

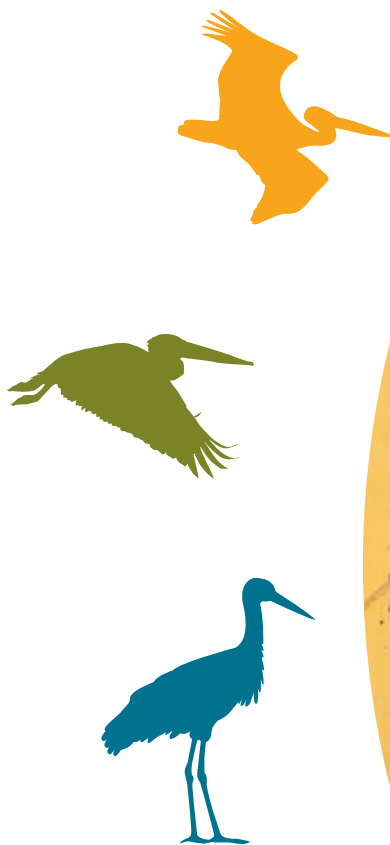


INSIEME ALLE
SCUOLE PER
IMPARARE
DALLA NATURA



CUSTODI DELLA BIODIVERSITÀ

Impariamo dalla natura
QUADERNO INSEGNANTI





INDICE

1. “IL CERCHIO DA CHIUDERE”	6
Cenni di storia del concetto di economia circolare	18
L’economia circolare nell’Antropocene	19
Lo Spazio Operativo Sicuro (SOS) per l’umanità sulla Terra	23
2. COSA CI INSEGNA LA NATURA, COSA CI INSEGNA LA RICCHEZZA DELLA VITA SULLA TERRA	28
La cellula e il genoma	30
Siamo natura e siamo cultura	31
I geni e i genomi nel mondo	35
Il moderno albero della vita	36
La base della vita sulla Terra: lo straordinario mondo microbico	38
Gli estremofili	42
3. “BIOMIMESI: COME IMITARE LA NATURA”	45
La natura laboratorio per lo sviluppo innovativo e sostenibile	47
<i>Il becco dell’Alcedo atthis: un progetto di pesca</i>	48
<i>Squali contro batteri</i>	48
<i>Costume da squalo</i>	49
<i>Il coleottero della nebbia</i>	49
<i>La ninfea ispiratrice</i>	49
<i>Uso dell’energia</i>	50
<i>La CO₂ per costruire cemento “verde”</i>	51
<i>Superfici con colore strutturale</i>	51
4. UN IMPEGNO GLOBALE PER DIFENDERE LA BIODIVERSITÀ	53
Le sfide delle agende internazionali	54
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	55

DESCRIZIONE DEL KIT

Oltre al quaderno docenti il kit contiene:

25 copie del Quaderno Ragazzi

Anche il nostro sito dedicato al progetto conterrà numerosi aggiornamenti.



QUADERNO DI EDUCAZIONE AMBIENTALE N.75 - INSEGNANTI

A cura di: Maria Antonietta Quadrelli

Testi: Gianfranco Bologna, Pasqualina Morzillo

Coordinamento editoriale: Emanuela Pietrobelli

Grafica: Letrè - Roma

www.letre.it

(foto in copertina: © Ola Jennersten / WWF-Sweden)

WWF ITALIA Onlus

Via Po 25/c

00198 Roma

wwf.it

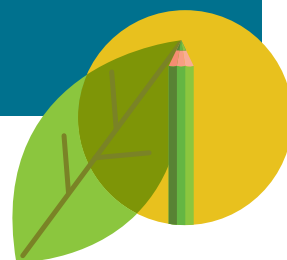
Anno: 2019

VERSO L'ECONOMIA CIRCOLARE: IMPARIAMO DALLA BIODIVERSITÀ

Introdurre l'argomento proponendo ai ragazzi un brainstorming con le parole ECONOMIA ed ECOLOGIA, e costruire un word, o tag, cloud con tutte le parole emerse.

Le nuvole di parole, o di etichette, costituiscono un ottimo metodo per **riassumere** le informazioni e visualizzare in modo immediato i **concetti chiave**. Il loro impatto grafico le rende poi ancora più efficaci, soprattutto per gli studenti che hanno uno **stile di apprendimento di tipo più visivo**.

Possono essere utilizzate sia nella fase iniziale di un'attività didattica, per un brainstorming individuale o di gruppo, sia nel suo momento conclusivo, sicuramente come strumenti in grado di coinvolgere attivamente gli studenti nel loro processo di creazione. On line potete trovare parecchi siti che permettono di realizzarle.



*I termitai
sono un esempio
di termoregolazione*



© Wim van Passel / WWF

1. “IL CERCHIO DA CHIUDERE”

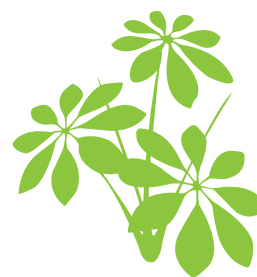
“Il cerchio da chiudere” è il titolo di uno straordinario volume dell’ecologo Barry Commoner (1917 – 2012) che per decenni ha insegnato alla Washington University di St. Louis, pubblicato nel 1971 (l’anno precedente la prima Conferenza delle Nazioni Unite sull’ambiente, definita Conferenza delle Nazioni Unite sull’Ambiente Umano che si tenne a Stoccolma nel giugno del 1972 e che diede il via al dibattito planetario e alla ricerca delle soluzioni per migliorare la relazione tra uomo e natura). Il libro dichiarava già dal titolo la necessità e l’urgenza di far rientrare i modelli economici dominanti dell’umanità nell’imitazione dei processi circolari della natura, dove non esiste il “rifiuto” e tutto viene messo nuovamente in circolo nei sistemi naturali stessi.

© James Morgan / WWF



La foresta come tutti gli ambienti naturali è un esempio dei processi circolari esistenti in natura

Barry Commoner: “Non è facile comprendere i problemi dell’ecosfera per una mente moderna. L’ecosistema sembra restare estraneo alla cultura contemporanea. Ci siamo per troppo tempo abituati a considerare eventi singoli e isolati, ciascuno dipendente da una precisa, unica causa. Ma nell’ecosfera ogni effetto è anche una causa: le deiezioni di un animale o la sua carcassa diventano nutrimento per i batteri del terreno; gli escreti dei batteri nutrono a loro volta le piante e gli animali mangiano le piante [...] Abbiamo spezzato il cerchio della vita trasformando i suoi cicli senza fine in eventi umani di tipo lineare: il petrolio viene estratto dal sottosuolo, distillato a carburante, bruciato in un motore e convertito in fumi nocivi che vengono emessi nell’atmosfera. Alla fine di questa linea c’è lo smog. Altre alterazioni che l’uomo ha provocato a danno dei cicli ecologici sono l’emissione di prodotti chimici tossici, di liquami, di montagne di rifiuti, testimonianza del nostro straordinario potere di lacerare il tessuto ecologico che ha garantito, per milioni di anni, la vita del nostro pianeta.”



L’intervento umano con i suoi modelli economici dominanti ha reso di fatto **i processi circolari** caratteristici del funzionamento dei sistemi naturali, dei **processi lineari**, alla fine dei quali si produce lo scarto, il rifiuto, l’inquinamento, sia esso solido, liquido o gassoso.

Non abbiamo invece messo al centro dei processi economici il capitale fondamentale che ci consente di perseguire il benessere e lo sviluppo delle nostre stesse società e cioè il **capitale naturale**, costituito dalla straordinaria ricchezza della natura e della vita sul nostro pianeta. Non avendo sin qui fornito un valore ai sistemi idrici, alla rigenerazione del suolo, alla composizione chimica dell'atmosfera, alla ricchezza della diversità biologica, alla fotosintesi, solo per fare qualche esempio, le nostre società presentano ormai livelli di deficit imponenti nei confronti dei sistemi naturali, considerato quanto abbiamo sottratto ai cicli naturali come flussi di materia e di energia e quanto abbiamo trasformato fisicamente la nostra biosfera, modificando profondamente i meccanismi dell'evoluzione della vita.

Adam Smith (1723 – 1790), ritenuto il fondatore dell'economia, nel suo testo più famoso scrive¹:

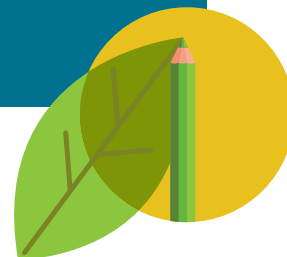
“La parola valore, si deve notare, ha due diversi significati: a volte esprime l'utilità di un oggetto particolare, a volte il potere di acquistare altri beni che il possesso di quell'oggetto comporta. L'uno può essere chiamato “valore d'uso”, l'altro “valore di scambio”. Le cose che hanno il maggior valore d'uso hanno spesso poco o nessun valore di scambio; e, al contrario, quelle che hanno maggior valore di scambio hanno spesso poco o nessun valore d'uso. Nulla è più utile dell'acqua, ma difficilmente con essa si comprerà qualcosa, difficilmente se ne può avere qualcosa in cambio. Un diamante, al contrario, ha difficilmente qualche valore d'uso, ma in cambio di esso si può ottenere una grandissima quantità di altri beni.”



L'esempio dell'impollinazione

Il secondo Rapporto sul Capitale Naturale in Italia, presentato dal Ministero dell'Ambiente nel mese di febbraio 2018 dedica un capitolo al servizio ecosistemico dell'impollinazione, riportando i dati delle ultime ricerche realizzate nel nostro paese per una sua quantificazione economica. Nel 2012 il valore della produzione agricola di mele, pere e pesche è stata di 473,48 Milioni di euro, è stato valutato in 56,96 Milioni di euro il valore economico dipendente direttamente dall'impollinazione per il settore mele, pere e pesche. In definitiva, **il servizio ecosistemico d'impollinazione** contribuisce a circa il 12% (56,96/473,48) del valore della produzione agricola del settore preso in esame.

A livello internazionale l'IPBES (un panel di scienziati di 124 paesi che studia la perdita della biodiversità e dei servizi ecosistemici a livello globale per conto della Convenzione Internazionale sulla Diversità Biologica) ha prodotto nel 2016 un primo rapporto sulla perdita della biodiversità degli impollinatori. Dalla ricerca dell'IPBES risulta che il 16% degli insetti impollinatori selvatici a livello mondiale è a serio rischio di **estinzione**, in particolare il 40% delle specie di api selvatiche e farfalle risultano essere a rischio. Dopo la presentazione del rapporto dell'IPBES si è formata a livello internazionale la coalizione dei volenterosi per la protezione degli impollinatori, costituita da un numero crescente di Governi del mondo, ispirata dalla convinzione dell'urgenza di una azione in rete per promuovere la tutela del servizio ecosistemico dell'impollinazione.



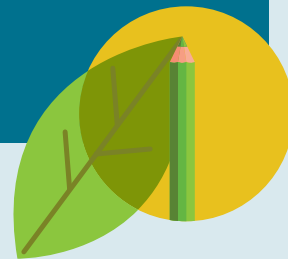
¹ Smith A., 2005, *La ricchezza delle nazioni*, Newton & Compton Editori. Il titolo originale del volume, pubblicato per la prima volta nel 1776, era “L'indagine sulla natura e le cause della ricchezza delle nazioni” ma il testo è più conosciuto con il titolo abbreviato de “La ricchezza delle nazioni”.

“Fuga dall’alluvione”

Si propone questa attività per far comprendere ai bambini/ragazzi le differenti attribuzioni di valore dei beni che possediamo abitualmente.

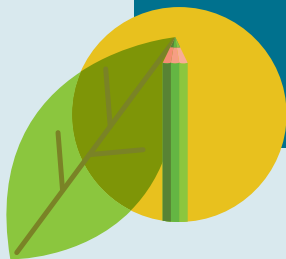
Viene chiesto ad ogni studente di preparare un elenco di cinque cose che porterebbe via con sé se dovesse fuggire da casa a causa di una terribile alluvione che trasformerà in macerie e rottami tutto ciò che incontrerà al suo passaggio. Successivamente i bambini/ragazzi si riuniranno in coppie e poi in gruppetti di quattro e, dopo aver discusso un po’ dando la parola a ciascuno per almeno due volte, compileranno un unico elenco comune di cinque oggetti.

Poi si riuniranno in gruppi di otto, a questo punto ogni gruppo potrà presentare agli altri quanto emerso presentando un cartellone con i risultati raggiunti e le argomentazioni delle scelte fatte. Alla fine la classe potrà discutere partendo dai dati comuni emersi, dalle differenze, cercando di sviscerare la ricchezza del rapporto tra noi e le cose che ci circondano.



“Viaggio nell’isola deserta”

È una variante dell’attività precedente che può allargare la discussione all’utilità e alla funzionalità degli oggetti. In questo caso si farà compilare a ogni studente l’elenco delle dieci cose che vorrebbe portarsi in un’isola deserta, nell’ipotesi di doverci restare da solo. Si prosegue poi con il medesimo schema dell’attività precedente, fino a decidere le dieci cose che la classe porterà in un viaggio di gruppo nell’isola deserta.



La cultura economica dominante non ha tenuto in alcun conto il valore della natura per lo stesso sviluppo e benessere delle società umane. Abbiamo ragionato molto sulla **natura del valore** ma non sul **valore della natura**.

La sfida che l'umanità ha oggi di fronte è una sfida epocale, senza precedenti nella nostra storia. La documentazione scientifica ci indica quanto la pressione umana sulla natura sia ormai completamente insostenibile e, con i grandi cambiamenti globali che abbiamo indotto sulla Terra, la nostra stessa civiltà è a rischio.

La Terra non è in pericolo; la sua età viene datata sui 4.6 miliardi di anni e si ritiene che possa durare ancora per almeno una cifra di anni equivalente, finché la straordinaria stella che ha consentito al nostro pianeta di essere quello che è, il Sole, non terminerà l'energia nucleare disponibile per mantenersi in vita, trasformandosi prima in una **gigante rossa** successivamente in una **nebulosa planetaria** ed infine in una **nana bianca**. In pericolo sembra essere proprio il genere umano e la civiltà che abbiamo sin qui creato, poiché questa civiltà è stata resa possibile solo grazie ai beni ed ai servizi che la natura, e quindi la ricchezza della vita presente sul pianeta, ci ha fornito quotidianamente e gratuitamente e grazie alla discreta stabilità dinamica dei climi e dello stato degli ecosistemi presenti nelle ultime migliaia di anni che caratterizzano il periodo dell'Olocene (iniziato 11.700 anni fa e dura sino ad ora).

I sistemi naturali del nostro meraviglioso pianeta sono costituiti dalla ricchezza degli ecosistemi e della **biodiversità** che li compone, e derivano dai circa 3.8 miliardi di anni nei quali si è andato evolvendo lo straordinario fenomeno vita, del quale non abbiamo altra conoscenza in tutto l'Universo e dal quale la nostra specie proviene e dipende.

Oggi, purtroppo, noi stessi (che esistiamo come specie *Homo sapiens* da circa 250.000 anni) siamo i principali protagonisti della **distruzione della biosfera**, la sfera della vita presente sul nostro pianeta, senza la quale non possiamo vivere².

L'integrità della biosfera viene considerata cruciale per il funzionamento dell'intero Sistema Terra perché gioca un ruolo critico nel determinare lo stato di salute complessivo del pianeta, regolando i suoi flussi di energia e di materia e le risposte ai cambiamenti graduali o repentini che agiscono nell'ambito della sua dinamica. Lo stato di salute della biodiversità della Terra costituisce quindi una reale sicurezza per mantenere la capacità di resilienza dei sistemi ecologici ed umani e garantire le prospettive del nostro futuro benessere e sviluppo³.

La nostra specie proviene dall'evoluzione naturale, dipende da essa e senza di essa non può vivere. Salvaguardare la biodiversità diventa quindi un elemento imprescindibile per il futuro dell'umanità.

Video sull'economia circolare:

<https://www.youtube.com/watch?v=jbBTwKOLLrg>.

E/o quello di "The story of stuff":

<https://www.youtube.com/watch?v=9GorqroigqM&t=51s>.



² IPCC

³ I risultati delle numerose ricerche compiute nell'ambito del più importante programma internazionale sui cambiamenti globali, Future Earth. Research for Global Sustainability, www.futureearth.org, lo dimostrano.

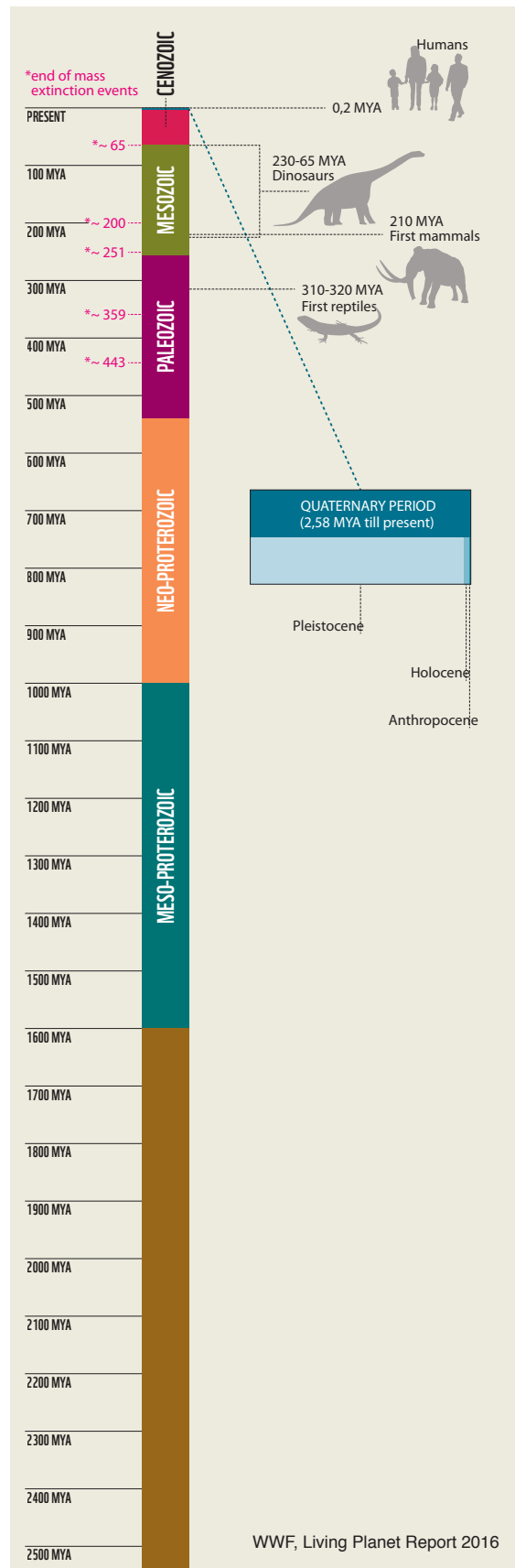
Seguendo modelli economici basati sulla continua crescita materiale e quantitativa, l'umanità è diventata un agente di trasformazione dei sistemi naturali così rilevante che ormai la comunità scientifica la considera equivalente alla dinamica delle forze geofisiche, e persino astrofisiche, agenti sul pianeta, che quindi provoca **cambiamenti globali** ed effetti significativi e importanti sui **sistemi naturali** in maniera simile a quelli prodotti dalle eruzioni vulcaniche, dalla tettonica a placche, dall'erosione, dalla caduta di un grande meteorite, etc. Stiamo di fatto caratterizzando un nuovo periodo geologico della storia della Terra, definito **Antropocene**⁴.

Ora ci stiamo purtroppo scontrando con i limiti biofisici che definiscono la capacità della Terra di continuare a sopportare una crescita umana che è chiaramente insostenibile. Il danno che stiamo provocando alla biosfera, agli ecosistemi marini, d'acqua dolce e terrestri da cui dipendono tutte le società umane è tale che, negli ultimi 50-60 anni, abbiamo eroso le funzioni e i servizi degli ecosistemi a una velocità che non ha paragoni nella storia e il sistema Terra non è mai stato così debole da quando sono comparse le moderne società umane, creando di fatto una forte limitazione alle nostre opzioni per il benessere e lo sviluppo futuro.

La biosfera è estremamente efficace quando si tratta di generare **resilienza** su scala planetaria: di fatto è la miglior polizza assicurativa che abbiamo contro gli shock causati dai cambiamenti globali, che siano di origine umana o naturale a condizione che sia tutelata in modo adeguato. Come parti integranti del Sistema Terra, potremmo imitare la natura e modellare le nostre strutture in modo da generare resilienza. Dobbiamo perciò produrre e consumare imitando la natura ed impedendo che **i cicli della natura**, siano modificati, come purtroppo abbiamo fatto sino ad ora, rendendoli **processi lineari**.

La **sostenibilità** fornisce gli strumenti per chiudere i cerchi ed evitare i processi che producono scarti, utilizzando le migliori **innovazioni scientifiche e tecnologiche**, ad esempio per ottenere un'energia pulita e rinnovabile, dei processi industriali e di produzione alimentare che rientrino nei cicli della natura, un'economia che valorizzi la sua base naturale e non la distrugga, un **consumo equo** e rispettoso della dignità di tutti gli esseri umani, la realizzazione di **città intelligenti** che non sprechino energia e materie prime, insomma, per mantenere il genere umano entro i limiti biologici e fisici del nostro meraviglioso Pianeta, vivendo con il miglior livello di benessere e di qualità. Si tratta di modificare il nostro sistema economico lineare e consumistico in un **sistema economico circolare**, si tratta di realizzare una vera e propria **bioeconomia**.

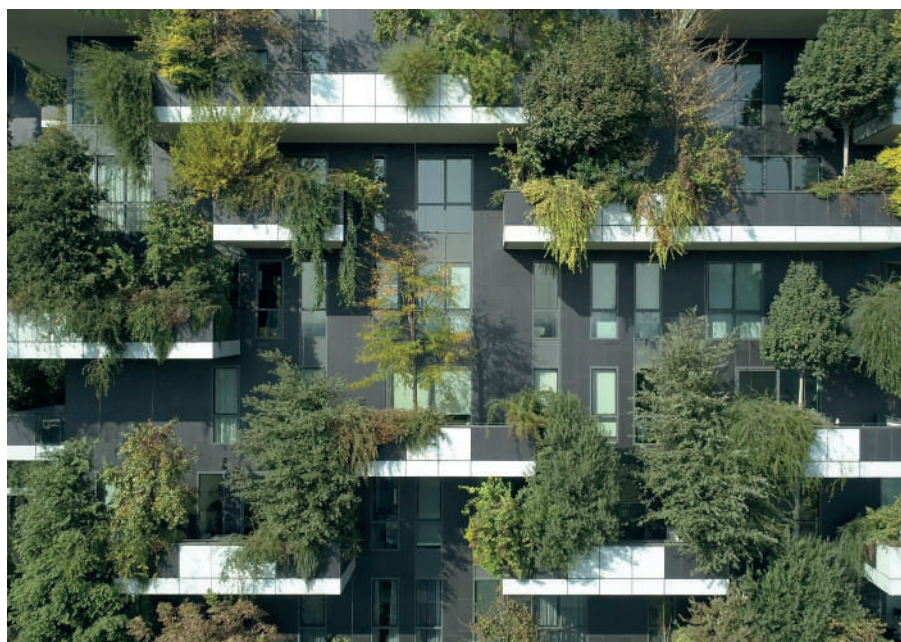
⁴ vedasi www.anthropocene.info



Barry Commoner: “La crisi ambientale puntualizza questa disfunzione nel processo con cui gli esseri umani hanno preso possesso del loro habitat, la Terra. La carenza, l’errore non stanno nella natura ma nell’uomo. Nessuno, infatti, ha sostenuto a quanto ne so, che il recente avvento degli inquinanti sulla terra è dovuto a qualche mutamento naturale indipendente dall’uomo. Le poche zone che rimangono relativamente incontaminate dal potente intervento dell’uomo sono in gran misura esenti da smog, acque inquinate e degradazione del suolo. Il deterioramento ambientale deve quindi derivare da un errore legato alle attività che l’uomo esplica sulla terra. Una spiegazione che viene proposta è che l’uomo è un animale “sporco”; a differenza degli altri animali tende, cioè a “insudiciare il suo nido”. La gente, insomma, non possiederebbe quella natura ordinata degli animali e insudicia il mondo in proporzione al suo incremento numerico. Questa spiegazione è fondamentalmente errata, perché la “pulizia” degli animali in natura non deriva dalle loro attività igieniche. Ciò che rimuove i loro rifiuti è l’attività di altri esseri viventi che li utilizzano come sostanze nutritive. In un ciclo ecologico non si possono accumulare rifiuti perché nulla è rifiutato. Perciò un essere vivente che sia parte naturale di un ecosistema non può degradarlo ad opera delle proprie attività biologiche; un ecosistema viene sempre messo sotto stress dall’esterno. Gli esseri umani, in quanto animali, non sono meno puliti degli altri organismi viventi: inquinano l’ambiente soltanto perché hanno spezzato le maglie della rete chiusa, ciclica che contiene tutti gli altri esseri viventi. Finché mantenevano il loro posto nell’ecosistema terrestre – consumando il cibo prodotto dal terreno e l’ossigeno liberato dalle piante, restituendo i rifiuti organici al terreno e l’anidride carbonica alle piante – gli esseri umani non potevano arrecare gravi danni ecologici. Ma una volta fatta uscire da questo ciclo, portata ad esempio in una città, dove i rifiuti del corpo non vengono restituiti al terreno, ma immessi nelle acque di superficie, la popolazione umana viene separata dall’ecosistema di cui faceva inizialmente parte. A questo punto i rifiuti divengono esposti al sistema naturale a cui sono stati imposti, sopraffanno l’autoregolazione del sistema e lo inquinano.”



© Maria Antonietta Quadrelli



**Facciate verdi
a Milano**

Ricorda Walter Stahel, uno dei principali ispiratori dell'economia circolare, che la circolarità è stato sempre il principio guida della natura⁵: se ci pensiamo bene tutte le molecole naturali sono utilizzate, montate, smontate e riutilizzate ciclicamente, **“come in un gigantesco Lego che consente a fauna e flora di adattarsi alle condizioni mutevoli sviluppando una crescente biodiversità. Ma la circolarità della natura non può individuare i processi industriali dannosi: le microplastiche negli oceani verranno mangiate dai pesci, che a loro volta potranno diventare cibo per gli uomini. Allo stesso modo, il sale raccolto dal mare attraverso l'evaporazione, che gli intenditori preferiscono al salgemma, contiene microplastiche; in natura niente viene sprecato. Il genere umano ha l'obbligo morale di gestire quei prodotti industriali che la natura non può decomporre, e deve farlo nel suo stesso interesse”**.



© Antonio Busiello / WWF-US



Presenza di plastica negli oceani

Ecco perché finalmente oggi si parla sempre di più di **Economia Circolare**.

La più recente definizione di economia circolare ci viene dalla Ellen MacArthur Foundation (che si sta dedicando completamente alla diffusione e all'applicazione dei modelli che derivano da questa importante visione e pratica innovativa⁶) e la indica come **“un termine generale per definire un'economia pensata e progettata per potersi rigenerare da sola. In un'economia circolare i flussi di materia possono essere distinti in due tipologie: quelli biologici, in grado di essere reintegrati nella biosfera, e quelli tecnici destinati ad essere rivalorizzati senza entrare nei cicli della biosfera”**.

Si tratta di un'impostazione completamente differente rispetto a quella fondata sul modello economico dominante che si basa sulla logica dell'estrarre, del produrre, del con-

⁵ Stahel W. R., 2019, Economia circolare per tutti. Concetti base per cittadini, politici e imprese, Edizioni Ambiente.

⁶ Vedasi www.ellenmacarthurfoundation.org da dove, tra l'altro, si possono scaricare tutti i rapporti pubblicati dalla Fondazione.

sumare e del dismettere, in pratica dell'usa e getta", dimenticandosi completamente, come indicato già da Barry Commoner con la distinzione tra **processi circolari** della natura e **processi lineari** delle nostre economie, che sul nostro pianeta non esiste il verbo "buttare via", che nella realtà si traduce purtroppo solo nello "spostare più in là" (e l'esempio dell'inquinamento pervasivo della plastica ne è una dimostrazione lampante e tangibile per tutti).

La Ellen MacArthur Foundation è stata voluta da Ellen MacArthur, definita la signora dell'economia circolare.

Di seguito si riportano alcune parti dell'intervista che un giornalista specializzato, Emanuele Bompan, geografo e attento divulgatore, le ha fatto per una rivista autorevole sul tema, "**Materia rinnovabile**"⁷.

[...]

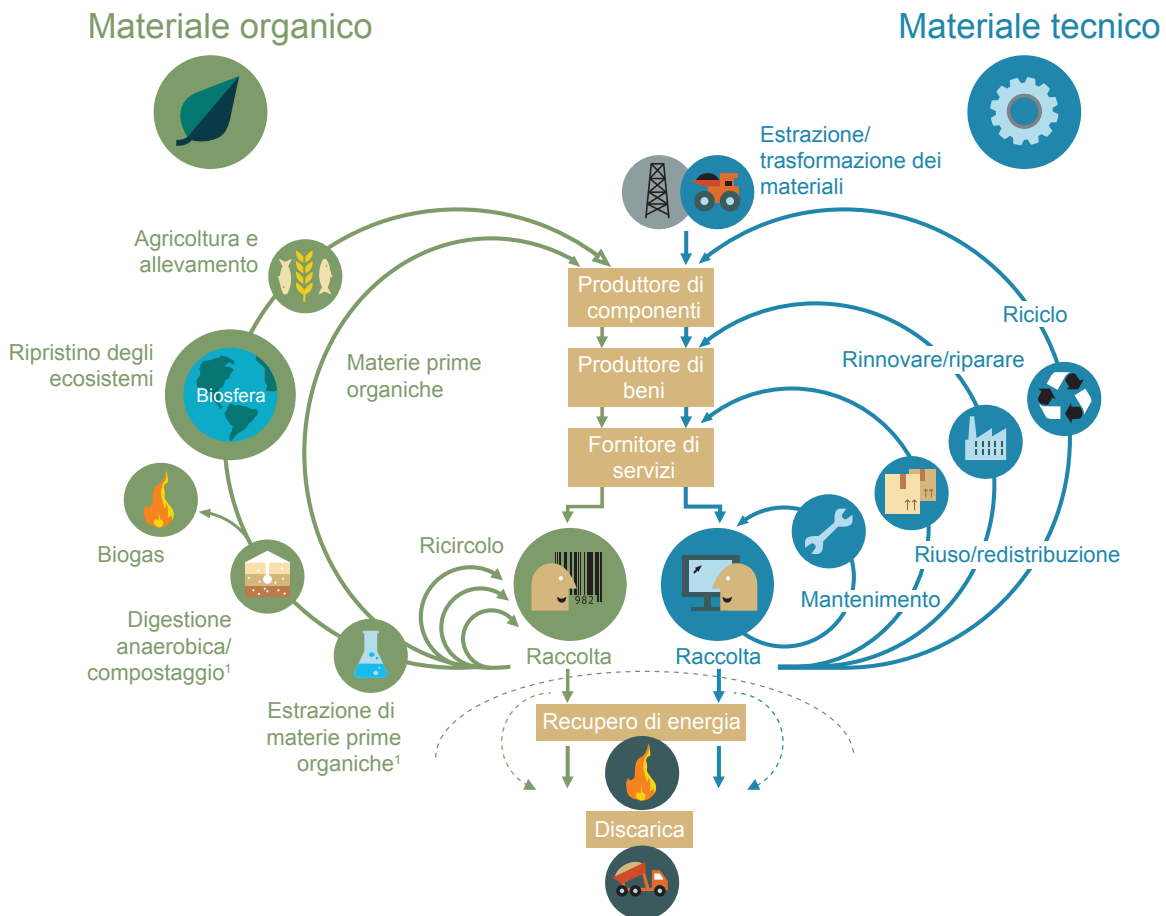
Come è successo che una navigatrice da record sia diventata l'icona dell'economia circolare?

E stata una cosa assolutamente inaspettata; non avrei mai immaginato di farlo. Tutto ciò che volevo fare da quando avevo quattro anni era navigare in barca, e ho passato tutto il mio tempo libero pensando alla navigazione. Per anni ho risparmiato i soldi che avevo per la scuola per potermi comprare una barca, ho lasciato la scuola a 17 anni per diventare un'istruttrice di navigazione, a 18 anni ho pianificato il mio giro del mondo in solitaria. Tutto era navigazione, stare sul mare, trovare uno sponsor, uscire e stare sull'acqua, e io lo amavo più di ogni altra cosa. Anche oggi la amo come sempre, essere sul mare per me è una vera calamita. Non c'era assolutamente nessun motivo per smettere, dovrei essere ancora lì a farlo. Ma qualcosa mi ha fatto smettere. È incredibilmente difficile andare per mare. Immagini di stare per partire oggi dall'Italia per circumnavigare il mondo, senza soste, porterebbe tutto quello che è necessario alla sua sopravvivenza. Tutto. Ha una barca, il suo piccolo mondo, e mette tutto lì sopra, per sopravvivere tre mesi, o quattro o cinque, a seconda di quanto è veloce la barca. Ora quando si parte, è tutto lì il suo collegamento con la terraferma finisce, e si prepara a essere in mare per l'intera durata del viaggio. Se esaurisce qualcosa non ce n'è più, non può fermarsi a comprarne ancora, nell'oceano aperto si è a 2.500 miglia dalla città più vicina, a cinque giorni di distanza dal luogo di arrivo della tappa e da qualunque altra cosa: si è davvero isolati e si sviluppa davvero un altro modo di pensare. Ci si abitua e ci si predispone in una modalità diversa. E improvvisamente – durante il secondo giro del mondo – ho pensato che la nostra economia non è tanto diversa dalla barca, visto che abbiamo un mondo con risorse limitate. Anche se in barca quando finisco il mio viaggio torno indietro, mi rifornisco e riparto. Mentre noi non possiamo farlo, non abbiamo altre risorse. E questo all'improvviso mi ha colpito, non sapevo niente dell'economia circolare, ovviamente non avevo mai sentito neanche il termine, non ci avevo mai pensato. Questo è ciò che mi ha portato a cercare di capire l'economia globale. Ho cominciato a leggere tutti i libri che potevo, ho incontrato esperti, scienziati, economisti, educatori, cercando di capire. Se l'attuale modello che utilizziamo non funziona, quale può funzionare? E inizialmente si punta sul "dobbiamo usare meno, dobbiamo viaggiare meno". Ma poi ci si rende conto che tutto questo è essenziale, dobbiamo assolutamente essere attentissimi a quello che usiamo ora, perché le nostre risorse non sono infinite. Non si tratta di educare tutti i giovani del mondo, dicendo loro "dob-



⁷ L'intervista con il titolo "La signora che ha bocciato l'economia lineare" è stata pubblicata nel n. 12 del 2016 di "Materia rinnovabile" www.materiarinnovabile.it

biamo usare tutto un po' meno". Si sa che non funziona, perché abbiamo dei desideri. E allora si comincia a pensare "allora cosa funziona?". E improvvisamente si scopre che se cambiamo il sistema, possiamo recuperare tutti i materiali, possiamo usare la progettazione biomimetica, condividere modelli economici – il che porta all'utilizzo estremo dei prodotti e utilizzare un'economia di performance in cui si potrebbe fare la stessa cosa con prodotti più complessi. Di colpo si vede che il pensiero sistemico può cambiare tutto. Ed è il viaggio personale che ho intrapreso che mi ha fatto realizzare che il sistema non funziona, l'economia lineare non funziona sul lungo termine. Ecco come ho cominciato a pensare, da sola sulla mia barca, a una nuova economia, in grado di essere ricostitutiva e rigenerativa, per ricostruire il capitale naturale, che fundamentalmente si è degradato dall'inizio della rivoluzione industriale. E ora il viaggio è iniziato!"



¹ Scarti organici sia della produzione agricola sia del consumo
 Source: Ellen MacArthur Foundation circular economy team drawing from Braungart & McDonough and Cradle to Cradle (C2C)

L'economia circolare costituisce un sistema economico pianificato per progettare al meglio i prodotti da utilizzare, destinato a **riutilizzare i materiali** in successivi cicli produttivi, riducendo al massimo gli **sprechi** e avendo la massima attenzione per eser-



Recupero di rifiuti

citare il **minor impatto** possibile nell'utilizzazione dei flussi di materia e di energia da sottrarre ai sistemi naturali. Il modello economico lineare si basa sull'accessibilità di grandi quantità di risorse ed energia e si scontra palesemente con i **limiti biofisici** del nostro pianeta. Le iniziative a sostegno dell'efficienza – che lavorano per la riduzione delle risorse e dell'**energia fossile** consumata per unità di produzione, da sole possono ritardare la crisi del modello economico, ma non sono sufficienti a risolvere i problemi che derivano dalla natura finita degli stock. Per questo si pone come ormai fondamentale la transizione dal modello lineare ad un modello circolare, che nella considerazione di tutte le fasi, dalla **progettazione**, alla **produzione**, al **consumo**, fino alla **destinazione** a fine vita, sappia cogliere ogni opportunità di limitare l'apporto di materia ed energia in ingresso e di minimizzare gli scarti e le **perdite**, ponendo attenzione alla prevenzione delle esternalità ambientali negative e alla realizzazione di nuovo **valore sociale e territoriale**.

Si tratta di un ripensamento complessivo e radicale rispetto al modello produttivo classico tuttora ampiamente adottato in pratica in tutto il mondo, basato sul **sovrasfruttamento** delle risorse naturali e orientato all'unico obiettivo della **massimizzazione dei profitti** tramite la riduzione dei costi di produzione.

Adottare un approccio circolare significa invece rivedere tutte le fasi della produzione e prestare attenzione all'intera filiera coinvolta nel ciclo produttivo. Questa attenzione passa per il rispetto di alcuni principi di base, che la Fondazione Ellen Mc Arthur ha individuato in 5 criteri fondamentali che sono i seguenti:

1. ECO PROGETTAZIONE

Progettare i prodotti pensando fin da subito al loro impiego a fine vita, quindi con caratteristiche che ne permetteranno lo smontaggio o la ristrutturazione.

2. MODULARITÀ E VERSATILITÀ

Dare priorità alla modularità, versatilità e adattabilità del prodotto affinché il suo uso si possa adattare al cambiamento delle condizioni esterne.

3. ENERGIE RINNOVABILI

Affidarsi ad energie prodotte da fonti rinnovabili favorendo il rapido abbandono del modello energetico fondato sulle fonti fossili.

4. APPROCCIO ECOSISTEMICO

Pensare in maniera olistica, avendo attenzione all'intero sistema e considerando le relazioni causa-effetto tra le diverse componenti.

5. RECUPERO DEI MATERIALI

Favorire la sostituzione delle **materie prime vergini** con **materie prime seconde** provenienti da filiere di recupero che ne conservino le qualità.

Gli esperti del gruppo italiano Storie di Economia Circolare hanno individuato 10 dimensioni della circolarità, di cui 7 criteri di circolarità e 3 criteri di sostenibilità ambientale.

I 7 criteri di circolarità sono i seguenti:

1. **ECODESIGN** – Progettazione di prodotti che possano durare a lungo, il cui smontaggio sia semplice, in modo da permettere facilmente la riparazione e/o il riutilizzo e/o il recupero dei prodotti nella loro interezza o nei loro frazionamenti (circular design, design-out waste, etc.).
2. **APPROVVIGIONAMENTO MATERIALI E RISORSE** – Impatto ambientale dell'approvvigionamento energetico e scelta di fonti rinnovabili e sostenibili.
3. **CONSUMO MATERIALI E RISORSE** – Utilizzo efficiente delle risorse in tutte le fasi della produzione e sostituzione delle materie prime vergini con materie prime seconde derivanti da filiere del riciclo. Efficienza energetica ovvero ottimizzazione del consumo di energia attraverso politiche di riduzione mirate.
4. **GESTIONE RIFIUTI, SCARTI ED EMISSIONI** – Impatto ambientale della gestione degli scarti di produzione, dei rifiuti e dei prodotti arrivati a fine vita.
5. **TRASPORTI E DISTRIBUZIONE** – Impatto ambientale dei trasporti connessi alle varie fasi del processo produttivo, della distribuzione e della logistica.
6. **PROMOZIONE DI STILI DI VITA SOSTENIBILI** – Promozione di comportamenti virtuosi dei dipendenti/soci/volontari attraverso l'uso e la diffusione di strumenti a supporto di: riduzione del consumo di energia e acqua, riduzione dei rifiuti e loro corretta gestione, mobilità sostenibile.
7. **FILIERA CIRCOLARE** – Costruzione della filiera sulla base di criteri di compatibilità ambientale e sociale. *Senza sostenibilità sociale infatti non esiste neppure sostenibilità ambientale: «la giustizia [sociale] non dipende soltanto dal contenimento dell'uso del potere ma anche della limitazione dell'uso della natura» (Sachs, 2002, p. 29; Berti, 2018, p. 155). Una società sostenibile opera sia secondo i principi della sostenibilità ambientale, sia secondo quelli della sostenibilità sociale:*



Allo sviluppo sostenibile delle città e delle comunità è dedicato l'obiettivo 11 dell'agenda 2030

al miglioramento delle condizioni ambientali, si associa un miglioramento delle condizioni sociali, e viceversa; al contrario, un peggioramento delle condizioni ambientali porta ad un peggioramento delle condizioni sociali, e viceversa (Bordandini & Cartocci, 2012). Quando crescono le disuguaglianze, si perde coesione sociale e, in contesti dove non esiste sostenibilità sociale, non si possono realizzare né la sostenibilità ambientale né quella economica.

I 3 criteri di sostenibilità ambientale e sociale sono i seguenti:

- **VALORE CONDIVISO e COMUNITÀ TERRITORIALI** – Impatto sulle altre realtà connesse (filiera o extra filiera) in termini di massimizzazione della compatibilità ambientale e di creazione di valore sociale condiviso; sviluppo di altre forme economiche, organizzate in forme plurali (pluralismo delle forme organizzative) e che possano immettersi nel tessuto economico.
- **INCLUSIVITÀ SOCIALE** – Accrescimento del tasso di inclusività economica delle fasce svantaggiate e dei soggetti a rischio esclusione sociale attraverso il sostegno e il rafforzamento di esperienze di economia sociale legate al territorio. Creazione di valore sociale oltre che economico secondo un approccio di valore condiviso con particolare attenzione al coinvolgimento dei soggetti svantaggiati.
- **REPORTING / ACCOUNTABILITY / CERTIFICAZIONI AMBIENTALI E ALTRE FORME DI GESTIONE AMBIENTALE** – Esistenza di attività di reporting che analizzino, qualifichino, certifichino e/o rendano comunicabili le informazioni ambientali⁸.

⁸ Alcuni siti utili per approfondire sull'economia circolare sono i seguenti : Storie di economia circolare: <https://www.economiacircolare.com/cose-leconomia-circolare/>, Associazione Italiana per lo Sviluppo dell'Economia Circolare <http://www.aisec-economiacircolare.org/>, Ellen MacArthur Foundation, www.ellenmacarthurfoundation.org, Circular Economy Unione Europea https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm

Cenni di storia del concetto di economia circolare

Il concetto di economia circolare ha origini che derivano da diverse “scuole di pensiero”.

- **L'economia funzionale dei servizi (la performance economy) di W. Stahel** tra i pionieri del pensiero sulla circolarità dell'economia. Egli ha da sempre sostenuto l'importanza di **estendere la vita dei beni** – promuovendo le idee e le pratiche legate al **riutilizzo**, alla **riparazione**, alla **rilavorazione** e all'**adeguamento tecnologico** dei processi produttivi - per impostare economie che promuovessero pratiche di sostenibilità. Se la gestione dei rifiuti rappresenta solo una metà del modello circolare, con i suoi cicli chiusi e la rinascita dei materiali, la vita dei prodotti rappresenta l'altra metà. I pilastri del suo pensiero sono: l'estensione della vita utile dei beni come strategia di **prevenzione dei rifiuti**, l'utilizzo di prodotti come servizi e l'efficienza nell'uso delle risorse attraverso la **dematerializzazione dell'economia industriale**. Stahel ha dedicato la sua vita allo sviluppo di questi concetti, fondando nel 1982 il Product-Life Institute di Ginevra, in Svizzera, una società di consulenza finalizzata alla promozione di queste idee. Uno dei suoi libri più significativi è “The Performance Economy” (Palgrave, 2010) che raccoglie un'ampia serie di casi di studio in cui vengono analizzate le performance di produzione e consumo mostrando come la performance sia un indicatore chiave del vero business circolare. L'attuale successo del concetto di economia circolare ha visto una sua significativa collaborazione con la Ellen MacArthur Foundation per spingere la diffusione dell'economia circolare presso gli attori economici.
- **“Cradle to Cradle” (“dalla culla alla culla”) di Michael Braungart e Bill McDonough**. Gli autori dell'eco best-seller “Dalla culla alla culla”⁹ forniscono consulenze per aziende e istituzioni in tutto il mondo per aiutare a progettare prodotti, beni ed edifici in maniera veramente eco-compatibile eliminando il concetto di rifiuto (vedi <https://epea-hamburg.com/> e <https://www.mcdonough.com/cradle-to-cradle/>).
- **La biomimesi (l'imitazione della vita) di Janine Benyus**¹⁰, ha avuto un ruolo molto importante per la concezione dell'economia circolare. L'approfondimento relativo alle modalità di funzionamento dei processi naturali e le straordinarie innovazioni evolutive che la natura ci presenta sono esempi per i nostri processi di produzione e consumo. La Benyus, ha fondato un apposito istituto sulla biomimesi, che diffonde il concetto di imitare i meccanismi della natura per impostare un nuovo modello economico, stimolo significativo per l'economia circolare. (vedi <https://biomimicry.org/> e <https://asknature.org/>).
- **Il “capitalismo naturale” di Amory e Hunter Lovins e di Paul Hawken**, legato al loro volume del 1999, è senza dubbio uno dei testi che hanno ispirato la Green Economy. Il capitalismo naturale¹¹ riguarda un'impostazione molto diversa da quella tradizionale che ha sempre trascurato il valore delle risorse naturali e dei servizi forniti dagli ecosistemi, senza i quali sarebbe in difficoltà la nostra stessa esistenza e non sarebbe possibile alcuna attività economica. Il capitalismo naturale tiene conto delle risorse e punta all'efficienza per riuscire a produrre di più con meno, ridisegna le logiche industriali sulla base di un modello che esclude gli sprechi e la produzione di rifiuti, e investe nella protezione e nell'espansione del capitale naturale esistente

⁹ McDonough W. e Braungart R., 2003, Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo, Blu Edizioni

¹⁰ Tra i suoi libri il noto, Biomimicry. Innovation inspired by Nature, pubblicato nel 1997

¹¹ Fondamentale in merito il volume scritto da tutti e tre e pubblicato in italiano per la prima volta nel 2001 “Capitalismo naturale. La prossima rivoluzione industriale”, Edizioni Ambiente (ristampato diverse volte).



I libri che hanno segnato la storia del concetto di economia circolare

(<http://www.natcap.org/> e il Natural Capitalism Solutions Institute <https://natcap-solutions.org/>).

- La “**blu economy**” di **Gunter Pauli**. Economista, imprenditore, fondatore della Zero Emission Foundation (ZERI Foundation) e autore di numerosi volumi tra i quali il famoso rapporto del Club di Roma, di cui è membro, dal titolo “Blue Economy”¹², Pauli ha avviato il coordinamento e la promozione di tante attività in diversi paesi del mondo mirati nella pratica ad applicare circolarità del sistema economico e utilizzo di quelli che sono sempre stati considerati scarti e che invece possono diventare protagonisti di altre attività produttive (www.gunterpauli.com e www.zeri.org, la Zero Emissions Research and Initiatives e www.theblueeconomy.org).

L'economia circolare nell'Antropocene¹³

L'urgenza di concretizzare percorsi di economia circolare deriva anche dalle considerazioni legate alla crescita della popolazione umana e ai livelli elevatissimi sin qui raggiunti di **impatto antropico** sui sistemi naturali del pianeta cui abbiamo precedentemente solo accennato.

La popolazione mondiale attuale è di 7.7 miliardi di abitanti e crescerà di altri 2 miliardi nei prossimi 30 anni, raggiungendo i 9.7 miliardi nel 2050. Questi dati derivano dal lavoro della Population Division delle Nazioni Unite che ha reso noto nel giugno 2019, l'ultimo “World Population Prospects 2019”¹⁴, il 26° rapporto su questo tema, che viene pubblicato con una scadenza triennale e che include le stime aggiornate della popolazione mondiale dal 1950 ad oggi, con le proiezioni dell'entità della possibile crescita della popolazione a partire dal 2019 sino al 2100, anno per il quale questo ultimo report prevede una popolazione di circa 11 miliardi di abitanti (10 miliardi e 875 milioni per l'esattezza).

¹² Pauli G., 2010, Blue Economy, Edizioni Ambiente.

¹³ Sul tema suggeriamo vivamente i seguenti volumi Lewis S. e Maslin M., 2019, Il pianeta umano. Come abbiamo creato l'Antropocene” Einaudi, che fornisce un quadro chiaro, ben documentato e ricco di spunti e riflessioni di grande interesse nonché il testo di Ellis E., 2018, A Short Introduction to Anthropocene, Oxford University Press (la cui edizione italiana uscirà nel 2020 per Giunti editore e il volume curato da Zalasiewicz J., Waters C., Williams M. e Summerhayes C., 2019 The Anthropocene as a Geological Time Unit, Cambridge University Press.

¹⁴ vedasi <https://population.un.org/wpp>

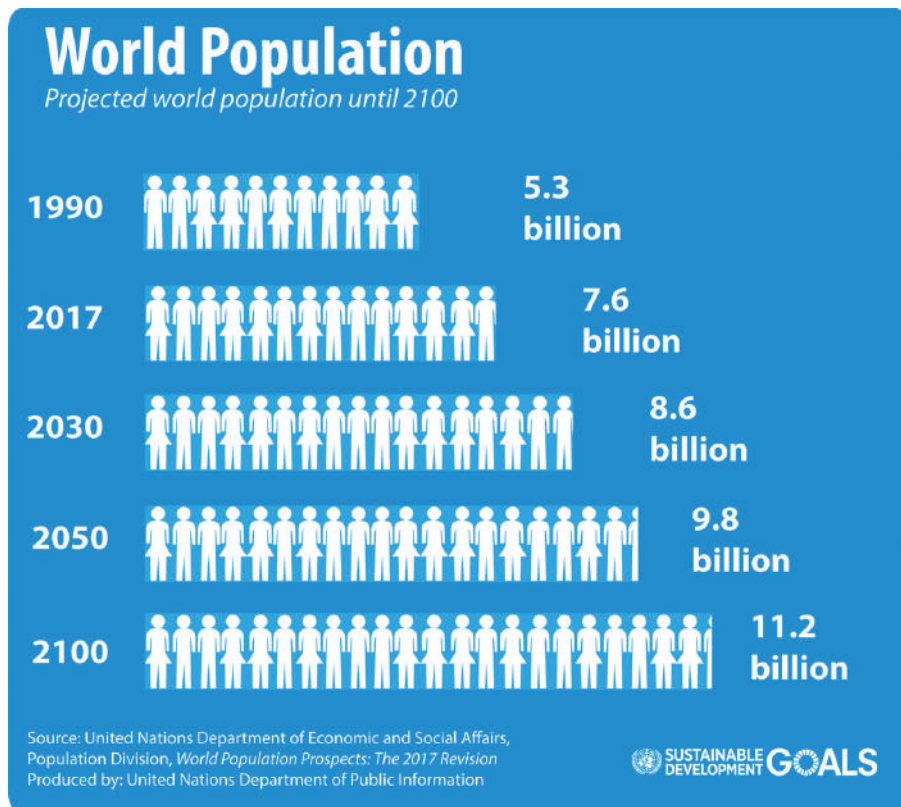
Oggi la popolazione mondiale risulta essere quasi 10 volte di più degli 800 milioni di persone che si stima vivessero nel 1750, data indicata come inizio della Rivoluzione Industriale e continua a crescere a un tasso di circa 83 milioni l'anno. Le stime demografiche ci ricordano che il primo miliardo è stato raggiunto ai primi dell'Ottocento e che il Novecento sia iniziato con una popolazione di 1.6 miliardi di abitanti e che si sia concluso con 6.1 miliardi.

La popolazione urbana è cresciuta con rapidità dal 1950, passando dai 746 milioni di abitanti di allora e giungendo quasi ai 4 miliardi del 2014. Si prevede che la popolazione urbana incrementerà di 2.5 miliardi nel 2050, sorpassando quindi in quel periodo i 6 miliardi complessivi di persone che vivranno in zone urbane. Alla metà di questo secolo avremo una **popolazione urbana** equivalente alla popolazione globale che era presente sul pianeta nel 2002.

Le nuove proiezioni previste dal recente Prospects 2019, indicano che la popolazione mondiale continua a crescere anche se i tassi di crescita sono molto diversi a secondo dei paesi e delle aree geografiche; l'Africa subsahariana passerà dagli attuali 1 miliardo e 66 milioni ai 2 miliardi e 118 milioni nel 2050.

Tra i numerosi **fattori di pressione** che l'intervento umano ha esercitato sui sistemi naturali, analizzati dagli studiosi delle scienze del sistema Terra come elementi per indicare l'Antropocene, c'è il ruolo che stiamo esercitando come fattore centrale delle modificazioni del suolo, del territorio e del paesaggio.

Gli studiosi del British Geological Survey e dell'Università di Leicester hanno dimostrato che il contributo antropogenico annuale nella produzione di sedimenti a livello mondiale (che derivano dall'estrazione di minerali, dall'estrazione dei combustibili fossili, dalla produzione di cemento, dalla diretta **modificazione dei suoli**, con tutte le infrastrutture realizzate, come edifici, strade, ferrovie, dighe, etc.) è quantificabile in



Proiezione della crescita della popolazione mondiale al 2100



Estrazione di materiale in una miniera

316 miliardi di tonnellate (che rappresentano un volume di circa 150 km³) ogni anno, un dato superiore di 24 volte rispetto ai sedimenti mobilitati ogni anno dalle forze naturali. Gli studiosi ritengono gli esseri umani la maggiore forza globale della modificazione dell'intera geomorfologia del nostro mondo, una forza che di fatto agisce con effetti equivalenti a quelli della componente principale dei processi geofisici del sistema Terra (dalla tettonica a placche e dal vulcanesimo ai terremoti), che svolgono un ruolo significativo nell'evoluzione dei paesaggi e degli ambienti del nostro pianeta. Questo ruolo antropogenico viene considerato un fattore caratterizzante della proposta di nuova epoca della nostra scala geocronologica, quella dell'Antropocene, che si aggiunge a tutti gli altri fattori analizzati che dimostrano la preponderanza del peso dell'intervento umano sull'intera evoluzione del nostro mondo. Per ottenere questa cifra sono stati analizzati i dati raccolti con regolarità da almeno 100 anni da varie strutture di ricerca come lo stesso British Geological Survey e lo US Geological Survey.

Nella IV Assemblea generale sull'ambiente delle Nazioni Unite (UNEA), tenutasi come di consueto, presso la sede del Programma Ambiente delle Nazioni Unite (UNEP) a Nairobi nel marzo 2019, lo stesso UNEP ha reso noto il suo **rapporto ambientale globale** giunto alla sesta edizione, il "Global Environment Outlook 6"¹⁵ reso noto dopo cinque anni di intenso lavoro di 250 esperti di più di 70 paesi.

Il rapporto, ricco di dati e informazioni aggiornate sul complessivo stato di salute dei sistemi naturali della Terra, conferma in maniera molto chiara quanto ormai è ben acclarato dalla nostra conoscenza scientifica. La salute e la prosperità dell'umanità dipende strettamente dallo stato di vitalità e salute del nostro ambiente. Il rapporto ci ricorda che siamo ad un bivio e che è indispensabile cambiare rotta per indirizzarci rapidamente sui sentieri di uno **sviluppo sostenibile**. L'Outlook dell'UNEP ci ricorda che per imboccare questi sentieri è necessario un nuovo modello di sviluppo che ci consenta di raggiungere un'economia praticamente a zero rifiuti entro il 2050 e ricorda che al mo-

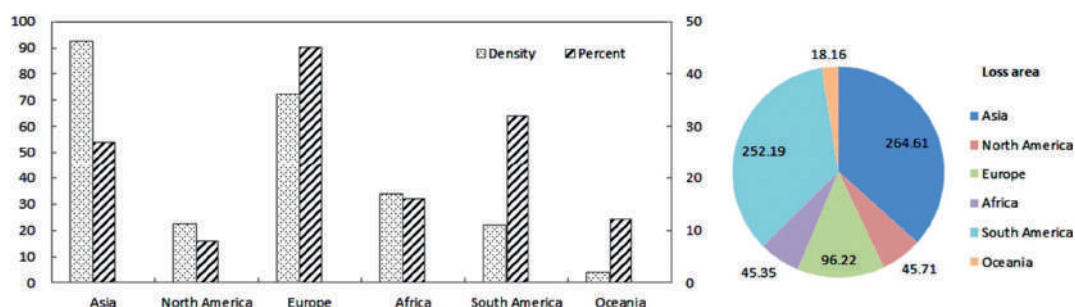
¹⁵ Vedasi <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>

mento non siamo sulla strada del rispetto degli **Obiettivi di Sviluppo Sostenibile** contenuti nell'**Agenda 2030** approvata da tutti i paesi del mondo nel World Summit on Sustainable Development del 2015 presso la sede dell'ONU a New York.

Sempre in occasione della IV Assemblea Ambiente dell'ONU del 2019 è stato presentato l'interessante rapporto dell'International Resource Panel "Global Resources Outlook 2019"¹⁶ che registra come l'utilizzo delle **risorse naturali** da parte umana si è più che triplicato dal 1970 ad oggi. Dal 1970 al 2017 la sola estrazione globale di materie prime è cresciuta da 27 miliardi di tonnellate a 92 miliardi di tonnellate, triplicandosi in questo periodo e continuando a crescere, sin dal 2000 il tasso di crescita dell'estrazione si è accelerato del 3,2 % l'anno.

È evidente che non è possibile proseguire su questa strada e che diventa fondamentale avviare processi di economia circolare.

L'intervento umano sui sistemi naturali, come ci ha ricordato il recentissimo Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services dell'IPBES¹⁷, ha trasformato significativamente il 75% della superficie delle terre emerse, ha provocato impatti cumulativi per il 66% delle aree oceaniche ed ha distrutto l'85% delle zone umide. Questo sconcertante tasso di cambiamento globale della struttura e delle dinamiche degli ecosistemi della Terra, dovuto alla nostra azione, ha avuto luogo in particolare negli ultimi 60 anni e non ha precedenti nella storia dell'umanità. In questa situazione diventa sempre più difficile raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile (Agenda 2030) e gli altri impegni che i paesi del mondo hanno preso a livello internazionale. Non è possibile raggiungere la sostenibilità in un **pianeta saccheggiato**, ferito e debole. Il 29 luglio 2019 è stato registrato come Overshoot Day¹⁸ cioè il giorno in cui abbiamo sorpassato, con il nostro consumo, la **disponibilità rigenerativa delle risorse** (secondo i calcoli del metodo dell'impronta ecologica). I dati raccolti per calcolare l'impronta ecologica nel corso degli anni fanno presente che l'**Overshoot Day** nel 1970 veniva raggiunto in pratica alla fine dell'anno e, con il passare degli anni, è andato invece ritirandosi indietro nei mesi, fino a giungere ora alla fine di luglio, dandoci proprio il segnale che il mix della crescita della popolazione e della crescita dei consumi in un mondo socialmente ed economicamente sempre più iniquo,



In rapporto alla densità di popolazione e in assoluto.

The percentage of wetland loss and population density among different continents (unit of area: 10⁴ Km²)

¹⁶ Vedasi <http://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>

¹⁷ IPBES, Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, www.ipbes.net

¹⁸ Vedasi i siti del Global Footprint Network www.footprintnetwork.org e www.overshootday.org

è ormai insostenibile. La sostenibilità è raggiungibile solo mantenendo l'umanità in quello “**spazio operativo sicuro**” (SOS) che rispetta i limiti ambientali e sociali ed è fondamentale che il mondo politico ed economico intraprenda azioni per riuscire a mantenere il nostro sviluppo entro questi limiti.

Lo Spazio Operativo Sicuro (SOS) per l'umanità sulla Terra

Abbiamo ormai tante prove scientifiche che dimostrano come la pressione che esercitiamo sul nostro Pianeta potrebbe aver raggiunto la **soglia di saturazione** ed abbiamo sempre più chiaro il fatto che non possiamo oltrepassare i **confini planetari (Planetary Boundaries)** indicati dalla comunità scientifica¹⁹.

Oltrepassare questi confini comporta il passaggio di punti critici, cioè quegli effetti soglia che ancora abbiamo difficoltà a indicare con esattezza, perché, nonostante gli straordinari progressi sin qui fatti, la comprensione scientifica del sistema Terra è ancora molto incompleta.

È però molto importante che diversi e significativi guardrails siano stati tracciati dalla nostra conoscenza scientifica e sarebbe pura follia non rispettarli. Rispettarli significa evitare l'approssimarsi ai **punti critici** e significa applicare **percorsi di sostenibilità** al nostro sviluppo.

Ancora oggi, nell'accezione comune, il termine sostenibilità non è affatto chiaro e si presta a numerose confusioni e tutto questo proprio mentre assistiamo a importantissimi avanzamenti nella conoscenza scientifica che dovrebbero invece aiutare in questo difficile compito.

Negli ultimi anni è infatti nata una disciplina molto innovativa che viene definita **Sustainability Science**, la scienza della sostenibilità. Essa appare come una vera e propria integrazione e confluenza di numerose discipline, capace di connettere gli avanzamenti continui delle conoscenze di fisica, chimica, biologia, geologia, ecologia e scienze sociali con nuove discipline di frontiera, quali l'**economia ecologica**, la **biologia della conservazione**, l'**ecologia industriale**, etc.²⁰

E solo rafforzando la nostra conoscenza di base, consentendole di essere interdisciplinare, flessibile, innovativa, aperta alla contaminazione di tanti altri ambiti del sapere, che saremo in grado di avviare percorsi significativi mirati a raggiungere una sostenibilità del nostro benessere e del nostro sviluppo su questo meraviglioso pianeta Terra. E soprattutto se saremo anche capaci di connettere e non di disgiungere, come invece facciamo continuamente. *Le complesse problematiche di oggi richiedono l'unione di conoscenze e di strumenti delle scienze sociali, naturali e umanistiche che generi un contesto in cui la società conosce e comprende i limiti biofisici e che crei politiche che permettano all'economia di svilupparsi all'interno di questi limiti (Daly & Farley, 2004).*

La sostenibilità è quindi un concetto articolato che viene purtroppo ancora continuamente banalizzato. La complessità che la caratterizza e le oggettive difficoltà di attuare concretamente azioni, comportamenti e politiche che siano in grado di metterla in pratica, modificando i ben strutturati modelli mentali, culturali e pratici oggi dominanti, provocano una discreta confusione, che non favorisce, purtroppo, una sua corretta definizione. La sostenibilità è costituita da tanti elementi che devono essere sempre tenuti in connessione tra loro e già questo costituisce una notevole sfida alla nostra mentalità abituata a pensare seguendo logiche lineari di causa ed effetto.

¹⁹ vedasi sul sito dello Stockholm Resilience Centre la pagina sui Planetary Boundaries <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

²⁰ Vedasi Bologna G., 2008, Manuale della sostenibilità. Idee, concetti, nuove discipline capaci di futuro, Edizioni Ambiente (II ed.) e Bologna G., 2013, Sostenibilità in pillole. Per imparare a vivere su un solo pianeta, Edizioni Ambiente.

Volendo semplificare il concetto in una semplice definizione, possiamo affermare che **sostenibilità vuol dire** imparare e vivere, in una prosperità equa e condivisa con tutti gli altri esseri umani e in armonia con la natura, entro i limiti fisici e biologici dell'unico pianeta che siamo in grado di abitare: la Terra ora e nel futuro.

Oggetto fondamentale delle ricerche sulla sostenibilità sono i Social-Ecological Systems (SES), cioè la capacità di comprendere le interazioni e i legami esistenti tra gli esseri umani e i sistemi naturali e comprendere come sia possibile gestirli al meglio.

L'avventura dell'**SOS (Safe Operating Space)** inizia nella seconda metà del primo decennio del 2000, con la prima pubblicazione scientifica di numerosi autorevoli studiosi dediti alla Global Sustainability e alle scienze del Sistema Terra, che hanno cercato di indicare le dimensioni di uno spazio operativo sicuro (appunto definito SOS, Safe and Operating Space) per l'umanità indicando i Planetary Boundaries entro cui muoversi.

Il primo lavoro sull'individuazione dei "confini planetari" (Planetary Boundaries) che l'intervento umano non può superare, pena effetti veramente negativi e drammatici per tutti i sistemi sociali²¹ è del 2009.

Si tratta di una tematica che è stata precedentemente affrontata da vari studiosi, basti qui ricordare le straordinarie intuizioni del rapporto voluto dal Club di Roma sin dal 1972 sui **limiti del nostro sviluppo** rispetto ai **limiti biofisici del pianeta**²² e successivamente all'inizio degli anni Novanta l'elaborazione del concetto dell'Environmental Space, cioè lo "**spazio ambientale**" che ciascun individuo può avere a disposizione per l'utilizzo delle risorse e per la possibilità di produrre degli scarti²³.

I Boundaries riguardano nove grandi problemi planetari, tra di loro strettamente connessi e interdipendenti, dovuti alla forte pressione umana:

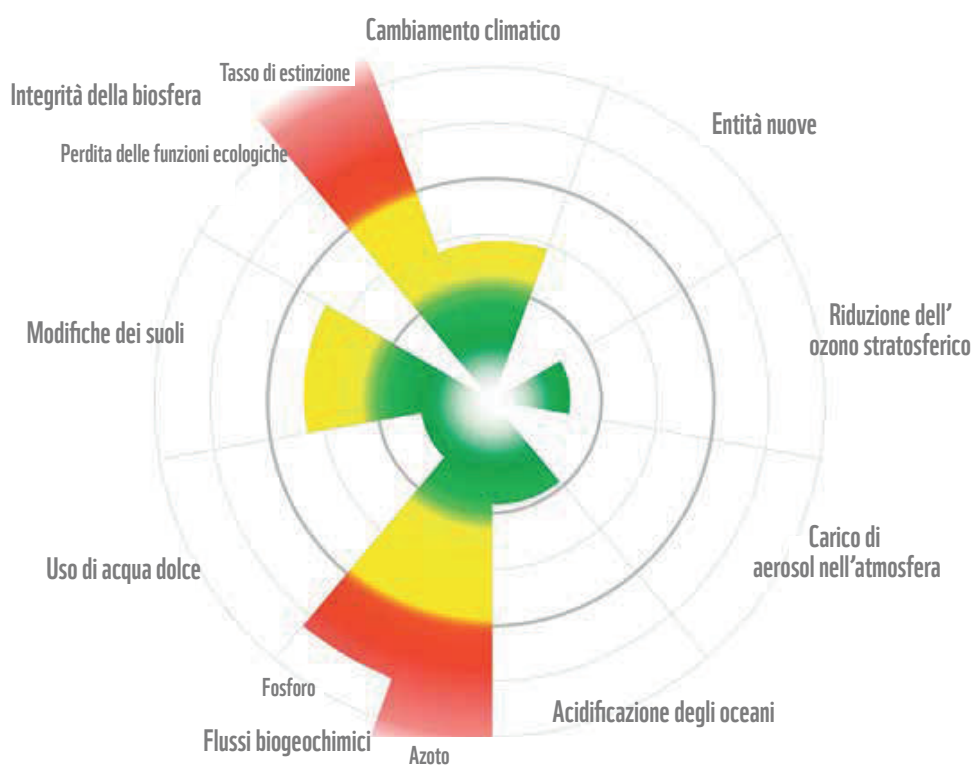
- il cambiamento climatico;
- la perdita della biodiversità e quindi dell'integrità biosferica;
- l'acidificazione degli oceani;
- la riduzione della fascia di ozono nella stratosfera;
- la modificazione del ciclo biogeochimico dell'azoto e del fosforo;
- l'utilizzo globale di acqua;
- i cambiamenti nell'utilizzo del suolo;
- la diffusione di aerosol atmosferici;
- l'inquinamento dovuto ai prodotti chimici antropogenici.

Per quattro di questi e cioè il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, la modificazione del ciclo dell'azoto e del fosforo e le modificazioni dell'uso dei suoli ci troviamo già oltre il confine indicato dagli studiosi. Complessivamente, i nove confini planetari individuati dagli studiosi, possono essere concepiti come parte integrante di un cerchio e in questo modo si definisce quell'area come "uno spazio operativo sicuro per l'umanità" (Safe and Operating Space, S.O.S.).

²¹ Rockstrom J. et al, 2009, A Safe Operating Space for Humanity, Nature, 461: 472-475. Vedasi anche il lavoro più esteso apparso su "Ecology and Society", Rockstrom J. et al., 2009, Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity, Ecology and Society, 14 (2): 32 on line www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32 e poi Steffen W. et al., 2015, Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet, Science, 347, doi:10.1126/science.1259855

²² Vedasi i tre rapporti sui limiti, il primo dei quali è anche il più famoso ed è quello del 1972 Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. e Behrens III W. W., 1972, I limiti dello sviluppo, Mondadori, ristampato nel 2018 da LuCe Edizioni, e poi i successivi Meadows D. H., Meadows D.L., Randers J., 1993, Oltre I limiti dello sviluppo, Il Saggiatore. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., 2006, I nuovi limiti dello sviluppo, Mondadori.

²³ Vedasi Buitenkamp M., Venner H. e Warms T. (a cura di), 1993, Action Plan. Sustainable Netherlands, Friends of the Earth Netherlands; Amici della Terra, 1995, Verso un'Europa sostenibile, uno studio dell'Istituto Wuppertal, Maggioli Editore e Carley M. e Spapens P., 1999, Condividere il mondo. Equità e sviluppo sostenibile nel ventesimo secolo, Edizioni Ambiente.



Legenda

- Oltre la zona dell'incertezza (rischio alto)
- Nella zona dell'incertezza (rischio che aumenta)
- All'interno dei confini (sicurezza)

Il concetto dei confini planetari consente di evidenziare in maniera efficace complesse questioni scientifiche a un vasto pubblico mettendo in discussione le concezioni tradizionali delle nostre impostazioni economiche. Mentre l'economia convenzionale tratta il degrado ambientale come una "esternalità" che ricade in gran parte fuori dall'economia monetizzata, gli scienziati naturali hanno letteralmente sovvertito tale approccio proponendo un insieme di limiti quantificati dell'uso di risorse entro cui l'economia globale dovrebbe operare, se si vuole evitare di toccare i **punti di non ritorno** del sistema Terra che eserciterebbero effetti devastanti sull'intera umanità.

Tali confini non sono descritti in termini monetari ma con **parametri naturali**, fondamentali a garantire la resilienza del pianeta affinché mantenga uno stato simile a quello che si è avuto durante il periodo geologico abbastanza stabile dell'Olocene, iniziato intorno agli 11.000 anni fa e nel quale attualmente operiamo.

Il dibattito scientifico e le applicazioni pratiche del concetto dei confini planetari si è andato sempre più diffondendo e ampliando nei dibattiti di politica internazionale incrociandosi con le riflessioni di carattere sociale. In questo ambito si inseriscono le analisi dovute all'economista Kate Raworth che ha arricchito i Planetary Boundaries delineando un approccio estremamente affascinante e innovativo, definito "**economia della ciambella**" (**Doughnut Economics**)²⁴.

²⁴ Raworth K., 2012, A safe and just space for Humanity. Can we live within a doughnut?, Oxfam Discussion Paper e soprattutto Raworth K., 2017, L'economia della ciambella. Sette mosse per pensare come un economista del XXI secolo, edizioni Ambiente.

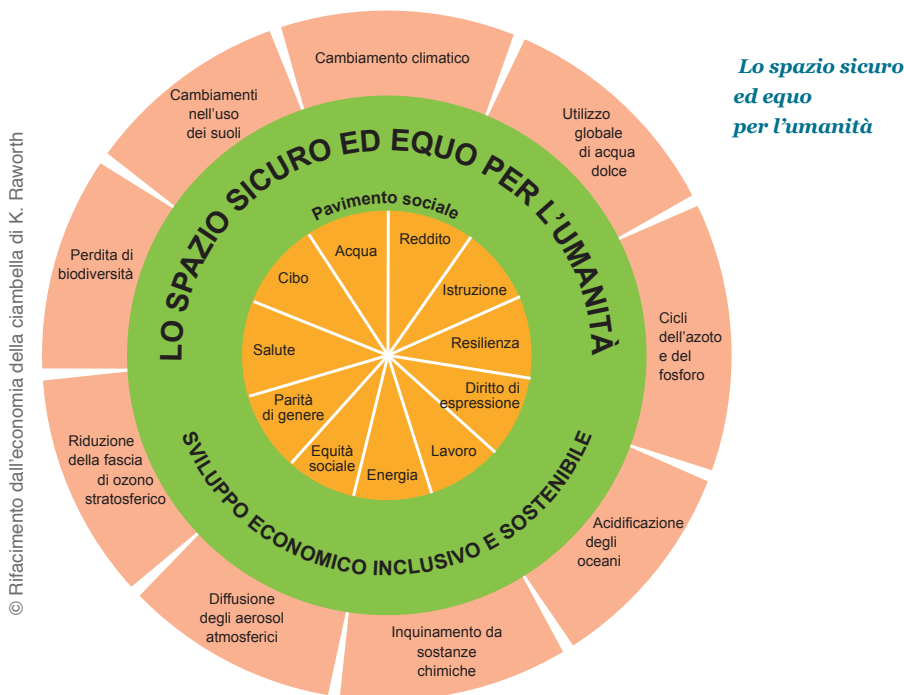
Il benessere umano infatti, dipende oltre che dal mantenimento dell'uso delle risorse in un buono stato naturale complessivo, anche e in misura uguale, dalle necessità dei singoli individui di soddisfare alcune esigenze fondamentali per condurre una vita dignitosa e con le giuste opportunità. Quindi come esiste un confine esterno all'uso delle risorse, una sorta di "tetto" oltre cui il degrado ambientale diventa inaccettabile e pericoloso per l'intera umanità, Kate Raworth ci indica l'esistenza di un confine interno al prelievo di risorse, un "livello sociale di base" (un sorta di "pavimento"), sotto il quale la deprivazione umana diventa inaccettabile e insostenibile.

Dal 2000 gli Obiettivi del Millennio (Millennium Development Goals - MDGs) hanno rappresentato un importante quadro di riferimento per le priorità sociali di sviluppo e hanno trattato l'urgente necessità di porre freno alle varie privazioni, di reddito, nutrizione, uguaglianza di genere, salute, istruzione, acqua e servizi igienico-sanitari.

Oggi l'Agenda 2030 e i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs²⁵) in essa declinati e approvati da tutti i paesi del mondo nell'ambito delle Nazioni Unite nel 2015, costituiscono un punto di riferimento molto importante per l'attuazione di politiche di sostenibilità in tutto il mondo.

In questa importante riflessione la Raworth individua così 11 priorità sociali, quali:

- la disponibilità del cibo
- dell'acqua
- dell'assistenza sanitaria
- del reddito
- dell'istruzione
- dell'energia
- del lavoro
- del diritto di espressione
- della parità di genere
- dell'equità sociale
- della resilienza agli shock



²⁵ vedasi www.un.org/sustainabledevelopment

indicandole come una base sociale esemplificativa (il “pavimento”) e incrociandole quindi con i confini planetari (il “tetto”) del nostro SOS che, a questo punto oltre ad essere “sicuro” è anche “giusto” (Safe and Just Space for Humanity). Si viene così a formare, tra questi diritti di base sociali (il “pavimento sociale”) e i confini planetari (i “tetti ambientali”), una fascia circolare a forma di ciambella che può essere definita sicura per l’ambiente e socialmente giusta per l’umanità.

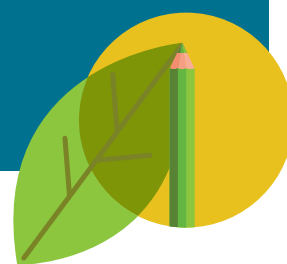
Una combinazione di confini sociali e planetari di questo tipo crea una nuova prospettiva di sviluppo sostenibile. Da molto tempo i fautori dei diritti umani hanno sottolineato l’imperativo di assicurare a ogni individuo il minimo indispensabile per vivere, mentre gli economisti ecologici si sono concentrati sul bisogno di collocare l’economia globale entro i limiti ambientali. Questo spazio è una combinazione dei due, creando una zona che rispetti sia i diritti umani di base sia la sostenibilità ambientale, riconoscendo anche l’esistenza di complesse interazioni dinamiche tra i molteplici confini e al loro interno. Questo Spazio Operativo Sicuro (SOS) costituisce la base per concretizzare l’Agenda 2030 e attuare pratiche di sviluppo sostenibile nel nostro immediato futuro.

Debate: economia circolare vs economia lineare

L’argomento può essere introdotto utilizzando la metodologia del **debate**, una metodologia didattica attiva che pone il lavoro dello studente al centro del percorso educativo e non i contenuti erogati. La metodologia didattica chiamata debate consiste in un confronto nel quale due squadre sostengono e controbattono un’affermazione o un argomento dato dall’insegnante, ponendosi in un campo (pro) o nell’altro (contro). Il debate (dibattito) quindi è una metodologia che permette di acquisire competenze trasversali (life skill) e curricolari, smontando alcuni paradigmi tradizionali e favorendo il cooperative learning e la peer-education. Le fasi dell’attività consistono ne:

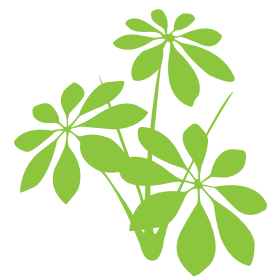
1. l’enucleazione di n argomenti “pro” e di n “contro” inerenti il tema proposto (si consiglia di considerare n minore di 4);
2. la discussione, guidata dal docente, finalizzata alla focalizzazione dei “punti di forza” a sostegno delle rispettive argomentazioni;
3. la schematizzazione alla lavagna (in una tabella a 2 colonne) e successiva illustrazione delle argomentazioni contrapposte;
4. l’analisi del tema in oggetto attraverso la formulazione di domande.

Nel nostro caso si propone a due gruppi di studenti di preparare un dibattito su “Economia Circolare” ed “Economia lineare”, in questo modo alcuni alunni saranno invitati a preparare un’inchiesta a favore dell’economia circolare, altri contro, tutti dovranno argomentare la propria posizione con dati scientifici e tentare di trascinare il pubblico sulle proprie posizioni.



2. COSA CI INSEGNA LA NATURA, COSA CI INSEGNA LA RICCHEZZA DELLA VITA SULLA TERRA

Paul Falkowski²⁶: L'uomo è un animale di passaggio su questo pianeta; ma nel suo breve cammino è diventato uno dei massimi distruttori della natura, dai tempi in cui i cianobatteri cominciarono a produrre ossigeno sotto forma di scarto metabolico. Biologicamente parlando siamo noi i bolscevichi moderni. [...] I microbi sono i pilastri su cui si regge il pianeta Terra, eppure stentiamo a comprendere come siano riusciti a sviluppare un sistema per spostare elettroni attraverso le loro membrane. In ultima analisi è stato proprio questo flusso di elettroni a rendere la Terra abitabile. Inoltre ignoriamo pressoché tutto del funzionamento del circuito elettronico, meccanismo che siamo totalmente incapaci di controllare, eppure nella nostra tracotanza e nel nostro insaziabile bisogno di nuove risorse ci giocherelliamo e finiamo per mandarlo in mille pezzi. Per fortuna il circuito elettronico controllato dai microbi presenta una tale profusione di elementi che è praticamente impossibile danneggiarlo seriamente, il che peraltro non ci dissuade dal continuare a provarci. Nel corso della loro storia evolutiva i microbi hanno reso il pianeta abitabile sia per se stessi sia per noi. Non siamo che passeggeri a bordo della nave [...].”



Con il progredire della **ricerca scientifica** in tanti campi abbiamo oggi una conoscenza sempre più approfondita delle straordinarie “invenzioni” che la natura e l'affascinante fenomeno vita sulla Terra (databile intorno a circa 3.8 miliardi e che, sino ad ora rispetto a quanto conosciamo, costituisce una presenza unica in tutto l'Universo) ha prodotto grazie ai complessi meccanismi di evoluzione, alle forme di coevoluzione, agli adattamenti, alle simbiosi ect. Gli esseri umani sono un prodotto della vita sul pianeta, della sua evoluzione.

Stiamo imparando a nostre spese, a causa dei modelli di sviluppo economico che abbiamo voluto perseguire, che essere al di fuori dei processi circolari della natura provoca profondi danni alle nostre esistenze, al nostro benessere, al nostro futuro.

Tutte le conoscenze che stiamo acquisendo grazie alle ricerche scientifiche in atto, ci insegnano moltissimo per concretizzare modelli innovativi per l'economia circolare.

Di seguito cerchiamo di indicare solo alcune delle nuove importanti acquisizioni che la ricerca ci ha messo a disposizione in tanti campi, dalla **genetica** alla **genomica**, dall'**epigenetica** alla **biologia evolutivista dello sviluppo**, dalla **microbiologia** alla **esobiologia**.

Si tratta soltanto di spunti, di brevi annotazioni, di stimoli, che hanno l'obiettivo di far ragionare sulla complessità del fenomeno della vita sulla Terra e la grande importanza di conoscerlo meglio. Questo capitolo intende quindi fornire solo alcuni spunti significativi su quanto di nuovo stiamo scoprendo sul fenomeno vita, sulla sua formazione, la sua evoluzione, le sue basi ereditarie e quelle acquisite e avere così ulteriori stimoli per essere capaci, concretamente, di imparare a vivere entro i limiti biofisici di un solo pianeta e in armonia con il mondo naturale che ci circonda con i suoi consolidati processi circolari. Consigliamo vivamente i libri indicati nelle note per ogni ulteriore approfondimento.

²⁶ Falkowski P., 2016, I motori della vita. Come i microbi hanno reso la Terra abitabile, Bollati Boringhieri

Jim Baggott²⁷: “Benché sperimentiamo la vita quotidianamente e siamo in grado di riconoscerla facilmente quando la vediamo, in effetti non sappiamo davvero che cosa essa sia: non esiste una teoria onnicomprensiva scientificamente verificata, né un “modello standard”. Ogni tentativo di svilupparla si è dimostrato in linea di massima futile, giacché nella ricca diversità di esseri viventi presenti sul pianeta è spesso fin troppo facile trovare eccezioni alle “regole” imposte da tali definizioni.”



In ambito scientifico si ritiene che il fenomeno della vita sia comparso sulla Terra a un certo punto tra i 4,4 e i 3,5 miliardi di anni fa, con ogni probabilità quando il pianeta si trovò in una situazione di maggiore “calma”, successiva a una fase di intensi bombardamenti meteoritici. Al di là dei gas nobili inerti e degli **elementi chimici** che hanno una particolare affinità per le sostanze presenti nelle rocce terrestri, come il ferro, il magnesio, il silicio e l’alluminio, le presenze e le relative abbondanze degli elementi che si trovano in tutti i sistemi biologici hanno corrispondenze con le abbondanze relative di quegli stessi elementi nel Sole e nelle meteoriti definite **condritiche**. Le condriti sono meteoriti rocciose che presentano la stessa composizione chimica dei **planetesimi**, cioè quei corpi che si formarono nel sistema solare primordiale e rappresentano oltre l’80% delle meteoriti cadute sulla Terra. Si definiscono condriti perché nel loro interno sono presenti delle **condrule**, che sono delle sferule costituite di minerali ricchi di composti di ferro e magnesio. Hanno in genere un’età simile a quella del nostro sistema solare che ha circa 4.6 miliardi di anni. Le condriti si sono probabilmente originate nella fascia principale degli **asteroidi**, quei corpi celesti che si ritiene siano residui del **disco protoplanetario**, che durante la formazione del sistema solare sono stati poi incorporati nei pianeti che si andavano formando (agli asteroidi costituiti soprattutto di ghiaccio viene dato il nome di comete)²⁸.

Oggi assistiamo a una straordinaria varietà di vita sul nostro pianeta, avanzate conoscenze che ci indicano come tutte queste forme di vita dipendono in linea di massima dalle stesse strutture cellulari e dagli stessi sistemi biochimici utilizzati per i processi fondamentali che caratterizzano la vita stessa: l’**acquisizione dell’energia**, il **metabolismo**, i **processi di crescita** e i **meccanismi di riproduzione**.

© Shutterstock / MarceClemens / WWF



Il pianeta Terra visto dallo spazio: l’unico nel sistema solare ad ospitare la vita

²⁷ Baggott J., 2017, *Origini. La storia scientifica della creazione*, Edizioni Adelphi.

²⁸ Baggott J., citato e Hazen R., 2017, *Breve storia della Terra. Dalla polvere di stelle all’evoluzione della vita. I primi 4,5 miliardi*, Il Saggiatore.

La cellula e il genoma

Il genoma è contenuto nei cromosomi che sono una componente fondamentale del nucleo cellulare. L'essere umano ha un genoma che comprende 46 **cromosomi**, cioè 23 coppie di cromosomi omologhi, tra i quali due cromosomi sessuali X e Y. Dal punto di vista biochimico il genoma è costituito da DNA, l'**acido desossiribonucleico**, una molecola lunga e complessa dalla struttura a doppia elica, che contiene l'informazione genetica, presente nelle nostre cellule e in quelle di tutti gli esseri viventi.

Il DNA è capace di replicare altro DNA e di produrre l'RNA (l'**acido ribonucleico**, altra complessa e lunga molecola vitale). L'RNA svolge un ruolo importante nella sintesi delle proteine, costituisce i **ribosomi** (complessi macromolecolari responsabili della sintesi delle proteine), trasferisce gli amminoacidi ai ribosomi durante la sintesi proteica e contribuisce anche al cosiddetto "**silenziamento genico**", interrompendo l'espressione genetica. Le **proteine** sono macromolecole biologiche costituite da amminoacidi, che svolgono funzioni essenziali per la vita, partecipando in pratica ad ogni processo che ha luogo all'interno della cellula.

Scoprire ciò che è scritto nel genoma, cioè nel complesso del nostro DNA o in quello di altre specie di animali e piante, nonché di batteri e virus, è stato lungo e faticoso, ma ormai molti passi in avanti sono stati fatti e ci aiutano a comprendere e capire i meccanismi grazie ai quali la vita è nata e si è diffusa ed evoluta sul nostro pianeta e di capire meglio come possiamo rendere la nostra presenza più armonica nei confronti del mondo dal quale deriviamo e proveniamo e senza il quale non possiamo vivere.

I progressi tecnologici sono stati stupefacenti. Oggi è possibile "leggere" un genoma e si può farlo con poca spesa e su larga scala. Per leggere un genoma bastano 1000 euro e pochi giorni, con l'aiuto di un tecnico di laboratorio.

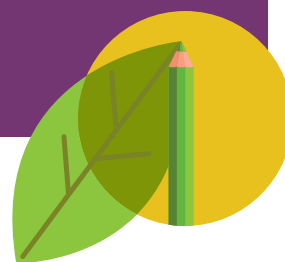
Estrarre il DNA

Per imparare a estrarre il DNA vedere, ad esempio, i seguenti siti tra i diversi esistenti:

<https://www.scienzeascuola.it/laboratorio/biologia/estrazione-del-dna>
http://www.funsci.com/fun3_it/dna/dna.htm

Il 26 giugno 2000 in una famosa conferenza stampa, l'allora presidente USA Bill Clinton, dalla Casa Bianca, e l'allora premier britannico, Tony Blair, in collegamento via satellite, hanno presentato, insieme a vari scienziati protagonisti di quella straordinaria avventura, la mappa definita mediaticamente la più importante mai prodotta dall'umanità, la **mappa del genoma umano**.

Dopo più di 10 anni di intenso lavoro e con una spesa di 2,7 miliardi di dollari, nel 2001 sono uscite le pubblicazioni scientifiche ufficiali da parte di un consorzio di quasi 3.000 scienziati che è riuscito a leggere (in termine tecnico il verbo utilizzato è "**sequenziare**") per la prima volta tutto un genoma di un essere umano, cioè tutto il suo DNA. In realtà questo genoma non era proprio completo perché ne mancava qualche pezzo e, in più, non apparteneva a un solo essere umano, ma a cinque.

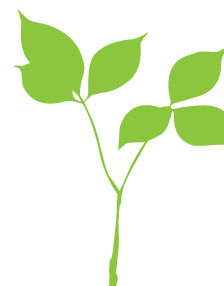


Siamo natura e siamo cultura

Il noto genetista italiano Guido Barbujani²⁹ ricorda che al colmo dell'euforia, James Watson, uno degli scienziati che aveva scoperto nel 1953 la struttura della molecola del DNA e che per questo aveva vinto il premio Nobel (insieme a Francis Crick), aveva dichiarato: “Eravamo abituati a pensare che il nostro destino fosse nelle stelle. Ora sappiamo che, in gran parte, il nostro destino è nei geni.” Ma Barbujani ricorda anche, correttamente, che sono passati quasi vent'anni da allora e ancora quanta parte del nostro destino stia nei geni, non lo sa né Watson né nessun altro. Infatti continuamente si fanno interessanti scoperte che ci aiutano a comprendere meglio come “funzioniamo” e come “funzionano” tutti gli esseri viventi.

I geni che contribuiscono a far sì che ciascuno di noi sia più o meno predisposto a certe malattie nel corso della vita così come a esprimere le proprie caratteristiche fisiche e comportamentali, sono tanti, ma sono tanti e complessi anche i **fattori ambientali** che influiscono su quello che siamo e sulla nostra vita. Ad oggi siamo in grado di conoscere, controllando un gene specifico, se un feto o un neonato avrà la fibrosi cistica, ma è molto più complesso cercare di controllare tanti geni che possono influenzare un'eventuale presenza del diabete, la presenza o meno dell'alta pressione o l'eventuale possibilità di avere il Parkinson. Abbiamo ancora idee molto vaghe sul modo in cui il funzionamento di ciascun gene sia influenzato dagli altri geni e da migliaia di fattori esterni ambientali che condizionano le nostre esistenze (e anche quelle di tutte le forme di vita sulla Terra).

Joel de Rosnay³⁰: “Prima della comparsa dell'epigenetica, i biologi erano per lo più convinti che gli esseri viventi si limitassero a essere il prodotto dei rispettivi geni. Orbene, di recente siamo venuti a sapere che gli organismi dispongono di un vero potenziale di azione sul genoma. Il nostro DNA, infatti, può essere influenzato dallo stile di vita: cibo, esercizio fisico, vita sociale e amorosa, entourage, ambiente frequentato, stress e così via. Al di là della genetica, l'epigenetica è certamente una delle più importanti scoperte degli ultimi vent'anni nell'ambito della biologia. Recenti ricerche hanno dimostrato che il “programma” contenuto nel DNA può essere espresso, inibito o modulato dal comportamento degli esseri viventi.”



Il termine **epigenetica** (dal greco *epi* “al di là” o “al di sopra”), è stato coniato dal grande genetista Conrad Waddington (1905 – 1975), e ha descritto originariamente come l'informazione genetica viene utilizzata durante lo sviluppo per produrre un organismo. Attualmente l'epigenetica studia tutte quelle modificazioni ereditabili che rendono variabile l'espressione dei geni, pur non alterando la sequenza del DNA. Si definiscono epigenetici quei cambiamenti che influenzano il **fenotipo** (cioè la struttura esterna di un essere vivente) senza alterare il **genotipo** (il suo patrimonio genetico). Questi cambiamenti sono spesso tramandati alle diverse generazioni cellulari, tramite i processi di mitosi e in molti casi attraverso la meiosi (i due meccanismi di riproduzione delle cellule degli esseri viventi), ma non sono permanenti e possono essere cancellati o modificati in risposta a diversi stimoli, inclusi i fattori ambientali. Sappiamo che i geni sono delle unità dinamiche. Essi caratterizzano una funzione soltanto se vengono espressi, cioè se l'informazione in essi contenuta come sequenza del

²⁹ Barbujani G., 2019, Sillabario di genetica per i principianti, Bompiani editore

³⁰ de Rosnay J., 2019, La sinfonia del vivente. Come l'epigenetica cambierà la nostra vita, Neri Pozza Editore.

DNA viene convertita in un prodotto. Un gene si può quindi trovare in uno stato inattivo (dal quale non deriva nessun prodotto) e in uno stato attivo con diversi gradi di attività (quindi con poco o con molto prodotto, e può presentare una grande varietà di stati intermedi). Il prodotto finale di un gene può essere sia una sequenza di un RNA, oppure una sequenza di amminoacidi che danno vita a una proteina. Qualunque ne sia il prodotto finale, la prima tappa nell'espressione di un gene è la sua **trascrizione**.

I fattori di trascrizione, in particolare negli eucarioti (gli organismi viventi con le cellule caratterizzate dalla presenza di un nucleo) sono tanti e ci sono ampie regioni di DNA che ospitano i siti ai quali si legano i fattori di trascrizione. A seconda della loro funzione possono svolgere un ruolo di *enhancer* o di *silencer*, cioè degli amplificatori o dei silenziatori. Gli **enhancer** sono regioni del DNA che, quando si legano ad un attivatore, stimolano l'attività del gene, mentre i **silencer** sono regioni dalle quali è necessario togliere un repressore perché il gene si metta a funzionare.

Secondo diversi scienziati (come lo stesso Joel de Rosnay) gli approfondimenti che stanno scaturendo dalle ricerche di **epigenetica**, stanno anche trasformando in pratica il ruolo tradizionale della genetica classica, perché si stanno comprendendo meglio i processi che producono modificazioni dell'espressione dei geni senza alterare la sequenza del DNA. Infatti nell'ambito dell'evoluzione darwiniana, gli scienziati osservano e descrivono modifiche delle forme e delle funzioni degli esseri viventi che, in genere, hanno luogo su sequenze temporali lunghe, grazie alle **mutazioni** e al lavoro della selezione naturale. Le modifiche di carattere epigenetico hanno luogo in tempi brevi, per cui l'inibizione o l'eccessiva espressione di un gene possono condurre a situazioni con diversi effetti. Come afferma De Rosnay queste ricerche dimostrano che non esiste una frontiera assoluta tra il gene (con un DNA onnipotente) e l'ambiente circostante (che, per quanto ci riguarda, ha a che fare con il luogo in cui viviamo, con i nostri comportamenti etc.), quindi l'epigenetica trova il suo senso in questa fluidità e in questo adattamento permanenti, e non in un ipotetico programma prescritto o predeterminato.

Joel de Rosnay: “Le informazioni provenienti dall'ambiente esterno modulano l'espressione dei geni, inibendone o disinibendone alcuni in funzione dell'ambiente (non dimentichiamo che l'essenziale dell'attività dei nostri geni è il risultato di una regolazione). Gli esseri viventi dispongono così di una reale potenzialità d'azione sul proprio genoma. Le loro azioni hanno conseguenze, poiché possono attivare alcuni geni mettendone altri in standby. L'epigenetica studia proprio questo: i meccanismi di attivazione o di inibizione dei geni, la modulazione della loro espressione attraverso i comportamenti o l'ambiente.”



Le ricerche di quella nuova disciplina definita **biologia evolutivista dello sviluppo** (Evolutionary Developmental Biology, Evo-Devo) hanno dimostrato che tutti gli animali complessi, dai moscerini della frutta agli esseri umani, hanno in comune un “kit di attrezzi” o “**geni regolatori**” che guidano la formazione e il modellamento dei loro corpi³¹. Quindi molti geni che modellano i corpi umani sono identici a quelli presenti nelle mosche. Le stesse sequenze di DNA determinano la posizione degli occhi composti delle mosche e di quelli semplici dell'uomo e mettono insieme parti corporee delle due specie nell'ordine giusto. Come viene spesso ricordato si tratta di programmi universali di software che possono funzionare bene sia sull'hardware di *Drosophila melanogaster* (che è il nome scientifico del moscerino della frutta) che su quello di *Homo sapiens*.

³¹ Vedasi Carroll S.B., 2006, Infinite forme bellissime. La nuova scienza dell'Evo-Devo, Codice edizioni e Henderson M., 2010, 50 grandi idee Genetica, Dedalo edizioni.



Drosophila Melanogaster

Le ricerche di Evo-Devo cercano di collegare le conoscenze di genetica ed **embriologia** per determinare la relazione ancestrale tra organismi diversi e per stabilire come il DNA di ciascuno li faccia sviluppare nel loro caratteristico modo. Si tratta di fatto di una disciplina che studia come il genotipo influenza il fenotipo.

Visti al microscopio gli embrioni iniziali di tutti i mammiferi appaiono talmente simili da essere indistinguibili. Anche un occhio allenato non sarebbe in grado di dire se una massa di poche cellule diventerà un topo, una mucca o un uomo. Tutti gli embrioni sono formati allo stesso modo dalla fusione di un uovo con uno spermatozoo, ognuno dei quali porta la metà del patrimonio genetico, e il loro sviluppo segue lo stesso schema nelle prime settimane di vita intrauterina.

Da un punto di vista evolutivo questo potrebbe non essere molto strano. Uomini e topi si separarono soltanto circa 75 milioni di anni fa ed è abbastanza comprensibile che la nostra crescita embrionale iniziale proceda su un sentiero simile. Se invece paragoniamo esseri umani e moscerini della frutta ci rendiamo conto che sono, però, molto più distanti; noi siamo vertebrati e loro non lo sono e il nostro comune antenato si ritiene estinto circa 500 milioni di anni fa.

Le prime intuizioni decisive che hanno condotto a queste conoscenze sono emerse agli inizi degli anni Ottanta con le ricerche di Janni Nusslein-Volhard e Eric Wieschaus che con Edward Lewis, hanno vinto il Premio Nobel Medicina e Fisiologia nel 1995, ricerche effettuate sulle mutazioni casuali indotte con prodotti chimici nei moscerini della frutta seguendo lo sviluppo della progenie degli stessi dall'embrione fino all'individuo adulto, seguendo le tracce del manifestarsi della mutazione (tipo eventuali ali aggiuntive o errato impianto di zampe sulla testa), andando a ritroso fino al gene responsabile. Questo ha permesso l'identificazione della funzione di decine di geni e delle sedi in cui essi agiscono determinando lo sviluppo dell'embrione.

Un gruppo di appena 15 geni finisce con il determinare l'abbozzo dell'embrione nei primi giorni. Tra questi vi è un gruppo di geni allineati sullo stesso cromosoma, i geni

Hox (abbreviazione per Homeobox, una sequenza di un certo numero di lettere di DNA condivisa da tutti gli embrioni).

Questo gruppo determina la forma dell'embrione di mosca conferendogli una parte anteriore e una posteriore, dei segmenti e dei fianchi: i geni sono localizzati sul cromosoma nello stesso ordine in cui essi modellano il corpo, dalla testa all'addome. I **geni Hox** indicano alla testa di creare le antenne e al torace di creare ali e zampe. In caso di mutazioni danno origine a dei mostri, cioè ad esempio, mosche con zampe al posto delle antenne.

Anche se il numero dei geni Hox è stato riscontrato maggiore nei topi e negli uomini, rispetto alle mosche essi fanno esattamente lo stesso lavoro, guidando la formazione delle parti del corpo nell'ordine in cui sono disposti sui cromosomi.

Sono gli elementi chiave di un "kit degli attrezzi genetico-evolutivo" con cui gli embrioni sono stati modellati.

Questi geni sono così simili fra specie separate da centinaia di milioni di anni di evoluzione che è anche possibile trapiantarli da una specie all'altra, senza che si perda la loro funzione. Se si sopprime un gene Hox in una mosca e lo si sostituisce con un gene prelevato da un topo, è spesso impossibile accorgersi dello scambio; lo stesso si può fare anche con geni Hox umani.

I geni Hox sono gli strumenti più importanti con cui si modella un corpo. Sono stati identificati parecchi altri geni, che hanno tutti un compito simile nelle diverse specie. Per esempio il **gene senza occhi** è chiamato così perché le mosche che ne sono prive non sviluppano occhi. Reprimendolo e sostituendolo con il suo equivalente del topo, la mosca sviluppa occhi perfettamente normali, evento particolarmente importante se si pensa che gli insetti hanno occhi composti mentre i mammiferi li hanno semplici.

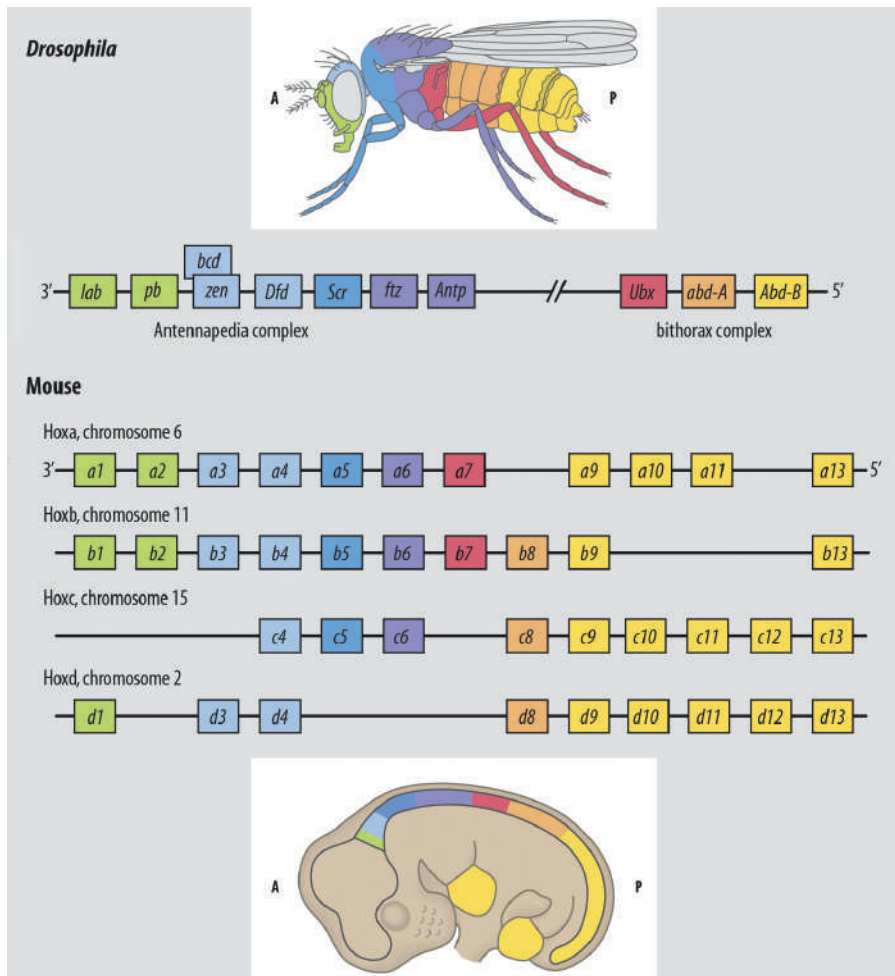
Se abbiamo in comune questi geni con mosche e topi perché non abbiamo ali, antenne e segmenti, o baffi e code? Sembra che la risposta la diano i **commutatori genetici**, che abbiamo già ricordato, e il cui ruolo è quello di poter amplificare o silenziare l'attività dei geni. Alcuni di questi sono costituite da proteine, che abbiamo già ricordato sopra, e che sono note come "**fattori di trascrizione**": infatti si legano a sequenze che circondano i geni e ne aumentano o diminuiscono la loro attività.

Altri sono controllati dal 98% del genoma che non è coinvolto nella sintesi delle proteine. Gran parte di questo DNA sembra avere un ruolo cruciale nel decidere quando i geni devono essere attivi e quando devono rimanere silenti.

La funzione dei geni Hox e degli altri strumenti del kit consiste nel mettere in moto reti di questi commutatori in particolari cellule, secondo la loro posizione nel corpo. Queste reti a loro volta stabiliscono quali geni funzionano e quali rimangono inattivi. Ogni cellula epatica, ogni cellula delle isole pancreatiche e ogni neurone ha lo stesso pacchetto fondamentale di software genetico. Tuttavia in ogni tipo di cellula questo pacchetto di software attiva programmi specializzati.

Questi modelli variabili di espressione genetica spiegano inoltre come gli stessi geni possano conseguire risultati così diversi in organismi differenti. La diversità di specie è largamente influenzata dal modo stesso in cui gli stessi geni sono usati in condizioni caratteristiche.

Si spiega dunque come un numero così basso di geni umani, più di 20.000, come rilevato dal sequenziamento del nostro genoma, sia sufficiente a costruire un organismo tanto sofisticato. La meravigliosa complessità dell'animale umano emerge solo in parte dai geni portatori di informazioni per sintetizzare le proteine caratteristiche della nostra specie. Evo-Devo ci dice che l'intricata rete di commutatori che dirigono questa orchestra genetica è altrettanto, se non più importante.



I geni Hox regolano la segmentazione del corpo negli esseri viventi

I geni e i genomi nel mondo

Il primo genoma interamente sequenziato è stato quello del batterio *Haemophilus influenzae* nel 1995 mentre nel 1996 è stato pubblicato il primo genoma di una specie eucariote, quello del lievito di birra *Saccharomyces cerevisiae*, poi nel 1998 quello del primo eucariote pluricellulare, il verme nematode *Caenorhabditis elegans*, seguito nel 2000 da quello del moscerino della frutta, *Drosophila melanogaster*. Ci ricorda sempre Barbujani, che stando ai dati SIMA alla fine di ottobre del 2018, la scienza è stata in grado di conoscere i genomi di 6.578 specie di eucarioti, di 163.573 procarioti e di 19.778 virus.

Non esiste relazione fra l'apparente complessità di un organismo e la quantità di DNA presente nelle sue cellule. Il genoma umano è 750 volte più grande di quello del batterio *Escherichia coli*. Se il numero di geni fosse proporzionale alle dimensioni dei genomi, l'uomo dovrebbe avere 3 milioni di geni, invece ne ha più di 20.000. Nella **salamandra** è presente un DNA almeno 10 volte superiore rispetto a noi esseri umani, ma in caso di eventuale proporzione, dovrebbe essere presente una cifra di un 100 milioni di geni.

Il nostro genoma è formato da 3,2 miliardi di lettere. Possediamo circa 20.000 geni che però non rappresentano che una piccola percentuale di tutto il genoma, più del 98% restante è un **DNA non codificante**.

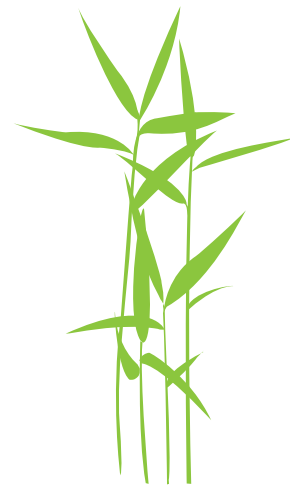
Come ci ricorda J.V. Chamary³² l'animale più grande che sia mai esistito sulla Terra, la **balenottera azzurra** (*Balaenoptera musculus*), che può superare i 30 metri di lunghezza e le 150 tonnellate di peso, possiede quasi 100 quadrilioni di cellule (10^{17}) e tutte provengono da un unico uovo fecondato. Un essere umano adulto è formato da circa 30.000 miliardi di cellule (3×10^{13}) e miliardi di queste cellule vengono sostituite ogni giorno³³.

Grazie alle tecnologie di sequenziamento genico e alle scienze computazionali siamo riusciti finora a identificare oltre 25 milioni di geni in natura e ogni anno la cifra aumenta di qualche milione. Una stima ragionevole, ritiene Paul Falkowski, ci indica che sulla Terra potrebbero esserci tra i 60 e i 100 milioni di geni.

Non tutti i geni sono creati uguali. La maggior parte muta col tempo e varia di organismo in organismo, ma i geni preposti alle componenti chiave non cambiano affatto. Per esempio negli organismi fotosintetici le varie proteine che formano la struttura portante di quelle che Paul Falkowski definisce “**nanomacchine**” (e cioè tutti i piccoli contenitori situati all'interno delle cellule, e quindi le strutture formate soprattutto da proteine e acidi nucleici che espletano tutte le funzioni essenziali delle cellule viventi) devono adattarsi a funzionare in sinergia, nonché devono mantenere le altre componenti in specifiche posizioni e orientamenti, altrimenti il “macchinario” non funzionerebbe. Ciascuna delle proteine che compongono la struttura portante della nanomacchina è codificata da un gene ben preciso. Un attento esame di questi geni rivela che sono praticamente identici tra loro, da quelli riscontrabili nei più antichi organismi aerobi fotosintetici – i cianobatteri – a quelli che caratterizzano le più recenti piante terrestri.

Il moderno albero della vita

Paul G. Falkowski: “Possiamo definire la scienza come l'arte di trovare modelli ricorrenti in natura. L'individuazione di questi modelli ricorrenti presuppone attente osservazioni, che sono ovviamente condizionate dai nostri sensi. Siamo animali visivi, e la nostra percezione del mondo si basa in primo luogo su ciò che vediamo. E ciò che vediamo è a sua volta legato agli strumenti che abbiamo a disposizione; quindi la storia della scienza è anche la storia delle invenzioni che modificano la nostra percezione delle cose. Tuttavia, paradossalmente, l'invenzione di nuovi strumenti è vincolata a ciò che vediamo. [...] I primi capitoli della storia – ancora in atto – dell'evoluzione della vita sulla Terra sono stati scritti per lo più nel XIX secolo da scienziati che studiavano i fossili di animali e piante, vale a dire oggetti ben visibili. [...] In sintesi, l'esclusione dei microbi dall'universo percettivo umano ha finito per distorcere la nostra visione del mondo per oltre un secolo, in senso sia letterale che figurato, e la loro inclusione nel quadro evolutivo è ancora in corso d'opera [...] Nel XIX secolo i microbi erano già noti, tuttavia è solo nel XX secolo che furono inclusi nella cornice della storia evolutiva della vita sulla Terra. I microbi, che si trovano su questo pianeta da miliardi di anni, furono ignorati per via dei limiti della nostra capacità di osservazione. [...] Senza di loro non saremmo qui.”

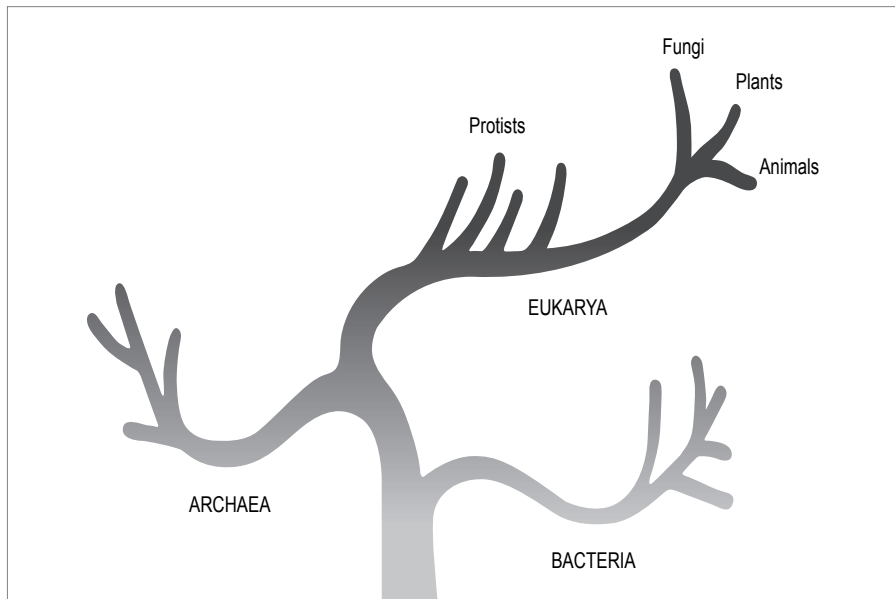


³² Chamary J.V., 2016, 50 grandi idee Biologia, Edizioni Dedalo.

³³ Sender R., Fuchs S. e Milo R., 2016, Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells, Plos-Biology, e1002533. doi:10.1371/journal.pbio.1002533

Nel 1990 due biochimici e genetisti dell'Università dell'Illinois, Carl Woese e George Fox hanno fornito un nuovo schema dell'evoluzione e della classificazione degli esseri viventi, studiando nel dettaglio le molecole di RNA presenti nei ribosomi delle cellule delle diverse forme di vita conosciute.

Woese e Fox hanno di fatto prodotto un nuovo **albero della vita**, ormai scientificamente accettato, costituito da tre grandi Domini: i **Batteri**, gli **Archei** e gli **Eucarioti**.



Albero della vita

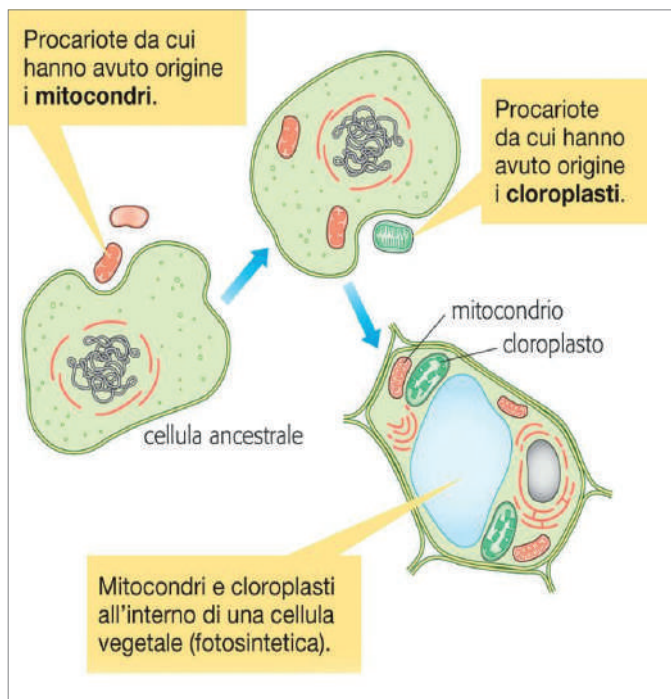
I Batteri e gli Archei (tutti esseri viventi unicellulari) sono definiti **Procarioti** perché la cellula che li costituisce è sprovvista del nucleo cellulare che invece è presente negli **Eucarioti**. A loro volta negli Eucarioti rientrano quelli che una volta erano, diversi decenni fa, in tutti i libri di scuola di allora, i grandi Regni in cui comunemente veniva classificata la natura: Animali, Piante e Protozoi. Oggi nel dominio degli Eucarioti distinguiamo almeno quattro regni: **Animali, Piante, Funghi e Protisti**.

Le ricerche sull'evoluzione dei batteri e degli archei, cioè dei Procarioti, che hanno caratterizzato i primi due miliardi e mezzo di anni della presenza della vita sulla Terra, suggeriscono che una possibile unione tra un batterio con un archeo, rimanendone intrappolati, ha dato vita alle prime cellule eucariotiche, nelle quali l'archo avrebbe fornito la struttura portante della cellula eucariote, mentre il batterio si è trasformato in quelli che oggi sono i mitocondri. È per questo motivo che il nostro genoma contiene molti geni riconducibili agli archei e altri invece più simili a quelli dei batteri e costituisce anche il motivo per cui le nostre cellule contengono i **mitocondri**. I mitocondri sono la centrale energetica della cellula il cui funzionamento avrebbe consentito alle cellule eucariote con il passare del tempo di evolversi in strutture più complesse fino a giungere agli esseri multicellulari che compongono i diversi regni degli eucarioti. Noi pure, insieme a tutti gli animali e le piante presenti sul pianeta, esistiamo perché ha avuto luogo questa unione.

Secondo i calcoli di Paul Falkowski sono solo 1500 i geni essenziali richiesti per le sintesi di tutte le strutture interne della cellula in natura (le cosiddette "nanomacchine"). Nei microbi si trovano tutte queste nanomacchine. Si tratta di una stima prudente, ma se anche la cifra risultasse 10 volte superiore resterebbe il fatto che su 60-100 milioni di geni presenti in natura solo una piccolissima percentuale contiene informazioni fonamen-

tali per la vita. L'altro 99,98% dei geni svolge altre specifiche funzioni negli organismi. Una recente valutazione, ovviamente ancora discussa in ambito scientifico, delle specie microbiche presenti sulla Terra le fa assommare a 1.000 miliardi³⁴.

Sempre Falkowski ricorda che in qualsiasi momento sulla Terra, si stima vivano qualcosa come 1.000.000.000.000.000.000.000 (10²⁴) microbi, ossia organismi autoreplicanti. Si tratta di una cifra astronomica: per rendere l'idea, basti pensare che il numero di microbi viventi è ritenuto essere 100.000 volte maggiore di quello di tutte le stelle nell'Universo osservabile, e che ogni microbo contiene approssimativamente 10.000 geni.



Nascita della cellula eucariota/ Mitocondri

La base della vita sulla Terra: lo straordinario mondo microbico

Gli esseri viventi più complessi hanno poi ospitato nei loro corpi quantità molto significative di batteri. Per quanto riguarda gli esseri umani le stime recenti indicano che il nostro corpo possiede un significativo **microbioma** o **microbiota**, che è presente sulla nostra pelle, dentro i nostri corpi, nell'intestino in particolare, e persino dentro le nostre cellule. La stragrande maggioranza è rappresentata dai batteri ma vi sono anche lieviti, funghi e archei. Ci sono anche i virus (che sono organismi non cellulari costituiti da un acido nucleico rivestito da un involucro proteico, definito capsida, ma che non hanno capacità di una sintesi proteica autonoma e perciò sono caratterizzati da una vita parassitaria nei confronti delle cellule di organismi viventi). Il corpo umano contiene, come abbiamo visto, all'incirca 30.000 miliardi di cellule ma contiene anche

³⁴ Locey K.J. e Lennon J.T., 2016, Scaling laws predict global microbial diversity, Proceedings of the National Academy of Science, 113, 21; 5970 – 5975. Vedasi anche Pedros-Elio C. e Manrubia S., 2016, Proceedings of the National Academy of Science, 113, 24; 6585 – 6587.

38.000 miliardi di batteri che oltre ad essere presenti in tante parti del nostro corpo, svolgono ruoli significativi ed importanti per la nostra vita e per la nostra salute.

Il ruolo dei microbi, nell'evoluzione della vita sul pianeta e nella capacità di collaborare alla "costruzione dei corpi" degli altri esseri viventi, ha creato di fatto degli ecosistemi particolari interni ai corpi stessi delle varie specie (tra cui quella umana), in cui la "negoziante" e le interrelazioni tra le cellule degli organismi e gli stessi batteri presenti in essi, produce straordinari esempi di **simbiosi**, che sono ormai ben documentati dalla ricerca scientifica.

È evidente che in alcuni casi, la condizione di simbiosi può anche modificarsi in situazioni negative, conducendo ad una **disbiosi**. Ogni organismo vivente può essere considerato un ecosistema a sé, cresciuto anche sotto l'influenza dei suoi microbi con i quali si trova in un equilibrio dinamico, che può però anche mutare, in certe situazioni, in condizioni meno favorevoli, creando inevitabilmente dei problemi.

La scienza sta finalmente approfondendo la conoscenza dell'incredibile ruolo del mondo microbico nella vita sulla Terra. Ciò ha avuto luogo anche grazie ai risultati dei grandi programmi di ricerca dedicati ad approfondire il ruolo del mondo microbico, troppo spesso considerato, a torto, solo come causa di malattie, nell'ecologia complessiva di tutti gli esseri viventi (Earth Microbiome Project e lo Human Microbiome Project)³⁷.

Ed Jong: "[...] il ruolo dei microbi è cruciale: condizionano l'immagazzinamento del grasso; aiutano a reintegrare i rivestimenti dell'intestino e della pelle, sostituendo cellule danneggiate o morte con cellule nuove; assicurano l'inviolabilità della barriera emato-encefalica, una rete fittissima di cellule che permette il passaggio dal sangue al cervello di sostanze nutritive e piccole molecole sbarrando al contempo la strada a altre sostanze e cellule vive; intervengono anche nella continua ristrutturazione dello scheletro. [...] il genoma non fornisce a un animale tutto quello che gli serve per creare un sistema immunitario maturo. Serve anche l'input del microbioma. Centinaia di articoli scientifici sulle specie più disparate – topi, mosche tse-tse, pesci zebra – hanno dimostrato che i microbi aiutano a plasmare il sistema immunitario. Influenzano la creazione di intere classi di cellule immunitarie e lo sviluppo di organi che producono e immagazzinano tali cellule. Sono particolarmente importanti nelle prime fasi dell'esistenza, quando la macchina immunitaria viene costruita e deve sintonizzarsi con il grande mondo crudele. Ma anche una volta che la macchina è partita, i microbi continuano a calibrare le sue reazioni alle minacce."



Delle tantissime relazioni simbiotiche di specie viventi con i microbi citiamo, in maniera esemplificativa, quelle evidenziate dagli studi e ricerche di Margaret McFall-Ngai³⁸ direttrice del Pacific Biosciences Research Center dell'Università delle Hawaii Manoa, che è ben nota per la sua straordinaria ricerca della simbiosi tra un batterio bioluminescente, il *Vibrio fischeri* e una specie di calamaro delle Hawaii, *Euprymna scolopes* provvisto di un organo che lo rende luminoso. Il calamaro ha la superficie del suo organo luminoso coperta di muco e di piccole ciglia. Appena il calamaro nasce, il movimento delle ciglia produce una corrente che lascia entrare solo particelle delle dimensioni di

³⁷ Ad esempio Collen A., 2017, I batteri della felicità. Perché i microbi del nostro corpo sono la chiave per la salute e il benessere, Hoepli e Yong E., 2019, Contengo Moltitudini. I microbi dentro di noi e una visione più grande della vita, La Nave di Teseo.

³⁸ Vedasi il video esplicativo delle sue ricerche su <https://www.ibiology.org/microbiology/vibrio-fischeri/>



Calamari delle Hawaii

un batterio. Al contatto con un certo numero di batteri della specie *Vibrio fischeri*, si attivano nel calamaro alcuni geni che producono un cocktail di sostanze chimiche antimicrobiche le quali, a loro volta, creano un ambiente inospitale per tutti gli altri microbi escluso lo stesso *V. fischeri*, mentre altri geni rilasciano degli enzimi che scompongono il muco del calamaro, producendo una sostanza che invece attrae altri *V. fischeri*. Questo microbo diventa così padrone dello strato di muco che gli consente di trasformare la superficie del calamaro in un ambiente capace di attrarre più esemplari della sua specie, riuscendo a chiudere le vie di accesso dall'esterno e provocando persino la scomparsa dei campi ciliati e infine facendo sì che il calamaro diventi luminescente. È evidente che la simbiosi tra il batterio e il calamaro va ben oltre la capacità di determinare la bioluminescenza del mollusco. Le ricerche della McFall-Ngai hanno dimostrato, per la prima volta sperimentalmente, che uno specifico simbiote batterico può svolgere un ruolo induttivo nello sviluppo animale, in quanto fornisce le prove di quanto i batteri contribuiscono a formare i corpi degli animali. Le sue ricerche hanno dimostrato che le capacità del *V. fischeri* di realizzare le trasformazioni interne nel corpo del calamaro derivano in particolare da due molecole, definite peptidoglicano (PGN) e lipopolisaccaride (LPS) che, fino ad allora, erano molecole note solo nel contesto di alcune malattie e non a caso erano inglobate nella lista delle molecole indicate come PAMP (Pathogen Associated Molecular Patterns, in pratica profili molecolari associati ai patogeni) e cioè sostanze che possono mettere in allerta il sistema immunitario sul possibile sviluppo di un'infezione. *V. fischeri*, sebbene affine al batterio che provoca il colera, non è patogeno e la dimostrazione del suo ruolo nella formazione del corpo del mollusco, sin da subito dopo la sua nascita, ha indotto la McFall-Ngai a modificare la terminologia delle molecole PAMP, sostituendolo con l'acronimo MAMP (Microbe Associated Molecular

Patterns, cioè profili molecolari associati ai microbi). Queste molecole infatti non sono solo origine di malattie, ma possono essere protagoniste di simbiosi molto intriganti, come queste, tra diverse forme di vita. Infatti senza il *V. fischeri* l'organo luminoso del calamaro delle Hawaii non diventerebbe mai un organo maturo. Oggi sappiamo che queste molecole hanno ruoli di questo tipo anche in altre specie di animali e che esistono altre situazioni simbiotiche³⁹.

Ed Yong: “Ognuno di noi ha il proprio microbioma, scolpito dai geni che abbiamo ereditato, dai luoghi in cui abbiamo vissuto, dalle medicine che abbiamo preso, dal cibo che abbiamo mangiato, dagli anni che abbiamo vissuto, dalle mani che abbiamo stretto. Dal punto di vista microbico siamo simili ma siamo diversi.”



Un altro esempio proviene dal **platelminta** *Paracatenula*, un verme piatto che ha una lunghezza di un centimetro e che vive nei sedimenti degli oceani caldi di tutto il mondo. Il suo corpo è costituito quasi per la sua metà da batteri simbiotici che si trovano nel trofosoma, l'organo che occupa quasi il 90% del corpo dell'animale.

I batteri svolgono per questo verme una serie di fondamentali servizi per la sua esistenza, in primis rifornirlo di energia grazie all'immagazzinamento di grassi e di composti dello zolfo che, tra l'altro, forniscono al verme il suo colore giallo brillante. Inoltre, questi batteri sono alla base delle capacità rigenerative del verme il quale può essere tagliato in due. Tuttavia, entrambe le parti che ne derivano sono perfettamente funzionanti, tanto che alla metà senza testa, la testa ricresce. Questo fenomeno della differenziazione in due parti avviene anche in natura ed è stato dimostrato che se i frammenti di questo verme contengono abbastanza simbiotici, il frammento stesso può arrivare a produrre un animale intero, ove invece i simbiotici sono pochi, il frammento muore. Inoltre, una singolarità deriva dal fatto che mentre una “coda” del verme può far ricrescere la testa, la testa, da sola, non riesce a produrre una coda.

Ormai dagli anni Settanta, grazie ad alcuni sommergibili di ricerca capaci di raggiungere significative profondità negli oceani, si è cominciato ad individuare e studiare quei luoghi delle **dorsali oceaniche** in cui le **placche tettoniche**, allontanandosi tra di loro, creano spaccature nella crosta terrestre, dalle quali fuoriesce acqua caldissima e composti chimici, con la creazione attorno a queste sorgenti idrotermali di ambienti molto particolari. Mondi che prima della loro esplorazione si ritenevano privi di vita, o fortemente ostili ad essa, e che con successive scoperte e ricerche svolte sugli straordinari ecosistemi trovati in questi luoghi, si è ora giunti a pensare che situazioni di questo tipo, 3,8 miliardi di anni fa circa, siano stati proprio all'origine della nascita del fenomeno vita sulla Terra.

Questi ecosistemi appaiono ricchi di vita, con la presenza di comunità di **anellidi**, **molluschi**, **crostacei** e **pesci** estremamente variegata. Tra questi ha colpito un incredibile anellide polichete, un verme, *Riftia pachyptila*, che può raggiungere e superare anche i 2.40 metri di lunghezza, il più lungo verme sinora scoperto nelle profondità marine. Si tratta di un animale privo di bocca, intestino e ano. E' invece presente il **trofosoma**, un organo presente pure in *Paracatenula*, che nel caso del *Riftia* risulta pieno di cristalli di zolfo puro.

Collen Cavanaugh, dell'Università di Harvard, ha scoperto che *Riftia* ha al suo interno dei batteri in una quantità significativa, circa un miliardo per ogni grammo di tessuto del verme. Il trofosoma del verme è ricco di batteri e di enzimi provenienti dai batteri

³⁹ Sono interessanti, in merito, i lavori scientifici della McFall-Ngai, quali ad esempio, McFall-Ngai M., 2002, Unseen Forces: The Influence of Bacteria on Animal Development, *Development Biology*, 242, 1-14 e McFall-Ngai M. et al., 2013, Animals in a bacterial world, a new imperative for the life sciences, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 9, 3229 – 3236.

stessi, che sono capaci di **processare i composti dello zolfo**, come l'acido solfidrico, comune negli ecosistemi che si formano vicino alle **sorgenti sottomarine**.

Sappiamo bene che sulla superficie delle terre emerse è la luce proveniente dal Sole ad alimentare la vita e che ciò è dovuto alle capacità che hanno le piante di produrre il loro nutrimento grazie al processo della fotosintesi. Le profondità oceaniche non sono raggiunte dalla luce del Sole. I batteri sono capaci di utilizzare i solfuri emessi dalle sorgenti idrotermali, ossidando questi composti chimici e usando l'energia liberata per fissare il carbonio. Questo processo, come sappiamo, viene definito **chemiosintesi** e riesce a produrre il nutrimento necessario, utilizzando l'energia chimica invece di quella proveniente dal Sole. Questo processo non produce ossigeno come prodotto di scarto ma zolfo. *Riftia* pertanto non ha bisogno della bocca e dell'intestino, sono i batteri che gli consentono di vivere.

© NOAA Okeanos Explorer Program, Galapagos Rift Expedition 2011



Riftia pachyptila

Gli estremofili

La vita esiste anche in condizioni molto particolari e complesse, con diversi fattori ambientali che possono mettere in seria crisi la possibilità stessa della sua presenza. Ambienti e situazioni di questo tipo sono studiate dall'esobiologia, cioè dalla ricerca di forme di vita in altri pianeti presenti nell'Universo. Le scoperte che sono state fatte sui cosiddetti **organismi estremofili**, cioè capaci di esistere e sopravvivere in condizioni ambientali estreme, ci fa ulteriormente riflettere sulla straordinarietà delle capacità espresse dal fenomeno vita sul nostro pianeta e ci deve far comprendere ancor più l'urgenza di avviare percorsi di sostenibilità del nostro stare al mondo, rispettando una relazione armonica con il mondo della natura e cercando quanto più è possibile di imitare la natura nei suoi processi circolari per il nostro modo di produrre e consumare. Se prendiamo un solo fattore, quello della temperatura, sappiamo che temperature prossime ai 100°C provocano situazioni di denaturazione per il DNA, l'RNA e le proteine, promuovendo anche l'indebolimento delle membrane cellulari fino a raggiungere livelli letali. Sopra i 150°C molte molecole organiche si decompongono impedendo l'effettuazione dei processi vitali che dipendono da loro. La **clorofilla** delle piante, fondamentale per il processo di fotosintesi, si degrada con temperature sui 75°C. Vi sono però

**Tardigradi**

organismi estremamente amanti delle alte temperature come gli archei. Il noto *Pyrolobus fumarii* è un chemioautotrofo che ricava l'energia dall'ossidazione di composti inorganici e il carbonio dalla fissazione dell'anidride carbonica ed è in grado di vivere a temperature che raggiungono i 113°C⁴⁰.

Animali particolarmente simbolici per le loro capacità di estremofili sono i **tardigradi**, invertebrati lunghi sul millimetro/millimetro e mezzo, noti familiarmente con il termine orsetti d'acqua, che si muovono lentamente e presentano il corpo diviso in cinque sezioni, avvolto in una sorta di cuticola flessibile che viene sostituita con la crescita dell'organismo. Presentano otto zampe corte e tozze, dotate di una serie di artigli uncinati. Producono uova senza accoppiarsi e sono in alcuni casi **ermafroditi**, capaci quindi di **autofecondarsi**.

Sino ad oggi sono state descritte almeno 1.200 specie di Tardigradi. Sono animali che si trovano sia nella terra, privilegiando le aree con acqua e sia in ambienti acquatici, dalle gocce d'acqua nel muschio di un giardino alle profondità dell'oceano, dalle foglie sugli alberi alla sommità delle montagne. Un'ubiquità e una capacità di resistenza a tante situazioni ambientali differenziate che ha consentito loro di sopravvivere per un lungo arco di tempo nella storia della vita sulla Terra, evitando di soccombere alle cinque grandi estinzioni di massa verificatesi nell'arco degli ultimi 500 milioni di anni di storia del nostro pianeta.

Si nutrono di cellule vegetali o batteri, si muovono sulle prime sei zampe e utilizzano la quarta coppia per restare in piedi e attaccare la preda utilizzando gli artigli.

Negli ambienti con poca disponibilità di ossigeno i tardigradi reagiscono all'asfissia prolungata, gonfiandosi e diventando, come ricorda l'esobiologa Louise Preston, una sorta di pop corn appena scoppiato che fluttua in attesa di riprendere la sua attività entro pochi giorni. In assenza di acqua i tardigradi si "prosciugano" perdendo fino al 97% della loro umidità corporea, essiccandosi, riducendo le proprie dimensioni di un terzo rispetto a quelle originali e assumendo una forma tipo un barilotto, ritirando zampe e testa e avvolgendosi a palla e perdendo oltre la metà dell'acqua del loro corpo.

In questo stato i tardigradi presentano una resistenza straordinaria, tanto che più volte nell'arco di un anno assumono queste sembianze, diventando di fatto una sorta di granello di polvere che contiene gli ingredienti fondamentali della vita, e appena vengono reidratati da una fonte di umidità ritornano alla vita attiva in pochi minuti.

Per quanto riguarda la resistenza al congelamento i tardigradi giungono a sopportare temperature molto al di sotto del punto di congelamento arrivando sino a $-272,95^{\circ}\text{C}$ e appena riscaldati e reidratati tornano alla vita attiva. Questi animali per motivi anche sperimentali sono stati bolliti vivi, esposti a temperature di 150°C , schiacciati sotto quasi 400 atmosfere di pressione (equivalenti a quella percepita sul fondo dell'oceano)

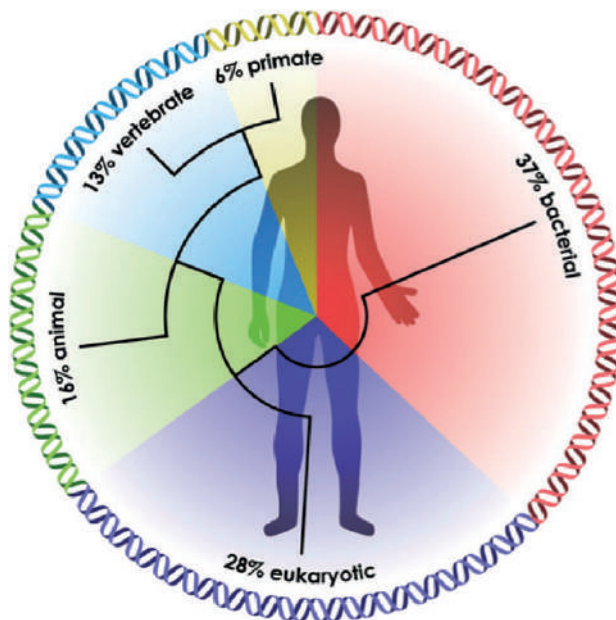
⁴⁰ Preston L., 2019, Riccioli d'oro e gli orsetti d'acqua. Alla ricerca della vita nell'Universo, Il Saggiatore

ed esposti a concentrazioni di gas letali come il monossido di carbonio, il diossido di zolfo etc. tornando sempre alla vita.

Inoltre sono i primi animali pluricellulari a sopravvivere all'esposizione alle mortali condizioni dell'**ambiente cosmico** e sono perciò utilizzati, per studi e ricerche di approfondimento in particolare nel campo dell'esobiologia, in molti viaggi spaziali.

Nell'aprile 2019 si è schiantata sulla Luna la sonda israeliana Beresheet che tra l'altro portava a bordo migliaia di tardigradi essiccati e a livello mediatico sono apparsi numerosi articoli che si chiedevano che fine avrebbero potuto fare i Tardigradi sulla Luna! I recenti sequenziamenti del loro DNA hanno documentato come una importante frazione dello stesso è costituito da geni di provenienza esterna⁴¹. Quasi il 17,5% è costituito da una miscela di circa 6000 geni di batteri, archei, funghi e persino piante assimilati con i meccanismi di trasferimento genico orizzontale. Sembrano utilizzare queste possibilità acquisendo geni che in altri organismi sono coinvolti nel far fronte alle condizioni di stress.

© da McFall-Ngai et al., 2013



Il genoma umano è caratterizzato da diverse componenti che testimoniano le varie fasi evolutive della vita sulla Terra

⁴¹ Yoshida Y. et al., 2017, Comparative genomics of the Tardigrades *Hypsibius dujardini* and *Ramazzottius varieornatus* PLoS Biology 15(7): e2002266. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2002266>

3. “BIOMIMESI: COME IMITARE LA NATURA”

“Più studio la Natura più rimango colpito con sempre maggior vigore da come i congegni e i meravigliosi adattamenti lentamente acquisiti in ogni parte trascendano in modo incomparabile i congegni e gli adattamenti che persino la più fertile immaginazione umana sarebbe in grado di inventare”.

Charles Darwin



La **biomimetica** è una nuova disciplina che cerca di imparare dall'ingegno della Natura, attinge ad essa come fonte di ispirazione, e non risponde alla domanda: “cosa possiamo prendere dalla Natura?”, ma piuttosto “Cosa possiamo apprendere da essa?”. Le specie viventi sono comparse più di 3 miliardi di anni fa, da allora si sono evolute incessantemente adattandosi sempre meglio all'ambiente circostante. Secondo la teoria di Darwin le specie che hanno mostrato migliori capacità di adeguamento sono quelle che hanno raggiunto il **successo biologico**, la natura opera incessantemente cimentando gli esseri viventi e solo quelli capaci di elaborare strategie adeguate alla soluzione dei problemi sopravvivono e prosperano, gli altri sono inesorabilmente cancellati. Sotto questo aspetto la natura si comporta come una gigantesca macchina che sottopone i singoli individui e le intere specie ad una **pressione selettiva** costante.

Il lavoro di uno scienziato dedito alla ricerca di nuove soluzioni tecnologiche ha alcune somiglianze con questo meccanismo di selezione naturale, lo sperimentatore costruisce un modello del sistema o dell'apparato o del dispositivo che ha concepito e poi lo mette alla prova, i primi tentativi difficilmente sono coronati da successo, i prototipi o non funzionano affatto o si guastano presto, oppure svolgono il loro compito in modo inadeguato, solo migliorando più e più volte il disegno e l'architettura iniziale, se l'idea è giusta, cioè provando e riprovando come diceva Galileo, si può arrivare ad un risultato soddisfacente, perciò in laboratorio è l'intelligenza dello scienziato a trovare nuove soluzioni, ed egli stesso, la comunità scientifica, la società tutta a decidere se tali soluzioni siano da ritenersi vantaggiose e quindi da applicare. In natura, invece, le variazioni si verificano casualmente e solo le condizioni ambientali fanno la cernita selezionando le novità utili e scartando quelle che sono controproducenti.

Con questa premessa sembrerebbe che il vantaggio degli scienziati nel trovare nuove soluzioni sia schiacciante, ma, in realtà ci sono almeno tre buoni motivi per cui la natura ha elaborato invenzioni ben più articolate e complesse di quelle immaginate da qualsiasi scienziato, i primi due motivi sono che l'attività di ogni ricercatore è molto circoscritta nel tempo e nello spazio, il ricercatore dispone, al massimo, di mezzo secolo e di poche decine di laboratori in cui svolgere i propri studi, la natura invece ha avuto miliardi di anni per sperimentare le soluzioni ed un laboratorio grande quanto il mondo, la capacità della natura di esplorare nuove possibilità originali è stata ed è tuttora strabiliante, il terzo motivo è che ogni ricercatore segue la sua strada, si appassiona e si dedica al suo particolare progetto, filone di indagine, pianifica con lo studio e produce dati in un determinato ambito della scienza o al più in pochi ambiti perché sempre guidato e quindi condizionato dal suo pensiero e dalla sua sensibilità, invece le invenzioni della natura non hanno condizionamenti dal momento che nascono da mutazioni casuali e si estendono in ogni direzione possibile sperimentando soluzioni anche audaci e inaspettate, tra queste innumerevoli possibilità le più convenienti sono prescelte e vengono fissate nelle generazioni seguenti diventando un nuovo carattere distintivo della specie, quindi, guardandoci intorno oggi, troviamo il fior fiore delle invenzioni della natura selezionate pazientemente nel corso delle ere passate. Gli scienziati non devono

fare altro che guardare il mondo circostante individuando quelle invenzioni naturali che potrebbero soddisfare anche i nostri bisogni.

I biomimetici, quindi, sono ricercatori apprendisti della natura, riconoscendo che l'uomo è parte integrante di un pianeta geniale immerso in un universo competente. Si pongono le domande: "La natura come avrebbe risolto questo problema? Con quale espediente, con quale processo, con quale strategia?"

Uno dei principali guru della biomimetica è la statunitense Janine Benyus, fondatrice del **Biomimicry 3.8 Institute di Missoula**, nel Montana, che invita a guardare alla natura più che come a un serbatoio di materie prime da sfruttare, come a una fonte di saggezza, frutto di un numero infinito di prove e tentativi:

"Noi uomini spesso pensiamo che se c'è qualcosa di fatto bene sicuramente l'abbiamo fatto noi, "dobbiamo capire", dice Benyus, "che noi esseri umani non siamo i primi ad aver costruito, non siamo i primi ad aver lavorato i vari materiali, non siamo i primi che hanno imparato ad ottimizzare lo spazio o a sperimentare l'impermeabilità. La natura ha alle spalle 3,8 miliardi di anni di ricerca e sviluppo, l'homo sapiens solo 200 mila.

Quello che sta succedendo, in questo nuovo campo chiamato biomimetica, è che le persone stanno iniziando a ricordare che gli organismi, il resto del mondo naturale, fanno cose molto simili a quelle che noi abbiamo bisogno di fare e le fanno molto bene. Gli organismi viventi lo stanno facendo da qualche miliardo di anni e in un modo che ha permesso loro di vivere con grazia su questo pianeta fino ad ora".



La biomimesi, in effetti, non è semplicemente l'imitazione degli esseri viventi, l'imitazione dei processi naturali al fine di realizzare nuove tecnologie o di migliorare quelle esistenti, la biomimesi è diventata uno degli aspetti più promettenti della ricerca scientifica contemporanea, portatrice di scoperte e invenzioni affascinanti e di tecnologie non dannose per l'ambiente. Si tratta di processi non inquinanti, di materiali interamente riciclabili, di energie rinnovabili, di tecniche che richiedono una quantità ridotta di energia, persino passive.

Tutto ciò può anche sembrare di là da venire, in un lontano futuro, ma in effetti, per molti casi le soluzioni tecnologiche "naturali" sono già in uso, esistono già sistemi passivi di climatizzazione e di estrazione delle acque, come sono già in commercio rivestimenti "naturalmente" antisettici (senza applicazioni di prodotti chimici), una colla industriale per il legno che non contiene elementi tossici e rivestimenti per l'edilizia autopulenti: questi tre prodotti imitano rispettivamente le caratteristiche dello squalo, della cozza e del loto.

È un dato di fatto che la biomimesi, oggi, influenzi le tecnologie più avanzate. Un dispositivo di esplorazione spaziale che vola come una farfalla notturna, pannelli solari che effettuano la fotosintesi come le piante, un dirigibile che si muove come una trota... Tutti questi progetti sono oggetto di studi approfonditi e potrebbero a breve o a lungo termine far parte della nostra realtà.

Forse il primo in assoluto a riferirsi alla biomimetica è stato Leonardo Da Vinci, quando, nei suoi studi sulle macchine volanti, prendeva ad esempio il volo degli uccelli, egli applicava questo metodo alle discipline più diverse, dalla pittura alla progettazione ingegneristica:

"Come per tutt'i viaggi si può imparare. Questa benigna natura ne provvede in modo che per tutto il mondo tu trovi dove imitare"

Leonardo da Vinci





Fiori di Loto

La natura laboratorio per lo sviluppo innovativo e sostenibile

La vera novità degli attuali studi sulla biomimesi è rappresentata dal segmento tecnologico su cui si innestano: campi ancora inediti di intersezione tra la biologia e l'ingegneria o la biologia e la tecnologia, che rappresentano la frontiera su cui si testano ogni giorno nuove soluzioni per il nostro futuro e, in un certo senso, per la nostra sopravvivenza come specie. In tempi in cui si inizia a pensare alle risorse del pianeta come a qualcosa di limitato e prezioso, le lezioni del mondo vegetale e animale vengono tenute in particolare conto per cercare di ottenere la massima efficienza energetica, minimizzando al contempo gli scarti di produzione.

Possono esserci due approcci principali per l'innovazione derivata dalla natura. Il primo è quello di partire dall'osservazione di un fenomeno biologico e applicarne i meccanismi a un problema di design. Un esempio ne è la ricerca, effettuata negli anni Novanta dal docente di Scienza delle Piante Wilhelm Barthlott all'Università di Bonn sulle foglie del loto. Osservandone al microscopio la superficie, Barthlott scoprì che queste foglie non sono lisce, come potrebbe sembrare, ma sono ricoperte da migliaia di piccole scaglie, su cui la polvere e le impurità non riescono a fare presa e vengono perciò trascinate via dalla pioggia. Barthlott ebbe l'idea di commercializzare questa scoperta applicandola a una serie di prodotti, di cui il rivestimento "autopulente" **Lotusan** per le facciate delle case, è forse l'esempio più famoso.

L'altro approccio, speculare, è quello di partire da una sfida di progettazione di un artefatto umano, e cercarne la soluzione nel mondo naturale. È il caso del progetto dell'**E-astGate Centre di Harare**, in Zimbabwe, una vera meraviglia dell'**architettura green**. L'edificio che ospita uffici e un immenso centro commerciale, è stato costruito dall'architetto Mick Pearce, a dispetto del clima e del luogo in cui si trova, non presenta alcun sistema convenzionale di ventilazione. Pearce studiò il modo in cui le **termiti** costruiscono il sistema di ventilazione dei caratteristici nidi "a pinnacolo", la cui temperatura rimane pressoché costante nonostante il caldo torrido diurno e il fresco delle notti, e traendo spunto creò un edificio il cui sistema di climatizzazione fosse "naturale", basato su una serie di ventole di sfiasi, applicando i principi dell'auto raffreddamento e della ventilazione, osservati proprio nelle tane delle termiti africane. In questo modo l'E-astgate Centre usa almeno il 10% in meno dell'energia che un edificio di quelle dimensioni consuma con un sistema di raffreddamento tradizionale, incarnando un affascinante esempio di **efficienza energetica ispirata dalla natura**. Un altro esempio illuminante è senz'altro quello del velcro, inventato nel 1941 dall'ingegnere svizzero George de Mestral, ispiratosi ai piccoli fiori che si attaccavano saldamente al pelo del suo cane ogni volta che lo portava a passeggio. Analizzandoli al microscopio, de Mestral notò che ogni

petalo presentava alla sommità un microscopico uncino, capace di incastrarsi praticamente ovunque trovasse una appiglio naturale. Fu così che dall'osservazione di questo fenomeno nacquero le strisce di **velcro** che tutti noi conosciamo: semplici strisce in nylon combinate, una in tessuto peloso e una munita di tanti piccoli uncini che si attaccano saldamente all'asola, riproponendo il meccanismo di "cattura" osservato in natura. C'è poi il cosiddetto Gecko Tape, un materiale altamente adesivo in fase di sviluppo che permetterebbe a persone ed oggetti di muoversi su superfici lisce o verticali sfruttando la sua capacità di presa e di rilascio a seconda della direzione del carico. Ispiratore è stato, come dice il nome stesso, un simpatico animaletto. Il gecko infatti è in grado di arrampicarsi su qualsiasi superficie solida, indipendentemente dal suo orientamento, grazie alla miriade di peli microscopici che ricoprono le sue zampine. E se anche il Gecko Tape non servirà ad aspiranti uomini ragno per arrampicarsi sui grattacieli, è indubbio che le applicazioni di un prodotto del genere possano essere estremamente utili nei campi più disparati.

Il becco dell'Alcedo atthis: un progetto di pesca

Il "**bullet train**" (treno proiettile) giapponese viaggia a una velocità di oltre 300 chilometri orari, è uno dei più rapidi al mondo. In parte deve il suo successo a un uccellino: il **martin pescatore**.

L'ingegnere Eiji Nakatsu che ha diretto le prove su rotaia di questo treno aveva un grosso problema: quando il treno imboccava ad alta velocità un tunnel stretto si generavano onde di pressione che un po' alla volta si amplificavano come le onde di un maremoto raggiungendo l'uscita del tunnel alla velocità del suono e generando onde a bassa frequenza che producevano un forte boato e **vibrazioni aerodinamiche** così intense da suscitare proteste da parte degli abitanti anche a 400 metri di distanza.

Il martin pescatore invece, in cerca di prede, può tuffarsi in acqua senza quasi sollevare spruzzi. Questo ha incuriosito l'ingegnere, egli si è chiesto come fa il martin pescatore ad ammortizzare così velocemente il passaggio dall'aria all'acqua, dal momento che quest'ultima oppone una resistenza molto maggiore? La risposta a questo quesito è stata la chiave che ha permesso di risolvere il particolare problema del treno.

Si è deciso di modellare il muso del treno a somiglianza del becco del martin pescatore. Come risultato, il "treno proiettile" ora viaggia a una velocità del 10 per cento superiore spendendo il 15 per cento di energia in meno. Per di più, l'onda di pressione prodotta dal treno si è ridotta del 30 per cento. Di conseguenza, quando il treno passa attraverso un tunnel, non si sente più un forte boato.



© Fabio Cianchi

*Alcedo atthis
con il suo lungo becco*

Squali contro batteri

Non siamo i primi a esserci protetti da alcuni batteri, sappiamo tutti, infatti, che i microrganismi sono un serio problema per la vita di tutti i giorni, interessante è che le soluzioni innovative per liberarcene possono venire dal mondo naturale (e addirittura dai predatori degli abissi). L'oceano quindi non è solo uno degli ambienti più affascinanti del pianeta ma è anche un luogo a cui guardare per trovare le soluzioni ad alcuni problemi che fronteggiamo sulla terraferma, compreso quello dei batteri e della loro proliferazione in contesti inopportuni come gli ospedali. Basti pensare che nel mondo le infezioni batteriche uccidono ogni anno sempre più persone di quelle che muoiono con l'AIDS o il cancro o incidenti d'auto insieme, quasi 100 mila.

C'è uno **squalo delle Galapagos** di nome *Carcharhinus galapagensis* che non ha batteri sulla superficie, del suo corpo, nessuna incrostazione, nessun cirripede. E non è perché va veloce, anzi è uno squalo che si muove lentamente. Quindi come fa a man-



© Antonio Busiello / WWF-US

*Carcharhinus
galapagensis*

tenere la sua superficie libera dall'accumulo di batteri? Come osservato dagli scienziati, semplicemente la pelle di questo animale presenta dei dentelli tali da renderla inospitale per i microrganismi. Imitarne le proprietà naturali sta spianando una via per creare rivestimenti su cui i batteri non possono annidarsi e sui quali si limitano a scivolare senza attecchire (ad esempio sulle maniglie delle porte o sulle sponde dei letti).

L'innovazione nel segmento materiali è già all'opera in questo senso e anche in ambito accademico l'interesse è alto, come dimostrava ad esempio nel 2018 una soluzione basata su una ricerca dell'ateneo di Amherst, nel Massachusetts⁴².

La Sharklet Technologies sta mettendo questi dentelli all'esterno degli ospedali per evitare che i batteri ci approdino. Il che è meglio che trattarli con degli anti batterici o detergenti aggressivi ai quali ormai molti organismi stanno diventando resistenti.

Costume da squalo

C'è una linea d'indumenti per nuotatori, ispirata alla pelle degli squali, che nel 2008 ha consentito di stabilire ventitré nuovi record mondiali ai Giochi Olimpici di Pechino. Il tessuto con il quale sono realizzati i costumi mostra delle microscopiche creste superficiali che ricordano i “**dentelli**” **dermici** presenti sulla pelle dell'animale e che gli consentono un rapido spostamento in acqua riducendo le turbolenze che si formano intorno al suo corpo.

Il coleottero della nebbia

Ottenere acqua potabile in climi estremi è un obiettivo fondamentale per rendere possibile, o comunque meno disagiata, la vita dell'essere umano nelle realtà desertiche del pianeta. Alcuni ricercatori hanno scoperto che in fondo ci aveva già pensato la natura a rispondere a questa esigenza.

La *Stenocara gracilipes* è un **coleottero del Namib**, dove l'aria fredda e umida dell'Oceano portata verso il continente incontra l'aria calda del deserto formando una coltre di nebbia. L'umidità che si genera quando il sole va a dissipare questa nebbia si condensa sull'estremità dell'addome della *Stenocara* formando delle piccole gocce, che scivolando sul suo dorso altamente idrorepellente giungono per gravità alla bocca del coleottero dissetandolo. Questo stratagemma consente all'animale di arrivare a vivere anche otto o nove anni in zone del deserto dove cadono meno di 40 millimetri di pioggia ogni anno.

Ed è proprio il complicato tessuto del dorso della *Stenocara*, dove si alterna una striatura di microaree idrorepellenti ad un'altra non idrorepellente, che ha ispirato lo scienziato Andrew Parker e diverse ricerche scientifiche per produrre tessuti artificiali che ottimizzino la rapidità di condensazione del vapore acqueo.

E ora aziende cinetiche e architettoniche come quella di Grimshaw stanno iniziando a considerarlo come un modo per rivestire gli edifici così da poter raccogliere l'acqua 10 volte meglio delle nostre reti acchiappa nebbia.

La ninfea ispiratrice

La foglia della **Victoria Amazonica** ispirò Joseph Paxton, architetto e botanico inglese, a progettare, nel 1851, il **Crystal Palace**, uno degli esempi più illustri di architettura.

⁴² <https://www.umass.edu/newsoffice/article/umass-amherst-research-enhances-shark-skin>



Victoria amazonica

tura in ferro, realizzato a Londra per ospitare la prima Esposizione Universale. Questa, che poi divenne la sua opera più nota, sintetizza le due passioni di Paxton, l'architettura e la botanica. La struttura del Crystal Palace è ispirata quindi al modello biologico di queste enormi foglie di ninfea, apparentemente fragili, ma abbastanza resistenti da sostenere il peso di una persona. Ogni foglia presenta una serie di costole radiali irrigidite da sottili nervature incrociate, Paxton pensò di sfruttare tale sistema strutturale per i grandi archi di chiusura dei prospetti principali del Crystal Palace, utilizzando come costole radiali e **nervature** elementi portanti in ferro e in analogia al riempimento della foglia i pannelli di vetro, ottenendo così una struttura molto leggera ma al contempo incredibilmente resistente.

Konrad Wachsmann individua nel Crystal Palace il riferimento fondamentale dell'architettura organica:

“La grossa serra collocata su un parco londinese era tutta vetrata e trasparente e oltre a costituire il primo esempio di prefabbricazione industriale è stato anche il primo edificio moderno ad essere ispirato dalle forme della natura”.



Uso dell'energia

Il microcosmo degli insetti è una miniera per la biomimesi. Ad esempio **la socialità delle formiche** ispira, all'ingegnere informatico Marco Dorigo dell'Università di Bruxelles, modelli matematici per risolvere problemi di ottimizzazione del traffico. Gli organismi centellinano l'energia perché devono lavorare o scambiare ogni singolo frammento che ottengono. E in questo momento, uno dei più ampi settori, nel mondo dei sistemi energetici, di cui si sente parlare è il sistema intelligente. Tra i principali consulenti ci sono gli insetti sociali: **la tecnologia dello sciame**. C'è una compagnia che studia come formiche e api trovano il loro cibo e i loro fiori nel modo più efficace come un intero alveare, e ci sono apparecchi nelle nostre case che comunicano l'un l'altro attraverso quell'algoritmo, e determinano come minimizzare il picco dell'uso di energia.

La CO₂ per costruire cemento verde

Gli organismi non pensano alla CO₂ come a un veleno, attraverso un processo chiamato **biomineralizzazione**, piante e organismi animali producono conchiglie, corallo e ossa proprio partendo dalla molecola di CO₂. Il corallo utilizza gli elementi presenti nell'acqua di mare per realizzare i fiori di pietra che costituiscono il suo scheletro, la considera quindi come materiale di costruzione. Noi esseri umani, invece, abbiamo il problema che l'industria del cemento è una delle più inquinanti al mondo: da sola produce quasi il 10% della CO₂ emessa in seguito alle attività umane. Tuttavia, il cemento resta il componente più importante delle costruzioni in ogni continente, ed è, quindi, necessario trovare una soluzione.

C'è una compagnia di produzione di cemento negli Stati Uniti che ha preso la ricetta dai coralli e anziché emettere CO₂ la usa per costruire cemento.

Superfici con colore strutturale

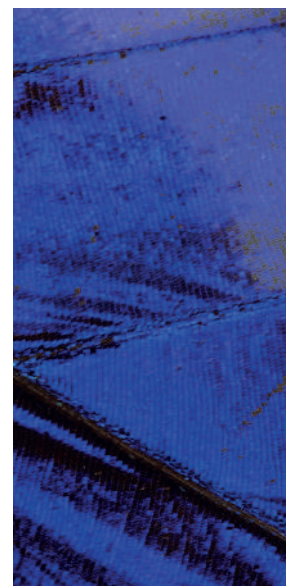
I trattamenti superficiali di colorazione potrebbero scomparire dal panorama del design soppiantati dai materiali con **“colore strutturale”** in cui i tradizionali pigmenti responsabili dell'assorbimento selettivo della radiazione elettromagnetica visibile sono sostituiti da riflessioni selettive della luce, solitamente dovute a strutture a stratificazione multipla, in grado di generare un colore visibile sulla base dell'angolo di incidenza. Sono tre i fenomeni luminosi che danno origine al colore strutturale: l'**interferenza**, la **diffrazione** e la **diffusione**. I primi due producono colori iridescenti che cambiano secondo l'angolo visuale seguendo un ordine ben definito, detto sequenza di Newton. Le colorazioni iridescenti per interferenza sono visibili nelle ali trasparenti delle mosche e di altri insetti ma sono ampiamente diffuse anche in pesci e crostacei e nelle piume degli uccelli.

L'esempio più noto di colore strutturale è quello delle ali della **farfalla Morpho**, caratterizzate da conformazioni lamellari stratificate in grado di interagire direttamente con la singola onda elettromagnetica.

Nel 2009, la fashion designer Donna Sgro ha presentato la prima collezione di vestiti interamente realizzata con una fibra a struttura multistrato, chiamata Morphotex che può assumere varie colorazioni in base alla luce riflessa, rendendo superflui tinta e pigmento. Tale fibra, caratterizzata dai tipici colori sgargianti e iridescenti, presenta una struttura laminata in film sottili di 70 nanometri di poliestere o nylon, alternati su 61 strati che permettono di ottenere quattro colori di base: rosso, verde, blu e viola. Il “polimer opal” è, invece, un **materiale polimerico** con colore strutturale in grado di imitare l'iridescenza di conchiglie e opali. Nanosfere elastiche all'interno di una matrice cristallina riflettono la luce che colpisce la superficie, creando un effetto cangiante. La variazione di colore dal rosso al blu si ottiene stirando o comprimendo il materiale, modificando cioè la sua struttura e determinando una variazione nella disposizione e distanza delle sfere. Il colore non è soggetto a sbiadimento e la modifica è temporanea.

E gli esempi potrebbero continuare all'infinito, ma se dopo la lettura si volesse indagare ulteriormente, si può consultare www.asknatura.org che è un catalogo messo a disposizione dal Biomimicry Institute di Missoula (Montana) consultabile anche a partire dal problema di cui si va cercando la soluzione tra alberi, frutti e ingegnosi animali. Perché le lezioni della Natura, per chi è capace di fermarsi, osservare e ascoltare, sono infinite, sono lì e aspettano di essere colte.

Basti pensare a quanta silenziosa saggezza racchiudono i colori e le forme delle foglie, il piccolo geco, il becco del martin pescatore, la pianta del loto, le minuscole termiti ed i semi della bardana. Dobbiamo credere nella proficua collaborazione tra intelligenza umana ed elementi della natura, sicuramente troveremo le risposte utili anche alla scoperta di materiali riciclabili, tecnologie non inquinanti, energie rinnovabili... Forse



Ingrandimento dell'ala della farfalla Morpho

© Edward Parker / WWF

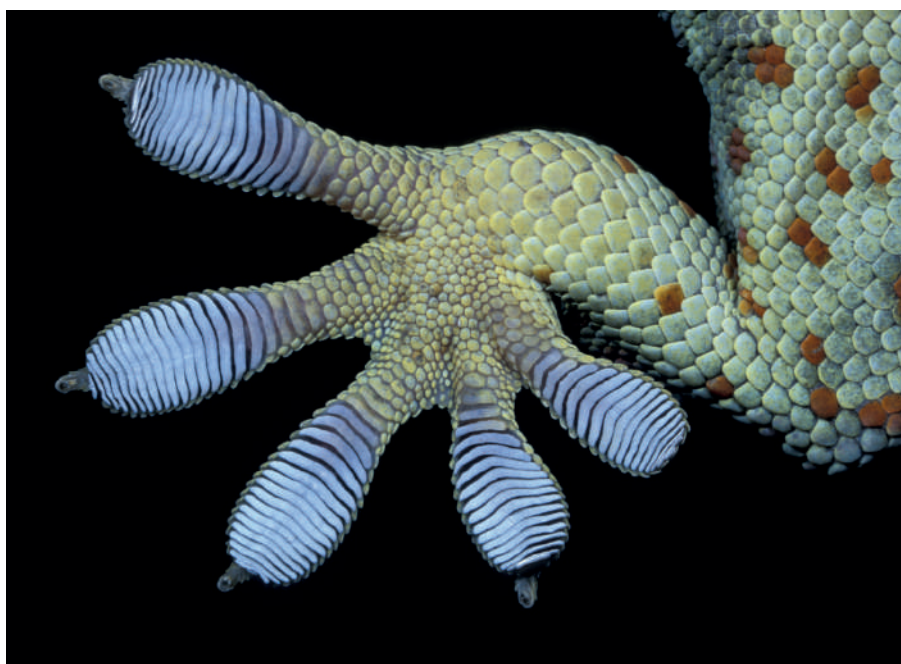
potremmo vedere un futuro se non proprio roseo, almeno “verde”. E così il cerchio potrebbe chiudersi, restituendo salute al pianeta dopo aver colto i suggerimenti che esso ha lì pronti, per noi.
Perché:

“Ogni cosa che puoi immaginare, la natura l’ha già inventata“.

Albert Einstein



© naturepl.com / Ingo Arndt / WWF



Zampa di gecko

4. UN IMPEGNO GLOBALE PER DIFENDERE LA BIODIVERSITÀ

Barry Commoner: “ La lezione della crisi ambientale è, dunque, chiara. Se vogliamo sopravvivere, le considerazioni ecologiche devono guidare quelle economiche e politiche. E se vogliamo imboccare la via della saggezza ecologica, dobbiamo accettare infine la saggezza ancora maggiore di riporre la nostra fiducia non nelle armi che minacciano una catastrofe mondiale ma nel desiderio, ovunque condiviso nel mondo, di essere in armonia con l'ambiente e in pace con la gente che lo abita. Così come l'ecosfera, i popoli del mondo sono legati attraverso le loro necessità diverse, ma interconnesse, a un destino comune. Il mondo sopravviverà alla crisi ambientale nella sua integrità oppure soccomberà tutto intero.”

Come abbiamo visto la biodiversità rappresenta la ricchezza della vita sulla Terra con i suoi patrimoni genetici, di specie e di ecosistemi che la costituiscono. Una ricchezza fondamentale che garantisce anche il benessere e lo sviluppo della nostra specie.

Ma l'attuale **tasso di perdita della biodiversità** mondiale ha raggiunto livelli senza precedenti come è stato messo a punto nel più recente e autorevole rapporto sul tema, lanciato nel maggio 2019, “**Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services**” dell' IPBES[1], l'organismo delle Nazioni Unite istituito nel 2012, che svolge per la biodiversità, il ruolo svolto dall'IPCC per il cambiamento climatico.

Questo rapporto dell'IPBES è il secondo rapporto globale sullo stato della biodiversità realizzato a livello internazionale, dopo quello reso noto nel 2005 da parte del programma internazionale patrocinato dalle Nazioni Unite definito **Millennium Ecosystem Assessment**, dal titolo “*Ecosystems and Human Well-being*” [2].

L'IPBES ha documentato attraverso le **evidenze scientifiche** raccolte nel rapporto, che la salute degli ecosistemi, grazie ai quali viviamo e grazie ai quali vivono ed interagiscono tutte le specie presenti sulla Terra, si sta deteriorando molto rapidamente, come non era mai accaduto in precedenza nella storia umana. In questo modo stiamo erodendo le fondamenta delle nostre economie, della nostra vita, della nostra alimentazione, della nostra salute e della nostra qualità della vita. Il rapporto ci ricorda che soltanto attraverso un vero e proprio cambiamento trasformativo delle nostre economie e delle nostre società, degli attuali fattori economici, sociali, politici e tecnologici dominanti e soprattutto dei valori e dei comportamenti necessari per l'**inversione di rotta** ormai ineludibile dei nostri modelli di sviluppo attuali con la riorganizzazione e riformulazione dei nostri paradigmi, obiettivi e valori, possiamo affrontare e risolvere concretamente la sfida di un **futuro sostenibile** e armonico tra la nostra specie e la natura.

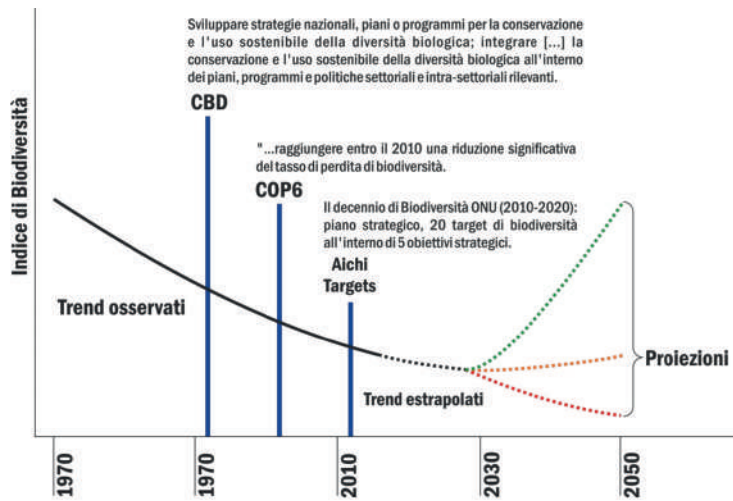
Il rapporto ci dice anche che, nonostante tutti gli sforzi sinora profusi per conservare gli ambienti naturali, se non si agisce concretamente per avviare questo cambiamento trasformativo gli **Obiettivi di Sviluppo Sostenibile** non potranno essere raggiunti.

L'IPBES fa presente che almeno un milione di specie viventi sono in via di estinzione nei prossimi decenni, su di una stima delle specie esistenti ritenuta intorno agli 8 milioni[3], avendo considerato accettabile questo dato che deriva da alcuni lavori scientifici recenti, sebbene il dibattito sul numero delle specie esistenti sulla Terra sia ancora ben lungi dal potersi ritenere definito[4].

Il tasso totale di estinzione delle specie attuale è a un livello che supera dalle decine alle centinaia di volte il tasso del livello di estinzione verificatosi negli ultimi 10 milioni di anni. L'intervento umano ha trasformato significativamente il 75% della superficie delle terre emerse, ha provocato impatti cumulativi per il 66% delle **aree oceaniche** ed ha distrut-

to l'85% delle **zone umide**. Questo sconcertante tasso di cambiamento globale della struttura e delle dinamiche degli ecosistemi della Terra, dovuto alla nostra azione, ha avuto luogo in particolare negli ultimi 50 e non ha precedenti nella storia dell'umanità. Le cause principali sono, nell'ordine, la profonda modificazione degli ecosistemi terrestri e marini, l'utilizzo diretto delle specie viventi, gli effetti del cambiamento climatico, quelli dell'inquinamento e la diffusione delle specie aliene. L'IPCC negli ultimi rapporti specifici pubblicati quest'anno, sullo stato del suolo mondiale e quello della sfera del ghiaccio (**criosfera**) e degli oceani del pianeta è allerta sullo stato del cambiamento climatico in atto. Gli equilibri dinamici che hanno consentito all'umanità di raggiungere lo stato attuale sono gravemente a rischio [5].

© da Mace G. e altri, 2018, Aiming higher to bend the curve of biodiversity loss, Nature Sustainability 1, 448-451



Curva relativa alla perdita di biodiversità

Le sfide delle agende internazionali

I target del WWF al 2030 sono molto chiari: **azzerare la perdita di habitat naturali** (proteggere almeno il 30% della Terra, **gestire sostenibilmente almeno un altro 20%**, **riconoscere i diritti dei popoli indigeni** sulle loro terre), **azzerare il tasso di estinzione** delle specie (mantenendo vitali le popolazione delle varie specie e bloccando l'insostenibile commercio mondiale di wildlife) e **dimezzare la nostra impronta di produzione e consumo** (dirigendosi con decisione verso pratiche sostenibili nell'agricoltura, nelle infrastrutture, nella pesca, nell'industria estrattiva). Inoltre è fondamentale avviare nel contempo una grande operazione di ripristino degli ecosistemi mondiali, come annunciato dalle Nazioni Unite che nel marzo 2019 hanno dato l'avvio al decennio dell' Ecosystems Restoration.

Entro il 2050 almeno il 50% della Terra dovrebbe essere salvaguardato e gestito sostenibilmente e, tra l'altro, le nostre economie dovranno già essere completamente decarbonizzate.

Il WWF ha già avviato il processo, insieme ad altri organismi, in occasione della 74° Assemblea Generale delle Nazioni Unite (United Nations General Assembly, UNGA) e del Climate Action Summit ONU del settembre 2019 voluto dal Segretario generale Antonio Guterres, coinvolgendo diversi capi di stato e di governo ad impegnarsi sul New Deal (tra i quali il presidente del Consiglio Giuseppe Conte) ed attivando a questo fine, dialoghi intensi e costruttivi con il mondo delle imprese, della finanza, dei gruppi indigeni, di tutta

la società civile per una mobilitazione che deve mirare a cambiare il mondo e renderlo sostenibile.

Per questo il WWF sta cercando di mobilitare governi, parlamenti, imprese, organizzazioni, cittadini per un grande Global Deal per la Natura e la Gente (**Global Deal for Nature and People**) affinché tutti si impegnino concretamente a ristabilire un equilibrio tra natura e umanità.

Il rapporto costituisce uno strumento fondamentale per spingere la campagna del New Deal for Nature and People alla quale tutti, governi, istituzioni, imprese, cittadini, dovranno fornire un significativo contributo per mobilitare il mondo intero a difesa della biodiversità planetaria dalla quale deriviamo e senza la quale non possiamo vivere.

Tutti possiamo fare la nostra parte: ecco perché è fondamentale essere **“Custodi della Natura”**.

BIBLIOGRAFIA

- Barbara Mazzolai “La natura geniale” LONGANESI
- Barbujani G., 2019, Sillabario di genetica per i principianti, Bompiani
- Bompan E. e Brambilla I.N., 2016, Che cosa è l'economia circolare, Edizioni Ambiente
- Chamary J.V., 2016, 50 grandi idee Biologia, Edizioni Dedalo
- Collen A., 2017, I batteri della felicità, Hoepli
- Commoner B., 1986, Il cerchio da chiudere, Garzanti
- De Rosnay J., 2019, La sinfonia del vivente. Come l'epigenetica cambierà la nostra vita, Neri Pozza editore
- Henderson, 2010, 50 grandi idee Genetica, Edizioni Dedalo
- Yong E., 2019, Contengo moltitudini, La nave di Teseo
- Mat Fourmier “Biomimesi, quando la natura ispira la scienza” EDIZIONI LSWR
- McDonough W. e Braungart R., 2003, Dalla culla alla culla. Blu Edizioni
- Pauli G., 2014, Blue Economy, Edizioni Ambiente
- Pauli G., Blue Economy 2.0, Edizioni Ambiente
- Raworth K., 2017, L'economia della cimabella. Sette mosse per pensare come un economista del XXI secolo, Edizioni Ambiente
- Smith A., 2005, La ricchezza delle nazioni, Newton & Compton
- Stahel W., 2019, Economia circolare per tutti, Edizioni Ambiente

SITOGRAFIA

- Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), 2019, Global assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, <https://ipbes.net/global-assessment> <<https://ipbes.net/global-assessment>>
- IPBES www.ipbes.net <<http://www.ipbes.net>>
- Future Earth, Research for Global Sustainability, www.futureearth.org <<http://www.futureearth.org>>
- Anthropocene, www.anthropocene.info <<http://www.anthropocene.info>>
- Ellen MacArthur Foundation www.ellenmacarthurfoundation.org <<http://www.ellenmacarthurfoundation.org>>
- Global Footprint Network, www.footprintnetwork.org <<http://www.footprintnetwork.org>>
- Blue Economy (Gunter Pauli) <https://www.gunterpauli.com/the-blue-economy.html> <<https://www.gunterpauli.com/the-blue-economy.html>>
- Zero Emissions Research & Initiatives (ZERI) <https://www.gunterpauli.com/zeri.html> <<https://www.gunterpauli.com/zeri.html>>
- Biomimicry Institute (Janine Benyus) <https://biomimicry.org/> <<https://biomimicry.org/>>
- Ulteriore sito di approfondimenti dal Biomimicry Institute <https://asknature.org/> <<https://asknature.org/>>
- Comitato Capitale Naturale, Ministero dell'Ambiente, della Tutela Territorio e del Mare, rapporti Stato del capitale naturale d'Italia 2017, 2018, 2019 <https://www.minambiente.it/pagina/capitale-naturale> <<https://www.minambiente.it/pagina/capitale-naturale>>
- www.asknature.org <<http://www.asknature.org>>

[1] Vedasi www.ipbes.net dal quale si può scaricare il rapporto integrale

[2] Vedasi www.millenniumassessment.org dal quale si può scaricare il rapporto integrale

[3] Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2011), How Many Species Are There on Earth and in the Ocean?, PLoS Biology 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127

[4] Caley J.M., Fischer R. e Mengersen K, 2014, Global richness estimates have not converged, Trends in Ecology & Evolution, 29,4:187-188.

[5] Vedasi il sito IPCC www.ipcc.ch e, in particolare, i rapporti speciali “Global Warming 1.5°C” reso noto nel 2018 e i due usciti nel 2019 “Climate Change and Land” e “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”.



Perché siamo qui

Per fermare il degrado del pianeta e costruire un futuro in cui l'uomo possa vivere in armonia con la natura.

wwf.it