono staccandosi dalla pianta madre, possono farsi trasportare dalla pelliccia di qualche animale di passaggio, cadono sul terreno, si muovono fino a trovare una frattura nel suolo e, infine, ci si infilano. Una sequenza davvero degna di nota, difficile da realizzare anche per organi dotati di energia interna e impossibile da immaginare in tessuti morti.

L'Erodium cicutarium è una graziosa piantina della stessa famiglia del geranio (Geraniaceae) dei nostri balconi, che cresce spontanea in numerose regioni del mondo. Il suo nome è legato alla forma del frutto, che ricorda il becco di un airone *(erodiòs,* in greco antico), e alla somiglianzà delle foglie con quelle della cicuta. In effetti, anche altri generi della famiglia hanno nomi che ricordano il becco dei trampolieri; lo slesso termine *geranìum* deriva dal greco *géranos* (gru), mentre *Petargonium* (appunto il nome di un genere della famiglia) viene dal greco *petargòs,* che significa cicogna.



L*'Erodium cicutarium* (famiglia Geraniaceae) è una pianta erbacea a ciclo annuale o biennale originaria del bacino del Mediterraneo.

Tornando però al nostro Erodium, si tratta di una pianta erbacea annuale, abbastanza diffusa, con fiori viola a cinque petali. E la sua caratteristica più straordinaria risiede, senza alcun dubbio, nei semi. Ciascuno di essi è infatti formato dal seme vero e proprio *^achenio),* irsuto e appuntito come la punta di un arpione, e da una resta ritorta a spirale, anch'essa ricoperta di peli; ognuno di questi elementi, lo vedremo, ha una speciale funzione nella sorprendente serie di movimenti che è in

grado di realizzare.

Il mio interesse per l'Erodium iniziò qualche tempo fa, quando una delle ricercatrici del mio laboratorio, Camilla Pandolfi, andò a lavorare per un paio d'anni presso uno speciale ufficio dell'Agenzia spaziale europea (Esa). Questo ufficio, dall'affascinante e promettente nome di Ariadna-Advanced concepts team, doveva fare da tramite fra l'Esa e la comunità accademica europea interessata a ricerche avanzate nella tecnologia spaziale. In effetti, l'Advanced concepts team ci aveva molto colpito; cosi, quando Camilla venne a chiedermi cosa pensassi del suo possibile trasferimento presso questo centro, non ebbi alcuna esitazione: doveva andare. Subito. Due anni in un centro di ricerca dal nome tanto promettente sarebbero stati una magnifica esperienza. D'altronde il nostro laboratorio si era occupato per anni del comportamento delle piante in assenza di gravita, e tuttora continua a collaborare attivamente con numerose agenzie spaziali. Camilla si sarebbe sentita a casa.

Una volta che si fu trasferita presso il principale centro di ricerca e sviluppo dell'Esa a Noordwijk, in Olanda, a qualche decina di chilometri da Amsterdam, il compito di Camilla risultò ancora più interessante di quanto avesse immaginato: avrebbe dovuto studiare esempi di materiali, funzioni o strategie proprie del mondo vegetale, e con queste ricerche fornire nuove prospettive per il progresso delle tecnologie spaziali. Un compito affascinante, ma anche a prima vista irrealizzabile; cosa avevano, infatti, da insegnare le piante in tema di esplorazione spaziale? Di primo acchito, nulla. Tuttavia le piante sono prodighe di soluzioni. In breve Camilla identificò una serie di argomenti il cui esame avrebbe potuto portare a interessanti innovazioni. Fra questi, due erano anche per noi di grande rilievo: lo studio dei viticci come modello di organi artificiali prensili e le ricerche sul seme di Erodium come spunto per la costruzione di sonde in grado di penetrare nel suolo extraterrestre ed esplorarlo usando poca o nessuna energia.

Di certo ricorderete i vari Pathfinder, Spirit, Opportunity e Curiosity, gli ultimi di una lista di robot inviati in esplorazione su Marte; o il più recente *Zander PhWae*, atterrato il 12 novembre 2014 sulla superficie della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Per ognuno di essi, la perforazione del suolo e l'analisi dei campioni prelevati a una certa profondità erano tra i principali obiettivi della missione. Infatti il ritrovamento di acqua, magari in forma congelata sotto lo strato superficiale del terreno, lo studio della composizione chimica del suolo o, addirittura, la possibile presenza di vita microscopica fanno sì che la perforazione dei corpi celesti durante la loro esplorazione sia una delle priorità per tutte le agenzie spaziali mondiali. Ora, qualunque dispositivo voi vogliate mandare nello spazio, questo deve rispondere a migliaia di specifiche sulla sicurezza, ma soprattutto a due requisiti fondamentali:

pesare il meno possibile e consumare una minima quantità di energia. Peso ed energia sono due insuperabili vincoli in ogni tipo di tecnologia spaziale. Ed ecco perché, con la sua struttura leggera e la capacità di muoversi e di penetrare nel terreno senza consumare energia, l'Erodium rappresentava un significativo campo di ricerca per l'Esa. Pensate per un momento se si riuscissero a riprodurre le soluzioni che permettono a questo semino di muoversi...



In primavera i semi di *Erodium cicutarium* fuoriescono in maniera esplosiva grazie alle tensioni indotte dalla modifica della forma del frutto durante la sua maturazione.

Come tutte le piante, l'erodio ha la necessità di disperdere i propri semi su una superficie più ampia possibile. Per intenderci, la pianta madre non ha alcun interesse ad avere intorno a sé tutti i suoi figli; al contrario, mette in atto ogni strategia perché questi si allontanino da lei. Sono motti i buoni motivi che rendono questa scelta evoluzionisticamente rilevante, non ultimo impedire la crescita nelle vicinanze di rivali con i quali entrare in competizione.

Cosi, le piante hanno inventato centinaia di soluzioni diverse per diffondere i propri semi nell'ambiente, assicurandogli allo stesso tempo le migliori possibilità di sopravvivenza. Nel caso dell'erodio, tutto inizia con un movimento esplosivo: i semi sono raggruppati in maniera tale da accumulare energia meccanica come se si trattasse di una molla. Quest'energia continua ad aumentare fin quando una qualunque rottura dell'equilibrio, come il lieve contatto di un insetto, il passaggio di un animale o anche un semplice soffio di vento, provoca la liberazione immediata ed esplosiva dei semi. Essi sono letteralmente catapultati anche a metri di distanza; quindi, con i loro appigli, si legano al pelo degli animali e possono essere condotti a chilometri dalla pianta madre.

Una volta a terra inizia una nuova avventura. La lunga resta dei semi (che assomigliano molto a degli spermatozoi) comincia ad arrotolarsi, in funzione dell'umidità dell'aria. Le setole presenti aiutano lo spostamento e, appena il seme trova una minima fessura nel suolo, agevolano il suo esatto posizionamento a testa in giù. A questo punto, con la sommità ad arpione introdotta nella fessura, i cicli dovuti alla variazione di umidità fra giorno e notte forniscono la necessaria forza propulsiva per la penetrazione nel terreno. Ogni arrotolamento delle spire di cui è composta la resta sospinge il seme più in profondità; inoltre, la forma della punta fa sì che il movimento di penetrazione si mantenga costante, sia che la resta si avvolga o che si svolga. Nel giro di pochi giorni - ossia di pochi cicli giorno/notte - il seme raggiunge la sua posizione definitiva, a molti centimetri di profondità, pronto a germinare e a svilupparsi in una nuova piantina.

Ora che conoscete le straordinarie potenzialità del seme di erodio, capirete perché le ricerche condotte con CamiUa e i suoi colleghi dell'Advanced concepts team ci impegnarono per quasi un anno, durante il quale ogni possibile aspetto delle forze e delle strategie messe in atto da questa meravigliosa pianta fu indagato nel dettaglio. Per studiarne il potenziale nella costruzione di sonde auto-interrantisi, da utilizzare in future missioni di esplorazione planetaria senza equipaggio, si valutarono le capacità del seme di approfondirsi in diversi suoli, con proprietà meccaniche simili a quelle che si ritrovano sulla Luna, su Marte o sugli asteroidi.

Per esaminarne i numerosi movimenti, fu necessario utilizzare tecniche di ripresa video molto diverse. Nell'erodio, infatti, coesistono movimenti lenti, per i quali bisogna ricorrere alle tecniche inventate da Pfeffer e presentate all'inizio del capitolo, e movimenti superveloci, per il cui studio dettagliato è fondamentale poter disporre di video che li rallentino. L'analisi dei movimenti più lenti, quali l'approfondimento nel suolo, richiese quindi tecniche di time lapse adatte a visualizzare i cicli di avvitamento a seguito delle variazioni di umidità fra giorno e notte; mentre per lo studio della fase di espulsione esplosh/a dei semi, o per quelle di atterraggio degli stessi sul suolo, ci servimmo di apparecchiature video ad alta velocità.

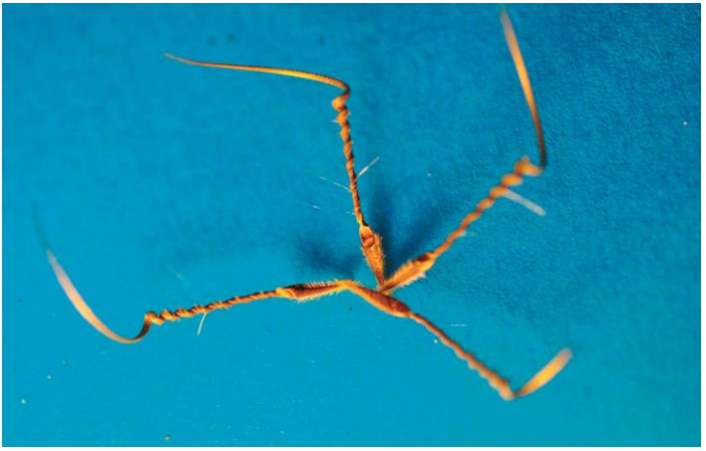
Non fu affatto un compito banale. Nel nostro laboratorio eravamo esperti di tecniche di time lapse, ma non avevamo alcuna idea di come lavorare per filmare i movimenti veloci riguardanti l'esplosione dei semi e il loro volo. Tali riprese richiedevano apparecchiature e competenze molto diverse, e ci mettemmo un po' a capire come fare. Soprattutto, non trovavamo una soluzione *pratico* per filmare il momento dell'esplosione; mentre di soluzioni *non pratiche*-fra quelle naif che avevamo elaborato da noi e quelle ancora più pittoresche che chiunque in visita al laboratorio si sentiva in dovere di consigliarci- ne avevamo fin troppe. Il problema era

che non bastava registrare una o due esplosionì di semi: dovevamo essere in grado di filmarne letteralmente migliaia, in condizioni diverse di umidità e temperatura, e su suoli diversi che mimavano i possibili terreni extraterrestri. Avevamo bisogno di un sistema per far scattare i semi *a comando,* nel momento in cui tutte le condizioni sperimentali fossero state pronte per l'esperimento.

Passammo oltre un mese senza trovare alcuna soluzione più efficace che far partire la registrazione e aspettare che la pianta si decidesse a esplodere. Registrando a mille fotogrammi al secondo e in risoluzione HD, la quantità di dati che accumulavamo anche solo per pochi minuti di filmato era iperbolica (molti gigabyte per secondo). Non avevamo nulta di così capiente da poter contenere ore di registrazione! Insomma, eravamo nei guai. In un mese avevamo immortalato soltanto un paio di esplosioni, e le idee su come procedere difettavano. Fin quando, un giorno fausto, la soluzione non apparve casualmente (o meglio, fortunatamente) nei panni di un ragazzino delle scuole medie in visita al nostro laboratorio. Prima di entrare al Linv, a tutti i visitatori - siano essi giovani studenti o attempati signori - è fatta per legge una breve lezioncina di comportamento, in cui si chiede in modo esplicito di non toccare nulla. Il divieto assoluto serve sia per non danneggiare gli strumenti delicati o gli esperimenti in corso, sia per evitare che i visitatori si facciano del male. Per fortuna, quella volta uno degli studenti pensò bene di disubbidire.

Arrivato nei pressi dell'apparecchiatura che utilizzavamo per gli esperimenti con l'Erodium, mentre uno dei miei collaboratori spiegava in cosa consista la particolarità di quella pianta, un ragazzino esclamò: Ah, figo l'erodio!. Quindi tirò fuori da una tasca un bastoncino di legno sottile, e con quello toccò i semi ancora sulla pianta in un punto particolare, alla loro intersezione, provocandone l'immediata espulsione. Mentre la professoressa che li accompagnava si scusava per lo scolaro indisciplinato, promettendo punizioni esemplari, io ero conquistato dal risultato di quel semplice gesto. Il giovane studente, originario di una zona non lontana da Firenze ricca di erodi spontanei, aveva imparato, giocandoci nei prati, come far scattare l'esplosione. Basta un tocco leggerissimo, lì dove i semi sono in contatto l'uno con l'altro, perché la forza elastica che li tiene legati si sprigioni. Finalmente avevamo un sistema pratico per indurre l'espulsione, e potevamo dunque proseguire con i nostri studi. Nei mesi successivi praticammo migliaia di queste esplosioni controllate. Dio protegga sempre i ragazzini indisciplinati!

Grazie ai risultati ottenuti alla fine dello studio, oggi sappiamo che ciascun singolo dettaglio nel seme di Erodium ha una sua funzione precisa. Le capacità di forare il terreno e interrarsi sono infatti legate:



Le lunghe reste del *lXErodium cicutarium* svolgono una doppia funzione: propellente nell'espulsione primaverile e di spinta nell'auto seppellimento del seme.

a. alla geometria del seme;
b. alla struttura delle reste e al loro movimento in relazione all'umidità;
c. a una zona inattiva delle reste;
d. alle barbe presenti sul carpello e sulle reste.

I dati raccolti furono utilizzati per costruire un modello del movimento dell'Erodium, che consegnammo all'Esa insieme con un voluminoso documento (se siete curiosi lo trovate in rete) che descriveva minuziosamente le caratteristiche di questa affascinante pianta. E magari, un giorno, qualcuno deciderà di costruire davvero una sonda per l'esplorazione spaziale ispirandosi all'erodio. Ne sarei felice. Intanto, noi il nostro dovere l'abbiamo fatto.

Riferimenti bibliografici

F. Darwin, The address of the president of the british association for the advancement of science, Science - New series, 716 (28), 1908, pp. 353-362.

C. Dawson, A.-M. Rocca, J.F.V. Vincent, How pine cortes operi, Nature, 390,1997, p. 668.

M. Ma et al., Bio-inspired polymer composite actuator and generator driven by water gradients, Science, 339 (6116), 2013, pp. 186-189.

S. Mancuso et al, Subsurface investigation and interaction by self-burying bio-inspired probes. Self-burial strategy ana performance in Erodium cicutarium - See Driller. Binai report, Esa act, 2014, consultabile al sito www.esa.int/gsp/ACT/doc/ARI/ARI Study Report/ACT-RPT-BIO-ARI-12-6401-selfburying.pdf.

C. Robertson McClung, Plani circadian rhythms, The plant celi, 18 (4), 2006, pp. 792-803.

V Capsicofagi e altri schiavi delle piante



Il Phelsuma ornata è un piccolo geco diurno endemico di Mauritius e svolge il ruolo di impollinatore per molte specie vegetali dell'isola.

QUANDO PRENDI LA DROGA, LO SPACCIATORE È COME L'AMATA PER L'INNAMORATO.

(William Burroughs, *La scimmia sulla schiena*)

PER INCISO, L'IDEA A LUNGO DIFFUSA CHE LE SPEZIE VENISSERO USATE PER MASCHERARE IL CIBO MARCIO NON REGGE A UN ESAME ATTENTO. GLI UNICI CHE POTEVANO PERMETTERSI GRAN PARTE DELLE SPEZIE NON AVREBBERO AVUTO CARNE MARCIA IN CASA, E IN OGNI CASO LE SPEZIE ERANO TROPPO PREZIOSE PER ESSERE USATE IN QUEL MODO.

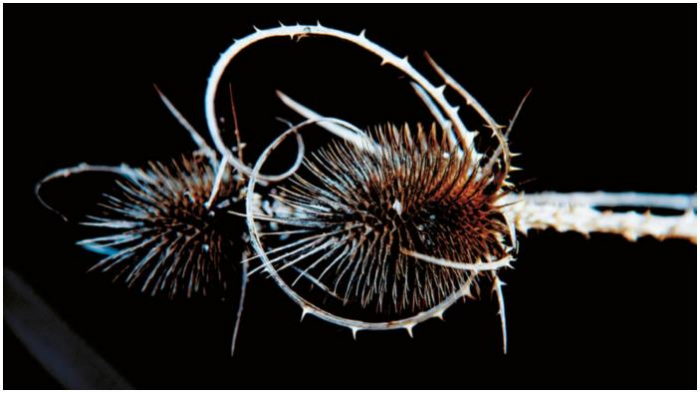
(Bill Bry son, *Breve storia della vita privata)*

L'arte della manipolazione

Per l'ovvia impossibilità di spostarsi dal luogo in cui sono nate, le piante si trovano spesso a dover collaborare con gli animali, soprattutto in particolari momenti della loro vita. Della capacità di muoversi di questi ultimi le piante si servono per disperdere il seme, per garantirsi un'efficiente impollinazione o a scopi di difesa. Innumerevoli sono gli esempi di simili cooperazioni che si sono dimostrate vantaggiose per ambedue gli

attori. Di solito prevedono un premio per i servigi resi dall'animale: è il caso dell'impollinatore ricompensato con del gustoso ed energetico nettare, dell'uccello che in cambio di un frutto appetitoso ne diffonde i semi, o anche dell'uomo - il miglior vettore che si possa sognare su questo pianeta - che in cambio di cibo, bellezza, o altri vantaggi diffonde per ogni dove le piante di cui necessita.

Le cose, però, non sempre sono così chiare. In molti frangenti la condotta delle piante è più losca e opportunistica, e i servigi forniti dagli animali sono utilizzati senza che in cambio sia offerta alcuna ricompensa. I semi della bardana - la pianta che ha ispirato l'invenzione del velcro - e di centinaia di altre specie cosiddette *autostoppistesx* aggrappano al pelo degli animali senza offrire nulla in cambio del passaggio. In molti casi, e mi riferisco alle straordinarie capacità mimetiche delle piante, queste ultime ingannano gli animali costringendoli a comportamenti che in qualche maniera le agevolano o favoriscono. Fin qui, nulla di veramente nuovo: inganno, truffa e disinformazione sono pratiche comuni a tutti gli esseri viventi, piante incluse. L'intera faccenda diventa più interessante quando si iniziano a intravedere le reali capacità di manipolazione - e uso questo termine a proposito - che le piante sono in grado di esercitare nei confronti degli animati.



Il cardo dei lanaioli *(Dipsacus fullonum)* è stato a lungo lo strumento principale con cui cardare la lana grazie alla struttura che si è evoluta per aggrapparsi al pelo degli animali.

Spacciatori e consumatori di nettare extrafiorale

Alla metà del XIX secolo Federico Delpino (1833-1905), un importante botanico italiano oggi ingiustamente dimenticato, e il sommo Charles Darwin intrattennero una fitta corrispondenza su un problema, quello dei nettar! extrafiorali, che interessava entrambi e li vedeva sostenitori di idee diametralmente opposte. Molte specie sono in grado di secernere nettare non soltanto nei fiori - luogo normalmente preposto a questa produzione - ma anche sui rami, sui germogli o all'ascella delle foglie. Tuttavia,

mentre la funzione del nettare nei fiori è evidente, grazie al suo ruolo di richiamo e ricompensa per gli impollinatori, quella del nettare extrafiorale è a lungo rimasta avvolta dal mistero. Per Darwin, i liquidi emessi al di fuori dei fiori erano da intendersi come sostanze di scarto che la pianta aveva necessità di eliminare. I nettari extrafiorali, in altre parole, dovevano essere visti come organi escretori utilizzati per espellere delle sostanze in qualche modo superflue. Darwin addirittura riteneva che, per evoluzione successiva, proprio da questi organi escretori si fossero originati i nettari fiorali.



II *Nesocodon mauritianus* è una rara specie endemica dell'isola di Mauritius. Diventò famosa alla fine degli anni Ottanta del secolo XX, quando si scoprì che produceva nettare rosso per attrarre i gechi che la impollinavano.

Tale teoria non convinceva affatto Delpino: che le piante sprecassero delle sostanze così zuccherine, e quindi energeticamente costose, gli sembrava improbabile. Un prodotto contenente una così alta quantità di zuccheri non poteva essere definito come superfluo. Per Delpino, se la pianta si privava di risorse così preziose voleva dire che in cambio ne otteneva dei vantaggi di qualche natura. La sua idea era che tali sostanze avessero la stessa funzione dei nettari fiorali: attirare gli insetti. Rimaneva il mistero del perché la pianta avrebbe dovuto richiamare insetti sul proprio corpo. Nei fiori la ragione era palese, ma quale funzione utile per la pianta avrebbero mai potuto svolgere degli insetti in giro fra i rami e le foglie? Il motivo, scoperto da Delpino dopo anni di studi, divenne noto con il poco attraente nome di *mirmecofilia* (dal greco *mùrmex*, formica, e *philos*, amico). Di che si tratta? Di piante - nel 1886 Delpino pubblicò una monografia con ben tremila specie mirmecofile - che utilizzano i nettari

extrafiorati per attirare le formiche, ottenendone in cambio una difesa attiva da altri insetti o da predatori in genere. In sostanza, un'altra delle numerose collaborazioni alla pari che le piante instaurano con gli animali. In questo specifico caso, nettare zuccherino in cambio di difesa dai predatori.

La cooperazione tra piante e formiche può spingersi fino a livelli di raffinatezza difficili da immaginare. Un esempio è dato dall'associazione fra questi insetti e numerose specie arboree appartenenti al genere *Acacia*, native dell'Africa o dell'America latina. Alcune acacie, infatti, producono particolari corpi fruttiferi per l'alimentazione delle formiche e le forniscono di spazi, ricavati all'interno di strutture specifiche dell'albero, dove vivere e allevare le proprie larve. Ma non è finita: come in una di quelle televendite in cui l'operatore non smette mai di aggiungere prodotti per invogliare all'acquisto, così le acacie offrono, oltre a cibo e alloggio, anche bevande gratis, nella forma di graditissime produzioni di nettari extrafiorali. In cambio, le formiche si incaricano della difesa da qualunque aggressore animale o vegetale possa in qualche maniera danneggiare la pianta sulla quale sono ospitate. E lo fanno con grande efficacia. Non soltanto tengono lontano dall'albero ogni altro insetto abbia la malaugurata idea di avvicinarsi, ma attaccano con grande veemenza anche animali la cui taglia è miliardi di volte superiore alla loro. così non è infrequente vedere formiche mordere, fino a farli desistere, erbivori delle dimensioni di un elefante o una giraffa.



Le formiche trovano irresistibile il nettare extrafioraie prodotto sui rami, sui germogli o all'ascella delle foglie da molte specie di piante.

La difesa attiva messa in atto dalle formiche, però, non si limita ad allontanare gli animali, qualunque sia la loro dimensione; va ben oltre. Ogni piantina che si azzardi

a sbucare dal terreno in un raggio di qualche metro dalla pianta ospite è tritata senza pietà. Così non è raro, nel bel mezzo della foresta amazzonica, vedere delle piazzole perfettamente circolari prive di qualsiasi vegetazione svilupparsi intorno a un'acacia. Un fenomeno inspiegabile per le popolazioni locali, che chiamano tati aree giardini del diavolo. Insomma, questa fra piante e formiche sembrerebbe una splendida forma di collaborazione per entrambe le parti; a prima vista, un classico esempio di simbiosi mutualistica. Tuttavia le cose non stanno proprio in questi termini, e di recente numerosi studi stanno facendo emergere un quadro più inquietante. Sotto la facciata di un idillico rapporto di reciproco beneficio sembrerebbe nascondersi, al contrario, una turpe storia di manipolazione e inganno, che vedrebbe le acacie nell'impopolare veste di cattive.

Il nettare extrafiorale che la pianta produce, come abbiamo visto, è un liquido zuccherino molto energetico; tutti sanno che nulla attrae gli insetti più dello zucchero, quindi per anni si è creduto che questo fosse il segreto del richiamo esercitato da tali secrezioni. Tuttavia, il nettare non contiene solo zuccheri: in esso si trovano centinaia di altri composti chimici, fra i quali molti alcaloidi e amminoacidi non proteici come l'acido y-amminobutirrico (GABA), la taurina e la p-alanina, solo per citarne alcuni. Tali sostanze svolgono un'importante funzione di controllo sul sistema nervoso degli animali, regolandone l'eccitabilità neuronaie e, quindi, il comportamento. Il GABA, ad esempio, è il principale neurotrasmettitore inibitorio sia nei vertebrati sia negli invertebrati, come appunto le formiche; così, alterazioni nella sua concentrazione dovute al consumo di nettare extrafiorale possono modificare significativamente il loro comportamento. Inoltre gli alcaloidi contenuti nel nettare - come caffeina, nicotina e molti altri - non soltanto influenzano le capacità cognitive delle formiche (così come degli altri insetti impollinatori che consumano nettare), ma inducono dipendenza.

Ciò che si è scoperto di recente è che le piante di acacia, come molte altre specie mirmecofile, sono in grado di modulare la produzione di queste sostanze all'interno del nettare extrafiorale, così da modificare i comportamenti delle formiche. Non solo: come spacciatori provetti, queste acacie prima attraggono le formiche, le adescano con il nettare dolce e ricco di alcaloidi e, una volta rese dipendenti, ne controllano i comportamenti, ad esempio aumentandone l'aggressività o la mobilità sulla pianta. Il tutto modulando la quantità e qualità delle sostanze neuroattive presenti nel nettare. Non male per degli esseri che continuiamo a percepire come indifesi e passivi, ma che, proprio perché radicati al suolo, hanno fatto della loro capacità di manipolare gli animali attraverso la chimica una vera e propria arte.

Quella volta in cui incontrai i miei primi *capsicofagi*

Non pensate che noi uomini siamo immuni dalla sottile malia con cui le piante sono in grado di manipolare gli animali. Anzi... Prendiamo il caso dei peperoncini.

Sono nato in Calabria, terra di fieri mangiatori di peperoncino; lì tutti, o quasi, amano il piccante. Ma non tutti sono *capsicofagi*. Questi ultimi sono una razza a parte, fatta di persone che con il peperoncino hanno una relazione unica. I miei primi capsicofagi li conobbi durante l'infanzia, al tempo in cui ogni incontro con fatti, cose o persone originali si ammanta di magia e stupore. Uno dei ricordi più vividi di questa parte della mia vita riguarda un matrimonio, a cui la mia famiglia era stata invitata. Era agosto, un mese in cui, fosse per me, qualunque tipo di cerimonia pubblica o privata dovrebbe essere formalmente proibita. Mettersi in giacca e cravatta e accompagnare l'infinito svolgimento di un tradizionale matrimonio del Sud - ma avrei scoperto, negli anni seguenti, che le cose non vanno in modo molto diverso nel resto del mondo -, dall'attesa in chiesa fino alle sue conclusioni in danza, può richiedere oltre quattordici ore di sofferenza, a temperature di gran lunga superiori a quelle tollerabili da qualunque persona di buon senso. I matrimoni in agosto non sono cosa che un Paese responsabile dovrebbe tollerare.



Con il termine peperoncino si intende il frutto di molte specie del genere *Capsicum* (famiglia delle Solanaceae) originario del Messico.

In quel caso, dopo la cerimonia in chiesa ci recammo in riva al mare per il pranzo nuziale. Non ricordo con precisione se fossimo in un ristorante, una casa privata o altro; però ho ben in mente, questo sì, l'orrore di dover mangiare in alta uniforme. Ero un bambino, quindi per fortuna ancora svincolato dall'obbligo della giacca e della cravatta, ma comunque terribilmente a disagio in quei vestiti rigidi, non confortevoli e che non sapevo portare, realizzati in colori piatti e in tessuti studiati per comprimere ogni libera attività del corpo. Abiti che, essendo io in piena crescita, risultavano della misura giusta soltanto per poche settimane; cosi, costretto a indossarli in successive occasioni, diventavano in breve stretti in vita, sulle cosce e sulle spalle, e moltiplicavano con la loro aderenza l'orribile strazio di quelle afose e interminabili cerimonie.

Seduto al tavolo con altri bambini, attendevo con rassegnazione il solito supplizio

cui ero ormai ben allenato; i miei genitori sembravano conoscere l'intera popolazione calabrese, e per anni la partecipazione a matrimoni è stata la principale attività dei nostri fine settimana primaverili ed estivi. Sapevo come sopravvivere. Primo: ignorare il caldo, convivere con i rivoli di sudore e i tessuti appiccicati alla pelle senza dolersene, accettare la sgradevole condizione come un'immodificabile necessità della vita (avrei scoperto da adulto che stavo autonomamente avvicinandomi alla grande tradizione stoica). Secondo: mangiare il meno possibile, e solo ciò che piace davvero, senza preoccuparsi se le portate passano e nulla sembra rispondere alle aspettative. In ogni matrimonio degno di questo nome, prima o poi verrà servito qualunque tipo di alimento si possa ragionevolmente immaginare, o quasi.

Quindi aspettavo paziente, studiando con malcelato senso di superiorità f principianti che vedevo rimpinzarsi con aperitivi e antipasti e, quando ancora il vero pranzo di nozze non era neppure cominciato, erano già in affanno. Molto giudiziosamente mi mantenevo fresco per le portate finali, che preferivo. Quando gli altri convitati erano ormai allo stremo e i camerieri servivano i formaggi e gli innumerevoli dessert, allora iniziava il mio pranzo.

Per sopravvivere alla noia di quelle interminabili giornate serviva ben altro che mangiare in maniera giudiziosa. Per questo portavo sempre con me un kit contenente un libro di avventura e qualche fumetto; una misura strategica che ho continuato a seguire per anni. Durante quel particolare matrimonio, tuttavia, la mia attitudine verso simili cerimonie cambiò una volta per sempre. Fu allora, infatti, che ebbi modo di incontrare i miei primi capsicofagi, i veri mangiatori di peperoncino. Intendiamoci, che si usasse dappertutto mi era ben noto (mio padre, convertitosi in età adulta all'uso di questa spezia, ne metteva quantità importanti in qualunque cosa che non fosse il caffè). Era impossibile per un calabrese non aver gustato, più o meno abitualmente, la cucina piccante; ma i veri capsicofagi sono una cosa diversa.

Erano arrivati in cinque, tutti con abiti simili, quasi facessero parte di una confraternita: giacca, gilet e cravatta. I loro vestiti scuri mi sembrarono molto pesanti, come se fossero fatti di una specie di panno nero, ma ora mi chiedo se non sia la mia memoria a deformarne il ricordo. Di certo si avvicinarono allo stesso tavolo. I loro gesti erano stranamente sincroni; pareva eseguissero una coreografia provata e riprovata. Spostarono le sedie in contemporanea, si sedettero all'unisono e poi... ecco il miracolo! Muovendosi assieme agli altri, ognuno di loro tirò fuori da una tasca un grosso mazzo di peperoncini. Lunghi come cornetti, rossi e verdi. Bellissimi. Li posarono sul tavolo, con rispetto, accanto al proprio piatto, fra il bicchiere di vino rosso e la forchetta - a portata della mano sinistra, insomma - e si disposero ad attendere l'inizio del pranzo.



Semi di *Acacia auriculiformis* caratterizzati da un arillo giallo originatosi per iperplasia del funicolo ovulare. Questo attrae le formiche per il colore e per l'alto valore nutritivo.

Ero seduto al tavolo accanto, quindi potevo vederti bene: persone serie, con poca propensione al riso e un'espressione leggermente preoccupata. Sembravano aspettare qualcosa. Si scambiavano brevi commenti sulla festa e di tanto in tanto lasciavano che la mano poggiasse sul proprio mazzetto, quasi con tenerezza, palpando la consistenza dei singoli frutti e comparandolo con occhiate sfuggenti a quello degli altri commensali. Avevano mani rudi e scurite dal sole, ma capaci di gesti affettuosi nei confronti di quei piccoli amici piccanti. I

camerieri iniziarono a servire e finalmente potei osservare le movenze che a tutte le latitudini del mondo svelano La precisa gestualità del capsicofago. La mano destra porta il cibo alla bocca mentre la sinistra serra nel pugno un peperoncino. È così che si affronta qualunque pasto. Un boccone di cibo, un morso al peperoncino; boccone-morso, boccone-morso, senza saltare un turno, con qualunque pietanza, precisi come dei metronomi. É l'alternanza cibo- peperoncino, oltre all'impossibilità a mangiare qualunque cosa senza accompagnarla al piccante, a caratterizzare i veri capsicofagi.

Ricordo la scena alla perfezione: la ritmicità dell'azione, la cadenza mantenuta costante anche nello staccare dalla coroncina un nuovo cornetto quando il precedente era esaurito. Tutto funzionava come un meccanismo perfetto, oliato da anni di consuetudine. Una cosa mai vista prima, che nella mia fantasia di ragazzino legavo a qualche esotica abitudine contratta dai cinque in terre lontane. D'altronde, come detto, erano i primi capsicofagi nei quali mi imbattevo. Negli anni successivi ne avrei incontrati moltissimi, in Calabria come in ogni altra parte del mondo, dalla Cina all'Ungheria, dal Cile al Marocco e all'India, tutti accomunati dalla necessità di accompagnare ogni piatto con grandi morsi ai propri peperoncini. Indipendentemente

dal sistema usato - forchette, bacchette, mani... - a qualunque Latitudine il ritmo boccone-peperoncino è l'inconfondibile segno distintivo del capsicofago convinto.

Il fatto che nonostante il caldo atroce, i vestiti neri e pesanti e le enormi quantità di peperoncino consumate quei signori non sudassero mi impressionava più di ogni altra cosa. Com'era possibile? lo mi scioglievo sotto l'infuocato sole calabrese, mentre sulle loro fronti non si vedeva la minima stilla di sudore. Asciutti come a un picnic in Cornovaglia. La cosa mi incuriosì al punto che, dopo qualche tempo, superata la mia naturale timidezza di bambino, mi arrischiai a domandare a uno di loro se i peperoncini che mangiavano con tanto impegno fossero normali o di un tipo diverso, non piccante, e che magari servisse proprio per non sudare. Fu, come potete immaginare, una mossa incauta: mai chiedere a un capsicofago se i suoi peperoncini sono piccanti! Le sue papille, cauterizzate da anni di abusi, non avvertono mai sufficiente bruciore. Ecco quindi che l'interpellato, con grande gentilezza, mi propose di assaggiarne un pezzetto. Minuscolo. Così, giusto per farmi un'idea. Fu come mettere in bocca della lava. Una sensazione che tutti conosciamo. Sgradevolissima, nulla da aggiungere. Eppure un po' più di un terzo della popolazione del pianeta, circa due miliardi e mezzo di persone, ogni giorno ricerca regolarmente questo stesso tormento. Com'è possibile?

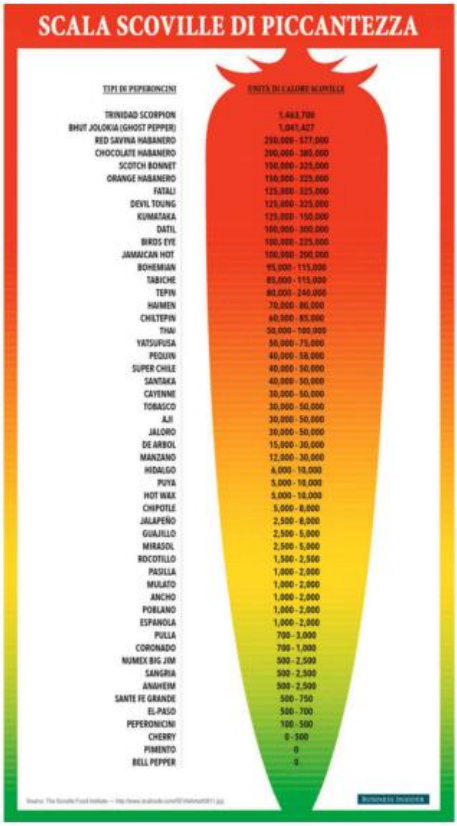
Per rispondere alla domanda, è forse utile spendere qualche parola sulla pianta che sta all'origine di tutto questo trambusto. Con il nome peperoncino si indica un certo numero di specie del genere *Capsicum*, lo stesso a cui appartiene il peperone, caratterizzate quasi tutte dal produrre cospicue quantità di capsaicina, la molecola responsabile della sensazione di bruciore (ne esistono ben poche varietà non piccanti). Le cinque specie più coltivate sono *Capsicum annuum, C. frutescens, C. pubescens, C. baccatum* e *C. chinense*. Si tratta di arbusti perenni che però, data la vita breve, vengono normalmente trattati come annuali. Originarie del continente americano, dove erano coltivate già ottomila anni or sono, queste piante avevano grande importanza dal punto di vista medico, oltre che culinario, per le civiltà native. Il peperoncino arriva in Europa grazie a Colombo, di ritorno dai suoi primi viaggi in America centrale, e come molte altre specie eduli native del Nuovo Mondo diventa subito una pianta di

Largo consumo, diffondendosi a livello globale. In meno di un secolo il peperoncino diventa parte della cultura gastronomica di Paesi come l'Italia, l'Ungheria (da dove arriva La paprika), l'India, la Cina, l'Africa occidentale, la Corea eccetera. Un'avanzata unica e incontrastabile, alla conquista dei più remoti luoghi della Terra.

Ed è proprio il principio piccante a rendere il peperoncino un alimento così ricercato. Per indicarne l'intensità, un chimico americano di nome Wilbur Scoville ha

inventato nel 1912 una scala di piccantezza, la scala Scoville appunto. IL metodo di misurazione alla sua base, detto test organolettico di Scoville, consiste nel diluire L'estratto di peperoncino in una soluzione di acqua e zucchero: un gruppo di assaggiatori continua a diluire la soluzione fin quando la giudica del tutto priva di piccantezza. Il numero di diluizioni, tanto più elevato quanto più piccante è il peperoncino, corrisponde al valore in Scoville heat units (o shu). Un peperone dolce ha zero shu, mentre la capsaicina pura ha un valore pari a sedici milioni di shu. I sedici milioni di unità della scala Scoville rappresentano il massimo assoluto di piccantezza per un peperoncino, un valore che ha lo stesso fascino delle grandi costanti fisiche, come la velocità della luce o lo zero assoluto di temperatura. Un limite invalicabile, che rappresenta il Santo Graal dei capsicofagi.

Ogni anno, facendo ricorso a qualsiasi tecnica - lecita e illecita - conosciuta per il miglioramento delle piante, si produce un numero enorme di nuove varietà o selezioni ad altissima piccantezza. L'obiettivo è di alzare sempre il limite, avvicinandosi quanto più possibile all'irraggiungibile perfezione dei sedici milioni di shu. I nomi di queste nuove varietà non lasciano nulla all'immaginazione: nel mondo delle novità vegetati, abituato a nomi apportatori di grazia, sincerità, amicizia e bellezza, gli appellativi attribuiti a tali mostri di piccantezza sono di una brutalità sconosciuta. Inferno, diavolo, nucleare, morte, fantasmi e pestilenze sono ovviamente fra i termini più utilizzati; ma anche tigri, scorpioni, vipere, cobra, draghi di Komodo, tarantole e simiti piacevoli animali sono ben rappresentati nell'immaginario dei selezionatori di peperoncini.



La scala di Scoville misura la piccantezza dei peperoncini. Si va dal valore zero del peperone dolce ai circa 1.500.000 gradi Scoville delle varietà più piccanti.

Ed Nel 2013 il Carolina reaper (la mietitrice della Carolina; si, proprio *quella* mietitrice, che di norma rappresentiamo come uno scheletro con una grande falce in mano, e che qui indica un mostro capace di produrre frutti contenenti oltre il 10 per cento di peso in capsaicina) ha superato l'astronomica cifra di due milioni di unità Scoville! E ha così scalzato lo scorpione di Trinidad e il naga viper dall'ambitissimo primato di Capsicum più piccante del pianeta. Ogni anno l'asticella si innalza, nuovi record mondiali di piccantezza sono raggiunti e milioni di persone nel mondo si dannano l'anima alla ricerca di questi campioni, per assaggiarli o propagarli. E più sono piccanti, più sono propagati. Perché quello che i capsicofagi cercano è la capsaicina e nient'altro. In dosi crescenti. Negli Stati Uniti è addirittura in vendita una salsa piccante (e piccante è un eufemismo) chiamata 16 million reserve: si tratta di capsaicina pura in cristalli, conservata in boccette prodotte in quantità limitata; il suo prezzo sul mercato può facilmente arrivare alle migliaia di dollari.



Il Carolina reaper è l'attuale recordman mondiale di piccantezza. Ogni anno si producono nel mondo oltre trentatré milioni di tonnellate di peperoncino, utilizzando una superficie di circa quattro milioni di ettari.

Ma cos'è, di preciso, la capsaicina? Si tratta di un alcaloide che, entrando in contatto con le terminazioni nervose, attiva un recettore noto come TRPV1. Quest'ultimo ha il compito di segnalare al nostro cervello livelli dì calore potenzialmente dannosi, e infatti si attiva di norma intorno ai 43 C. Il TRPV1, in pratica, è stato progettato per impedirci di fare cose pericolose quali prendere un ferro rovente a mani nude o introdurre in bocca del brodo in ebollizione. Azioni che potrebbero danneggiare il nostro corpo. Ecco perché la capsaicina provoca dolore, ed ecco perché è utilizzata dalle polizie di mezzo mondo come arma, negli spray al peperoncino. Per le stesse caratteristiche, però, è apprezzata nelle vesti di spezia. Eppure le persone sane di mente non s'infilano il succo di limone negli occhi, né sbattono gli stinchi contro i mobili perché trovano piacevole la sensazione di dolore che ne consegue.

Allora come mai un terzo della popolazione mondiale ama mettere sulla lingua - uno dei nostri organi più sensibili - grandi quantità di un alcaloide che provoca una terribile sensazione di bruciore? Negli anni sono state elaborate diverse teorie a riguardo. La più nota, citata ogni volta che si cerca di spiegare questo anomalo comportamento umano, è quella che lo psicologo Paul Rozin ha definito masochismo benigno, secondo la quale un certo tipo di persone è attratto dal bruciore e da altre sensazioni di pericolo. Per costoro mangiare peperoncino sarebbe una variante dell'andare sulle montagne russe: in entrambi i casi, sostiene infatti Rozin, nonostante il corpo percepisca l'azzardo di tale attività, a un livello superiore sa che non corre un reale pericolo, e quindi non c'è una vera necessità di interrompere lo stimolo negativo. Lo psicologo conclude che, dopo una serie di esposizioni allo stesso stimolo, il disagio iniziale diventa piacere.

Sebbene ne apprezzi la raffinatezza, tale teoria non mi ha mai convinto. In parte perché sono deliziato dal cibo piccante ma non mi attraggono per nulla le montagne russe, il bungee jumping e qualunque altra attività analoga; in parte perché mia moglie, cui il piccante piace moltissimo, si copre il viso per non vedere neppure una scena di un film horror e non sale neanche sull'altalena, figurarsi sulle montagne russe; in parte perché molti dei voraci capsicofagi che ho conosciuto sono fra le persone più miti e meno propense alla ricerca di sensazioni pericolose mai incontrate; e, infine, perché mi sembra improbabile che un terzo della popolazione mondiale risponda a queste caratteristiche che, a occhio e croce, non sembrano essere tanto diffuse. Comunque potrei sbagliarmi. A favore di Rozin va infatti detto che, nel 2013, un lavoro condotto su novantasette soggetti dai due studiosi di scienza dell'alimentazione John Hayes e Nadia Byrnes ha stabilito una correlazione significativa tra chi ricercava sensazioni e persone a cui piaceva il piccante.

La mia ipotesi, invece, è che così tanta gente nel mondo ama il piccante del peperoncino perché la capsaicina provoca un'azione diversa da quella indotta da altri alcaloidi vegetali che agiscono direttamente sul nostro cervello (come la caffeina, la nicotina, la morfina eccetera), ma identica nelle sue finalità ultime: indurre dipendenza. Per spiegare in dettaglio cosa intendo, ritorniamo alla sensazione di bruciore che dalla bocca arriva al nostro cervello. Quando il corpo percepisce il dolore sulla lingua da il via libera a una cascata di segnali che arrivano fino al cervello, il quale per alleviare la sofferenza produce endorfine. Queste ultime sono un gruppo di neurotrasmettitori dotati di proprietà analgesiche e fisiologiche simili a quelle della morfina, ma molto più potenti. Le endorfine sono il sistema con cui il nostro corpo allevia il dolore, e sono soprattutto la chiave per capire l'arcano potere che il peperoncino esercita sulle nostre vite.

La dipendenza da endorfina non è un concetto bizzarro, tutt'altro; è ad esempio il meccanismo alla base del ben noto *runner's high* (o sballo del corridore). Se siete dei patiti della corsa o avete amici che praticano sport di resistenza come la maratona, il nuoto di fondo e il ciclismo ne avrete forse sentito parlare: si tratta di un particolare stato di euforia che si manifesta dopo prestazioni sportive prolungate e faticose. Paragonabile allo sballo indotto da alcune droghe, può manifestarsi come un'intensa felicità o una forte sensazione di benessere. Per molti anni non vi è stata alcuna evidenza scientifica che il fenomeno fosse reale; si riteneva anzi che fosse una leggenda legata alla mitologia dei patiti della corsa, almeno fin quando, nel 2008, una ricerca svolta in Germania su atleti analizzati prima e dopo un'intensa attività sportiva ne ha dimostrato la fondatezza.



Le tartarughe delle Galapagos e delle Mauritius erano un tempo fra i principali trasportatori e diffusori dei semi delle rispettive isole.

Il *runner's high* è dunque un fenomeno reale, e si manifesta proprio attraverso il rilascio di endorfina nel cervello. La potenza analgesica di questa sostanza, inoltre, permette di spiegare anche l'elevata soglia del dolore che si riscontra spesso in atleti sottoposti ad attività fisiche intense. Sono numerosi i casi di maratoneti che hanno continuato a correre nonostante fratture o traumi che, in altre condizioni, sarebbero risultati insopportabili. È lo stesso meccanismo in base al quale chi assume alte quantità di peperoncino tende a essere meno sensibile ai dolori; la capacità anestetica della capsaicina è, infatti, ben dimostrata nella letteratura scientifica degli ultimi anni.

Ecco, dunque, che inizia a delinearsi il quadro entro il quale interpretare il titolo di questo capitolo. Come hanno fatto molte altre piante produttrici di sostanze che inducono dipendenza, anche il peperoncino si è affidato alla chimica per legare a sé il più potente e versatile dei vettori animali: l'uomo. Ciò che a mio avviso rende ancora più interessante questa pianta è che, a differenza delle altre droghe vegetali che esplicano la loro attività anche sul cervello di altri animali, la capsaicina ha un'azione esclusiva sull'uomo. Non esistono infatti casi di mammiferi diversi che gradiscano nutrirsi dei frutti del peperoncino.

Sembra che all'inizio della storia evolutiva della capsaicina ci sia la sua capacità di indurre nella pianta una certa resistenza alle infezioni fungine. Cosi, nelle aree con la maggiore quantità di simili attacchi, i frutti di Capsicum iniziarono a contenere naturalmente una concentrazione più elevata di questo alcaloide. In seguito, la fortunata circostanza che gli uccelli fossero privi del recettore deputato a provocare la sensazione di bruciore nei mammiferi risultò un ulteriore vantaggio evolutivo,

favorendo la dispersione del seme delle piante più piccanti. La capsaicina, infatti, teneva lontani i mammiferi, che con la masticazione avrebbero distrutto i semi contenuti nel frutto e non era, invece, percepita dagli uccelli, un vettore molto più affidabile, perché non mastica isemi e li trasporta a maggiore distanza. Ma il vero vantaggio della capsaicina è stato, per il peperoncino, il poter legare a sé, attraverso una dipendenza atipica, l'uomo, ovvero il vettore assoluto.

Se la mia teoria circa la condizione di schiavitù in cui l'alcaloide ha ridotto noi mammiferi capsicofagi continua a non convincervi, bisognerà che vi facciate un giro in una delle mille fiere del peperoncino che ogni anno si allestiscono in qualunque Paese del mondo. L'ambiente in cui si muovono i capsicofagi del terzo millennio è diverso da quello tradizionale e in abiti scuri della mia infanzia; nelle fiere potete incontrare i nuovi adepti mentre studiano la composizione di salse con nomi da film horror-apocalittici, con berretti con la molecola della capsaicina - i più estremi se ne fanno tatuare la formula di struttura sulla gola - e magliette con la scritta pain is good. Se non vi sembra dipendenza questa...

L'impiego di peperoncino è in continua crescita nel mondo. Paesi tradizionalmente immuni dal subdolo piacere della cucina piccante ne consumano in quantità e modi impensabili fino a pochi anni fa. Insomma, la strategia che questa specie ha messo in atto per rendere dipendente l'uomo, e metterlo a suo completo servizio, si è dimostrata vincente. Essersi associata all'uomo le ha permesso in pochi secoli di diffondersi sull'intero pianeta; nessun altro vettore avrebbe potuto fare nulla di simile in così breve tempo. E nel futuro andrà sempre meglio: in fin dei conti per uno sballo da endorfine è più semplice, e molto meno faticoso, affidarsi a un bel piatto di chilli anziché a una corsa di 42,195 chilometri.

Manipolazione chimica

L'esempio del peperoncino e del suo alcaloide non è certo un caso isolato. Moltissimi composti chimici di origine vegetale agiscono sul funzionamento del cervello, e i meccanismi attraverso cui queste molecole psicoattive operano sono ben spiegati. Quello che non è per niente chiaro è come mai simili composti prodotti dalle piante abbiano un effetto sul cervello degli animali. In altre parole: perché le piante dovrebbero spendere energie nella produzione di molecole che provocano effetti sul cervello degli animali?

Le correnti teorie neurobiologiche sul consumo di droga si basano sulla constatazione che tutte le molecole che creano dipendenza attivano un'area cerebrale coinvolta nella gestione della ricompensa. Ogni volta che facciamo qualcosa di utile per la nostra sopravvivenza questa zona molto antica del cervello - evolutasi per

attivarsi in risposta a stimoli come il cibo, l'acqua, il sesso - ci ricompensa con il piacere, inducendoci così a ripetere l'azione. Agendo sullo stesso sistema, le droghe invogliano a reiterare il consumo della molecola che ha attivato il meccanismo di ricompensa, creando dunque dipendenza.

Tutte le ipotesi sull'origine delle droghe vegetali, al contrario, considerano i principali alcaloidi (caffeina, nicotina eccetera) come neurotossine che si sarebbero sviluppate per punire e scoraggiare gli erbivori. Secondo questa teoria, l'evoluzione non dovrebbe aver prodotto dei composti che, agendo sul meccanismo della ricompensa, aumentano il consumo della pianta. In un contesto ecologico, questa apparente contraddizione è nota come paradosso della ricompensa da droga *{drug-rewardparado^*. Se, però, accettiamo l'idea che le molecole neuroattive prodotte dalle piante non siano un mero deterrente, ma uno strumento con il quale attrarre gli animali e manipolarne il comportamento, ecco che il paradosso è facilmente risolto, ponendo l'interazione piante-animali in un contesto ecologico molto diverso e aprendo nuove prospettive alla ricerca neurobiologica di strumenti efficaci nel combattere l'uso di droghe.



Il loto è una delle piante acquatiche più famose e ammirate fin dai tempi antichi. I suoi vistosi fiori di colore bianco, rosa, rosso e azzurro sono un forte richiamo per gli insetti impollinatori.

Tornando quindi al nostro nettare extrafiorale d'inizio capitolo, proprio le relazioni fra piante e formiche, con la loro lunga storia di coevoluzione, offrono il modello ideale su cui testare questa ipotesi. E se, come credo, riusciremo a dimostrare che anche nell'interazione con le formiche la produzione di molecole neuroattive è

utilizzata dalle piante per manipolarne il comportamento, avremo una prova ulteriore di questa non trascurabile capacità. Un'abilità che cambierebbe radicalmente la nostra stessa visione delle piante: da semplici esseri passivamente in balia delle necessità animali a organismi viventi complessi capaci di manipolare i comportamenti altrui.

Un bel ribaltamento di ruoli.

Riferimenti bibliografici

H. Boecker et al, The runner's high. Opioidergic mechanisms in the human brain, Cerebral cortex, 18 (11), 2008, pp. 2523-2531.

N.K. Byrnes, J.E. Hayes, Personality factors predict spicy food liking and intake, Food quality and preference, 28 (1), 2013, pp. 213-221.

F. Delpino, Rapporti tra insetti e nettati extranuziali nelle piante, Bollettino della Società entomologica italiana, 6,1874, pp. 234-239. M. Dicke, L.M. Schoonhoven, Joop J.A. van Loon, Insect-plant biology, Oxford University Press, Oxford 2005.

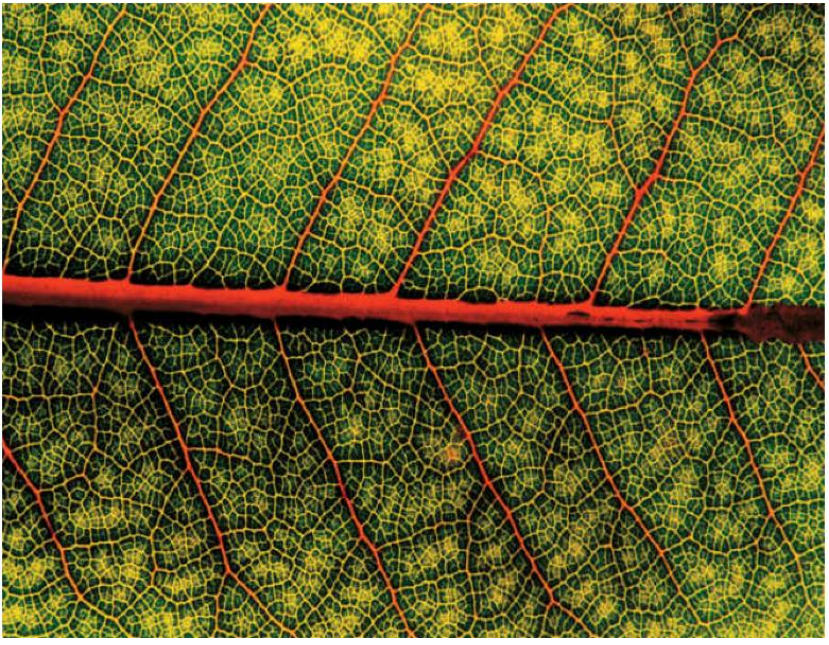
M. Nepi, Beyond nectar sweetness. The hidden ecologica!' role oj'non-protein amino acids in nectar, Journal of ecology, 102 (1), 2014, pp. 108- 115.

S.W. Nicolson, R.W. Thornburg, Nectarchemistry, in Nectaries and nectar, a cura di S.W. Nicolson, M. Nepi, E. Pacini, Springer, Dordrecht 2007, pp. 215-264.

P.S. Oliveira, V. Rico-Gray, The ecology and evolution of ant-plant interactions, The University of Chicago Press, Chicago 2007.

W.L. Scoville, Note on capsicums, The journal of the American pharmaceutical association, 1 (5), 1912, pp. 453-454.

VI Democrazie verdi



Dalle nervature delle foglie alla struttura dell'apparato radicale, tutto nella pianta è realizzato in forma di rete.

LA DEMOCRAZIA È BASATA SULLA CONVINZIONE CHE NELLA GENTE COMUNE CI SONO POSSIBILITÀ NON COMUNI.

(Harry Emerson Fosdick, citato in *Thehome hook of quotations. Classica! and moderrì)*

UN GOVERNO POPOLARE, QUANDO IL POPOLO NON SIA INFORMATO O NON DISPONGA DEI MEZZI PER ACQUISIRE INFORMAZIONI, PUÒ ESSERE SOLO IL PRELUDIO A UNA FARSA O A UNA TRAGEDIA, E FORSE A ENTRAMBE.

(James Madison, *The writings of James Madison)*

LE GERARCHIE, L'AUTORITÀ, VIOLAZIONE MANIFESTA DELLE LEGGI DI NATURA, VANNO ABOLITE. LA PIRAMIDE DIO, IL RE, I MIGLIORI, LA PLEBE, ADEGUATA ALLA BASE.

(Carlo Pisacane, *La rivoluzione)*

Alcune considerazioni preliminari sul corpo delle piante

Una pianta non è un animale. Anche se quest'affermazione può sembrare la

quintessenza delta banalità, ho scoperto che è sempre bene ricordarlo. Infatti la nostra unica idea di vita complessa e intelligente corrisponde a quella animale; e poiché, inconsciamente, non troviamo nelle piante le caratteristiche tipiche degli animali, le cataloghiamo come esseri passivi (vegetali, appunto), negando loro qualsiasi capacità tipica degli animali, dal movimento alla cognizione. È questo il motivo per cui, guardando una pianta qualunque, dobbiamo sempre ricordarci che stiamo osservando qualcosa costruito su un modello totalmente diverso da quello animale. Un modello così differente che, al suo confronto, tutte le forme aliene immaginate nei film di fantascienza sono soltanto simpatiche fantasie da ragazzini.

Le piante non hanno niente di simile a noi; sono organismi diversi, una forma di vita il cui ultimo antenato comune con gli animali risale a seicento milioni di anni fa, epoca in cui, emergendo dalle acque, la vita conquistava la terraferma. Piante e animali si separarono allora, per intraprendere strade diverse. Mentre i secondi si organizzavano per muoversi sulla terraferma, le prime si adattavano al nuovo ambiente rimanendo radicate al suolo e utilizzando come fonte energetica l'inesauribile emissione luminosa prodotta dal sole. A giudicare dal loro successo, mai scelta fu più felice: oggi non esiste ambiente del nostro pianeta che non sia colonizzato dai vegetali, e la loro diffusione sul totale degli esseri viventi è addirittura imbarazzante. Ci sono stime diverse - molto variabili, non è facile valutare il peso della vita - sulla quantità di biomassa vegetale sulla Terra, ma nessuna accredita alle piante una quantità inferiore all'80 per cento. In altre parole, almeno l'8O per cento *in peso* di tutto quello che è vivo sulla Terra è composto da vegetali. Una percentuale che è la misura, unica e indiscutibile, della loro straordinaria capacità di affermazione.

La scelta iniziale di rimanere ancorate al terreno ha condizionato ogni successiva trasformazione del corpo delle piante, il quale si è evoluto con soluzioni così diverse da quelle degli animali da essere per noi pressoché incomprensibile. Il risultato finale è che le piante non hanno una faccia, degli arti o, in generale, una qualunque struttura riconoscibile che le avvicini agli animali, e questo le rende praticamente invisibili. Le riteniamo una mera parte del paesaggio: vediamo ciò che comprendiamo, e comprendiamo soltanto ciò che è simile a noi. Da questo dipende l'alterità delle piante.

Ma in cosa il modello vegetale si discosta da quello animale? Quali sono le caratteristiche delle piante che le rendono così lontane e incomprensibili? Una prima, enorme, differenza è che esse, al contrario degli animali, non hanno organi singoli o doppi cui siano demandate le principali funzioni dell'organismo. Per una pianta, radicata al suolo, sopravvivere agli attacchi dei predatori è un bel problema: non potendo fuggire come farebbe qualunque animale, l'unica possibilità di sopravvivenza è resistere alla predazione; non piegarsi a essa. Facile a dirsi, molto difficile a

realizzarsi. Per compiere questo miracolo è necessario essere costruiti in maniera diversa da un animale. Bisogna essere una pianta, e non possedere punti deboli evidenti; o, perlomeno, averne in numero molto inferiore agli animali. Ora, per l'appunto, gli organi sono dei punti deboli. Se una pianta avesse un cervello, due polmoni, un fegato, due reni e via di seguito, sarebbe destinata a soccombere al primo predatore - anche minuscolo, come un insetto - che attaccando uno di questi punti vitali ne intaccasse la funzionalità. Per questo le piante non posseggono gli stessi organi degli animali, non perché, come si sarebbe indotti a pensare, siano incapaci di svolgere le stesse funzioni. Se le piante avessero degli occhi, delle orecchie, un cervello, dei polmoni, nessuno dubiterebbe del fatto che siano in grado di vedere, sentire, calcolare e respirare. Non possedendo simili organi, ci è richiesto uno sforzo di immaginazione per riuscire a comprenderne le raffinate capacità.

In generale, le piante distribuiscono sull'intero corpo le funzioni che gli animali concentrano in organi specifici. Decentrare è la parola d'ordine. Negli anni abbiamo scoperto che le piante respirano con tutto il corpo, vedono con tutto il corpo (ne ho parlato nel capitolo *Lo sublime arte della mimesh,* sentono con tutto il corpo, calcolano con tutto il corpo e così via. Distribuire ogni funzione quanto più possibile è il solo modo per sopravvivere alla predazione, e le piante hanno saputo farlo così bene da sopportare senza problemi asportazioni di gran parte del corpo senza perdere funzionalità. Il modello vegetale non prevede un cervello, che svolge il ruolo di comando centrale, né degli organi singoli o doppi alle sue dipendenze. In un certo senso la loro organizzazione è il segno stesso della loro modernità: hanno un'architettura modulare, cooperativa, distribuita e senza centri di comando, in grado di sopportare alla perfezione predazioni catastrofiche e ripetute.

Un caso classico, rappresentativo delle capacità di resistenza delle piante, è la loro abilità nel sopravvivere agli incendi. Infatti anche per combattere il fuoco, l'elemento distruttore per eccellenza, esse hanno trovato brillanti strategie di sopravvivenza. Esistono piante che tollerano le fiamme; alcune sono resistenti, altre ancora hanno addirittura legato il proprio ciclo vitale e riproduttivo ai ricorrenti incendi del sottobosco; in tutti questi casi, la capacità di combattere il potere distruttivo del fuoco ha un che di miracoloso.



La palma nana *(Chamaerops humilis*, dal greco *chamài*, a terra, e *rhops*, cespuglio), è una specie molto diffusa nella macchia mediterranea.

Voglio farvi un esempio, preso dalla mia esperienza personale. Trascorro le vacanze estive in una zona della Sicilia occidentale in cui cresce spontanea la *Chamaerops humilis*, la palma nana, l'unica di origine europea. Da che frequento questi luoghi, incendi estesi hanno spesso devastato le meravigliose coltine prospicenti il mare, ricoperte da prospere popolazioni di palme nane. La distruzione occorre in media ogni due anni, con sorprendente regolarità (sembra che i piromani osservino un programma di distruzione abbastanza rigido...). Nonostante questa periodica sciagura cui non mi riesce proprio abituarmi, le palme sono sempre là una volta spento il fuoco; alcune bruciacchiate, altre ridotte a carboncini, altre perfino incenerite. In pochi giorni, con l'umiltà che ci si aspetta dal loro nome, ricominciano a produrre nuovi getti; commoventi germogli di un verde splendente - che spicca ancora più smeraldino contro la distesa di cenere nera - appaiono qui e là, spuntando da piante che mai si penserebbe possano essere ancora vive. È una lampante dimostrazione di resistenza alle avversità, frutto della differente organizzazione vegetale; un'organizzazione che non ha eguati nel mondo animale, ed è resa possibile proprio dall'assenza di un centro di comando e dalla distribuzione delle funzioni.

Chi risolve problemi e chi li evita

Motte delle soluzioni sviluppate dalle piante sono l'esatto opposto di quelle

prodotte dal mondo animale. Come in un negativo fotografico, ciò che negli animati è bianco nelle piante è nero, e viceversa: gli animali si spostano, le piante sono ferme; gli animali si nutrono di altri esseri viventi, le piante nutrono gli altri esseri viventi; gli animati producono CO_2, le piante fissano CO_2; gli animali consumano, le piante producono e potremmo continuare a lungo. Fra le tante antinomie che li contraddistinguono, quella che io ritengo decisiva è proprio la più sconosciuta: la contrapposizione fra concentrazione e distribuzione di cui abbiamo appena detto.

Senz'altro la centralizzazione tipica dei sistemi animati garantisce una maggiore rapidità nel processo decisionale. Tuttavia, se rispondere con tempestività può in molti casi essere un vantaggio per un animale (ma attenzione, in altri no: le risposte ponderate richiedono sempre tempo), la velocità è un fattore del tutto marginale nella vita delle piante. Ciò che davvero interessa a queste ultime non è tanto rispondere in fretta, quanto rispondere bene, così da risolvere i problemi. A prima vista sembrerebbe azzardato, o addirittura irragionevole, sostenere che le piante siano in grado di trovare soluzioni migliori di quelle degli animali. Eppure siamo proprio certi della superiorità di questi ultimi nella risoluzione dei problemi?

A studiare l'intera faccenda con attenzione, ci si accorge che gli animati rispondono alle sollecitazioni più diverse utilizzando sempre la stessa soluzione, una sorta di passe-partout con cui affrontare ogni emergenza. Questa reazione miracolosa ha un nome: movimento. Una risposta potente, come una bella briscola che sistema tutto. Qualunque sia il problema, gli animati lo risolvono spostandosi: se non c'è nutrimento si va dove lo si può trovare; se il clima si fa troppo caldo, troppo freddo, troppo umido o troppo secco si migra dove le condizioni sono più adatte; se i competitori aumentano di numero o diventano sempre più aggressivi ci si muove verso nuovi territori; se non ci sono partner con cui riprodursi ci si sposta per cercarne. Il possibile elenco è lungo; potrebbe arrivare a contenere anche mille emergenze, alle quali c'è sempre e soltanto un'unica soluzione, la fuga. Che, a voler essere pignoli, non è una soluzione, ma tutt'al più un modo per scansare la difficoltà. Gli animali, quindi, non risolvono i problemi; più efficientemente li evitano, e sono certo che ciascuno di noi potrebbe arricchire con numerose esperienze personali la casistica a supporto di questa affermazione.

Poiché il movimento è una risorsa cruciale per gli animali - addirittura, in situazioni di pericolo, la fuga è la loro risposta stereotipata - l'evoluzione ha lavorato senza sosta, per centinaia di milioni di anni, a raffinare questa capacità perché funzioni nel migliore dei modi, velocemente e senza intoppi. In quest'ottica, un'organizzazione gerarchica del proprio corpo, con un comando centrale cui è demandata ogni decisione, è quanto di meglio si possa sperare.

Per i vegetali, invece, la questione della velocità è del tutto irrilevante. Se anche l'ambiente in cui una pianta vive diventa freddo, caldo o pieno di predatori, la celerità della risposta animale non ha comunque per essa alcun significato. Molto più importante è trovare una soluzione efficace al problema; qualcosa che permetta di sopravvivere *nonostante* il caldo, il freddo o la comparsa dei predatori. Per riuscire in questo difficile compito, è di gran lunga preferibile un'organizzazione decentrata. Come vedremo, questa consente risposte più innovative e, essendo letteralmente *radicata,* permette una conoscenza assai più raffinata dell'ambiente.

Per formulare risposte corrette è fondamentale raccogliere dati esatti. Ne consegue che le piante, per effetto della scelta sessile, hanno sviluppato un'eccezionale sensibilità. Non potendo sfuggire all'ambiente, riescono a sopravvivere soltanto perché in grado di percepire sempre e con grande raffinatezza una molteplicità di parametri chimici e fisici quali luce, gravita, elementi minerali a disposizione, umidità, temperatura, stimoli meccanici, struttura del suolo, composizione in gas dell'atmosfera eccetera. In ciascun caso, la forza, la direzione, la durata, l'intensità e le caratteristiche specifiche dello stimolo sono discriminate singolarmente dalla pianta. Anche i segnali *biotto* (ovvero dovuti ad altri esseri viventi) quali la vicinanza o lontananza di altre piante, l'identità di queste ultime e la presenza di predatori, simbionti o patogeni sono altrettante sollecitazioni, di natura talvolta complessa, che la pianta non smette di registrare e cui risponde sempre in maniera appropriata. Si tratta di un'ulteriore conferma che associare l'idea di vegetale alla mancanza di sensibilità è un'enorme corbelleria.

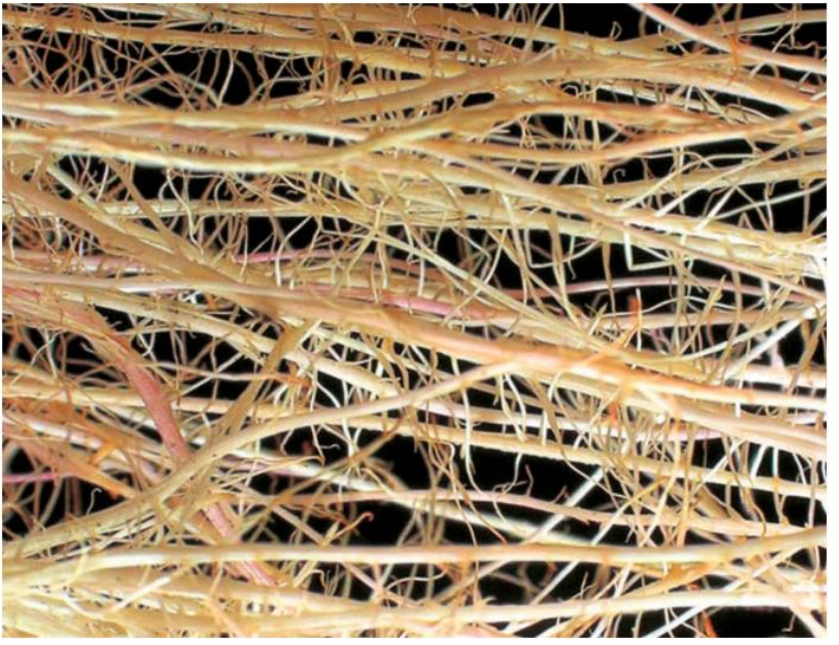
Ecco dunque che, mentre gli animali reagiscono alle trasformazioni dell'ambiente che li circonda con il movimento, così da evitare i cambiamenti, le piante rispondono a un contesto in continua mutazione con l'adattamento.

Sciami di radici e insetti sociali

Rimane da chiarire un mistero: come riescono le piante a fare a meno del cervello, organo che è alla base di ogni risposta animale? Quali sistemi utilizzano in sua vece? E, più in generale, come riescono a reagire alle continue sollecitazioni dell'ambiente producendo soluzioni corrette? La risposta richiede un'esposizione piuttosto articolata, che prende le mosse dall'organo più importante per degli esseri radicati. Le radici, appunto.

L'apparato radicale è, senza tema di smentita, la porzione più rilevante della pianta. È una rete fisica i cui apici formano un fronte in continuo avanzamento; un fronte composto da innumerevoli e minuscoli centri di comando, ciascuno dei quali integra le informazioni raccolte durante lo sviluppo della radice e ne decide la

direzione di crescita. È dunque l'intero apparato radicale a guidare la pianta, come una sorta di cervello collettivo o, meglio, di intelligenza distribuita su una superficie che può essere enorme. Mentre cresce e si sviluppa, ogni radice acquisisce informazioni fondamentali per la nutrizione e la sopravvivenza della pianta. Questo fronte in avanzamento può raggiungere dimensioni davvero impressionanti. Una singola pianta di segale è capace di sviluppare centinaia di milioni di apici radicali. Un dato straordinario, e tuttavia trascurabile se paragonato all'apparato radicale di un albero adulto; in proposito non disponiamo di dati certi, ma senz'altro si tratta di diversi miliardi di radici. È noto che in un singolo centimetro cubo di suolo forestale siano stati contati oltre mille apici radicali, ma non abbiamo stime realistiche di quanti possano essere gli apici radicati di un albero adulto in un ambiente naturale. Una carenza di dati che la dice lunga sulle difficoltà incontrate nello studio di questa parte nascosta delle piante. A oggi, la mancanza di tecniche o strumenti in grado di registrare i movimenti delle radici è il maggiore ostacolo al progredire di ricerche sui comportamenti delle piante. Per acquisire conoscenze certe, infatti, sarebbero necessari sistemi non invasivi e continui di analisi dell'immagine tridimensionale dell'intero apparato radicale; sistemi che sono ancora di là da venire.



L'apparato radicale delle piante è un tipico sistema decentralizzato e distribuito, composto da milioni di imita (gli apici radicali) interagenti.

Nonostante le limitazioni tecniche, negli ultimi anni lo studio delle radici ha

svelato degli aspetti inattesi del loro funzionamento, ad esempio per quanto riguarda i meccanismi e i modelli utilizzati dalle radici nell'esplorazione dei suoli. Questi procedimenti si sono rivelati così efficienti da essere stati studiati come modello per la costruzione di nuovi robot. In assenza di mappe predefinite o di punti di orientamento, l'esplorazione di ambienti incogniti non è un compito semplice per strumenti dotati di organizzazione centralizzata. Al contrario, un sistema decentralizzato, costituito da tanti piccoli agenti esploratori che operano in parallelo, riesce a scandagliare i suoli con una efficienza di gran lunga maggiore di quanto riesca a fare un unico robot, ancorché molto sofisticato.

Come per il caso appena esposto, negli ultimi anni ci si affida sempre di più allo studio delle soluzioni presenti in natura per rispondere a problemi di carattere tecnologico. E non faccio riferimento, qui, al solo mondo vegetale. In una prospettiva bioispirata, un buon esempio di organismi capaci di perlustrare collettivamente degli spazi sconosciuti - quindi modelli e sorgente d'ispirazione diretta - sono ad esempio gli insetti sociali.

Molti animali, agendo in gruppo, mostrano speciali comportamenti. È appunto il caso degli sciami d'insetti o degli stormi di uccelli, che attraverso modalità di interazione tutto sommato semplici sembrano agire come un singolo organismo. Simili comportamenti collettivi sono diventati un campo di ricerca sempre più importante; non solo per le conoscenze di base che si acquisiscono sul funzionamento dei gruppi, ma anche per le possibilità pratiche che schiudono, permettendo di applicare gli stessi sistemi alle più svariate soluzioni tecnologiche. Il vantaggio che se ne ricava è doppio: tali strutture sono da un lato particolarmente robuste (infatti, non avendo un vero centro di calcolo o comunicazione, possono resistere a sollecitazioni di vario genere); dall'altro sono di facile progettazione e funzionamento, perché basate, anche per lo sviluppo di comportamenti in apparenza molto complessi, su regole semplici di trasmissione dell'informazione fra i singoli agenti esploratori.



Gli stormi di uccelli sono un classico esempio delle proprietà emergenti dei gruppi. Bastano regole semplici per produrre risultati complessi.

Ebbene, a lungo si è pensato che questi gruppi collettivi (sciami, stormi, banchi eccetera) fossero formati soltanto da animali. Tuttavia, a un livello più astratto, qualunque insieme di agenti singoli che decida autonomamente, che manchi di un'organizzazione centralizzata, che utilizzi semplici regole per comunicare e che, infine, agisca in maniera collettiva è assimilabile a una tale comunità. Ed è dunque anche il caso delle piante, la cui struttura modulare può essere equiparata a una colonia di insetti.

Considerare la pianta come una colonia di parti modulari non è un'idea nuova. Nella Grecia antica il filosofo e botanico Teofrasto (372-287 a.C.) annotava che la ripetizione è l'essenza della pianta, mentre nel XVIII secolo illustri botanici come Erasmus Darwin e Johann Wolfgang von Goethe (si, proprio quello delle Affinità elettiv^ ritenevano si dovessero considerare gli alberi come colonie di moduli che si reiterano. Più di recente, il botanico francese Francis Halle ha descritto le piante come organismi metamerici il cui corpo è costituito da un insieme di parti unitarie, tanto che la ricorsività dei moduli e la ripetizione dei livelli gerarchici in un apparato radicale hanno consentito di studiare le radici con i metodi tipici dell'analisi trattale.

Osservando dunque il comportamento di un apparato radicale impegnato nell'esplorazione del suolo, ci si accorge che pur in assenza di un sistema nervoso centrale il suo modello di crescita non è per nulla caotico; anzi, è perfettamente

coordinato e disegnato per il compito che deve svolgere. Le radici hanno, ad esempio, una sorprendente capacità di percepire gradienti molto flebili di ossigeno, acqua, temperatura e, in generale, di sostanze nutritive, e di seguire tale gradiente fino alla sorgente con grande precisione. Come siano in grado di farlo senza essere deviate dalle variazioni locali, molto comuni, rimane però un mistero.

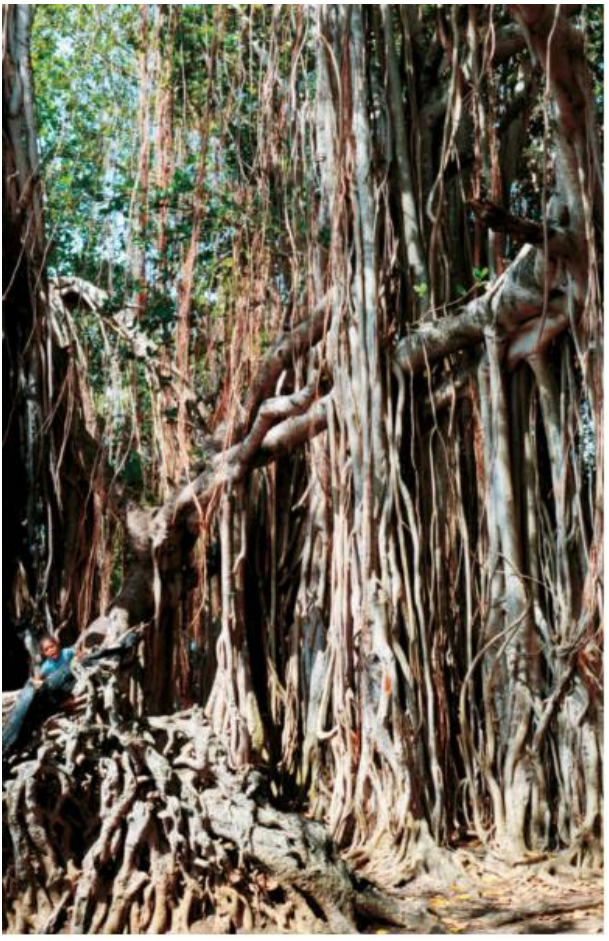
Cosi, qualche anno fa, con il collega Frantisele Baluska abbiamo deciso di studiare le radici come un organismo collettivo, considerandole cioè alla stregua di uno stormo di uccelli o una colonia di formiche. Tale approccio si è rivelato molto efficace, confermando che la struttura dell'apparato radicale e il modo in cui esso esplora il terreno e ne sfrutta le risorse possono essere descritti con grande precisione utilizzando modelli di comportamento da sciame, simili a quelli adottati per lo studio degli insetti sociali. Per una singola formica, la navigazione seguendo un gradiente molto piccolo è un compito pressoché impossibile: qualunque variazione locale nel gradiente porterebbe infatti l'insetto a perdersi senza possibilità di rimedio. Per contro, agendo in maniera collettiva, una colonia supera con facilità questo ostacolo perché lavora come una grande matrice integrata di sensori che elabora di continuo le informazioni ricevute dall'ambiente. Abbiamo così scoperto che, come in una colonia di formiche, gli apici radicali agiscono tutti insieme, minimizzando il disturbo dovuto a fluttuazioni locali.

E, come per una colonia di insetti, anche il protocollo di trasmissione dell'informazione fra un apice radicale e l'altro, cioè fra agenti autonomi diversi, è molto probabile che si basi sulla stigmergia. Con questo termine si intende una tecnica tipica di sistemi senza controllo centralizzato, che adotta i mutamenti dell'ambiente come strumento di comunicazione. Tipici esempi di stigmergia sono stati osservati in natura nel caso delle formiche o delle termiti, le quali attraverso delle tracce chimiche di feromoni eseguono opere meravigliosamente complesse come la creazione di nidi con archi, pilastri, camere e vie di fuga a partire da semplici palline di fango. La stigmergia, però, non funziona soltanto per gli insetti, e persino la comunicazione via internet, con messaggi lasciati dagli utilizzatori in un ambiente condiviso, la ricorda per molti versi.



Le termiti, come le formiche, costituiscono colonie in grado di attuare comportamenti estremamente complessi.

Le piante sono quindi organismi in grado di utilizzare le proprietà emergenti delle interazioni fra gruppi per rispondere ai problemi e adottare soluzioni anche molto complesse. D'altronde tale capacità, dovuta all'organizzazione distribuita e alla mancanza di livelli gerarchici, ha un'efficacia così alta da essere presente quasi dappertutto in natura, comprese numerose manifestazioni del comportamento umano.



Un esemplare enorme di *Ficus benghalensis (o* albero di Banyan) con le sue mastodontiche radici aeree.

Ateniesi, api, democrazia e moduli vegetali

Come molti sanno, il termine democrazia proviene dal greco *(kràtos* del *dèmos*, ossia dominio del popolo) e descrive in modo appassionante e preciso quella meravigliosa trasformazione nella gestione del potere che Atene ha regalato all'umanità intorno al 500 a.C, e che da allora è la pietra angolare sulla quale è costruita la nostra civiltà. Forse meno noto è che da allora a oggi il concetto stesso di democrazia, e quindi il sistema con cui il popolo manifesta il suo potere, si è molto trasformato. Al punto che se un ateniese del periodo classico si risvegliasse oggi in una qualunque nazione democratica del mondo, avrebbe grandi difficoltà a riconoscere anche soltanto delle affinità con il sistema di governo al quale era abituato.

Il corpo sovrano della democrazia ateniese era costituito dalla cosiddetta assemblea *(ecclesìa\,* formata da tutti i cittadini con più di diciotto anni di età. Le sue decisioni, prese a maggioranza, avevano valore definitivo sulle attività legislative e di governo. In poche parole quella ateniese era una democrazia diretta, con una gestione del potere che non prevedeva alcun intermediario. Una differenza enorme rispetto ai sistemi cui siamo abituati noi, e che più correttamente prendono il nome di democrazia rappresentativa.

Se sia meglio una gestione diretta del potere o se invece sia più efficiente delegare a dei rappresentanti l'onere di compiere le scelte è stato oggetto di accese discussioni fin dall'antichità. Nel *Protagora,* ad esempio, Piatone raffigura un Socrate fortemente critico verso la capacità del popolo, privo di conoscenze adeguate, di decidere sulle questioni delta vita pubblica. Osserva in proposito Socrate:

Però vedo che. quando ci riuniamo In assemblea e la città deve deliberare riguardo alla costruzione di un edificio, vengono chiamati come consiglieri gli architetti, e quando si tratta di navi i costruttori di navi, e così per tutte le altre cose che essi ritengono si possano imparare e insegnare; e se qualcun altro che essi non considerano esperto tenta di dar consigli, anche se bello, ricco e nobile, non gli danno alcuna retta, ma gli ridono in faccia e lo fischiano, finché o smette spontaneamente di tentare di dar consigli, o gli arcieri lo portano via e lo cacciano per ordine dei Pritani. Riguardo alle cose che secondo il loro parere si fondano su di un'arte, dunque, gli Ateniesi si comportano così; invece, quando si deve decidere intorno all'amministrazione della città, si levano a dar consigli indifferentemente l'architetto, il fabbro, il calzolaio, il commerciante, l'armatore, il ricco, il povero, il nobile, il plebeo, e nessuno li biasima per questo, come invece accadeva a quelli di prima, perché senza aver imparato da nessuno e senza essere allievi di nessuno, pure tentano di dar consigli. È chiaro quindi che [gli Ateniesi] non ritengono che [la capacità di amministrare la città] si possa insegnare

II ragionamento con cui Socrate non condivide il principio che il popolo ateniese abbia l'ultima parola su tutto quel che concerne la vita della *polis* risuonerà in tutte le critiche alla gestione diretta del potere da parte del popolo, per come essa si è incarnata dai tempi dello splendore ateniese fino a oggi. Anche il fatto che la democrazia diretta abbia determinato il periodo forse più fecondo della storia dell'umanità viene ritenuto un dettaglio marginale dai detrattori del sistema. I sostenitori delle oligarchie (anche quelli a noi contemporanei) ritengono più interessanti ed efficaci, al contrario, argomenti che definiscono naturali: in sintesi, si sostiene spesso che la formazione di gerarchie- volgarizzando, la legge del più forte o della foresta- sia connaturata alla natura. A simili leggi, per quanto spiacevoli, non potremmo sottrarci. Nel *Gorgia*, altro celebre dialogo di Piatone, Callide afferma che la legge sia fatta dai deboli e per loro. Ma la natura stessa dimostra che per essere giusti colui che vale di più deve prevalere su colui che vale di meno, il capace sull'incapace.

Una questione di tale complessità, è ovvio, non sta esattamente in questi termini. Sgombriamo subito il campo da un errato luogo comune: in natura le gerarchie, intese come individui o gruppi che decidono per la collettività, sono rare. Le vediamo dappertutto perché guardiamo alla natura con lo sguardo degli esseri umani. Ancora

una volta, i nostri occhi scorgono soltanto ciò che sembra assomigliarci, e ignorano tutto ciò che è diverso da noi.

Non solo le oligarchie sono rare, le gerarchie immaginarie e la cosiddetta legge della foresta una banale stupidaggine; quel che è più rilevante è che simili strutture *non funzionano bene*. Le organizzazioni ampie, distribuite e senza centri di controllo in natura sono sempre le più efficienti. I recenti progressi della biologia nello studio del comportamento dei gruppi indicano, senza ombra di dubbio, che le decisioni prese da un numero elevato di individui sono quasi sempre migliori di quelle adottate da pochi. In alcuni casi la capacità dei gruppi di risolvere problemi complessi è strabiliante. L'idea che la democrazia sia un'istituzione contro natura, dunque, resta solo una delle più seducenti menzogne inventate dall'uomo per giustificare la sua, contronaturale, sete di potere individuale.

Prendiamo le comunità animali. Esse devono dì continuo produrre decisioni riguardo alla direzione da prendere, alle attività da iniziare o a come attuarle. Quali sono i loro modelli comportamentali, in questi casi? Le decisioni sono affidate all'iniziativa di uno o di pochi, secondo uno schema che in maniera illuminante è stato descritto da Larissa Conradt e TJ. Roper come dispotico, o sono invece condivise dal maggior numero possibile di individui secondo un modello democratico? In passato, la maggior parte degli studiosi avrebbe risposto senza esitazioni: le decisioni nel mondo animale sono a carico esclusivo di uno o pochi membri.

Il motivo, banale, su cui si basava la sicurezza della loro risposta dipendeva dal fatto che la possibilità di prendere decisioni democratiche è di norma legata a due abilità: votare e saper contare i voti; caratteristiche che non è così ovvio riscontrare in animali non umani. Tanto che, fino a non molto tempo fa, a causa di questo ostacolo insuperabile qualunque ragionamento su possibili meccanismi di decisioni di gruppo in specie diverse dall'uomo era considerato impossibile. Negli ultimi anni, invece, l'individuazione di particolari movimenti del corpo, emissioni di suoni, posizioni nello spazio, intensità dei segnali e un'altra miriade di mezzi di comunicazione non verbale ha aperto prospettive inimmaginabili in relazione alla capacità degli animali di prendere decisioni di gruppo.

Nel 2003 i già citati Conradt e Roper pubblicarono uno studio sui metodi con i quali gli animali attuano scelte condivise. È un lavoro chiarificatore: i due autori ribadiscono che le decisioni di gruppo sono la norma per il mondo animale, e individuano nel meccanismo «democratico» della partecipazione il metodo di gran lunga più frequente per prenderle. A differenza della via «dispotica», infatti, esso assicura minori costi per i membri dell'intera comunità: anche quando il «despota» è l'individuo più esperto, se il gruppo è di dimensioni abbastanza grandi la prassi

democratica assicura migliori risultati. In breve, la partecipazione alla produzione di decisioni è il sistema che l'evoluzione premia di più; le scelte di gruppo rispondono meglio ai bisogni della maggior parte dei membri della comunità anche rispetto a quelle di un «capo illuminato». Come scrivono Conradt e Roper, le decisioni democratiche sono più benefiche per un gruppo poiché tendono a produrre decisioni meno estreme».



L'Euphorbia dendroides è una specie tipica della macchia mediterranea. Può formare cespugli con fusto e rami dicotomi alti fino a due metri.

Nel 2003 Per meglio comprendere le dinamiche di comportamento in una compagine animale, prendiamo come esempio concreto le api. La toro predisposizione ad agire in maniera sociale è talmente pronunciata che fin dall'antichità - e ben prima che espressioni come intelligenza di sciame o intelligenza collettiva fossero immaginate - era chiaro a chiunque le studiasse come una loro

colonia sia qualcosa di molto più complesso della semplice somma dei diversi individui che la compongono. Le api, infatti, mostrano un'organizzazione che nel suo meccanismo di base ricorda il funzionamento del cervello, con il singolo individuo a giocare il ruolo del neurone. Questa similitudine si manifesta ogniqualvolta lo sciame debba prendere decisioni, come nel caso delta formazione di una colonia figlia.

Quando un alveare supera una certa dimensione è necessario che la colonia madre si scinda per crearne una nuova. Così un'ape regina, accompagnata da circa diecimila operaie, parte alla ricerca di un luogo dove fondare il nuovo alveare. Le api migranti volano via, viaggiano tanto da essere abbastanza distanti dall'alveare madre, quindi si fermano per alcuni giorni su un albero e compiono qualcosa di sorprendente: alcune esploratrici perlustrano i dintorni e tornano con informazioni sulte diverse possibilità, quindi parte un vero e proprio dibattito democratico, nello stile dell'Atene classica.

Come scegliere fra tanti il posto migliore dove insediare la nuova colonia? Usando il sistema che si è evoluto, più volte e nelle più diverse circostanze, per prendere le decisioni: utilizzare i gruppi. La natura esibisce migliaia e migliaia di esempi di comportamento collettivo; i sistemi senza un centro di controllo sono dappertutto. Anche se non ne siamo coscienti, persino le nostre decisioni individuali (quelle che appartengono a ciascuno di noi) sono prese in maniera collettiva: i neuroni del nostro cervello, che producono pensieri e sensazioni, funzionano allo stesso modo delle api che devono stabilire quale sia il posto migliore per la loro nuova casa. In tutti e due i sistemi, la modalità di scelta consiste essenzialmente in una competizione fra te diverse opzioni: prevate quella che riceve il più ampio consenso, sia esso determinato da neuroni che producono segnali elettrici o da insetti che danzano.

Ma non perdiamo di vista le nostre api. Le abbiamo lasciate a penzolare da un albero mentre alcune esploratrici andavano in giro a valutare le diverse opzioni. Ed ecco che queste ritornano, per riferire allo sciame le caratteristiche dei siti visitati. Il resoconto è piuttosto teatrale, trattandosi di una vera e propria danza; un balletto tanto più complesso quanto più l'esploratrice trova piacevole il sito da cui è appena tornata. A questo punto altre api, attratte dalla qualità della danza, vanno a visitare il sito in questione e, al loro ritorno, si uniscono al balletto di propaganda. In breve, si formeranno gruppi di api danzanti sempre più grandi; i siti più pubblicizzati saranno anche i più visitati, e pian piano aumenterà il numero dei loro supporter. Una danza travolgente interesserà le diverse compagnie di ballo, in rappresentanza dei differenti siti; alla fine, quello che avrà convinto più api sarà scelto per l'alveare. La regina, con il suo sciame, si dirigerà quindi nella direzione stabilita dal gruppo più numeroso.



Gli sciami di api, come la maggior parte dei gruppi animali, prendono decisioni condivise in base al numero di consensi espressi sulle diverse opzioni.

Siano visite di api, attivazioni dei neuroni o decisioni *de[['ecc/es/a* ateniese, in tutti questi casi il vincitore della competizione è quello che ottiene il maggior numero di consensi da parte dei membri della propria comunità. D'altro canto, un crescente numero di studi sul comportamento dei gruppi, condotti in organismi viventi che spaziano dai batteri all'uomo (comprendendo ovviamente le piante), sembra convergere verso una conclusione che mi pare di grande rilevanza: esistono principi generali che reggono l'organizzazione dei gruppi così da rendere possibile l'emersione di un'intelligenza collettiva superiore a quella dei singoli individui che la compongono. Se doveste sentire ancora il banale luogo comune secondo cui in natura vige la legge del più forte, sappiate che si tratta di sciocchezze: in natura, prendere decisioni condivise è la migliore garanzia di risolvere correttamente problemi complessi.

Il teorema della giuria

Come anticipato, esiste una sorprendente similarità fra le api impegnate a decidere quale sia il luogo più adatto per fondare un nuovo alveare e i neuroni del nostro cervello occupati a considerare le alternative di un problema. Gli sciami e i nostri cervelli sono organizzati in modo tale che, sebbene ogni unità - ape o neurone non fa differenza - abbia minime informazioni e minima intelligenza individuale, il gruppo nel suo insieme riesce a prendere decisioni corrette. In entrambi i casi, la scelta avviene con una vera e propria votazione democratica fra i membri del gruppo: il

maggior numero di api che abbia visitato un sito, o il maggior numero di neuroni che abbia prodotto segnali elettrici, decreterà la decisione finale. Ciò significa, ricordiamolo, che anche le nostre opzioni personali sono frutto di un processo di scelta democratico, come accade ovunque in natura. Il fatto che, laddove ci siano dei gruppi, si sviluppino sistemi simili attesta l'esistenza di principi generali di organizzazione che rendono i gruppi *più intelligenti del più intelligente dei singoli che li compongono.*

Nel 1785 Marie-Jean-Antoine-Nicolas Caritat, marchese di Condorcet, autorevole economista, matematico e rivoluzionario francese, elaborò una teoria sulle probabilità che un dato gruppo di individui adotti una corretta decisione. Si tratta del cosiddetto *teorema delta giuria* secondo il quale con l'aumentare del numero di giurati si accrescono le probabilità che il gruppo nel suo insieme decida nella maniera più giusta. Secondo Condorcet, dunque, l'efficacia di una giuria è direttamente proporzionale al numero dei componenti, almeno se abili e competenti. In sintesi: in un gruppo alle prese con la risoluzione di un problema, le possibilità di arrivare alla soluzione migliore crescono con l'aumentare delle sue dimensioni.

Sembrerebbe solo una banale trasposizione matematica del proverbiale detto due teste ragionano meglio di una, e invece fu l'inizio di una rivoluzione. Condorcet aveva elaborato la sua riflessione per dare un solido fondamento ai processi di decisione democratica legati alla politica; nei fatti, però, il suo teorema si dimostrò essere molto di più, costituendo la base teorica su cui si sono fondati tutti i successivi studi sull'intelligenza collettiva. Quella stessa intelligenza che nasce dall'interazione di gruppi, che abbiamo già visto all'opera in radici e insetti e che è alla base anche del funzionamento del nostro cervello.

Qualunque gruppo umano, dalle famiglie alle aziende, dalle squadre sportive agli eserciti, ha sperimentato questa prerogativa. Oggi poi, grazie alla condivisione garantita da internet, l'umanità sta diventando tutta interconnessa. Che cosa si svilupperà dall'unione di così tanti individui? La connessione globale rappresenta uno stadio nuovo dell'evoluzione, e potrebbe permettere alla nostra specie di acquisire capacità inedite e al momento inimmaginabili. Gruppi interconnessi di persone e computer stanno già generando nuove possibilità nei campi più diversi: la scrittura di codia software, la soluzione di problemi di ingegneria, l'individuazione di persone che mentono, la creazione di enciclopedie... L'elenco dei casi per i quali si ricorre all'utilizzo di intelligenze collettive aumenta giorno dopo giorno.

Per intelligenza collettiva, dunque, intendiamo la capacità dei gruppi di conseguire risultati superiori a quelli ottenibili con decisioni individuali, specie nella risoluzione di problemi complessi; un principio le cui possibilità applicative sono molto promettenti. Di recente una équipe di lavoro, coordinata da Max Wolf del

dipartimento di biologia ed ecologia dei pesci (non a caso un esperto di comportamenti collettivi) dell'Istituto Leibniz di Berlino, ha pubblicato i risultati di una dettagliata ricerca sulle capacità di gruppi di medici specialisti nel diagnosticare con certezza il tumore al seno sulla base di radiografie. È un compito che di norma prevede un 20 per cento di falsi positivi e un 20 per cento di falsi negativi. Ebbene, Wolf ha dimostrato che équipe di medici, utilizzando strumenti tipici delle intelligenze collettive come la votazione a maggioranza con raggiungimento di un quorum, ottengono risultati diagnostici migliori di quelli del migliore dei medici nel gruppo.

Simili capacità sono state utilizzate di recente anche nella risoluzione di problemi scientifici, con esiti inaspettati in campi diversi (come la struttura delle proteine o le proprietà dei nanomateriali). Ad aprile 2016, alcuni fisici danesi dell'Università di Aarhus hanno dimostrato che utilizzando le capacità di decine di migliaia di giocatori on-line è possibile risolvere problemi di fisica quantistica alla cui soluzione si lavorava da decenni.

Cosa accadrà, allora, nei prossimi anni, se impareremo sempre meglio a sfruttare la potenza dei gruppi? Siamo appena all'inizio di una rivoluzione che ha molto da insegnarci sulla vera natura dell'intelligenza, e che coinvolgerà sempre di più grandi masse di individui nella risoluzione di problemi e nel raggiungimento di obiettivi oggi impossibili.

La partita doppia della logica

Non è facile riconoscere che la maggior parte degli esseri viventi prende decisioni, risolve problemi e si adatta a condizioni in continuo mutamento senza avere un cervello. Eppure le piante lo fanno, affidandosi a meccanismi di intelligenza distribuita talmente efficienti da essere adottati anche dalla maggior parte (se non dalla totalità) degli altri viventi, uomini compresi. Il fatto che siano in possesso o meno di un cervello è, a tal fine, inlnfluente.

Può sembrare singolare, ma moltissime delle decisioni che prendiamo non sono frutto del ragionamento e della logica, come ci piace pensare, quanto invece la conseguenza di meccanismi simili a quelli descritti in questo capitolo. Noi li chiamiamo istinti e, benché siano alla base delle nostre scelte, tendiamo a rimuoverli, perché non vogliamo riconoscere che condizionano le nostre attività. Ci piace immaginarci come esseri di pura ragione, guidati da un'intelligenza che ammette soltanto te cristalline leggi della logica. Tutte le evidenze sperimentali dicono però il contrario. Quante volte, in accalorate discussioni con amici e colleghi sull'intelligenza delle piante, di fronte a comportamenti per me inequivocabili mi sono sentito dire: Ma queste risposte che ti appassionano tanto sono tutte obbligate, istintive, non frutto del

ragionamento e della logica, unico vero segno dell'intelligenza. Ci piace credere che noi analizziamo logicamente i fatti prima di prendere decisioni, che siamo attenti, riflessivi e analitici e che rispondiamo ai problemi in maniera ponderata, ma in realtà non è affatto così: gran parte delle nostre attività sono inconsce e si basano su processi del tutto estranei a qualsiasi razionalità. Per dimostrarvelo farò un salto indietro nel tempo, e vi proporrò i brevi testi di due grandi figure del mondo anglosassone nei secoli XVIII e XIX.

Il primo. Nel 1779 Jonathan Williams scriveva al prozio Benjamin Franklin (1706-1790) chiedendogli consigli su come comportarsi circa una determinata questione. La lettera di risposta di Franklin è citata spesso come un baluardo del pensiero razionale. Eccola qui, nei suoi punti salienti:

> *Passy, 8 aprile 1779*
> *Caro Jonathan,*
> *troppo lavoro, troppe interruzioni da parte di amici e le conseguenze di una piccola indisposizione hanno causato il ritardo con il quale rispondo alle tue ultime lettere. [...] Non so cosa consigliarti per quanto riguarda la proposta di Mr. Monthieu. Segui il tuo giudizio. Se hai dei dubbi, butta giù su di un foglio di carta tutte le ragioni prò e tutte le ragioni contro, in colonne opposte, e dopo averle considerate per due o tre giorni, esegui un'operazione simile a quella di alcuni problemi di algebra; osserva quali ragioni o giustificazioni in ogni colonna hanno uguale peso, una con una, tuia con due, due con tre e così via; e quando avrai eliminato da entrambi i lati tutte le uguaglianze, vedrai in quale colonna rimane il sovrappiù. [...] Questo tipo di Algebra Morale l'ho spesso praticata in situazioni importanti e dubbie e sebbene non possa considerarsi matematicamente esatta, l'ho trovata assai utile. A proposito, se non l'impari, io credo che non ti sposerai*
>
> *Rimango sempre, il tuo affezionato zio,*
> *Benjamin Franklin*

Una delle più famose applicazioni di questa algebra morale, o partita doppia della ragione, la troviamo nei taccuini della ragione, la troviamo nei taccuini di Charles Darwin. In realtà non ho idea se quest'ultimo fosse o meno informato della formulazione di Franklin; certamente conosceva i suoi molti contributi all'avanzamento della scienza e della tecnologia, ma trovo improbabile che avesse letto anche le sue lettere private. Tuttavia la coincidenza è affascinante: il problema che angustia Darwin mezzo secolo dopo è esattamente se sposarsi o no. Il finale della lettera di Franklin sembra scritto apposta per lui. In ogni caso, conoscesse o meno il metodo Franklin, il 7 aprile 1838 il ventinovenne Charles Darwin, in un foglio diviso in due colonne contrassegnate dalla dicitura Sposarsi e Non sposarsi, stende un dettagliato elenco di prò e contro il matrimonio. È il seguente:

Sposarsi	*Non sposarsi*
Figli (se Dio vuole)	*Libertà di andare dove si vuole*
Una fedele compagna (amica nella vecchiaia) che si interessi a ine	*Conversare con uomini intelligenti al club*
Oggetto di amore e di svago	*Non dover visitare i parenti e cedere a ogni sciocchezza*
Comunque meglio di un cane	*Non avere preoccupazioni economiche o ansie riguardo ai figli*
Una casa e qualcuno che se ne prenda cura	*Forse litigi e perdita di tempo*
La musica e il parlottio femminile. Queste cose fanno bene alla salute, ma sono una terribile perdita di tempo	*Non si può leggere la sera*
Ma Dio, è intollerabile pensare di impiegare una vita intera, come un'ape operaia, a lavorare, lavorare, lavorare, e alla fine nulla.	*Grassezza e ozio*
No, no, non va. Immaginare di vivere tutta la propria vita in solitudine in una sporca fumosa casa londinese. Pensa invece a una tenera, dolce moglie, un divano, un bel camino e libri e magari musica. Paragonare questa visione alla sudicia realtà di Grt. Marlboro Str.	*Ansia e responsabilità*
Sposarsi, sposarsi, sposarsi	*Meno soldi per comprare i libri*
	Se molti figli, l'obbligo di guadagnarsi il pane (anche vero che fa male alla salute lavorare troppo)
	Forse a mia moglie Londra non piacerà.
	Allora la sentenza sarebbe esilio e degradazione in un pigro e indolente idiota

Pensate che aver dettagliatamente individuato i diversi aspetti del problema, averli elencati piùo meno in ordine d'importanza sui due lati del foglio e averne eventualmente individuato il sovrappiù abbia aiutato Darwin a fare la sua scelta? E quale credete sia stata? Guardando le due colonne è difficile sostenere le ragioni del matrimonio. Elementi più numerosi, e di maggior peso, sembrano stare nella zona destra del foglio, quella dei contro. Eppure, come miliardi di altri esseri umani prima di lui, nonostante i dubbi e le applicazioni di algebra razionale, meno di sei mesi dopo essersi arrovellato su questo elenco Charles Darwin sposò con entusiasmo la sua graziosissima, colta e ricca cugina Emma Wedgwood. Risultato: dieci figli e un matrimonio che, a giudicare dalla corrispondenza e dalle testimonianze dell'epoca, fu molto felice.

Benché ciascuno di noi ritenga che le scelte ponderate razionalmente - compiute dopo aver vagliato tutte le informazioni disponibili e valutando tutti i prò e i contro - siano le migliori perché assicurano maggiori probabilità di raggiungere il risultato atteso, in realtà gran parte delle nostre decisioni dipende da regole diverse. Non irrazionali, ma di una razionalità diversa da quella che santifichiamo ogni giorno idealizzando il pensiero logico; la razionalità che condividiamo con le piante, frutto

dell'esperienza evolutiva e non dello scrutinare attento della nostra glorificata corteccia cerebrale.

Organizzazione e caos

Benjamin Franklin non è stato soltanto l'ideatore dell'algebra morale: è passato alla storia come simbolo di genialità eclettica e produttiva. Tra i padri fondatori degli Stati Uniti, contribuì alla creazione della prima biblioteca pubblica americana; fondò un college e una squadra di vigili del fuoco; fu tipografo, ambasciatore in Francia, politico, scienziato, primo direttore dei servizi postali statunitensi, persino presidente della Pennsylvania oltre che inventore del parafulmine, delle lenti bifocali e di una speciale stufa che non produce fumo.

Insomma, un uomo eccezionale, dotato di enorme talento e creatività, ma anche afflitto da un difetto che non riusciva a tollerare: la totale incapacità di essere ordinato. Chi visitava il suo studio rimaneva colpito dall'ingovernabile caos dei documenti sparsi dappertutto sui tavoli, sulla libreria, sul pavimento. Franklin ne era profondamente angosciato. Amava ripetere: Ogni cosa sia al suo posto e ogni cosa sia fatta al momento giusto; e l'incapacità di applicare la propria massima preferita era vissuta come un vero e proprio vizio morale. Nel corso della sua vita provò ripetutamente a liberarsi da questo punto debole, ma i risultati furono sempre fallimentari, tanto da fargli scrivere: l'ordine è la cosa che mi ha dato più problemi. I miei difetti in questo mi hanno contrariato tanto. Eppure, se si guarda alla quantità di impareggiabili risultati ottenuti in campi così diversi e in tale copiosa abbondanza, sembrerebbe che la mancanza di ordine e un'organizzazione caotica del lavoro non abbiano in alcun modo impedito a Franklin di esprimere tutto il proprio genio.

Con esempi del genere davanti agli occhi, c'è da chiedersi se essere ordinati sia davvero una virtù. Certamente per un bibliotecario o un archivista, o per chiunque abbia necessità di salvaguardare grandi quantità di materiale prescindendo in un certo senso dalla sua rilevanza, essere disordinati vuoi dire non saper svolgere il proprio lavoro. Ma quando non si appartiene a una di queste categorie, ordinate per definizione, è corretto associare il concetto di disordine a qualcosa di negativo, a un difetto? Essere ordinati significa rispondere a un'organizzazione mentale gerarchica in cui, proprio come ricordava Franklin, ogni cosa sia al suo posto. Il problema, però, è quale sia il posto adatto per ogni cosa.

Pensiamo soltanto ai documenti che inondano la nostra scrivania: qual è il sistema giusto per catalogarli? Quanto ampie devono essere le categorie? Permettetemi di fare un esempio personale. Insegno all'Università di Firenze e appartengo, quindi, a una classe di persone sottoposta a uno sfibrante carico di burocrazia. Il risultato è che sul

mio tavolo si adagiano ogni giorno le più astruse richieste da parte di chiunque abbia la capacità di farle. Ogni livello di gerarchia (è anche per questo che ne amo l'assenza nelle piante) della infinita piramide burocratica italiana ha il potere - che usa con sommo piacere - di richiedermi moduli, comparazioni, giustificazioni, relazioni, rimborsi, pareri, registri, consuntivi, preventivi e praticamente qualunque altra cosa gli passi per la testa con debilitante frequenza.



La scrivania del mio ufficio è un chiaro esempio di autorganizzazione senza alcuna categorizzazione imposta, che garantisce l'emergenza dei documenti più importanti.

All'inizio della mia carriera, da giovane professore, anch'io mi illudevo come Franklin che una scrivania ordinata fosse segno di grande efficienza. Mi procurai quindi un gran numero di cartelle e iniziai a ordinare le richieste della nostra insaziabile burocrazia per categoria. In breve il mio ufficio fu zeppo di quei raccoglitori, che occupavano uno spazio enorme. Non impiegai molto a capire che se avessi continuato a categorizzare, cercando di rispettare le infinite gradazioni di richieste che può partorire la fertile immaginazione burocratica italiana, sarei stato presto costretto ad affittare un magazzino per ospitare tutte le cartelle necessarie. Iniziai, quindi, a classificare per analogia gli argomenti, prefissandomi di non superare otto supercategorie.

All'inizio questo criterio sembrava funzionare: il numero di categorie era stato drasticamente ridotto, risparmiavo tempo e non rischiavo più di essere espulso dal mio

ufficio per mancanza di spazio. Purtroppo l'esperimento non durò a lungo. Ogni volta che dovevo recuperare qualcosa di archiviato, le supercategorie non mi erano di alcun aiuto: avevo messo la richiesta di missione a Pechino in Estero o in Rimborsi? O forse, poiché avevo insegnato a Pechino per una settimana, era finita in Insegnamento? Così non funzionava. Con un ulteriore sforzo di creatività individuai dunque nuove metacategorie, che credevo potessero andare; per circa un anno mi incaponii a produrre fantasiose classificazioni. Credevo davvero di poter porre un argine con la ragione al fiume impetuoso della burocrazia. Stolto! Per fortuna il fato benevolo arrivò in mio soccorso, facendomi incontrare la più sublime e scriteriata delle categorizzazioni mai concepita da mente umana: l'improbabile enciclopedia cinese *Emporio celeste di conoscimenti benevoli*, presentata da Jorge Luis Borges nel racconto *L'idioma analitico di John Wilkins*. Qui gli animali si dividono in: «(a) appartenenti all'Imperatore, (b) imbalsamati, (e) ammaestrati, (d) lattonzoli, (e) sirene, (f) favolosi, (g) cani randagi, (h) inclusi in questa classificazione, (i) che s'agitano come pazzi, (j) innumerevoli, (k) disegnati con un pennello finissimo di pelo di cammello, (l) eccetera, (m) che hanno rotto il vaso, (n) che da lontano sembrano mosche».

La prova di classificazione di un maestro come Borges fu illuminante: capii che, come nel paradosso di Achille e la tartaruga del filosofo Zenone, le possibili divisioni erano infinite. La burocrazia avrebbe sempre prodotto una nuova richiesta non catalogabile in alcuna precedente categoria; qualcosa che avrebbe voluto una nuova divisione del tipo borgesiano di: «(n) che da lontano sembrano mosche». Giunsi alla conclusione che era molto meglio non ordinare nulla, e lasciare che le nuove richieste si ammucchiassero spontaneamente da una parte della mia - per fortuna, ampia - scrivania. Ho chiamato questa zona, in un ultimo sussulto di spirito archivistico, «il lato delle rotture di scatole».

Da allora, una volta abbandonatomi al lato oscuro della Forza, il disordine ha fatto molto per me. Non mettere ordine nel caos mi ha permesso di risparmiare un'enorme quantità di tempo. Quando la mole di carta diventa intollerabile, impedendomi di vedere le persone oltre la scrivania, dedico un paio d'ore alla Grande Pulizia: sfoglio i documenti e cestino inesorabilmente quasi tutto. Alla fine, ciò che è davvero importante rimane sempre a portata di mano; tutto il resto è superfluo e se ne può tranquillamente fare a meno. Il tempo di accumulo diventa l'unico fattore discriminante. Se fra una Grande Pulizia e l'altra non ho mai avuto necessità di un documento, questo si sarà perso nelle profondità della massa cartacea dimostrando da sé la propria irrilevanza. Se, al contrario, ho avuto bisogno di consultarlo, lo si troverà sulla scrivania in posizioni tanto più emergenti quanto più di recente l'ho utilizzato. I

più importanti, e quindi quelli che guardo più spesso, si manterranno sempre a galla sulla superficie del mostro cartaceo; gli altri precipiteranno inesorabilmente negli abissi dell'inutilità, e verranno spazzati via. Da quando mi avvalgo di questo non-sistema non ho mai perso nulla di rilevante e, soprattutto, ho sempre sottomano ciò che mi serve davvero. Senza neppure ragionarci su!

Ho da poco scoperto che si tratta di una delle strategie utilizzate in informatica per la gestione della cache (un'area di memoria molto rapida ma di piccola capacità, il cui scopo è velocizzare l'esecuzione dei programmi): gli algoritmi che la gestiscono devono risolvere un problema analogo a quello della Grande Pulizia della scrivania. Quando la cache è piena, l'algoritmo deve scegliere gli elementi da eliminare per fare spazio a quelli nuovi. L'irraggiungibile e teorico Santo Graal degli algoritmi di cache, noto come algoritmo ottimale di Belady, sarebbe quello in grado di eliminare per prime le informazioni non necessarie in futuro per il tempo più lungo. Ma poiché è impossibile predire quando ti servirà una specifica informazione, ecco che si fa uso di strategie pratiche alternative. Fra queste, la Lru (Last recently used) elimina dalla cache per primi i dati che non sono stati usati di recente. Esattamente quello che io faccio con la Grande Pulizia.

Insomma, è normale associare l'idea di ordine a una qualità; tutti, anche i disordinati più incalliti, in fondo la pensano come Franklin: più ordine significa più produttività e migliore efficienza. In realtà ordinare vuoi dire organizzare, creare strutture e gabbie in cui costringere cose che spesso non hanno alcuna affinità; e vuoi dire, anche, creare gerarchie, classi, gruppi e sottogruppi, imitando ancora una volta nelle nostre classificazioni - siano esse fisiche o mentali - la stessa organizzazione gerarchica del corpo animale.

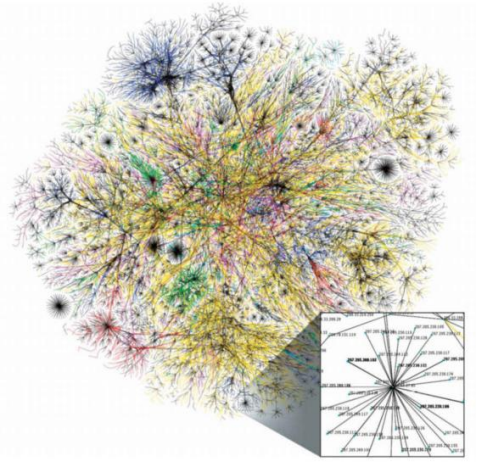
Cooperativi come le piante

Stati, archivi, modelli politici, gestioni aziendali, strumenti, organizzazioni logiche: l'uomo tende a costruire tutto a sua immagine; o meglio, in base all'immagine parziale che ha di sé stesso (perché, a ben guardare, anche il nostro cervello funziona in maniera decentralizzata e non gerarchica), perdendo la possibilità di sfruttare l'enorme potenziale creativo e di innovazione che potremmo sviluppare grazie a strutture e organizzazioni distribuite, come quelle del mondo vegetale. In ogni società le burocrazie, intrinsecamente connaturate alla gerarchia, sono in crescita esponenziale. È un brutto segno, credetemi. Ho visto il mio Paese - il cui nome era una volta sinonimo di estro e fantasia - impantanarsi nella melma della gerarchia e del suo braccio armato, la burocrazia, fino a bloccare ogni possibilità di cambiamento o di innovazione. Così le società declinano sotto il peso della loro stessa solida

organizzazione, che impedisce la flessibilità necessaria ad affrontare un ambiente in continuo mutamento.

Insomma, il modello animale è solo all'apparenza più stabile ed efficiente: in realtà è un modello ingessato. Ogni organizzazione in cui la gerarchia affida a pochi il compito di decidere per molti è inesorabilmente destinata a fallire, specie in un mondo che richiede soprattutto soluzioni differenti e innovative. Il futuro non potrà che far propria la metafora vegetale. Le società che nel passato si sono sviluppate grazie a una rigida divisione funzionale del lavoro e a una ferrea struttura gerarchica dovranno in avvenire essere allo stesso tempo ancorate al territorio e decentrate, dislocando potere decisionale e funzioni di comando alle varie cellule del proprio corpo, e trasformarsi da piramidi in reti distribuite orizzontalmente.

La rivoluzione è già in atto, anche se non ce ne accorgiamo. Grazie a internet i casi di organizzazioni non gerarchiche e distribuite, simili a strutture vegetali, si moltiplicano, guadagnano consensi e, soprattutto, producono ottimi risultati Wikipedia è un ottimo esempio di come può essere strutturata un'organizzazione vegetale: grazie al contributo di milioni di collaboratori è riuscita nell'impresa, apparentemente miracolosa, di produrre un'enciclopedia enorme, diffusissima e soprattutto esatta, senza alcuna forma di organizzazione gerarchica e senza alcun incentivo finanziario. Stiamo parlando di un'enciclopedia che nella sola edizione inglese contava, a fine 2016, 5.315.802 articoli, equivalenti a oltre 2000 volumi a stampa *dell'Encyclopaedia britannica.* Se consideriamo le edizioni nelle diverse lingue, Wikipedia conta più di 38 milioni di articoli, equivalenti a oltre 15.000 volumi. Un'enorme mole di lavoro prodotta andando nella direzione contraria a ogni regola comune.



La topografia di internet è molto simile a quella di un apparato radicale, perché risponde alle stesse esigenze: un sistema distribuito e senza alcun centro di comando.

Com'è possibile che, senza alcun controllo gerarchico o amministrativo, un'organizzazione possa avere successo? Come si può condividere il prodotto del proprio lavoro senza contratti né remunerazioni? Come possono volontari senza alcuna qualifica produrre risultati di qualità tali da sbaragliare la concorrenza di professionisti? Wikipedia risponde dando un'anticipazione di quello che le organizzazioni vegetali saranno in grado di fare, ma è soltanto un inizio. Il futuro che immagino sarà sempre più ricco di esempi di organizzazione analoghi Modelli che rinunciano a un controllo verticale dei processi decisionali e in cui tutte le funzioni, anche quella imprenditoriale, così come i diritti di proprietà siano sempre più distribuiti.

In realtà, almeno in Europa, strutture simili - organizzate secondo il modello vegetale, distribuite e radicate sul territorio - esistono da tempo: si chiamano cooperative. Sono organizzazioni senza gerarchia, che si affidano all'intera compagine sociale; la proprietà è dei singoli soci e ognuno di loro ha diritto a un voto indipendentemente da ogni altra considerazione, chiunque può diventare socio eccetera. Per le loro caratteristiche strutturali, le cooperative sono molto più resistenti a crisi di natura esterna o interna, e i loro fallimenti spesso dipendono dall'aver rinunciato ad agire come strutture vegetali per trasformarsi in organizzazioni gerarchiche animali, perdendo in flessibilità e abdicando alla conoscenza del territorio.

Oggi esempi come quelli cooperativi sono fondamentali per gestire la transizione verso quella che si definisce *new economy*. lasciare che questo concetto coincida con

l'idea di giganti del web che accumulano profitti enormi nelle mani di pochi sarebbe catastrofico. Quindi, oltre a imitare la struttura decentralizzata delle piante per aumentare la creatività e resistenza delle nostre organizzazioni, dovremo anche immaginare nuove forme di proprietà diffusa. In tal senso la tradizione delle cooperative, unita alla straordinaria potenza delle reti di oggi, può rappresentare un valido modello alternativo per il futuro. Come per Wikipedia, è difficile immaginare quali risultati si potranno ottenere quando i sistemi cooperativi comprenderanno le potenzialità della rete e delle intelligenze collettive.

L'antica Grecia e l'Italia del Rinascimento sono stati fra i momenti più creativi della storia della civiltà occidentale. In Grecia le città-stato, geograficamente lontane le une dalle altre, e forme di governo che spesso consentivano a ogni cittadino di influire sulle decisioni collettive hanno dato vita a un periodo di incomparabile creatività in tutti i campi del sapere umano. Lo stesso è avvenuto con le città-stato del Rinascimento italiano, con i suoi piccoli ducati e le sue signorie. Nelle strade di Firenze dei primi del Cinquecento si potevano incontrare Leonardo, Michelangelo e Raffaello...

Nel 2050 sulla Terra saremo dieci miliardi di persone, tre miliardi e mezzo in più di quanti siamo oggi. Molti sono allarmati da questa enorme crescita della popolazione, perché ritengono che non avremo risorse a sufficienza, lo non appartengo a questa schiera. Tre miliardi e mezzo di teste pensanti in più, purché lasciate libere di creare, non sono un problema, ma un'enorme risorsa. Tre miliardi e mezzo di persone saranno in grado di risolvere qualunque problema, purché lasciate liberi di pensare e innovare. Sembrerà un paradosso, ma nel prossimo futuro dovremo per forza ispirarci alle piante per ricominciare a *muoverci.*

Riferimenti bibliografici

J. Almenberg, T. Pfeiffer, Prediction markets and their potential role in biomedical research. A review, Biosystems, 102 (2-3), 2010, pp. 71- 76.

K.J. Arrow et al., Economics. The promise of prediction markets, Science, 320 (5878), 2008, pp. 877-878.

F. Baluska, S. Lev-Yadun, S. Mancuso, Swarm intelligence in plani roots, Trends in ecology and evolution, 25 (12), 2010, pp. 682-683.

E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, Swarm intelligence. From natural to artificial systems, Oxford University Press, Oxford 1999.

J.L. Borges, El idioma analitico de John Wilkins, in Otras inquisiciones (1937-1952), Sur, Buenos Aires 1952 (trad. it. L'idioma analitico di John Wilkins, in Altre inquisizioni, Adelphi, Milano 2000).

R.J.G. Clément et al, Collective cognition in humans. Groups outperform their best members in a sentence reconstruction task, Plos ONE, 8(10), 2013.

L. Conradt, TJ. Roper, Group decision-making in animals, Nature, 421, 2003, pp. 155-158.

I.D. Couzin, Collective cognition in animai groups, Trends in cognitive sciences, 13 (1), 2009, pp. 36-43.

C. Darwin, The correspondence of Charles Darwin. Voi. 2: 1837-1843, a cura di F. Burkhardt, S. Smith, Cambridge University Press, Cambridge 1987.

N. Epley, N. Klein, Group discussion improves He detection, Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America, 112 (24), 2015, pp. 7460-7465.

B. Franklin, From Benjamin Franklin to Jonathan Williams, Jr., 8 April 1779, in The papers of Benjamin Franklin. Voi. 29: march 1 through june 30, 1779, a cura di B.B. Oberg, Yale University Press, New Haven- Londra 1992, pp. 283-284.

D.A. Garvin, K.R. Lakhani, E. Lonstein, Top Coder (A). Developing software through crowdsourcing, Harvard Business School case collection, case n. 610-032, 2010.

G. Gigerenzer, Gut feelings. The intelligence of the unconscious, Viking Books, New York 2007 (trad. it. Decisioni intuitive. Quando si sceglie senza pensarci troppo, Raffaello Cortina, Milano 2009).

F. Halle, Élogedela piante. Pour une nouvelle biologie, Seuil, Parigi 1999. N.L. Kerr, R.S. Tindale, Group performance and decision making, Annual review of psychology, 55,2004, pp. 623-655.

J. Krause, S. Krause, G.D. Ruxton, Swarm intelligence in animals ana humans, Trends in ecology and evolution, 25 (1), 2010, pp. 28-34.

S. Mancuso et al., Swarming behavior in plant roots, Plos ONE, 7(1), 2012.

B. Mellers et al, Psychological strategies for winning a geopolitical forecasting tournament, Psychological science, 25 (5), 2014, pp. 1106-1115.

Plant roots. The hidden half a cura di T. Beeckman, A. Eshel, 20134, CRC Press, Boca Raton 2013.

Piatone, Protagora, a cura di M.L. Chiesara, BUR Rizzoli, Milano 2010, p. 123.

J. Surowiecki, The wisdom of crowds. Why the many are smarter than the few and how collective wisdom shapes business, economies, societies ana nations, Doubleday, New York 2004 (trad. it. La saggezza della folla, Fusi orari, Roma 2007).

M. Wolf et al, Accurate decisione in an uncertain world. Collective cognition increases true positives while decreasing false positives, Proceedings of the Royal Society of London B, 280 (1756), 2013.

-, Collective intelligence meets medical decision-making. The collective outperforms the best radiologist, Plos ONE, 10 (8), 2015.

-, Detection accuracy of collective intelligence assessments for skin cancer diagnosis, Jama dermatology, 151 (12), 2015, pp. 1346-1353.

-, Boosting medical diagnostic by pooling independent judgments, Proceedings of the National academy of sciences of the United States of America, 113 (31), 2016, pp. 8777-8782.

A.W. Woolley et al, Evidence for a collective intelligence factor in the performance of human groups, Science, 330 (6004), 2010, pp. 686- 688.

VII Archipiante



Un'immagine delle nervature della pagina inferiore in una foglia di *Victoria amazonica*. Grazie a tale struttura la foglia può sopportare carichi enormi.

L'ARCHITETTURA NON È ALTRO CHE L'ORDINE, LA DISPOSIZIONE, LA BELLA APPARENZA, LA PROPORZIONE DELLE PARTI TRA LORO, LA CONVENIENZA E LA DISTRIBUZIONE.

(Michelangelo Buonarroti)

I MATERIALI DELL'URBANISTICA SONO IL SOLE, GLI ALBERI, IL CIELO, L'ACCIAIO, IL CEMENTO, IN QUESTO ORDINE GERARCHICO E INDISSOLUBILE.

(Le Corbusier)

UN MEDICO PUÒ SEMPRE SEPPELLIRE I SUOI ERRORI, MA UN ARCHITETTO PUÒ SOLTANTO CONSIGLIARE AI SUOI CLIENTI DI PIANTARE UNA VITE AMERICANA.

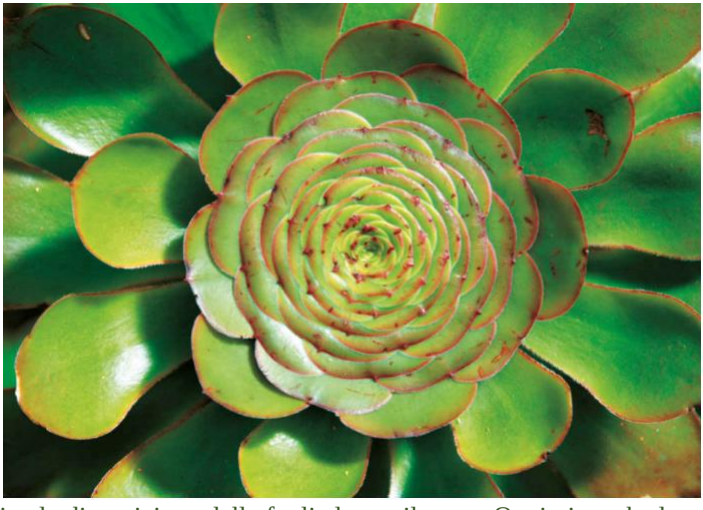
(Frank Lloyd Wright)

Torri come rami

Fra gli innumerevoli talenti di Leonardo da Vinci, uno dei meno riconosciuti è la sua grande capacità di osservazione botanica. A lui dobbiamo alcune fondamentali

scoperte sulla natura delle piante, quali la spiegazione di cosa siano e come si formino gli anelli annuali dell'accrescimento secondario del fusto, e come dallo studio del loro numero, spessore e distribuzione si possa risalire all'età dell'albero e al clima degli anni in cui è vissuto. Sempre sua è poi l'intuizione che l'accrescimento in grado di provocare l'allargamento del tronco sia conseguente all'azione di un tessuto specifico, solo molto più tardi identificato nel cosiddetto *cambia*, l'accrescimento della grossezza delle piante è fatto dal sugo, il quale si genera nel mese di aprile infra la camicia e il legno di esso albero e in quel tempo essa camicia si converte in iscorza.

La scoperta che qui ci interessa, però, è un'altra, e riguarda il principio secondo il quale le foglie si dispongono su di un ramo, ossia la cosiddetta *fillotassi*(dal greco *phyllon*, foglia, e *taxis*, disposizione). Leonardo ne descrive i concetti base con estrema accuratezza, secoli prima di Charles Bonnet (1720-1793), il botanico che è comunemente riconosciuto come il suo scopritore. In cosa consiste esattamente la fillotassi? Se si osserva attentamente la successione delle foglie su un singolo ramo di piante diverse, ci si accorge che ognuna segue una sua particolare regola: in alcune si dispongono su di una spirale più o meno stretta, in altre perpendicolarmente su palchi successivi... Insomma, ogni specie ha una sua propria regola di successione nella disposizione delle foglie. Non sembrerebbe, di primo acchito, qualcosa di molto interessante, o che possa avere alcuna applicazione pratica al di fuori della classificazione tassonomica delle piante; tantomeno sembrerebbe una scoperta in grado di influire in qualche maniera su come costruiamo i nostri palazzi. Eppure, vedremo che le cose stanno proprio così.



La *fillotassi* descrive la disposizione delle foglie lungo il ramo. Ogni pianta ha la sua propria formula fillotattica.

Leonardo, d'altronde, non è certo uno scienziato qualunque; non si accontenta di descrivere un fenomeno, vuole anche comprendere i motivi che lo generano e, se possibile, utilizzare quanto scoperto per applicazioni pratiche. Perciò fornisce una spiegazione funzionale della fillotassi: è la disposizione che garantisce alle foglie la migliore esposizione alla luce, senza che esse si ombreggino a vicenda. Una disposizione, frutto di centinaia di milioni di anni di evoluzione, che può essere copiata e messa a frutto. È quello che ha fatto l'architetto Saleh Masoumi, nel suo sorprendente progetto di una torre fillotattica. Ispirandosi al modo in cui le foglie si dispongono lungo un ramo, Masoumi ha disegnato un grattacielo residenziale che presenta alcune caratteristiche uniche.

Uno dei problemi comuni agli appartamenti ospitati in un qualunque palazzo o torre residenziale è che di norma sono circondati da altre abitazioni, senza alcun accesso diretto all'ambiente circostante. Di solito, il soffitto del piano inferiore corrisponde al pavimento del piano superiore. In queste condizioni, ovviamente, la quantità di luce intercettata da ogni unità abitativa è soltanto una frazione di quella possibile. La torre di Masoumi, invece, risolve questo problema in maniera brillante: sistemando gli appartamenti secondo una disposizione fillotattica intorno all'asse centrale della costruzione, fa in modo che tutti ricevano luce da ogni lato, come una foglia su un ramo. Ciascuna unità ha perfino accesso al cielo sovrastante, con la possibilità di raccogliere luce solare da utilizzare anche a fini energetici.

In effetti, non esiste un modello migliore di quello fillotattico per esporre alla luce del sole superfici poste su diversi livelli; l'evoluzione, attraverso un lungo processo per prove ed errori, ha selezionato soltanto i risultati che garantiscono un'ottimale captazione della luce da parte delle singole foglie. Quelle stesse soluzioni, se applicate alla costruzione dei palazzi, potrebbero garantire risultati energetici inimmaginabili fino a poco tempo fa, e rivoluzionare il modo in cui concepiamo la struttura dei nostri edifici. Forse il genio di Leonardo aveva già previsto che un giorno, grazie allo studio delta disposizione delle foglie, si sarebbero progettate nuove torri; per noi, in ogni caso, rimane l'ennesimo e affascinante esempio di come la scienza, qualunque sia l'oggetto del suo interesse - piante comprese! - produca risultati le cui applicazioni sono spesso del tutto imprevedibili. E che, anzi, in questa imprevedibilità risiede gran parte del suo fascino.

La *Vlctorfa amazoniar.* come una foglia salvò la prima Esposizione universale

Nella prima metà del XIX secolo inizia l'epopea della *Victorìa amazonica*, destinata a diventare un caso di studio non solo per la botanica, ma anche per l'architettura. La storia di questa pianta è molto travagliata, fin dall'attribuzione del

nome. I suoi semi e una sua descrizione arrivano in Francia nel 1825, spediti dal naturalista, botanico ed esploratore francese Aimé Bonpland (1773-1858), che tuttavia non divulga la sua scoperta e non da un nome alla nuova specie. Nel 1832 l'esploratore tedesco Eduard Friedrich Poeppig (1798-1868) segnala la pianta in Amazzonia, ne pubblica la prima descrizione e la chiama *Euryale amazonica.* Nel 1837, infine, John Lindley (1799-1865) la rinomina Victoria amazonica, in onore della regina Vittoria, dando così inizio alla sua gloria botanica.

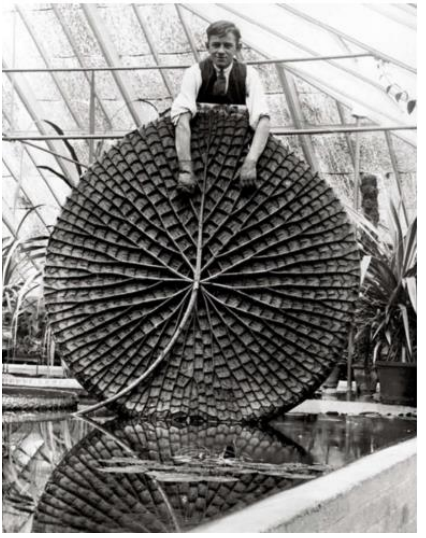
A noi questa specie interessa perché, oltre ad affascinare il pubblico di tutto il mondo per la sua eleganza e le sue dimensioni, scatenò la fantasia di architetti e ingegneri grazie alla robustezza fuori dal comune delle sue enormi foglie. La Victoria amazonica - oggi una delle superstar di qualunque orto botanico che si rispetti - in breve tempo divenne una celebrità anche al di fuori del ristretto numero di studiosi e appassionati, e si affermò come una vera e propria icona popolare della fine del XIX secolo. Le sue immagini furono impresse su tessuti, libri, carte da parati; le riproduzioni in cera dei suoi fiori divennero di gran moda, e le illustrazioni con bambini tenuti a galla senza difficoltà dalle enormi foglie stimolarono la curiosità per questa esotica pianta acquatica. Ovviamente le sue straordinarie capacità strutturali non sfuggirono all'attenzione degli esperti: come poteva una singola foglia reggere un carico fino a quarantacinque chili, se ben distribuito, senza rompersi o deformarsi? Ma soprattutto: era possibile replicare questa portentosa caratteristica?



Le foglie della *Victoria amazonica*, pianta acquatica della famiglia delle Nymphaeaceae, possono raggiungere i due metri e mezzo di diametro.

A noi La Vittoria amazonica possiede foglie che hanno l'aspetto di grandi vassoi circolari e possono misurare fino a due metri e mezzo di diametro, con bordi rialzati e ancorate al fondo delle acque calme in cui vive da lunghi steli, derivanti da un fusto

sotterraneo sepolto nel fango. La pagina superiore della foglia è cerosa, e se bagnata si ricopre di gocce che scivolano via; quella inferiore, rosso porpora, è invece munita di spine che servono a proteggerla dai pesci e dai lamantini che si nutrono di piante acquatiche. L'aria intrappolata negli spazi tra le nervature permette loro di galleggiare. Ogni pianta produce fra le quaranta e le cinquanta foglie, che ricoprono la superficie dell'acqua bloccando la luce e limitando la crescita della maggior parte delle altre piante.



Joseph Paxton fotografato con un bell'esemplare di foglia di *Victoria amazonica*, all'interno delle serre di Chatsworth House.

Nel 1848, la strada della Victoria amazonica incrociò quella di Joseph Paxton (1803-1865), il capogiardiniere di William Cavendish, sesto duca di Devonshire, presso la sede avita di Chatsworth House. Grazie alle sue indiscusse abilità nell'allevamento delle piante, fin da giovanissimo - aveva appena ventitré anni - Paxton fu assunto a Chatsworth con il compito di curare i giardini del duca. Come spesso accadeva ai membri dell'aristocrazia britannica, Cavendish aveva per i vegetali una vera e propria ossessione: possedeva un giardino botanico privato fra i più importanti del mondo, con grandi serre e fitti arboreti. Persino la banana da cui oggi provengono oltre il 40 per cento delle banane presenti sulle nostre tavole proviene da Chatsworth House. Si tratta di una banana delle Mauritius che Joseph Paxton, con la sua proverbiale abilità, riuscì a moltiplicare presso Chatsworth House, a descrivere e a dedicare al suo mecenate con il nome di *Musa covendishii*.

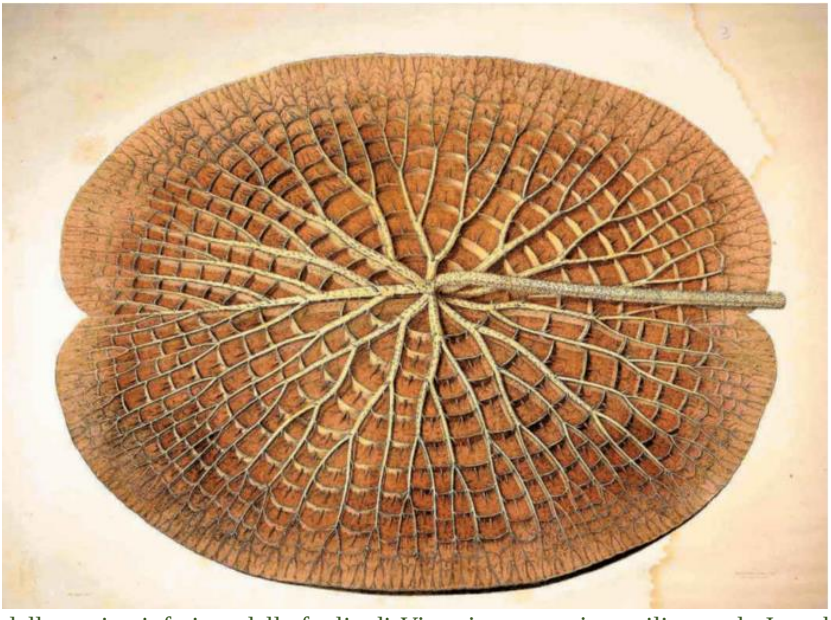


Le foglie di *Victoria amazonica* hanno una struttura che le rende così robuste da sopportare carichi di decine di chili.

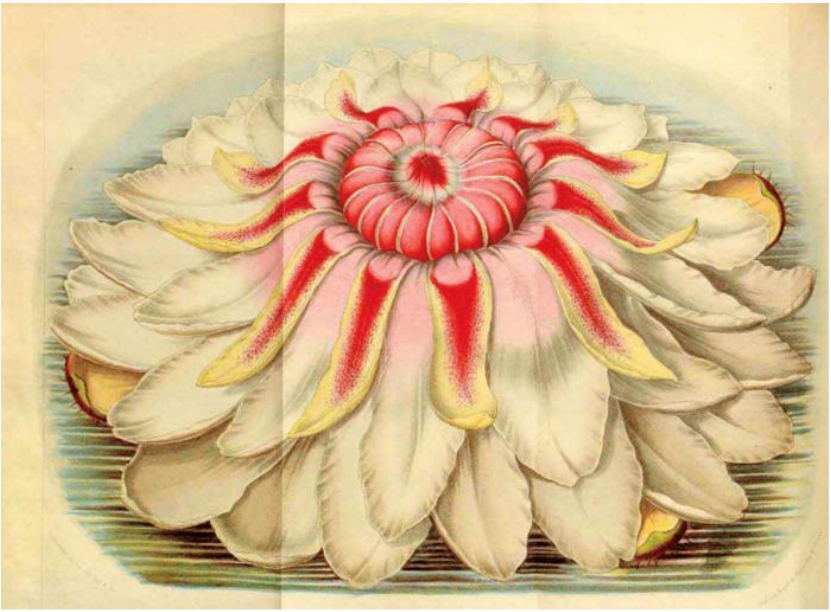
Un'altra delle caratteristiche nazionali del Regno Unito è la passione per la competizione; fu dunque così che William Cavendish e il duca di Northumberland ingaggiarono una serrata sfida a chi per primo riuscisse nella coltivazione e nella fioritura della Vittoria amazonica. Paxton era l'uomo su cui il duca di Devonshire contava per vincere, e la scelta si dimostrò azzeccata. Proprio nel 1848 il capogiardiniere ottenne dunque un seme dai reali giardini botanici di Kew; seme che nel giro di pochi mesi portò a fioritura grazie a una cura estrema nel riprodurre, all'interno di serre riscaldate, le condizioni climatiche del suo habitat originale. I fiori di questa pianta dalle enormi foglie diventarono una delle maggiori attrazioni di Chatsworth House, e la stessa regina Vittoria - cui Paxton, con grande accortezza, aveva fatto dono di un magnifico esemplare - vi si recò in visita accompagnata dal presidente francese Napoleone III (che solo più tardi sarebbe diventato imperatore).

Che questo fiore sia davvero speciale lo si capisce già dall'originale procedimento utilizzato per assicurarsi l'impollinazione. I fiori di Victoria amazonica hanno una vita relativamente breve - intorno ai due giorni - e sono inizialmente di colore bianco. Alla loro prima sera, quando si aprono, un profumo dolce simile a quello dell'ananas richiama i coleotteri addetti al trasporto del polline. Inoltre la pianta, per essere sicura che gli impollinatori arrivino in gran numero, innalza la temperatura del fiore grazie a una reazione termochimica; si tratta di un'abilità, detta *endotermìa* o *termogenesi*,

posseduta da un numero molto ristretto di specie vegetati (soltanto undici delle circa quattrocentocinquanta famiglie di piante da fiore conosciute offrono esempi di termogenesi). E in tutte queste piante la produzione di calore ha sempre a che fare con l'attrazione degli impollinatori I motivi sono diversi: il calore può essere una diretta ricompensa per l'insetto, può aumentare la volatilizzazione delle sostanze chimiche che fungono da richiamo, può imitare la temperatura delle feci dei mammiferi o, infine, stimolare la ovideposizione nelle mosche. In ogni caso, se un fiore produce calore, lo fa per attrarre i suoi impollinatori, e anche la Vittoria amazonica non si sottrae alla regola.



La struttura della pagina inferiore della foglia di *Victoria amazonica*, utilizzata da Joseph Paxton per la progettazione del Crystal Palace.



I fiori di *Victoria amazonica* sono bianchi la prima notte dopo la fioritura e diventano rosa la notte successiva. La loro impollinazione avviene a opera di coleotteri.

In questa fase il fiore è esclusivamente femminile, ed è pronto a ricevere il polline raccolto dai coleotteri su altre piante. Penetrati al suo interno, gli insetti trasferiscono il polline sugli stimmi, permettendo la fecondazione; nel frattempo i petali si chiudono, bloccando all'interno gli insetti fino alla sera successiva. Il mattino dopo il fiore si trasforma, assumendo caratteri maschili: le antere maturano e producono il polline. Quando, a sera, si riapre, ha anche cambiato colore; è diventato rosso porpora per segnalare l'avvenuta fecondazione, non emette alcun odore e non è più caldo. Gli insetti sono lasciati liberi di uscire, ben ricoperti di polline, per ripetere l'intero processo su un'altra pianta (ognuna ha sempre e solo un fiore bianco alla volta). Dopo essere stato fecondato e aver fatto uscire gli impollinatori, il fiore si richiude e s'immerge sotto il livello dell'acqua.

Nel 1848, tuttavia, questo processo era del tutto sconosciuto. A quei tempi, già solo ottenere la fioritura era un successo degno del re dei giardinieri. E, infatti, la fama di Paxton travalicò i confini, pur ampi, degli appassionati di piante, estendendosi anche fra i non addetti ai lavori. Era soltanto l'inizio di una storia avvincente; i successi che la Victoria amazonica avrebbe offerto a Joseph Paxton erano ben lungi dall'essere finiti.

Nel 1851, a Londra, era in corso l'organizzazione della prima Esposizione universale. Si trattava di un evento irripetibile, e per ospitarlo in maniera adeguata si

sarebbe dovuto provvedere alla costruzione all'interno di Hyde Park di una struttura colossale, adatta a ospitare le delegazioni di tutto il mondo e i milioni di visitatori attesi. La manifestazione che avrebbe fatto epoca richiedeva lo sfarzo necessario a celebrare la grandezza dell'impero britannico, e dunque numerosi erano i requisiti cui il progetto dell'Esposizione avrebbe dovuto rispondere. Primo fra tutti, la costruzione non doveva essere permanente, e andava realizzata in tempi brevi. Il costo era l'altro punto fermo: in ossequio ai principi di sobrietà che avevano reso grande l'impero, la struttura scelta avrebbe dovuto rispondere alle esigenze di funzionalità con la minima spesa. Al concorso per il suo progetto parteciparono gli studi di architettura di tutta Europa. La commissione ricevette 245 elaborati, e dopo un lungo lavoro di analisi... li scartò tutti

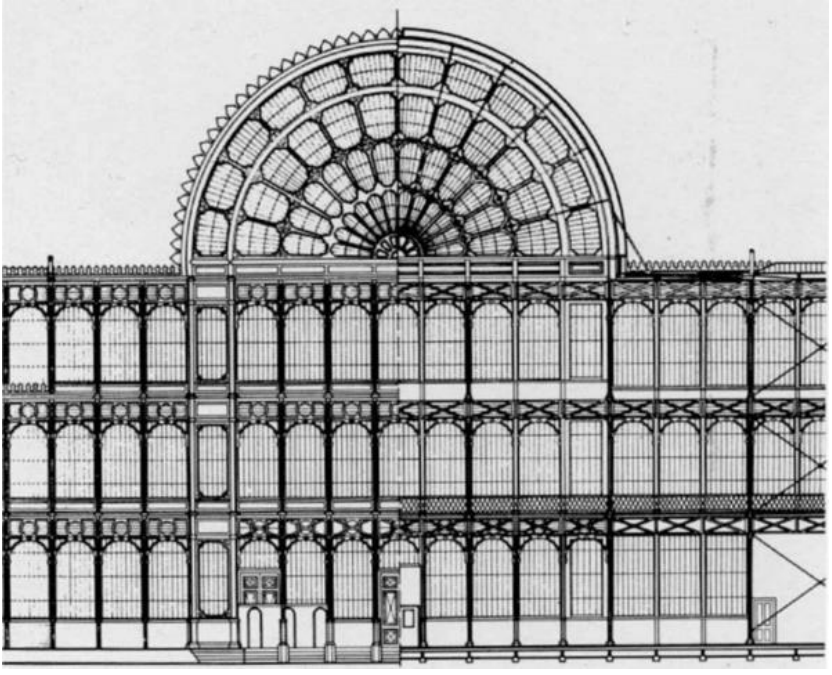


Veduta d'insieme del Crystal Palace, realizzato all'interno di Hyde Park nel 1851 per ospitare la prima Esposizione universale.

La valutazione aveva però richiesto molto tempo La valutazione aveva però richiesto molto tempo, e nessuno immaginava che, fra i tanti disegni presentati, nemmeno uno si sarebbe rivelato idoneo. Mancavano ormai pochi mesi all'evento e ancora non si aveva alcuna idea su cosa fare per ospitare la grande Esposizione. In parlamento, sui giornali e nei pub non si parlava d'altro: come rispondere in così poco tempo a una sfida tanto grande? Furono quindi nominati quattro esperti, che si occupassero della progettazione e della realizzazione dell'edificio in tempi brevi. Purtroppo, anche questa soluzione falli; la Gran Bretagna correva il rischio di incorrere in una clamorosa brutta figura davanti all'opinione pubblica mondiale. L'Esposizione che aveva il compito di celebrare le innovazioni tecnologiche e l'intraprendenza dell'impero rischiava di trasformarsi in un fiasco. In quest'atmosfera da ultima spiaggia, Joseph Paxton si fece avanti con la sua idea rivoluzionaria:

costruire un'enorme struttura in ghisa e vetro, utilizzando moduli prefabbricati. Fu un'intuizione geniale, che avrebbe fatto storia.

Paxton presentò un progetto di dimensioni colossali. Si trattava di un edificio di oltre 90.000 metri quadrati, lungo 564 metri, largo 124 e alto 39, così ampio da contenere al suo interno quattro basiliche di San Pietro. Sarebbe stato impossibile realizzare una costruzione di tali proporzioni, nei tempi e nei costi consentiti, senza la formidabile intuizione di servirsi di moduli identici prefabbricati. Proprio in quegli anni la tecnologia britannica si era evoluta a sufficienza da rendere possibile la celere produzione delle decine di migliaia di moduli necessari. L'unità base era costituita da un quadrato di circa sette metri e mezzo di lato; cosi, aggiungendo via via nuovi elementi, la struttura iniziale si poteva ampliare all'infinito. Anche gli spazi espositivi furono calcolati in base al numero di moduli necessari.



Veduta frontale del Crystal Palace: Paxton progettò le nervature radiali della volta a botte ispirandosi alla struttura delle foglie di *Victoria amazonica.*

La fabbricazione in serie avrebbe richiesto molto meno tempo e costi infinitamente inferiori rispetto a un qualsiasi più convenzionale edificio in muratura. Inoltre, qualora si fosse voluto smantellare il tutto a conclusione dell'Esposizione, le varie parti si sarebbero potute facilmente destinare ad altri usi. In pratica, Paxton propose di erigere una mastodontica serra vetrata; talmente grande che gli alberi di

Hyde Park presenti nell'area interessata sarebbero stati inglobati al suo interno. Egli aveva già progettato strutture analoghe, per proteggere dal freddo clima inglese le preziose piante esotiche della collezione Cavendish. Tra queste serre riscaldate la più imponente era la Great stove (ovvero grande stufa), un'enorme vivaio tropicale, così vasto da poter essere visitato in carrozza. Ovviamente, nulla in confronto a quanto Paxton avrebbe realizzato per l'Esposizione universale.



La costruzione modulare del Crystal Palace, anch'essa ispirata alle piante, permetteva di rinunciare sia ai pilastri sia ai muri portanti, rendendo così disponibile l'intera superficie interna.

La Un edificio di queste dimensioni doveva però rispettare dei requisiti strutturati stringenti; inoltre, i lavori dovevano essere completati nei tempi previsti e a costi limitati. Qui intervenne la seconda geniale intuizione di Paxton: rifarsi alle nervature delle foglie di Victoria amazonica per la realizzazione dei grandi archi della volta. Ambedue le bioispirazioni - il ricorso a moduli per la costruzione dell'enorme edificio e l'uso della struttura radiale della Victoria amazonica - erano figlie della straordinaria passione botanica di quest'uomo.

Oltre duemila operai lavorarono alacremente alla fabbricazione di quello che, grazie a una trovata del celebre giornale satirico Punch , iniziava a essere conosciuto come il Crystal Palace. In soli quattro mesi l'edificio venne realizzato. Grazie a Paxton e alla Victoria amazonica, Londra era pronta a ospitare la prima Esposizione universale, con lo sfarzo e la grandezza adeguati a una potenza imperiale. Il Crystal Palace lasciò a bocca aperta gli oltre quattordicimila espositori provenienti da tutti i Paesi del mondo, e divenne in breve il biglietto da visita della capacità di innovazione

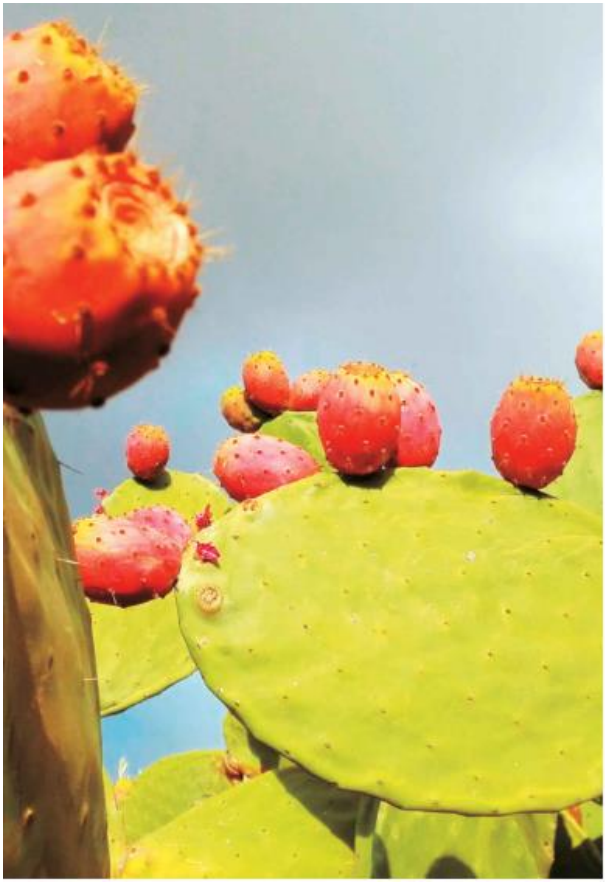
tecnologica dell'impero britannico. L'evento fu un successo memorabile. Più di cinque milioni di persone (un quarto della popolazione britannica dell'epoca) visitarono l'Esposizione; tra queste Charles Darwin, Charles Dickens, Charlotte Bronté, Lewis Carroll, George Eliot e Alfred Tennyson. Il ricavato della vendita dei biglietti, al netto delle spese sostenute, fu utilizzato per la costruzione del Victoria and Albert Museum, del Museo delle scienze e del Museo di storia naturale, oltre che per istituire un fondo per borse di studio in ricerche industriali attivo ancora oggi. Paxton, l'eroe che rese possibile quest'opera prodigiosa, fu nominato baronetto; non dimenticò mai la Victoria amazonica e la botanica, che rimasero le sue grandi passioni, e iniziò una carriera imprenditoriale che lo rese a dir poco facoltoso.



Nel 1956 Nervi e Vitellozzi imitarono la struttura delle nervature della foglia di *Victoria atnazonica per* la costruzione del Palazzetto dello sport di Roma.

Un edificio Negli anni successivi al Cryslal Palace il fascino della Victoria amazonica non smise di attrarre l'interesse degli architetti, e in molti si cimentarono nella costruzione di edifici più o meno ispirati alle sue nervature. Tra i tanti ricordiamo il terminal 5 (o Twa flight center) dell'aeroporto John F. Kennedy di New York, progetto dell'architetto finlandese naturalizzato statunitense Eero Saarinen, e lo straordinario Palazzetto dello sport di Roma, disegnato dall'ingegner Pier Luigi Nervi e dall'architetto Annibale Vitellozzi nel 1956. E non sembra che la fascinazione della pianta dalle enormi foglie abbia intenzione di fermarsi: qualche anno fa l'architetto Vincent Callebaut ha proposto la costruzione di città galleggianti, chiamate Lilypad, completamente autonome e in grado di ospitare fino a cinquantamila persone, ispirate

nella forma proprio all'eccezionale Victoria amazonica. Insomma, la storia d'amore fra questa pianta e gli architetti non è ancora finita.



Il fico d'India *(Opuntia ficus-indicd)* è una cactacea originaria del Messico ma naturalizzata in tutto il bacino del Mediterraneo. La sua struttura è perfetta per sopravvivere con piccole quantità di acqua dolce.

Cactus, acqua e grattacieli

II fico d'India *{Opuntia ficus-ìndicà^* è una pianta molto comune in numerose zone aride o semiaride del mondo, nelle quali riesce a crescere grazie a una serie di adattamenti alte condizioni di siccità. Proprio tali capacità ci offrono lo spunto per ricordare le possibilità di ispirazione in numerosi campi dell'architettura. Sopravvivere in un ambiente desertico richiede abilità non comuni: bisogna essere preparati a sopportare estremi termici che nella pianta possono raggiungere temperature superiori ai 70 C; si deve ottenere l'acqua necessaria alla sopravvivenza

da un ambiente in cui le precipitazioni medie annuali sono inferiori alla quantità di pioggia che cade a Londra in un qualunque giorno di aprile; e, non da ultimo, bisogna essere in grado di difendersi dagli animati che vogliano utilizzarti come cibo.

Sembrerebbero sfide impossibili, ma non lo sono per il fico d'India e per le molte altre specie appartenenti alla famiglia delle Cactacee. Queste, infatti, se la cavano egregiamente anche negli ostili ambienti dei deserti più aridi, riuscendo a piegare a proprio vantaggio condizioni ambientali proibitive grazie a metamorfosi così sorprendenti da trasformare la struttura stessa della pianta. Nelle Cactacee assistiamo alla più sostanziale di queste mutazioni: la totale scomparsa delle foglie. Quest'organo, sede della fotosintesi, fondamentale al punto da diventare il simbolo stesso delle piante, è anche la parte del corpo attraverso la quale esse perdono la maggior parte della propria acqua.Tramite la soppressione delle foglie e il trasferimento della funzione fotosintetica all'interno del fusto, quindi, il fico d'India rimuove la principale fonte di spreco dei liquidi.

La fotosintesi stessa si è modificata, per rispondere alle esigenze estreme di risparmio idrico. Le Cactacee presentano un adattamento per cui l'acquisizione dell'anidride carbonica attraverso gli storni - necessaria al processo fotosintetico - avviene di notte, quando le condizioni ambientali più favorevoli permettono una minore perdita d'acqua per traspirazione. In effetti, per tutte le piante la corretta gestione dell'apertura e chiusura degli stomi costituisce un problema, la cui risoluzione non è affatto semplice. Se da un lato, infatti, mantenendo aperti gli stomi si ha il maggiore ingresso di CO_2 nella foglia, e di conseguenza la massima fotosintesi, dall'altro queste minuscole e diffusissime aperture (una foglia di tabacco, ad esempio, ha circa dodicimila stomi per centimetro quadrato) favoriscono la fuoriuscita di vapore acqueo. La soluzione sta nel sapersi destreggiare fra le diverse esigenze, attuando una politica di apertura e chiusura in funzione delle differenti variabili ambientali.

Per sfruttare al meglio le condizioni climatiche è quindi fondamentale che la regolazione dell'apertura stomatica sia perfetta: un ritardo anche minimo nella chiusura durante un giorno particolarmente assolato potrebbe determinare il collasso anche della pianta più resistente. Cosi, a differenza di quanto accade nelle altre specie, per le quali l'acquisizione di CO_2 e la sua fissazione attraverso la fotosintesi sono contemporanee e avvengono di giorno, alla presenza di luce, nelle piante che ricorrono al ciclo CAM (da Crassulacean acid metabolism, ossia metabolismo acido delle Crassulacee: la speciale forma di fotosintesi tipica delle Cactacee) l'ingresso di anidride carbonica e la sua trasformazione in zuccheri si succedono in momenti diversi della giornata. Di notte la pianta assorbe la CO_2, che sarà fissata il giorno dopo, alla

luce.



La *Welwitschia mirabilis* è una gimnosperma (dello stesso gruppo di piante cui appartengono pini e abeti) diffusa nelle zone desertiche del Kalahari e del Namib, dove sopravvive in condizioni di estrema aridità.

Perdere la minor quantità di umidità possibile, tuttavia, non basta; è soltanto un aspetto del problema. Una certa quantità di acqua deve inevitabilmente essere consumata per garantire il normale funzionamento metabolico. Per la pianta, quindi, è necessario trovare altre fonti cui attingere che siano in grado di compensare i liquidi perduti. Ma come farlo in un territorio in cui non piove mai?

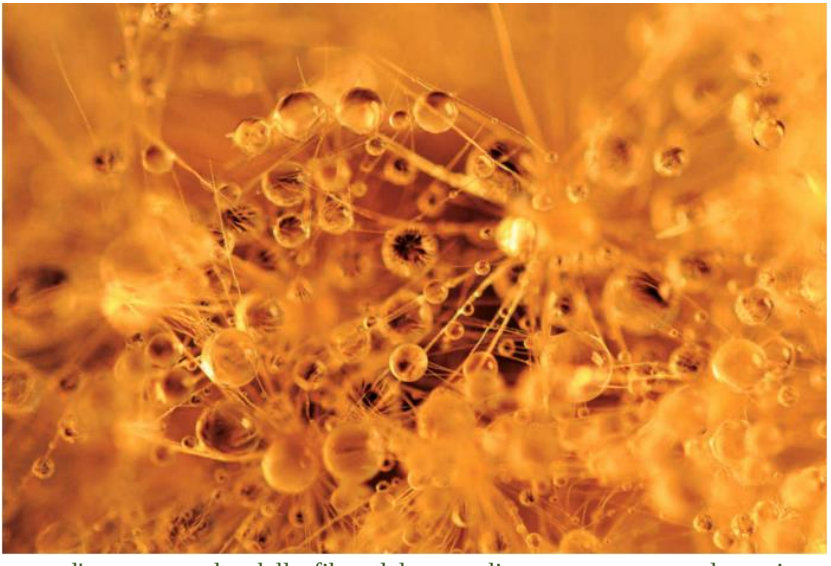
E, soprattutto, come riuscirci in un ambiente in cui la quantità di acqua nel suolo è pari a zero? In realtà, molte specie del genere *OpuntJa* (lo stesso cui appartiene appunto il fico d'India) riescono in quest'impresa apparentemente impossibile. Grazie alle loro sorprendenti capacità di adattamento, queste piante hanno imparato ad assorbire l'acqua dall'unica sorgente in grado di fornirla nel deserto: l'atmosfera. Le

spine sottilissime e simili a peli che ricoprono i *cladodi {^^esto* è il nome degli elementi strutturali del fico d'India comunemente noti come pale) sono, oltre che un deterrente contro gli animali, anche un eccellente strumento per condensare l'umidità atmosferica. Questa è intrappolata dalle spine e convogliata in gocce sempre più grandi all'interno dei cladodi, che fra le loro numerose funzioni svolgono anche quella di principale riserva idrica della pianta. Sistemi simili per condensare l'acqua atmosferica sono impiegati da numerose specie, sia vegetali sia animali, grazie alle caratteristiche strutturali uniche delle loro superfici.

Per rendersene conto, basta spostarsi in Namibia. Il deserto del Namib, infatti, non è solo uno degli ambienti più aridi del pianeta, lo è anche da moltissimo tempo. A differenza di deserti come il Sahara, il cui clima ha subito grandi oscillazioni fra periodi secchi e periodi umidi negli ultimi centomila anni (esistono persino previsioni di un suo ritorno ad ambiente verde, in soli quindicimila anni), quello del Namib è irrimediabilmente arido da almeno ottanta milioni di anni. Un tempo così lungo da aver permesso l'evoluzione di numerose specie, che si sono adattate alla sua aridità imparando a utilizzare l'acqua contenuta nella nebbia che, di tanto in tanto, dall'oceano si spinge nell'entroterra desertico. Fra le specie tipiche di questa regione vi è la *Welwitschia mirabilis* (o l'ornitorinco delle piante, secondo la famosa definizione di Charles Darwin), che produce due sole foglie in continua crescita che possono arrivare a cinque metri di lunghezza; essa si è adattata così bene a questi climi estremi da poterci vivere, letteralmente, per migliaia di anni. Alcuni esemplari di Welwitschia, infatti, superano ampiamente i duemila anni di età, e il suo nome in afrikaans, *tweeblaarkanniedood,* significa proprio: due foglie che non muoiono mai. La sopravvivenza di questa singolare pianta, definita dal botanico inglese Joseph D. Hooker (1817-1911) la più eccezionale mai portata in questo Paese, e la più brutta, non dipende dalla lunghezza delle sue radici, come si è creduto per molto tempo, quanto piuttosto dalla capacità delle lunghe foglie porose di assorbire goccioline di acqua, prodotte dalla condensazione atmosferica delle nebbie oceaniche grazie alle forti escursioni termiche.



La *Welwitschia mirabilis* ha una radice fittonante che si spinge molto in profondità e due foglie che possono raggiungere i cinque metri.



Minuscole gocce d'acqua raccolte dalle fibre del seme di tarassaco per condensazione dell'umidità dell'aria.

Anche i cosiddetti coleotteri delle nebbie - insetti della famiglia dei Tenebrionidi, endemici del deserto del Namib - hanno evoluto meccanismi simili per raccogliere

l'umidità atmosferica. Lo *Stenocaragracilipes,* ad esempio, si pone a un'angolazione di quarantacinque gradi contro la brezza proveniente dal mare, e ne cattura l'umidità grazie alle ali costituite da un alternarsi di superfici idrofile e idrofobe: l'acqua contenuta nella nebbia si lega alle zone idrofile dell'ala, fino a formare delle goccioline abbastanza grosse da rotolare direttamente nella bocca dell'insetto. L'intero meccanismo è stato imitato per produrre tessuti speciali, capaci di assorbire acqua dall'atmosfera.

Perfino strutture esili come le ragnatele sono in grado di raccogliere umidità dall'aria, e tecniche del genere sono state utilizzate nella storia anche dall'uomo per recuperare acqua in regioni che non ne avevano a sufficienza. Grazie alle ricerche dell'architetto Pietro Laureano, che ha dedicato l'intera vita professionale allo studio di queste tradizioni, possiamo affermare che le prime testimonianze di simili pratiche sarebbero già evidenti nelle cosiddette *tomài so/or/,* speciali tumuli dell'età del bronzo, composti da un doppio cerchio e attraversati da un corridoio che porta a un ambiente centrale scavato; tati costruzioni sarebbero servite, oltre che da luogo di culto, anche da convogliatori di umidità. Le stesse strutture di pietra a secco, diffuse nei territori aridi della Puglia o della Sicilia, erano utilizzate per lo stesso scopo. L'aria umida penetra tra le pietre, che hanno una temperatura inferiore nella parte interna (perché non esposta al sole e inoltre rinfrescata dalla camera ipogea sottostante); la conseguente diminuzione di temperatura provoca la condensazione delle gocce d'acqua, che si raccolgono sul fondo della cavità. Durante la notte il processo si inverte, producendo risultati analoghi sulla faccia esterna delle pietre. Per molti secoli queste tecniche, a lungo dimenticate, hanno fornito l'approvvigionamento di acqua alle popolazioni di molte zone del Mediterraneo, e permesso la sopravvivenza dell'uomo anche in regioni inospitali come il Sahara. Ora, in seguito al lavoro di persone come Pietro Laureano, sta ritornando in auge il loro impiego in una chiave funzionale ai nostri tempi.

In questo senso, le conoscenze acquisite sulla capacità di condensare l'acqua di Cactacee come il fico d'India si sono rivelate fondamentali per la progettazione di sistemi sempre più efficienti e tecnologicamente evoluti, che miniano le caratteristiche salienti utilizzate dalle piante. Per fare un esempio, il grattacielo che dovrà ospitare il ministero dell'Agricoltura del Qatar è stato realizzato ispirandosi agli adattamenti tipici delle Cactacee (ricordiamo che in questo Paese la piovosità media annuale è di settanta millimetri); dalla forma colonnare come molti cactus, all'apertura e chiusura delle bocchette che garantiscono la circolazione d'aria all'interno dell'edificio, tutto è progettato facendo tesoro degli insegnamenti provenienti dalla crescita di queste piante nelle zone aride.



Un'immagine del Warka Water progettato da Arturo Vittori. È una struttura in grado di produrre acqua per condensazione dell'umidità atmosferica.

Warka Water, un prototipo disegnato dall'architetto Arturo Vittori, è un altro esempio di declinazione tecnologica e sostenibile di questi sistemi di raccolta e condensazione dell'acqua. Fin dal nome si capisce che si tratta di un caso di immediata ispirazione dalle piante: warka è infatti il nome locale di un gigantesco fico *(Fkus vastd*\ endemico dell'Etiopia - purtroppo sempre più raro - che costituisce un elemento molto importante per la cultura e l'ecosistema locate, perché apprezzato sia come albero da frutto sia, grazie alle sue dimensioni, come luogo di ritrovo per la comunità. Warka Water ha la forma stilizzata di un albero (il suo design, splendido, è stato premiato nel 2016 con il World design impact prize) e, grazie a speciali reti appositamente ideate per un'alta efficienza di condensazione, riesce a produrre fino a cento litri di acqua al giorno dall'atmosfera di ambienti aridi come quelli etiopi. I costi molto limitati, l'efficienza, la facilità di costruzione e di utilizzo, il rispetto dell'ambiente e la bellezza architettonica lo rendono secondo me un esempio perfetto di come l'ispirazione dalle piante, quando è fatta propria da brillanti innovatori, può

rivoluzionare le forme e la tecnologia del nostro futuro.

La maestosità degli alberi di una foresta ricreata dalle colonne dei templi, o la delicata grazia dei capitelli corinzi decorati con foglie di acanto (la cui invenzione è attribuita da Vitruvio al leggendario Callimaco) sono soltanto alcuni fra i tantissimi esempi che potrebbero venire in mente quando si pensa alle soluzioni - ma sarebbe meglio chiamarle ispirazioni - che le piante da sempre forniscono agli architetti. A dispetto delle migliaia di anni trascorsi da quando gli egiziani imitarono lo stelo del papiro nella costruzione delle colonne del tempio di Luxor, le piante restano ancora oggi una fondamentale fonte di suggerimenti per il mondo dell'architettura. Il mio personale augurio è che questa tendenza continui nei prossimi anni: è difficile produrre brutture se ci si lascia guidare dalle forme della natura.

Riferimenti bibliografici

M. Dacke, T. Norgaard, Fog-basking behaviour and water collection efficiency in Namib desert darkling beetles, Frontiers in zoology, 7 (23), 2010.

J.D. Hooker, On Welwitschia, a new genus tj^Gnetaceae, Transactions of the Linnean society of London, 24 (1), 1863, pp. 1-48.

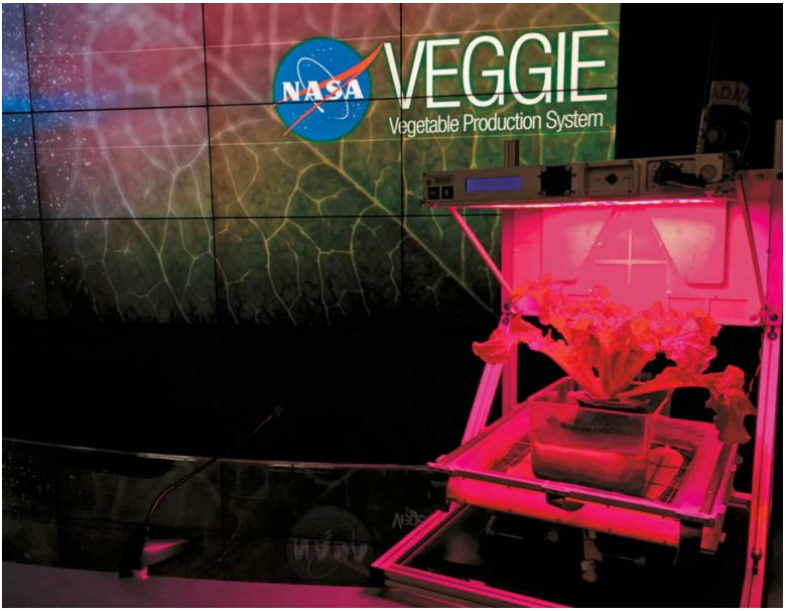
J. Ju et al, A multi-structural and multi-functional integrated fog collection System in cactus, Nature Communications, 3 (1247), 2012.

Leonardo da Vinci, Trattato della pittura. Parte VI: Degli alberi e delle verdure. N. 833: Della scorza degli alberi, Newton Compton, Roma 2015.

Life and letters of Sir Joseph Dalton Hooker. Voi 2, a cura di L. Huxley, John Murray, Londra 1918, p. 25.

Y. Zheng et al, Directional water collection on wetted spider silk, Nature, 463, 2010, pp. 640-643.

VIII Cosmopiante



Veggie è una miniserra progettata dalia Nasa per la coltivazione di piante in assenza di gravita.

I Dinosauri Si Sono Estinti Perché Non Avevano Un Programma Spaziale. E Se Noi Ci Estingueremo Sarà Perché Non Abbiamo Un Programma Spaziale, Che Ci Serva Da Lezione!

(Larry Niven)

Un filo d'erba è una cosa normale sulla Terra; sarebbe un miracolo su Marte. I nostri discendenti su Marte conosceranno il valore di un angolino di verde.

(Cari Sagan, *Pale blue dot. A vision of the human future in space)*

Le nostre compagne di viaggio nello spazio

L'uomo (o la donna) che per primo metterà piede su Marte è già nato. Da qualche anno a questa parte, nelle agenzie spaziali di mezzo mondo, questo è diventato una specie di mantra che sentiamo ripetere a ogni pie sospinto. Non c'è discussione, intervista o conferenza che riguardi il futuro della ricerca spaziale in cui qualcuno non senta il dovere di ricordare, come fosse un fatto scontato, che il nuovo Armstrong marziano è già tra noi. Se sia vero o meno non saprei dirlo. Un altro luogo comune

che perseguita chiunque s'interessi di ricerca spaziale è che non esistono difficoltà tecniche irrisolvibili per mandare l'uomo su Marte: già da tempo saremmo pronti per questa memorabile impresa. Invece sono oltre quarantanni che non andiamo più neanche sulla Luna; l'astronauta americano Eugene Cernan (recentemente scomparso) che il 14 dicembre del 1972 risalì sul modulo Challenger, con cui era allunato tre giorni prima, per percorrere i 380.000 chilometri di viaggio (distanza media) che lo avrebbero ricondotto a casa, è l'ultimo uomo ad aver visitato il nostro amato satellite. Con il tempo, sta diventando famoso quanto Neil Armstrong, che per primo aveva messo piede sulla Luna il 21 luglio 1969.

Quest'ultima è qui di fronte a noi, a una distanza ridicolmente vicina se paragonata ai cinquantacinque milioni di chilometri che ci separano da Marte nel punto più vicino delle nostre rispettive orbite (punto raggiunto ogni ventisei mesi, quando i due pianeti si trovano in opposizione). É probabile che non siano tanto le difficoltà tecniche a rallentare la nostra conquista del sistema solare, quanto quelle economiche e i contrasti su quali siano te priorità della ricerca in questo campo. Comunque sia, di una cosa possiamo essere sicuri: qualunque meta - vicina o lontana - sceglieremo come prossimo passo della nostra espansione nello spazio, non potremo andarci senza le piante. Eppure, siamo propensi a dimenticarlo. Anzi, sarebbe meglio dire che tendiamo a rimuovere un assunto indiscutibile: noi umani siamo *totalmente* dipendenti dalle piante. Il cibo e l'ossigeno che consumiamo sono prodotti dal mondo vegetale. Senza quest'ultimo la vita non sarebbe possibile. Se ci pensiamo a mente fredda, è evidente che si tratta di una vera e propria dipendenza, che limita fortemente la nostra capacità di muoverci nell'universo. Dovremmo avere una chiara consapevolezza del fatto che le piante sono il motore della vita. E invece siamo affetti da una persistente e inspiegabile *plant blindness.* Se diamo per scontato che un sommozzatore non può operare sottacqua senza ossigeno nelle bombole, perché non ci riesce di capire che allo stesso modo la nostra specie dipende in tutto e per tutto dal mondo vegetale? Dunque: se vogliamo spostarci da qualche parte al di fuori della Terra - fosse anche a poche migliaia di chilometri in orbita - abbiamo bisogno della nostra buona scorta di piante!

Ci sono innumerevoli ragioni per cui è necessario portare con noi delle piante in una missione spaziale. Chiunque abbia visto il film del 2015 di Ridley Scott *Sopravvissuto - The Martian,* con Matt Damon nella parte di un botanico- astronauta, capirà subito cosa intendo dire: l'ingegnoso Mark Watney, dato per morto dai suoi compagni, si mantiene in vita coltivando patate con la terra di Marte. Alcune di queste ragioni - cibo e ossigeno - sono ovvie, altre lo sono molto meno sebbene rivestano una fondamentale importanza nella riuscita di qualunque missione spaziale di lunga

durata. Una è senza dubbio l'effetto positivo che le piante esercitano sull'equilibrio psichico di noi umani.

Fra i tanti problemi da risolvere prima di imbarcarsi per lunghi viaggi nello spazio, infatti, il fattore umano rimane uno dei più importanti. Con le conoscenze attuali andare su Marte richiederebbe un tempo stimato variabile da sei o sette mesi a circa un anno (dipende da un complesso di elementi, fra cui quanto carburante possiamo portare). Altrettanto tempo ci vorrebbe per tornare sulla Terra, e un po' di mesi (probabilmente più di un anno) li dovremmo trascorrere sul Pianeta rosso in attesa che le orbite di Terra e Marte si ritrovino di nuovo al punto giusto. Il calcolo è presto fatto: è un viaggio di durata totale compresa fra i due e i tre anni. Ora, provate a immaginare di dover restare chiusi in una scatoletta di pochi metri quadrati, irta di spigoli e strumenti, con pochissimo spazio a disposizione, in compagnia di altri tre o quattro membri dell'equipaggio, senza alcuna possibilità di privacy nel mezzo dello spazio più sconfinato e per giunta in assenza di gravita. Per tre anni. Riuscite a ipotizzare di che razza d'incubo si tratti?

Nelle simulazioni compiute sulla Terra, in condizioni che tentano di replicare quelle del viaggio marziano, gli equipaggi hanno palesato una problematica tendenza a mostrare segni di alterazione psichica dopo pochi mesi di questo trattamento, benché fossero persone scelte fra migliaia soprattutto per i loro nervi saldi. E le condizioni in cui si svolgevano le simulazioni non erano neanche lontanamente quelle di una vera missione spaziale. Insomma, il fattore umano è il vero scoglio da superare. Selezionare un equipaggio che, oltre alla preparazione tecnica richiesta, sia anche in grado di non scannarsi dopo qualche mese di convivenza, rimane il problema principale. Qualunque astronauta vorrebbe essere scelto, ma sarebbe poi davvero in grado di portare a termine la missione? Da anni équipe di esperti stanno lavorando alla questione. Sapete qual è una delle soluzioni che sembra dare i migliori riscontri? Dotare La missione di una buona scorta di piante, cioè di organismi viventi di grande utilità per l'equipaggio!

Gli effetti benefici che la presenza di piante ha sulla mente umana sono noti ormai da decenni. Persone affette da disturbi psichici trovano giovamento dal loro rapporto con le piante negli innumerevoli centri di *ortoterapia* diffusi in tutto il mondo. Ragazzi in età scolare affetti da Dda (Disturbo da deficit di attenzione) hanno mostrato performance di studio di gran lunga migliori alla presenza di piante. Una decina di anni fa anche il Linv, il laboratorio che dirigo, ha pubblicato una ricerca sull'argomento. Allora sottoponemmo un alto numero di scolari di seconda e quarta elementare (bambini di sette e nove anni) a una serie di test di attenzione, da svolgere in luoghi con piante o senza di esse: in un'aula con finestre che non affacciavano sul

verde oppure nel giardino alberato della scuola. Nonostante l'aula garantisse un ambiente che senza dubbio era più adatto alla concentrazione (niente distrazioni, nessun rumore...), i risultati ottenuti nel giardino in presenza di piante furono di gran lunga più brillanti.



Un'immagine del laboratorio dell'Università di Firenze dove, con i miei collaboratori, svolgo molte delle ricerche che presento in questo libro.

Ma torniamo all'importanza delle piante per la vita dell'uomo nel cosmo. Nel 2014, a bordo della Iss (International space station, la stazione spaziale in orbita intorno alla Terra), sono iniziate le attività di coltivazione di vegetali in una miniserrra chiamata Veggie, che ha permesso la produzione non solo di insalate, ma anche, nel gennaio 2016, dei primi splendidi fiori cresciuti in assenza di gravita (si tratta di zinnie, per la precisione). Raymond Wheeler, il direttore dell'Advanced life support activities della Nasa, ha riconosciuto che tali esperimenti hanno prodotto effetti molto positivi sull'umore degli astronauti. Si è intensificata così la ricerca per la produzione di moduli biorigenerativi di supporto alla vita nello spazio (in inglese, Bioregenerative life support systems, Blss) che attraverso la realizzazione di ecosistemi artificiali imitano le interazioni fra microrganismi, animali e piante tipiche dell'ecologia terrestre, in cui gli scarti di ogni categoria diventano risorsa per un'altra. In questi moduli il ruolo delle piante sarebbe fondamentale, essendo addette alla produzione di ossigeno e alla rimozione dell'anidride carbonica grazie al processo della fotosintesi, alla purificazione dell'acqua attraverso la traspirazione e, infine, ovviamente alla produzione di cibo fresco.

Allevare piante nello spazio è, quindi, un requisito essenziale per continuare a indagarlo. È affascinante pensare come l'esplorazione spaziale, che per noi umani è sempre stata uno dei pilastri intorno al quale immaginare il futuro, sia indissolubilmente legata a un'attività antica come l'agricoltura. Tale considerazione doveva stridere alle orecchie d'ingegneri e fisici che hanno sempre ritenuto le agenzie spaziali come dependance di casa. Per decenni è stato impossibile trovare un botanico - non si parli di un agronomo - tra il personale di un'agenzia spaziale. Da circa ventanni le cose sono cambiate. Anche i più intransigenti tecnocrati hanno dovuto ammettere che la presenza delle piante era davvero un *vincolo* serio alla nostra concreta possibilità di esplorare e colonizzare lo spazio.



La supercentrifuga del centro Esa di Noordwijk, in Olanda, permette di sottoporre a ipergravità esperimenti dal peso complessivo elevato.

Semplificando alquanto, per una pianta - così come per ciascun organismo vivente - l'ambiente spaziale differisce da quello terrestre per le diverse condizioni di gravita (solitamente minore) e per una maggiore influenza dei raggi cosmici. Piante cresciute nello spazio in condizioni di assenza di gravita, sebbene presentino talvolta problemi di aberrazioni cromosomiche o cambiamenti nel ciclo biologico, riescono normalmente a adattarsi. In generale la microgravità, così come condizioni di gravita superiori a quella terrestre (ipergravità), sono importanti sorgenti di stress per le piante. Tuttavia, a differenza di altri fattori stressanti quali siccità, estremi termici, salinità, anossia (mancanza di ossigeno) e molti altri con cui il mondo vegetale si è incontrato nel corso della sua evoluzione, l'assenza di gravita è qualcosa di inedito per ogni organismo nato sulla Terra. La ragione di ciò è banale. Sul nostro pianeta tutto è soggetto a un'accelerazione gravitazionale media di 9,81 m/s2 (o 1 g). La gravita è infatti una forza fondamentale che influenza qualunque fenomeno biologico (ma

anche fisico o chimico) presente sulla Terra. La fisiologia degli organismi, il metabolismo, la struttura, il modo in cui comunicano, la forma stessa di ogni essere vivente è plasmata dall'entità di questa forza.

Quando affermiamo che la gravita è una forza fondamentale, intendiamo dire che essa esiste sempre. Anche in quantità minime, ma esiste. Ne consegue che il concetto di gravita zero è soltanto teorico. In verità, anziché di gravita zero, sarebbe più corretto parlare di microgravità. Sulla Terra esistono diversi modi per ottenere, per periodi brevi, una microgravità sufficiente (da 10^2 a 10"6 g) a sperimentarne le conseguenze. Per studiare gli effetti delle variazioni di gravita sulle piante, l'Agenzia spaziale europea (Esa) mette a disposizione dei ricercatori, oltre all'lss, anche altri sistemi quali i voli parabolici, la *drop tower* di Brema, i *sounding rockets* e la supercentrifuga di Noordwijk.

La drop tower è una torre di 146 metri costruita dall'Università di Brema, al cui interno è possibile svolgere esperimenti in caduta libera (in condizioni simili all'assenza di gravita) della durata ciascuno di 5 secondi. I sounding rockets sono veri e propri missili lanciati dalla base di Kiruna, in Svezia, e che possono ospitare al loro interno esperimenti sottoposti ad assenza di gravita per periodi fino a 45 minuti. La supercentrifuga dell'Esa a Noordwijk è, appunto, una centrifuga enorme che può ospitare esperimenti anche del peso di centinaia di chili. Con questa strumentazione è possibile simulare l'effetto di valori di gravita superiori a quelli terrestri, dai 2,5 g che si potrebbero avere su un pianeta dalla massa di Giove fino a valori molto più alti, cui le piante potrebbero essere sottoposte durante i momenti di accelerazione in eventuali viaggi spaziali.



La *drop tower* dell'Università di Brema è una straordinaria facility scientifica che permette di studiare gli effetti di brevi periodi di microgravità.

Nel corso degli anni il mio laboratorio ha utilizzato ognuno di questi mezzi per studiare gli effetti della variazione di gravita sulla fisiologia delle piante. Un esperimento del Linv, volto a chiarire quali fossero i principali geni implicati nella segnalazione dello stress che si attivano in assenza di gravita, ha avuto l'onore di essere ospitato sull'ultimo viaggio dello Shuttle Endeavour del 16 maggio 2011. I risultati ottenuti hanno permesso di formulare l'ipotesi che i cambiamenti dell'accelerazione gravitazionale, come ho detto, costituiscano uno stress sulla fisiologia della pianta. La buona notizia è che, analogamente a ciò che accade per stress più tradizionali, è possibile acclimatare le piante perché tollerino meglio le variazioni di gravita.

Paria dei cieli

Ho sempre amato la ricerca spaziale e quell'affascinante mondo di tecnici, scienziati, matti e visionar! che vi ruota intorno. Così, quando nel 2004 l'Esa ha accolto la nostra proposta di esperimenti per una campagna di voli parabolici, il mio primo pensiero è stato: sto per accedere a uno dei club più esclusivi del mondo, quello del selezionatissimo numero di persone che hanno sperimentato l'assenza di gravita. Di sicuro, quello su cui più di ogni altro avevo sempre fantasticato di partecipare fin da ragazzo, quando divoravo libri di fantascienza a ritmi da primato del mondo.

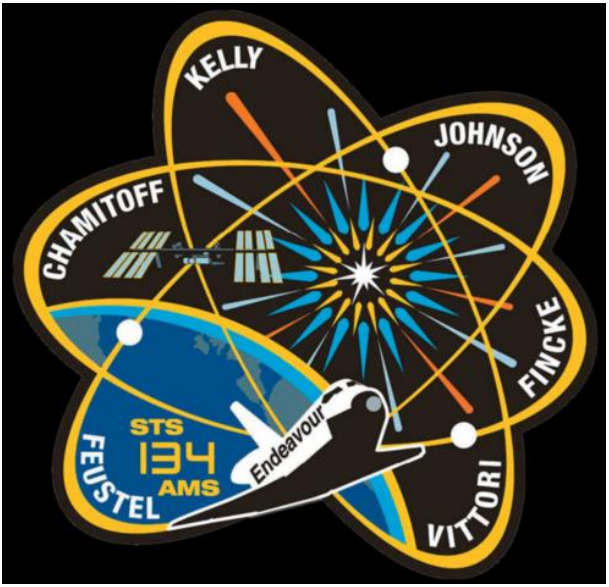
Per partecipare a un volo parabolico bisogna armarsi di pazienza e sottoporsi a un lungo iter medico e burocratico. Carte, moduli, richieste, autorizzazioni, visite mediche, test... Ma ne vale la pena. Ricordo perfettamente ogni momento della mia prima campagna - dopo avrei partecipato ad altre sei - a bordo dell'Airbus A300-ZeroG, l'aereo modificato che l'Esa utilizza per le sue campagne di voli parabolici in partenza dall'aeroporto di Bordeaux-Mérignac, in Francia.

La settimana precedente il volo, il nostro team italo-tedesco aveva allestito a bordo dell'aereo gli strumenti e l'attrezzatura necessari per l'esperimento che avevamo progettato. Volevamo studiare i primi segnali emessi a livello cellulare dalle radici di piantine di mais nel momento in cui si fossero trovate in assenza di gravita. L'esperimento era molto complesso. Richiedeva la misurazione di flebili segnati elettrici che noi supponevamo si sarebbero prodotti in una specifica zona dell'apice radicale (che è, meglio ricordarlo, un sofisticato organo sensoriale) dalle dimensioni inferiori al millimetro, nei primissimi istanti dell'esposizione a gravita zero. Le incognite erano innumerevoli. Non avevamo la minima idea di come le vibrazioni dell'aereo avrebbero influito sulle delicatissime misurazioni. Non sapevamo se durante il volo le piante si sarebbero mantenute in uno stato di salute tate da poter rispondere alla diversa gravita con la prontezza necessaria. Non conoscevamo le condizioni che avremmo affrontato, né sapevamo se saremmo stati *in* grado di sostituire le piante durante gli esperimenti. In breve, eravamo del tutto impreparati a lavorare in queste inedite condizioni sperimentali. La mia personale opinione, anche se non l'avrei mai ammesso, era che tutta la faccenda sarebbe stata un buco nell'acqua...

Fra i tanti motivi di preoccupazione, uno in particolare angosciava tutti i neofiti con cui avevamo familiarizzato nella settimana precedente; a me, però, non sembrava tanto rilevante. Sapete qual era? Che i voli parabolici fossero noti per gli effetti deleteri sullo stomaco dei partecipanti, tanto da essere affettuosamente soprannominati *vomit comet.* Ma ciò non mi preoccupava poi molto. Non ho mai sofferto il mal di mare - pensavo ingenuamente - e non sarebbe stato un banale

problema di stomaco a impedirmi di condurre gli esperimenti e godermi la mia prima esperienza astronautica.

Dopo una notte perlopiù insonne, passata a immaginare tutto quello che sarebbe potuto andar storto, finalmente arrivò il fatidico giorno e con esso l'agognata tuta blu dell'Esa in dotazione ai partecipanti al volo. Indossarla mi fece sentire un vero astronauta. Mi era del tutto indifferente che fosse di un paio di taglie superiore alla mia misura. Aveva tutto quello di cui c'era bisogno: era blu, con uno sgargiante scudetto dell'agenzia spaziale e la dicitura parabolic flight campaign. Era perfetta! La generosa quantità di sacchetti per il mal d'aria che riempiva la maggior parte delle decine di tasche della tuta mi provocò soltanto un leggero sorriso.

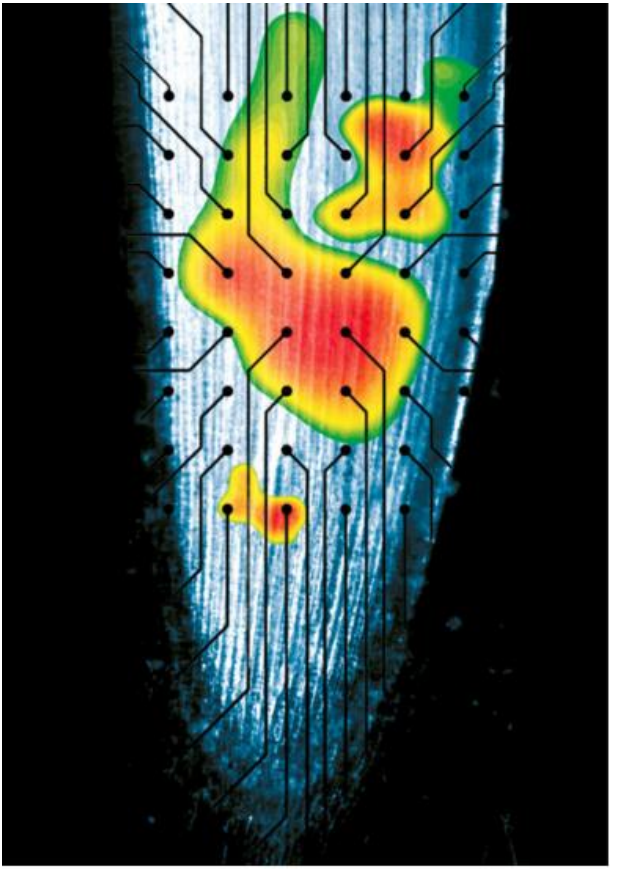


Lo scudetto dell'ultima missione dello Shuttle Endeavour, che ha ospitato un esperimento del nostro laboratorio.

Durante il primo volo - una campagna di voli parabolici ne prevede tre, in giorni successivi - avrei dovuto valutare il funzionamento degli strumenti e, se tutto avesse funzionato a dovere, cosa molto dubbia, avrei potuto fare qualche esperimento. L'aereo decollò e si portò subito sull'Atlantico, dove sarebbe iniziata la sequenza di trenta parabole. Durante ognuna avremmo avuto circa venti secondi di assenza di gravita.

Ciascuna parabola inizia con una fase di ascensione in cui l'aereo sale per circa trenta secondi a un'inclinazione di circa quarantacinque gradi, con una velocità elevatissima e sottoponendo i passeggeri a un'accelerazione di quasi 2 g (è come se si

pesasse il doppio). Al culmine dell'accelerazione il pilota smette di alimentare i motori e comincia il cosiddetto volo balistico, in cui l'aereo diventa un proiettile sparato nell'atmosfera e inizia l'assenza di peso. La transizione da gravita doppia a gravita zero è immediata. Non fai nemmeno in tempo a dire: Che ca... volo!??? che la magia accade. Il corpo si stacca da terra e inizia a fluttuare nell'aria. Sopra e sotto perdono di significato e ogni movimento diventa innaturale. Alcuni paragonano l'assenza di gravita al galleggiare nell'acqua, altri alla caduta da un precipizio. È una sensazione che non si può descrivere, perché non assomiglia a nulla che un essere vivente abbia mai provato nel corso della sua esistenza. È un'impressione così nuova che, durante la notte successiva al volo, chi ha sperimentato l'assenza di gravita per la prima volta sogna spesso di ripeterla. È il cervello che cerca di ordinare questa anomala sensazione nel quadro delle nostre passate esperienze. Fatto sta che è piacevolissimo. Non avere peso! Fluttuare nell'aria, camminare sul soffitto dell'aereo, avvitarsi senza fine! Che meraviglia! La prima parabola, come altre prime volte nella nostra vita, non si dimentica mai. Poi il pilota da gas ai motori e, da spirito che eri, ritorni a essere materia.



Un apice radicale di mais posto su una matrice di microelettrodi, con i quali misurare i potenziali d'azione generati spontaneamente dalle cellule.

Con mia grande sorpresa gli esperimenti andavano per il verso giusto e, fin dalla prima parabola, benché avessi utilizzato il mio tempo quasi esclusivamente per giocare con l'assenza di peso, i computer iniziarono a registrare dei significativi potenziali d'azione (segnali elettrici simili a quelli che si propagano tra i neuroni del nostro cervello) generarsi proprio nella zona che avevamo previsto, e da li trasmettersi alle regioni vicine dell'apice radicale. Non lo sapevo ancora, ma stavamo misurando quelli che poi risultarono essere i più veloci segnati prodotti da una pianta in risposta all'assenza di gravila! Appena un secondo e mezzo dopo l'inizio della microgravità, i potenziali di azione si producevano nella radice e si spostavano verso le regioni adiacenti. Un risultato eccezionale: fino ad allora il segnale più veloce mai registrato era stata una variazione di pH che avveniva circa dieci minuti dopo l'inizio della microgravità.

Ancora una volta le piante dimostravano di possedere capacità di senso di gran lunga superiori a quanto avessimo mai immaginato. Sapere che la radice rispondeva così velocemente ai cambiamenti della gravita apriva nuove prospettive. Avevamo forse trovato il primo evento che, attraverso una moltitudine di adattamenti fisiologici successivi, permetteva alla pianta di adeguarsi a condizioni di gravita diverse da quella terrestre. Un primo passo che, insieme alle scoperte di tanti altri scienziati impegnati nello studio della biologia spaziale, permetterà un giorno non lontano di capire come le piante, maestre della resistenza e dell'adattamento, possono adeguarsi anche all'assenza di gravita.

Con stupore guardavo i segnali ripetersi con regolarità a ogni successiva parabola. Fu un momento di pura felicità. Nello stesso giorno e nello stesso volo avevo per la prima volta fluttuato senza peso e registrato il più veloce segnale conosciuto emesso da una pianta in risposta a una diminuzione di gravita. Questi sono i momenti che ogni scienziato sogna. Ovviamente, la felicità è questione di fuggevolì momenti, non è uno stato stabile della materia. I problemi iniziarono tutti insieme intorno alla ventesima parabola e, in men che non si dica, trasformarono la giornata perfetta in un incubo.



Eccomi per la prima volta in assenza di gravita, su un volo parabolico organizzato dall'Agenzia spaziale europea.

L'assenza di gravita è un affare per luoghi immacolati: in microgravità qualunque oggetto, sporcizia compresa, affrancato dalla schiavitù del peso diventa libero di

fluttuare nell'aria. Fin dalla prima parabola, all'inizio della fase di microgravità, la magica atmosfera chagalliana di tanti scienziati ritornati bambini e svolazzanti all'interno di un aereo è rovinata dall'emersione degli oggetti più eterogenei, con i quali mai vi sareste aspettati di scontrarvi in volo: cacciaviti (pericolosissimi per la loro spiccata attitudine a infilarsi negli occhi dei fluttuanti), viti, bicchieri, calzini, fazzoletti usati e appallottolati, lattine vuote, gli orecchini smarriti giorni prima da una ricercatrice francese e, infine, trucioli, trucioli a non finire: di ferro, di alluminio, di acciaio, di ottone e di ogni altro materiale vi possa venire in mente, fastidiosi residui della preparazione degli esperimenti

Non eravamo affatto pronti a tali condizioni ambientali: i gruppi più esperti avevano protetto tutto ciò che poteva essere danneggiato dai trucioli metallici con opportune reti a maglia molto fine. Noi no. E così un minuscolo pezzetto di metallo riuscì felicemente a entrare all'interno di uno dei computer addetti alla registrazione e a farlo scoppiare. Non ho idea di quali siano le procedure da seguire in caso di esplosioni in assenza di gravita. Nel nostro caso la detonazione, le fiamme conseguenti e la nauseante puzza di materiale elettrico bruciato furono un po' troppo per i fragili nervi dei miei compagni di viaggio - già molto scossi dal succedersi delle parabole - e li indussero a gesti sconsiderati. A dire il vero non è proprio facile scappare in assenza di gravita: da un lato l'istinto ti urla di correre a perdifiato; dall'altro, l'effetto che si ottiene è un mulinare incontrollato di arti in movimenti scomposti, violente manate e scontri aerei che non portano ad alcun significativo spostamento nella direzione voluta, e che hanno come unico risultato quello di guastare irrimediabilmente i rapporti con i colleghi.

Terminata la fase degli insulti in decine di lingue diverse, quando fu chiaro che l'esperimento esploso era il mio e che quindi mi si poteva con una certa ragionevolezza imputare la colpa di tutto, diventai il responsabile del disastro, il capro espiatorio e l'unico da biasimare. Sotto le occhiate sprezzanti dei miei colleghi mi tornò in mente uno dei libri di Isaac Asimov che avevo più amato in gioventù: *Parìa dei cielì.* Il titolo si adattava perfettamente alla mia situazione. Spento l'incendio e portati in salvo i risultati ottenuti fino a quel momento, mi misi in disparte, il più lontano possibile dal resto dell'equipaggio, con l'umiltà richiesta dalla mia nuova condizione di paria. Non pensavo che la situazione potesse peggiorare. Mi sbagliavo.

Dopo decenni di quieta convivenza, senza aver mai sofferto di mal di mare, mal d'aria e cose simili, il mio stomaco decise che era il momento giusto per ricordarmi della sua esistenza. Ho spesso cercato di analizzare, in seguito, cosa avessi sbagliato, ma è un po' come Waterloo per Napoleone: non sarebbe avvenuta la catastrofe se la combinazione di diversi fattori non avesse determinato un corso degli eventi tate da

condurre alla sconfitta dell'imperatore dei francesi. Nel mio caso si erano combinati elementi molto più banali: una colazione superabbondante a base di ogni bendidio francese, fatta per seguire i consigli dei medici di bordo, di certo non aiutò il mio stomaco abituato a non ingerire al mattino altro che caffè e, talvolta, quando sono affamato, un paio di biscotti. Aggiungeteci l'agitazione per l'incidente del computer esploso, l'inalazione dei mefitici vapori sprigionati dalle parti carbonizzate, la stanchezza, il non aver chiuso occhio la notte precedente, gli sguardi a metà fra lo sprezzo e la pietà dei colleghi e, non ultimo, il fatto che l'aereo continuasse ad andare senza sosta su e giù nel cielo dell'Atlantico inanellando parabola su parabola. La tempesta perfetta, l'effetto Waterloo, chiamatelo come volete: certo è che un minuto prima ero lì a guardare con un sorrisino di superiorità i compagni di viaggio attaccati ai loro sacchetti e, l'attimo dopo, ne condividevo il triste destino.

Così finì la mia prima indimenticabile esperienza con l'assenza di peso. Nei giorni successivi, con un computer di riserva e le reti intorno agli strumenti, tutti gli esperimenti funzionarono a meraviglia. Alla fine la sperimentazione in volo parabolico fu un successo dal punto di vista scientifico: riuscimmo a dimostrare che la radice rispondeva alla gravita con tempi molto più rapidi di quanto si pensasse fino ad allora, e che i venti secondi di microgravità garantiti da ogni parabola erano più che sufficienti per studiare i primi segnali della catena segnalatoria di risposta alla microgravità nelle piante. I dati raccolti durante quella prima campagna dimostrarono l'estrema reattività delle piante e contribuirono a convincere la comunità scientifica e le agenzie spaziali che esse erano soggetti sperimentali più che adatti alle condizioni di studio dei voti parabolici.

Negli anni successivi ho partecipato ad altre campagne simili, alcune ancor più ricche di risultati. Ma quella prima volta, con i suoi disastri, le indescrivibili sensazioni, l'inesperienza, i risultati scientifici e la generale incoscienza, rimarrà sempre nel mio ricordo, insieme ad altre prime, come una specie di campagna pubblicitaria su quanto possa essere meravigliosa la vita di uno scienziato.

Riferimenti bibliografici

E.E. Aldrin, N. Armstrong, M. Collins, First on the moon. A voyage with Neit Armstrong, Michael Collins and Edwin E. Aldrin, Jr., little, Brown and Company, New York 1970.

I. Asimov, *Pebble in theSky*, Doubleday, New York 1950 (trad. it. *Paria dei deli*, Mondadori, Milano 2015).

P.W. Barlow, Gravity perception inplants. A multiplidty of systems derived by evolution?, Plant, celi & environment, 18 (9), 1995, pp. 951-962.

S.I. Bartsev, E. Hua, H. Liu, Conceptual design of a bioregenerative li/e support System containing crops and silkworms, Advances in space research, 45 (7), 2010, pp. 929-939.

S. Mancuso et al., Root apex transition zone. A signalling-response nexus in the root, Trends in plant science, 15 (7), 2010, pp. 402-408.

S. Mancuso et ai, Gravity affects thè dosure of thè traps in Dionaea muscipula, Biomed research international, 2014, consultabile al sito www.hindawi.com/journals/bmri/2014/964203/.

S. Mancuso et al., The eledrical network of maize root apex is gravity dependent, Scientific reports, 5 (7730), 2015.

IX Vivere senza acqua dolce



Uno scorcio del Nevada, uno Stato in gran parte semiarido e frammentato da numerose catene montuose.

OCEANO: CORPO D'ACQUA OCCUPANTE CIRCA DUE TERZI DI UN MONDO FATTO PER L'UOMO - CHE NON HA LE BRANCHIE.

(Ambrose Bierce, *The unabridged devil's dictionary)*

L'ACQUA È LA SOSTANZA DA CUI TRAGGONO ORIGINE TUTTE LE COSE; LA SUA SCORREVOLEZZA SPIEGA ANCHE I MUTAMENTI DELLE COSE STESSE. QUESTA CONCEZIONE DERIVA DALLA CONSTATAZIONE CHE ANIMALI E PIANTE SI NUTRONO DI UMIDITÀ, CHE GLI ALIMENTI SONO RICCHI DI SUCCHI E CHE GLI ESSERI VIVENTI SI DISSECCANO DOPO LA MORTE.

(Talete)

LAUDATO SI', MI' SIGNORE, PER SOR'AQUA, LA QUALE È MULTO UTILE ET HUMILE ET PRETIOSA ET CASTA.

(San Francesco d'Assisi, *Laudes creaturarum, o Cantico di frate Sole)*

La disponibilità La disponibilità di acqua dolce non è illimitata...

Il 21 maggio 2005, in occasione della cerimonia di consegna delle lauree presso il Kenyon College, lo scrittore americano David Foster Wallace raccontava la seguente storiella: Ci sono due giovani pesci, uno vicino all'altro, che incontrano un pesce più anziano il quale, nuotando in direzione opposta, fa loro un cenno di saluto e poi dice: "Buongiorno, ragazzi. Com'è l'acqua oggi?". I due giovani pesci continuano a nuotare ancora per un po', poi uno dei due guarda l'altro e gli chiede: "Ma cosa diavolo è l'acqua?" .

Il problema dell'acqua oggi ha molto a che fare con questo racconto. Per la maggior parte dei Paesi occidentali l'acqua è un bene così facilmente disponibile, piuttosto a buon mercato e, almeno ai nostri occhi, praticamente inesauribile, che non ne riusciamo a riconoscere la vera importanza. Anche l'economia classica percepiva il valore dell'acqua pressappoco negli stessi termini. Scrive David Ricardo nei suoi *Principi di economìa politica e dell'imposta* (1817): In base ai principi comuni della domanda e dell'offerta nulla può essere dato in cambio per l'uso dell'aria e dell'acqua o di qualsiasi altro dono della natura di cui esiste una quantità illimitata. Il fabbricante di birra, il distillatore, il tintore, per la produzione delle loro merci fanno uso incessante d'aria e d'acqua, ma queste non hanno prezzo perché illimitata ne è la provvista .

Negli ultimi anni è apparso sempre più evidente che a causa della domanda crescente la scarsità di acqua dolce sta diventando un pericolo per lo sviluppo sostenibile della società umana. Nel suo più recente rapporto annuale sui rischi globali, il World economie forum cita la mancanza di acqua dolce come la più importante minaccia in termini d'impatto potenziale. Le prime conseguenze di prolungati periodi di siccità sono purtroppo, e drammaticamente, già sotto i nostri occhi. Una ricerca pubblicata dall'Università della California porta convincenti prove che la terribile siccità (la peggiore mai registrata da che esistono misurazioni strumentali) che, a partire dall'inverno 2006, per tre anni consecutivi, ha colpito la Siria e la grande area della Mezzaluna fertile, dove l'agricoltura stessa è nata circa dodicimila anni fa, è stata una delle principali cause scatenanti la guerra civile in Siria. La siccità proseguita per un periodo così lungo ha infetto un colpo mortale all'attività agricola in un'area già pesantemente limitata nelle produzioni da una cronica scarsità d'acqua dolce, obbligando alla migrazione oltre un milione e mezzo di persone che dalle aree rurali si sono spostate nella periferia dei grandi centri urbani, con conseguenze catastrofiche.



L'aridità dei suoli causata da siccità persistenti e dal cambiamento climatico è divenuta un'emergenza planetaria.

L'acqua presente sul pianeta è per il 97 per cento acqua marina, e come tale inutilizzabile per l'uomo, l'agricoltura e l'industria. L'intera domanda di acqua per uso umano grava, quindi, sul restante 3 per cento. Se si considera che un altro 1 per cento è inutilizzabile perché in forma di ghiaccio ai poli, ne rimane a disposizione soltanto il 2 per cento, che deve essere utilizzato per una popolazione mondiale in crescita costante e con un continuo miglioramento dei propri standard di vita, che richiede sempre più acqua per rispondere alle crescenti necessità della produzione industriale e dell'agricoltura irrigua. In termini assoluti, a livello planetario e su base annua, sulla Terra esisterebbe abbastanza acqua dolce da soddisfare questa richiesta, ma le variazioni nel tempo e nello spazio della domanda di acqua e della sua disponibilità sono enormi. così molte regioni del mondo in particolari periodi dell'anno soffrono di scarsità d'acqua. In un certo senso l'essenza stessa del problema di tale penuria è proprio lo sfasamento geografico e temporale fra la domanda di acqua dolce e la sua disponibilità.

Il problema dell'approvvigionamento di questa risorsa diventerà perciò sempre più importante nel prossimo futuro, in conseguenza di una popolazione mondiale prevista in crescita almeno fino al 2050, anno in cui il pianeta raggiungerà la ragguardevole cifra di circa dieci miliardi di persone. Queste persone avranno necessità di acqua dolce sia per il proprio consumo personale sia, soprattutto, per la produzione del cibo necessario a nutrirsi.

Per rendere più comprensibili le dimensioni del problema, immaginiamo che da ora al 2050 dovremo essere in grado di produrre cibo a sufficienza per nutrire in più l'intera popolazione della Terra del 1960, che era allora di circa tre miliardi di persone. In altri termini, nei prossimi trent'anni ci troveremo nella necessità di dover sfamare un *intero nuovo pianeta.* Visto da questa prospettiva, il problema appare nella sua vastità e - per quanto io non sia affatto pessimista sulla possibilità di risolverlo - anche nella sua gravita. Dovrebbe essere infatti evidente che un aumento così sostenuto della popolazione, se non accompagnato da un drastico cambiamento dei nostri modelli di produzione e consumo, potrebbe risultare insostenibile per il pianeta.

A rendere, se possibile, ancora più serio il problema della necessità di nutrire altri tre miliardi di persone sono alcuni dati poco incoraggianti sulle produzioni agricole. Il primo è che negli ultimi anni, in tutto il mondo, e soprattutto nelle aree più sviluppate, si registrano forti rallentamenti nella crescita delle rese. Il fenomeno è di tale rilevanza da rendere necessaria un'ulteriore precisazione sulle sue cause. Com'è ovvio, a fronte di una richiesta crescente di alimenti, le possibilità di intervento sono soltanto due: aumento delle rese di produzione e/o ampliamento delle terre messe a coltura. Nell'ultimo decennio, pur con una crescita costante delle rese a livello mondiale, come ho detto, si è assistito al preoccupante fenomeno dell'arresto delle rese nei Paesi più sviluppati. Una delle possibili spiegazioni - come sostenuto da numerosi studi - risiede nel fatto che le rese agricole si avvicinano, in molte regioni ad agricoltura evoluta, al massimo biofisico di resa della coltura in questione. Ciò sarebbe vero per il riso in Cina e Giappone, il grano nel Regno Unito, Germania e Paesi Bassi e il mais in Italia e Francia.

Un altro fattore è sicuramente da imputare ai cambiamenti climatici in atto. Uno studio di Navin Ramankutty (docente di sicurezza alimentare globale e sostenibilità presso l'Università della British Columbia, in Canada), apparso nel 2016, ha quantificato per la prima volta con chiarezza il costo globale dei disastri legati al clima nella seconda metà del XX secolo. Studiando 2800 disastri idro meteorologici, siccità ed eventi termici estremi, avvenuti fra il 1964 e il 2007 in 177 Paesi, è emerso che tali fenomeni sono responsabili per lo stesso periodo di riduzioni della produzione cerealicola (ricordo che oltre il 70 per cento delle calorie consumate dall'umanità derivano da cereali) quantificabile intorno al 10 per cento.

Non solo: nelle nazioni più sviluppate tali fenomeni hanno causato una riduzione quasi doppia rispetto ad agricolture meno avanzate. In Australia, America settentrionale ed Europa i livelli di raccolta sono diminuiti in media del 19,9 per cento a causa della siccità, ovvero circa il doppio della media globale. La differenza sembra sia dovuta alla maggiore uniformità delle coltivazioni industriali dei Paesi avanzati.

In un certo senso ciò conferma l'evidenza sperimentale dei pericoli legati alla perdita delle diversificazioni colturali. Dato che tutti i cereali dell'America settentrionale sono coltivati in enormi aree in maniera totalmente uniforme per quanto riguarda specie e metodi di coltivazione, se per qualche motivo un fattore imprevisto danneggia una coltura, tutta la produzione ne soffrirà. Al contrario, in gran parte dei Paesi in via di sviluppo, i cereali risultano da un mosaico di piccoli campi e colture diverse. Alcune di queste possono essere danneggiate, ma altre riescono a sopravvivere.



Le *alofite* sono piante resistenti al sale che riescono a crescere utilizzando soltanto acqua marina. Il loro studio potrebbe essere fondamentale per la comprensione della resistenza alla salinità.

L'aumento degli eventi estremi è una delle conseguenze più evidenti dei cambiamenti climatici, e tutte le proiezioni suggeriscono che nel prossimo futuro andremo incontro a un ulteriore aumento in numero e intensità. Dobbiamo, quindi, aspettarci nuove diminuzioni delle rese negli anni a venire.

Se queste ultime non aumentano - e anzi in molti casi, in conseguenza dei mutamenti climatici, diminuiscono - l'unica soluzione possibile per sopperire alla crescente richiesta di alimenti sembra quella di mettere a coltura nuove terre. Ciò, tuttavia, presenta non poche complicazioni. Come mai? Iniziamo con il dire che banalmente ogni deforestazione a favore della coltivazione di piante a scopo alimentare non è più tollerabile. così si distruggerebbero aree fondamentali per l'equilibrio del nostro pianeta, al solo fine di ottenere campi che presto diminuirebbero il loro potenziale produttivo diventando in breve tempo completamente sterili. Il gioco non vale la candela: l'effetto negativo delle deforestazioni sul clima - e di conseguenza

sulte rese agricole - è molto superiore al temporaneo aumento delle produzioni dovuto all'ampliamento delle coltivazioni. Qualunque politica che immagini di risolvere il problema alimentare con la deforestazione e la messa a coltura di enormi territori avrebbe conseguenze catastrofiche per l'intero pianeta.

Inoltre, un gran numero di terre potenzialmente coltivabili in realtà non lo sono per varie ragioni, spesso aggravate dall'opera dell'uomo. È il caso dei terreni salini che sarebbero perfettamente coltivabili se soltanto non fossero tossici per le alte concentrazioni di sale.

La salinità dei suoli è un problema la cui entità è poco nota. Si stima che 3,6 dei 5,2 miliardi di ettari delle zone aride usati per l'agricoltura in tutto il mondo siano salini. Quasi il 10 per cento della superficie terrestre (950 milioni di ettari), e il 50 per cento di tutte le terre irrigue (230 milioni di ettari) nel mondo, ha problemi di salinità. Le perdite annuali globali nella produzione agricola dovute a salinità superano i dodici miliardi di dollari e sono in continuo aumento. Anche nel caso dei suoli salini i cambiamenti climatici hanno, purtroppo, un effetto negativo: L'innalzamento del livello del mare, sia per l'infiltrazione di acqua salata nelle falde d'acqua dolce sia direttamente attraverso l'ingresso nei terreni costieri, determina un continuo aumento dell'estensione del problema.

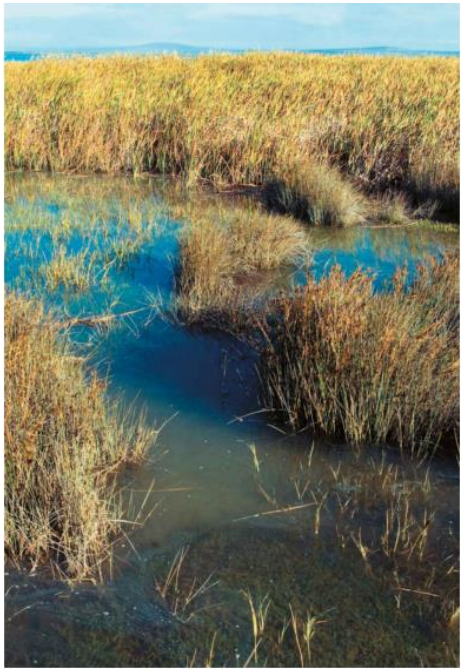


Le Cactaceae si sono evolute per sopravvivere in zone aride in cui la disponibilità di acqua dolce è molto limitata.

I suoli facilmente coltivabili, alla fine, non sono così tanti come sembrerebbe a prima vista. Al contrario, sono rari e oggetto del desiderio di molti, tanto da generare

il desiderio dell'accaparramento di terreni potenzialmente coltivabili da parte di governi preoccupati di mantenere la propria sicurezza alimentare. Il fenomeno, in crescita, e le sue dimensioni destano forte apprensione. Dal 2000 al 2012 sono stati registrati contratti per lo sfruttamento di circa 83 milioni di ettari - che rappresentano oltre il 2 per cento delle terre coltivabili nel mondo - perlopiù in Paesi africani come il Sudan, la Tanzania, l'Etiopia e la Repubblica Democratica del Congo. Ampie zone dell'Africa, dell'America latina e del Sud-est asiatico hanno subito la stessa sorte, e negli ultimi anni il fenomeno si sta espandendo anche ad ampie aree dell'Europa.

La sicurezza alimentare è il vero problema del XXI secolo. Come riuscire a garantire cibo a sufficienza per una popolazione in continua crescita? Come farlo, nonostante la disponibilità di terreni produttivi e risorse idriche sia in drammatica contrazione? Per dare una risposta a queste urgenze, senza incidere ulteriormente sulle risorse del pianeta e senza aggravare la già delicata questione climatica, sarà necessaria una rivoluzione nel nostro modo di intendere la produzione agricola. Una possibile soluzione, in grado di soddisfare la nostra crescente richiesta di cibo e che rispetta anche i vincoli posti dalla questione ambientale, potrebbe essere questa: spostare parte della nostra capacità produttiva negli oceani. Sembra, a prima vista, un'affermazione fantascientifica, ma se l'analizziamo con attenzione vediamo che non c'è niente di inverosimile in essa. Il 97 per cento dell'acqua del pianeta è salata, i due terzi del globo sono ricoperti d'acqua: gli oceani, non ho alcun dubbio, saranno la nostra nuova frontiera molto prima che lo diventino improbabili oggetti extraterrestri. Per farlo dovremo ovviamente superare difficoltà tecniche e ampliare il numero di specie vegetali che utilizziamo nella nostra dieta, includendo piante che sono più tolleranti alla salinità. Sono problemi minori e rientrano ampiamente nelle nostre capacità di risoluzione.



Negli ultimi tempi, per opera dell'uomo e dei cambiamenti climatici, i terreni salini stanno aumentando. L'innalzamento del livello del mare rende ogni anno saline, e quindi sterili, grandi superfici prima fertili.

Vivere di acqua salata

Un'agricoltura adattata a livelli più alti di salinità potrebbe rappresentare una risposta concreta al declino della disponibilità di acqua dolce in agricoltura, e favorire la coltivazione anche in terreni ad alta salinità. Tutte le colture convenzionali sono sensibili al sale. Anche le specie cosiddette *tolleranti*, che sono comunque poche, sopportano al massimo un'irrigazione di acqua dolce miscelata con un 30 per cento di acqua marina. Al di sopra di tali concentrazioni si hanno forti riduzioni di resa, a causa di fenomeni di tossicità per la pianta. Per decenni un consistente numero di ricercatori ha cercato di migliorare la tolleranza al sale delle piante più comunemente coltivate. Purtroppo con scarsissimi risultati.

Benché si siano tentate le più diverse strategie di potenziamento, sembra molto difficile al momento prevedere uno sviluppo di colture convenzionali capaci di crescere in ambienti salini. Per trovare idee nuove in quest'ambito, negli ultimi anni si è iniziato a guardare a un gruppo di piante che hanno risolto da sé il problema di crescere in aree ad alta salinità. Si tratta delle cosiddette *alo//te{da[* greco *alo,* sale, e

//lo, pianta), autoctone di zone naturalmente saline (deserti salati, zone costiere, lagune salmastre eccetera) in grado di crescere e riprodursi in terreni che ucciderebbero ogni altra specie. L'addomesticamento e l'introduzione in coltivazione di queste piante, molte delle quali commestibili per l'uomo e per gli animali, permetterebbe l'uso a scopi irrigui dell'acqua salmastra e marina, e renderebbe produttive le aree costiere o comunque affette da alta salinità. Inoltre, lo studio della vasta gamma dì adattamenti morfologici, fisiologici e biochimici che permette alte atofite di resistere al sale potrebbe rivelarci qualche soluzione possibile per rendere tolleranti anche le piante comuni.

Immaginate se alofite - o comunque piante abbastanza tolleranti al sale - potessero essere coltivate in fattorie galleggianti sul mare. Senza preoccupazioni di spazio o di acqua, il problema della sicurezza alimentare potrebbe essere risolto per sempre.

Jellyfish Barge - la serra galleggiante

Un paio di anni fa, in occasione di una manifestazione organizzata da Ilaria Fendi presso la sua tenuta dei Casali del Pino a Roma, conobbi Cristiana Favretto e Antonio Girardi, una giovane coppia di architetti con un forte interesse per il mondo vegetale come fonte di ispirazione tecnologica. Questa coppia, affiatata sia professionalmente sia nella vita, durante gli ultimi anni si era dedicata con risultati molto originali alla trasposizione nel mondo dell'architettura di alcuni concetti di base del mondo vegetale. Gli interessi in comune, l'eccentricità visionaria dei loro progetti e l'istintiva simpatia che i due ragazzi suscitavano ci portarono naturalmente a discutere delle nostre rispettive esperienze, e dei progetti in corso. Venni così a conoscenza di Jellyfish. Antonio e Cristiana stavano sviluppando l'idea di una serra galleggiante, in grado di trasformare l'acqua salata in acqua dolce e utilizzarla per irrigare le piante al proprio interno. Nei loro suggestivi bozzetti preliminari, la serra era costituita da una cupola trasparente dalla cui base si dipartivano dei lunghi canapi - necessari ad assorbire l'acqua salata - che, come tentacoli, si immergevano nell'acqua. Le sue forme ricordavano così da vicino il corpo di una medusa che chiamarla Jellyfish (medusa, in inglese) era stata per loro quasi una scelta obbligata. Trovai l'idea non solo affascinante, ma soprattutto un fondamentale passo *in* avanti nella direzione di quelle fattorie del mare cui pensavo da tempo.

Iniziammo a esaminare i molti problemi tecnici da risolvere, e a chiederci se fosse plausibile tentare di tradurre l'idea in un prototipo reale e funzionante. Li invitai a venirmi a trovare a Firenze presso il Linv per approfondire la discussione e cercare il modo più efficiente di collaborare. Per settimane, ragionando su come rendere Jellyfish la serra del futuro, aggiungemmo sempre più requisiti a quello che questa

minuscola fattoria del mare avrebbe dovuto fare. Alla fine ne risultò un progetto affascinante e molto ambizioso. Il nostro proposito era creare un sistema autonomo per la produzione di alimenti vegetali che non richiedesse alcun terreno coltivabile, non consumasse neanche una goccia di acqua dolce e fosse alimentato soltanto da energia solare o da altre forme di energia pulita come vento e moto ondoso. Non ci saremmo accontentati di nulla di meno. Volevamo creare una specie di miracolo in grado di produrre alimenti senza consumare risorse. Jellyfish doveva essere il nostro contributo alta risoluzione del problema della sicurezza alimentare nel nostro pianeta. Perciò aggiungemmo alla parola jellyfish la parola barge (zattera). Jellyfish Barge (JB) sarebbe stata la scialuppa di salvataggio che avrebbe permesso la produzione di cibo anche nelle condizioni più catastrofiche.



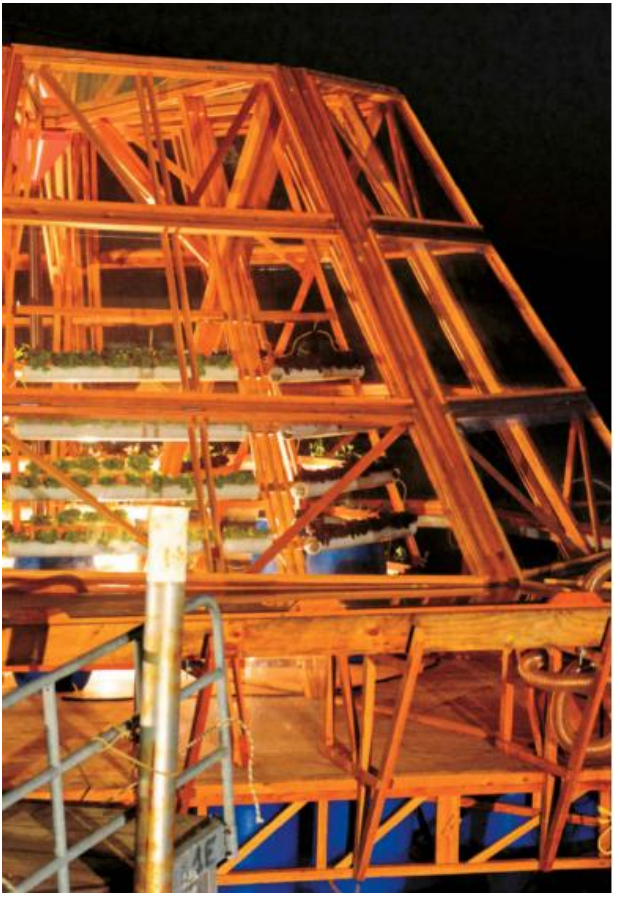
Insalate in crescita all'interno di Jellyfish Barge: la serra galleggiante permette la produzione di ortaggi senza consumare acqua dolce.

Intendiamoci: produrre senza consumare risorse è un po' la pietra filosofale della produzione sostenibile. È un obiettivo molto difficile da raggiungere; una sfida quasi impossibile. All'inizio, nonostante la buona volontà e il lavoro incessante del team che avevamo creato - ad Antonio e Cristiana si erano aggiunte Elisa Azzarello, Elisa Masi e Camilla Pandolfi, per aiutarci nella realizzazione del progetto - non riuscivamo a far quadrare le molteplici necessità. Si trovavano risposte ad alcuni requisiti, ma non a tutti contemporaneamente; era possibile non usare acqua dolce, ma solo utilizzando tanta energia, e se volevamo servirci di poca energia non potevamo farlo con una coltura idroponica (ovvero la coltivazione delle piante in un liquido nutritivo). Più il tempo passava più ci sembrava che il nostro visionario progetto non fosse realizzabile.

Inoltre, per non farci mancare niente, c'eravamo posti un ulteriore vincolo: ogni componente di Jellyfish Barge sarebbe dovuto essere completamente riutilizzabile e, ove possibile, ottenuto attraverso il riciclo.

Nei mesi successivi i tanti problemi su cui lavoravamo iniziarono a sembrarci irrisolvibili. Ogni tentativo portava sempre allo stesso deludente risultato. Per un po' continuammo a girare attorno ai tanti aspetti del progetto in maniera del tutto inconcludente. Eravamo bloccati dai molti vincoli esistenti e non sapevamo come venirne fuori, fin quando non decidemmo di ritornare alla nostra idea originaria: ispirarci al mondo vegetale; trovare nella natura la soluzione ai problemi tecnologici che ci assillavano.

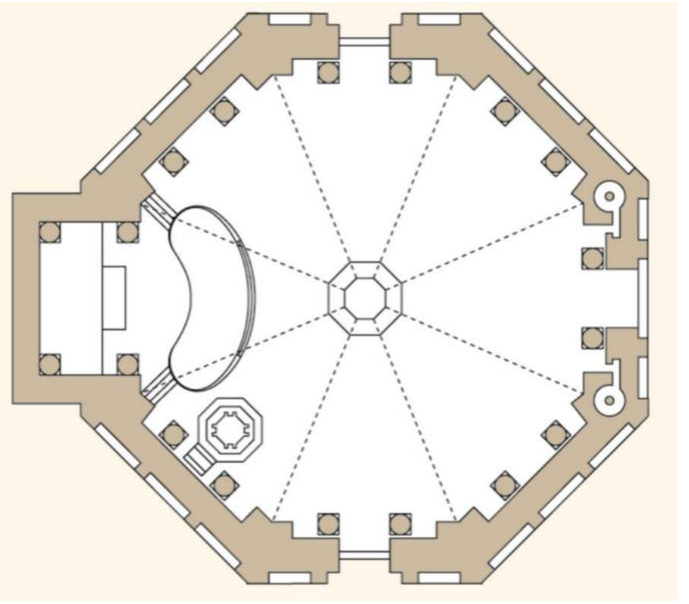
Antonio e Cristiana ridisegnarono Jellyfish in modo che rispondesse anche strutturalmente al modello di base secondo il quale è costruita una pianta. Il primo passo fu rendere Jellyfish modulare. Proprio come una pianta è costituita da moduli che si ripetono in funzione delle dimensioni, così anche Jellyfish doveva essere in grado di funzionare sia da sola (come una singola serra galleggiante autonoma), sia in insiemi sempre più grandi adatti alla produzione di grandi quantità di piante. La forma di base del singolo modulo divenne l'ottagono, la figura geometrica perfetta per una buona gestione dello spazio e che garantiva il mantenimento di spazi liberi per il trasporto o le operazioni comuni qualora più moduli si fossero uniti insieme.



Il primo prototipo di Jellyfish Barge aveva la struttura portante interamente realizzata in legno ed era in grado di produrre ortaggi senza utilizzare acqua dolce, suolo o energia diversa da quella solare.

Alla natura e alle piante ci ispirammo anche per la progettazione del componente che più ci dava filo da torcere: il sistema di dissalazione dell'acqua marina. Mi tornarono in mente le parole con cui, nel *Codice atlantico,* Leonardo presenta una succinta descrizione del ciclo dell'acqua: Sicché si può conchiudere che l'acqua vadi dai fiumi al mare e dal mare ai fiumi. Ora, se pensiamo al ciclo naturale dell'acqua, ci accorgiamo che è anche un potente desatinizzatore. Quando evapora dal mare, lascia i sali disciolti nell'acqua rimasta allo stato liquido. Così, quando il vapore acqueo, formate le nuvole, si ricondensa e precipita sulla terra sotto forma di pioggia, questa sarà costituita da acqua dolce. Attraverso l'evaporazione alimentata dal sole si desalinizzano ogni giorno enormi quantità di acqua. Le piante partecipano a questo ciclo naturale attraverso la traspirazione di acqua da parte della chioma. Foreste come quella amazzonica traspirano in tali quantità da influire in maniera significativa sulla

formazione del clima del pianeta, e alcuni alberi come le mangrovie sono in grado di traspirare direttamente l'acqua di mare.



La pianta ottagonale di un edificio di architettura romanica. Castel del Monte in Puglia, il Battistero di Firenze e la casa di Thomas Jefferson in Virginia sono tra gli esempi più noti di pianta a ottagono.

Individuammo, quindi, nella dissalazione solare il sistema più idoneo a produrre l'acqua dolce necessaria. Si tratta di un procedimento incredibilmente semplice: l'acqua evapora sotto l'azione del sole, e poi passa allo stato liquido attraverso la condensazione in un ambiente più fresco. Il processo, come scoprimmo nel corso del nostro lavoro, era stato utilizzato dai soldati americani durante la Seconda guerra mondiale per ottenere l'acqua dolce anche nei casi più disperati, come quello classico e letterario di sopravvivenza su un'isola deserta priva di sorgenti di acqua dolce. L'esercito americano aveva addirittura prodotto uno speciale kit che, sfruttando i raggi del sole tropicale, era in grado di ricavare dall'acqua marina tutta l'acqua potabile necessaria per la sopravvivenza di una persona. Per un certo tempo, cercammo anche di procurarci uno di questi kit, ma senza successo. Comunque il principio di funzionamento era molto chiaro e, in breve tempo, riuscimmo a progettare dei dissalatori che, utilizzando il riscaldamento solare, erano in grado di produrre alle latitudini del Mediterraneo oltre duecento litri di acqua dolce al giorno; più che sufficienti per la necessità del sistema di idroponica che avrebbe permesso la crescita delle piante nella serra.

Risolti i problemi della produzione di acqua eravamo pronti per la costruzione del

primo prototipo. Ma per farlo dovevamo trovare un mecenate che credesse nel progetto. Fu un'impresa più facile del previsto: Jellyfish piaceva a tutti, e l'importanza di produrre alimenti senza utilizzare risorse apprezzabili era più che evidente. La Fondazione Cassa di risparmio di Firenze, cui il progetto era molto piaciuto fin dall'inizio, diventò il nostro principale supporter finanziario.

In poco tempo realizzammo il primo prototipo funzionante. Tutto procedeva perfettamente. La serra galleggiava, il sistema di coltivazione idroponica teneva, l'acqua era ricavata dai dissalatori nelle quantità necessarie. L'unico inconveniente era la qualità dell'acqua, che era troppo pura per i nostri scopi. Quella prodotta per dissalazione solare, infatti, è paragonabile ad acqua distillata, e non contiene alcun elemento minerale. Per ovviare a questa complicazione, e nello stesso tempo aumentare la scorta utilizzabile, mescolavamo l'acqua prodotta dai dissalatori con un 10 per cento di quella prelevata dal mare. In questa maniera si arricchiva dei sali minerali contenuti nell'acqua di mare, senza indurre alcun fenomeno di tossicità nelle colture. Jellyfish iniziò brillantemente a funzionare e a far crescere verdure a pieno ritmo. In un mese la serra galleggiante produceva circa cinquecento cespi d'insalata pronti per il consumo, e in tanti si accorsero che coltivare ortaggi senza consumare alcuna risorsa non era affatto una chimera. Un'idea visionaria aveva trovato la sua applicazione concreta. Le piante cresciute nella serra erano il nostro contributo a un futuro sostenibile.

Jellyfish Barge è stato uno dei progetti italiani presentati all'Expo di Milano nel 2015, e centinaia di migliaia di persone hanno avuto modo di vederla galleggiare e di visitarla nella ex darsena del capoluogo lombardo. È stata esposta in tante città del mondo e ha vinto numerosissimi premi internazionali, alcuni dei quali molto importanti promossi dalle Nazioni Unite. Inoltre è davvero bella, come testimoniano i premi che ha vinto anche dal lato architettonico; eppure, non sembra interessare gli investitori. Sebbene riesca nell'apparente miracolo di produrre ortaggi *senza consumare alcuna risorsa*, al mercato non sembra importare molto. Come disse una volta un mio collega, non senza una certa punta di soddisfazione: I progetti o vincono i premi o vanno sul mercato. E sembra che JB sia destinata soltanto a vincere premi.



Il sistema Idroponico all'Interno di Jcllyfish Barge permette di aumentare l'efficienza produttiva dell'acqua dissalata dalla serra.

È un peccato. Sicuramente Jellyfish può essere migliorata, resa più efficiente e produttiva, ma la cosa fondamentale è che *funziona*. Vi rendete conto di ciò che significa produrre alimenti senza che sia necessario del suolo fertile, senza che ci sia bisogno di acqua dolce e senza che serva altra energia oltre a quella solare? Mi sarei immaginato file d'imprenditori interessati a sviluppare l'idea fuori dalla porta del laboratorio. Tutti noi ce lo aspettavamo. Era stato facile trovare un mecenate che credesse nell'idea all'inizio dell'avventura, pensavamo sarebbe stato ancora più facile trovare qualche imprenditore illuminato ora che avevamo dei prototipi funzionanti e mille premi. Invece, quasi nulla. Sì, qualcuno si è mostrato interessato, ma non è durato molto. Colpa nostra di sicuro, ma avere a che fare con il mercato è faticoso. Si tratta di un mondo chiuso, liturgico, spesso provinciale e con richieste che spaventano la maggior parte dei ricercatori.

Ad esempio, oggi non vai da nessuna parte senza un *business pian*. Te lo chiedono prima di sapere come ti chiami. Non ha un business pian? Dopo un primo attimo d'incredulità nel trovarsi davanti a qualcuno che circola senza un business pian, i più cortesi scuotono sconsolati la testa e allargano le braccia in una chiara mimica di impossibilità, anche volendo, ad aiutarti. Ma i garbati sono pochi, la maggior parte, lo vedi benissimo, non riesce a mascherare il disprezzo. Ma come? Ti presenti, rubando interi minuti del loro preziosissimo tempo - che, ricordiamolo sempre, è denaro - e non hai un business pian? Abbiamo almeno un *etevatorpitch?* Cosa? Mi auguro sappiate cos'è un elevator pitch: non saperlo vi impedirebbe per sempre di far parte del gran mondo degli affari, relegandovi al ruolo di poveri, ingenui spettatori, lo, ovviamente, non lo sapevo, ma siccome mi piace studiare mi sono informato.

Dunque, il concetto è che voi siate in grado di riassumere la vostra idea in un tempo variabile da uno a due minuti, ossia il tempo che un ascensore impiega a terminare il suo tragitto. Immagino si tratti di un ascensore da grattacielo americano. Il mio, a Firenze, ci impiega venti secondi per portarmi al quarto piano, ed è lento. Perché l'ascensore? vi chiederete, lo me lo sono chiesto. Sembra che la ragione sia da ricercare nel fatto che potreste incontrare qualcuno d'importante in ascensore con cui parlare della vostra idea. In questo senso Wikipedia è illuminante: II termine stesso deriva da uno scenario di un incontro casuale con una persona importante in ascensore. Se la conversazione in quei pochi secondi è stata interessante e di valore aggiunto potrebbe terminare con uno scambio di biglietti da visita o con un appuntamento. Cavolo! Prendere un ascensore negli Stati Uniti sembrerebbe essere un'esperienza eccitante. Non sai mai chi potresti incontrare. Ma in Italia? Chi volete che incontri, d'importante, in ascensore? lo, ad esempio, lo prendo soltanto quando torno a casa per salire al quarto piano dove abito, e non sempre, perché spesso prendo le scale per fare un po' di moto. Non lo uso mai in discesa, perché dal quarto piano faccio prima a piedi e, in ogni caso, conosco tutti nel palazzo e nessuno potrebbe mai finanziarmi Jellyfish.

Ma poi, secondo voi, qualcuno avrà mai fatto un vero elevator pitch nel posto canonico dove si dovrebbe fare? lo mi auguro di no. Ve lo immaginate? Uno sale in ascensore e invece di star zitto o, se proprio è espansivo, iniziare un venti secondi di classica conversazione sul tempo, vi guarda, pensa che siate importante, magari perché siete vestito per andare alla cresima di vostra nipote, e attacca a sciorinarvi idee, cifre, ipotesi di mercato, statistiche a una velocità di mille parole al minuto. Non so negli Stati Uniti, ma qui a Firenze ci si spaventerebbe molto. Cerco di immaginarmi una situazione in cui avere un elevator pitch potrebbe servirmi, ma non mi viene in mente nulla. Magari un bus pitch, un tram pitch, un coffee pitch, addirittura un supermarket line pitch, potrei capirli; un elevator pitch, no. Non c'è una sola eventualità nella vita in cui potrebbe esservi utile. Mai.

Eppure tutti ve lo chiedono. C'è di che pensare a come alcuni concetti si impongano nonostante la loro palese inutilità. Tu vai a spiegare a qualcuno che hai qualcosa che produce roba da mangiare senza utilizzare alcuna risorsa; ti aspetteresti come minimo un cortese interesse, almeno quella gentilezza che si dovrebbe avere verso le persone non proprio sane di mente, e invece questo, senza batter ciglio, ti chiede business pian ed elevator pitch. Anche se non siete in un ascensore, ma in un comodissimo ufficio, e colui che vi sta davanti ha magari l'intera mattinata libera e potrebbe tranquillamente dedicarvi cinque minuti mentre gli spiegate per bene come funziona la faccenda... No: è necessario che tu abbia l'elevator pitch.

È troppo! Ci abbiamo provato, e abbiamo perso molto tempo: abbiamo anche

preparato un bellissimo elevator pitch e un buon business pian, non volevamo sottrarci a tali richieste, ma le difficoltà sono rimaste insuperabili. Vi farò un solo esempio: nel business pian appariva che produrre un cespo di insalata con Jellyfish costava, *ovviamente*, più che produrlo in una normale serra. Non molto, ma un po' di più si. È ovvio che sia cosi: se nel prezzo del cespo d'insalata prodotto in una normale serra si tenesse conto anche dei costi per l'ambiente e delle risorse consumate, allora il bilancio sarebbe molto diverso e di gran lunga favorevole al cespo d'insalata prodotto con Jellyfish. Ma questo non interessa a nessuno. L'ambiente in cui viviamo, il nostro intero pianeta in un certo senso, è gratuito. Come l'acqua o l'aria per Ricardo nel 1817. Nulla è cambiato in due secoli. Consumare le risorse di tutti si può certo fare gratuitamente, e senza business pian. Quello che interessa al mercato è un sistema che permetta di aumentare i profitti, non qualcosa che faccia mangiare te persone senza consumare le risorse del pianeta. Questa è roba da fricchettoni, al massimo da papa Francesco, non da posati signori del denaro. Comunque sia, noi non ci scoraggiamo; prima o poi, inevitabilmente, servirà coltivare il mare per produrre cibo. Sappiate che Jellyfish Barge è già pronta e funzionante.

Riferimenti bibliografici

K.G. Cassman, K.M. Eskridge, P. Grassini, Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends, Nature Communications, 4 (2918), 2013.

C.P. Kelley *et al., Climate change in thè Fertile Crescent and implications qf thè recent Syrian drought,* Proceedings of thè National academy of sciences of thè United States of America, 112 (11), 2015, pp. 3241- 3246.

Land concentration, landgrabbing andpeople's stmggles in Europe, report del 2013 a cura del Transnational institute, consultabile al sito www.tni.org/en/publication/land-concentration-land-grabbing- and-peoples-struggles-in-europe-O.

C.Lesk, N. Ramankutty, P. Rowhani, *Influenceofextreme weatherdisasters on global crop production,* Nature, 529 (7584), 2016, pp. 84-87.

M. Qadir et al., Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification, Land degradation and development, 19 (4), 2008, pp. 429-453.

K. Riadh et al., Responses of halophytes to environmental stresses with special emphasis to salinity, Advances in botanical research, 53, 2010, pp. 117-145.

D.Ricardo, On thè principles of politicai economy and taxation, John Murray, Londra 1817 (trad. it. Principi di economia politica e dell'imposta, UTET, Torino 2006).

C.J. Ruan *et al., Halophyte improvement for a salinized world,* Criticai reviewsin plant sciences, 29 (6), 2010, pp. 329-359.

The Global Risks, report del 2016 a cura del World economie forum, consultabile al sito www.3.weforum.org/docs/Media/TheGlobalRisksReport2 016 .pdf.

D.F. Wallace, *Questa è l'acqua,* Einaudi, Torino 2009.

Referenze fotografiche

(i numeri di pagina sono riferiti all'edizione stampata)

Dove non altrimenti indicato le immagini appartengono all'Archivio (Sunti. L'editore si dichiara la fonte

Per cortesia di Stefano Mancuso

pp. 15. 27, 54-55. 47. 49. 51. 58-59. 71d 72, 75. 79. 82. 88-89, 96, 97, 98,101. 105.105.109,112- 115. 116, 117,125, 155, 157, 140-141,146, 151, 156, 161, 175,184-185. 188. 191. 202. 207, 208, 210, 220, 222, 224. 227, 229. 250, 250, 255, 256

pp. 16-17 © Peter Owen / EyeEm / Getty Images p. 24
© 5hutterstock / BankotoS
p. 59 alto © De Agostini / Getty Images
p. 59 basso © Lebrecht Musi e & Arts / Contrasto p. 45 ©
Labrina / Creative Commons
p. 64 © Flickr / Wlkimedia Commons
p. 67 alto © blickwinket / Alamy Stock Photo / IPA
p. 67 basso© Shutterstock / vaivirga
p. 71 sinistra © Paul Za hi / National Geographic / Getty Images
p. 78 © Shutterstock / ChWeiss
p. 79 alto © UIG / Getty Images
p. 80 © Pai Hermansen / NPL / Contrasto
p. 84 © Bill Barksdale / Agefotostock
p. 92 © SSPL / National Media Museum / Getty Images
p. 94 © SSPL / Florilegius / Getty Images p. 119 ©
Moriey Read / Getty Images
p. 122 © Visuals Uiìlimited *I NPL f* Contrasto p. 150 ©
Shutterstock / Lenscap Photography
p. 152 © Shutterstock / Hristo Rusev
p. 155© Stuart Wilson/ Science Source /Getty Images p. 165 ©
Martin Ruegner / IFA-Bilderteam / Getty Images
p. 178 © The Opte Project / Wlkimedia Commons
p. 192 © Hulton Deutsch / Getty Images p. 195©
George Rinhart / Getty Images p. 201 © UIG /
Getty Images
p. 205 © Juan Carlos Munoz / NPL / Contrasto
pp. 256-257 © Shutterstock / Pcter Wey
p. 240 © Andrii Shevchuk / Alamy Stock Photo / IPA
p. 245 © Shutterstock / Atonen Gala
p. 245 © Shutterstock / Darren J. Bradley
p. 247 © Peter Chadwlck / SPL / Contrasto
p. 5,19, 57, 61. 91,115,145,187, 217, 259© Blasko RÌ2OV / Shutterstock