

**ABSTRACT TESI:** Oggi il design si ritrova al centro di una straordinaria doppia convergenza – tecnologica e culturale – tra la natura e l’artificio. Da un punto di vista tecnologico, tecnologie sempre più sofisticate e digitalizzate, nano e biosintetiche permettono di analizzare e riprodurre i processi generativi, chimici, fisici e molecolari alla base dei meccanismi naturali, rendendo l’artificio sempre più simile al biologico e la natura sempre più manipolabile fin dentro le sue fibre più profonde. Da un punto di vista culturale, si diffonde una rinnovata consapevolezza per la biologia e l’ecosistema, catalizzata da nuovi approcci alla comprensione ecologica e dal proliferare di filosofie post-antropocentriche. La tesi si propone come indagine delle implicazioni e del significato che questa convergenza apporta nella cultura del progetto, sia negli scenari e nelle opportunità di innovazione che si aprono alla disciplina; sia nel mutamento degli approcci (obiettivi e metodologie); sia nell’evoluzione del modo di progettare e immaginare nuovi artefatti. Il risultato di questa analisi è confluito nel concetto di “Bio-Augmented Materiality”, quale visione strategica esperienziale e rizomatica, ispirata alle dinamiche della crescita biologica, che si riappropria della dimensione spaziale dell’interconnessione e di quella temporale del presente per il progetto di futuri di co-evoluzione tra uomo e natura, tecnologia ed ecologia. Come una delle strade percorribili, la tesi si addentra poi nel campo della biostampa, quale manifattura ibrida in grado di stimolare processualità ed estetiche relazionali, frutto di modelli collaborativi e scambi informativi, per una progettualità bio-avanzata sempre più allineata alle logiche della vita.

**ABSTRACT THESIS:** Today, design is central to an extraordinary double technological and cultural convergence between nature and artifice. From a technological point of view, increasingly sophisticated and digitalised, nano and biosynthetic technologies make it possible to analyse and reproduce the generative, chemical, physical and molecular processes underlying natural mechanisms, making the artifice increasingly similar to biological and nature increasingly more manipulable till its deepest fibres. From a cultural point of view, a renewed awareness of biology and the ecosystem is spreading, catalysed by new approaches to ecological understanding and the proliferation of post-anthropocentric philosophies. The thesis is an investigation of the implications and meaning that this convergence brings to the design culture, both in the scenarios and in the innovation opportunities that open up to the discipline, both in the change of approaches (objectives and methodologies); and in the evolution of the way of designing and imagining new artefacts. The result of this analysis converged into the concept of “Bio-Augmented Materiality” as an experiential and rhizomatic strategic vision inspired by the dynamics of biological growth, which re-appropriates the spatial dimension of interconnection and the temporal dimension of the present for the project of co-evolution futures between man and nature, technology and ecology. As one of the possible paths, the thesis explores the field of bioprinting as a hybrid manufacturing able to stimulate relational aesthetics and processes, the result of collaborative models and informational exchanges, for a bio-advanced design increasingly aligned with the logic of life.

Bio-Augmented Materiality

DOTTORANDO  
Carmen Rotondi

Dottorato di Ricerca  
Pianificazione, Design, Tecnologia dell’Architettura

Sapienza Università di Roma | SAPIENZA UNIVERSITY OF ROME | ciclo CYCLE XXX | nov. 2014 - oct. 2017  
Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura | DOCTORAL SCHOOL IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE  
Dipartimento di ‘Pianificazione, Design, Tecnologia dell’Architettura’ | ‘PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE’ DEPARTMENT



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dottorato di Ricerca PIANIFICAZIONE, DESIGN, TECNOLOGIA DELL’ARCHITETTURA  
PHD PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE  
Coordinatore | Director  
Prof.ssa Laura Ricci

Curriculum DESIGN DEL PRODOTTO  
Curriculum PRODUCT DESIGN  
Coordinatore Curriculum | Curriculum Chair  
Prof. Carlo Martino

## Bio-Augmented Materiality

Una visione strategica per la progettazione bio-digitale

Dottorando | PhD Candidate Carmen Rotondi  
Supervisore | Supervisor Prof. Sabrina Lucibello  
Consulente esterno | External advisor Stefano Marzano

Ciclo | Cycle XXXV  
Novembre 2019 - Gennaio 2023



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

DOTTORATO DI RICERCA  
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

COORDINATORE  
Prof.ssa Laura Ricci

CURRICULUM  
Design del Prodotto

COORDINATORE CURRICULUM  
Prof. Carlo Martino

## Bio-Augmented Materiality

Una visione strategica per la progettazione bio-avanzata

DOTTORANDO  
Carmen Rotondi

SUPERVISORE  
Prof.ssa Sabrina Lucibello

CONSULENTE ESTERNO  
Stefano Marzano

CICLO XXXV  
Novembre 2019 - Gennaio 2023

## INDICE

p. 7 Introduzione

### PARTE I ETÀ DELL'ECO-AGGROVIGLIAMENTO

#### CAPITOLO 1 VERSO UN DESIGN DECONSTRUZIONISTA

- p. 17 1.1 Fenomenologie ibride
  - p. 17 1.1.1 Dall'oggetto alla cosa
  - p. 25 1.1.2 Design come atto orientato al futuro
  - p. 29 1.1.3 Il valore strategico del design
- p. 34 1.2 Ontologie multiverse
  - p. 35 1.2.1 Dasein ist Design: la condizione postumana
  - p. 39 1.2.2 Tecnica come disvelamento
  - p. 45 1.2.3 il valore "poelitico" del design
- p. 50 1.3 Assiologie profonde
  - p. 51 1.3.1 Il tema della vita
  - p. 53 1.3.2 La nuova sostenibilità "profonda"
  - p. 54 1.3.3 Il valore morale del design
- p. 56 *Esperimenti: Le nuove attitudini del design*
- p. 63 *Gallerie: Dal villaggio globale al giardino planetario*
- p. 70 Riferimenti Bibliografici

#### CAPITOLO 2 NATURA E PROGETTO

- p. 77 2.1 Natura come modello
  - p. 78 2.1.1 Trasferimenti analogici
  - p. 85 2.1.2 Trasferimenti omologici
  - p. 92 2.1.3 Trasferimenti di processo
- p. 98 2.2 Natura come misura
  - p. 99 2.2.1 Prodotti come organismi
  - p. 105 2.2.2 Bioispirazione per l'eco-efficienza
  - p. 110 2.2.3 Bioispirazione per l'eco-innovazione
- p. 116 2.3 Natura come mentore
  - p. 117 2.3.1 Mutualismi progettuali
  - p. 121 2.3.2 Decodificare il vivente
  - p. 129 2.3.3 Codificare il vivente
- p. 136 *Esperimenti: I segni magici dell'invisibile*
- p. 133 *Gallerie: Oltre le frontiere*
- p. 156 Riferimenti Bibliografici

#### CAPITOLO 3 INNOVARE SULLE INTERRELAZIONI

- p. 163 3.1 Fisico-digitale-biologico
  - p. 163 3.1.1 Le dinamiche dell'interrelazione
  - p. 166 3.1.2 Scambi informazionali
  - p. 172 3.1.3 Libertà creativa ed innovazione aperta
- p. 178 3.2 Uomo-natura-cultura
  - p. 178 3.2.1 La condizione post-digitale
  - p. 182 3.2.2 Attivismo e consumo intellettuale

- p. 187 3.2.3 Progettualità dialogica e innovazione preventiva
- p. 191 3.3 Materiale-prodotto-performance
  - p. 191 3.3.1 Pensare "ecologicamente"
  - p. 196 3.3.2 Paradigmi condizionali
  - p. 200 3.3.3 Sintesi materiche ed innovazione organica
- p. 206 *Esperimenti: Progettare la transizione verso Gaia*
- p. 213 *Gallerie: Verso un'Ecologia Materiale*
- p. 224 Riferimenti Bibliografici

#### CAPITOLO 4 FOCUS: LA BIORIVOLUZIONE

- p. 230 4.1 Macro-trend tecnologici della Biorivoluzione
- p. 265 4.2 Le potenzialità trasformative della Biorivoluzione
- p. 268 4.3 Rischi unici, dibattito e mitigazione
- p. 270 *Esperimenti: Tech Trends in Sapienza*
- p. 275 Riferimenti Bibliografici

### PARTE II MATERIALITÀ BIO-AUMENTATA

#### CAPITOLO 5 "BIO-AUMENTARE" IL PIANETA

- p. 285 5.1 Il concetto di "Augmentation"
  - p. 285 5.1.1 Transumanesimo, Postumanesimo e Nuovo Materialismo
  - p. 292 5.1.2 Decostruire per crescere
  - p. 298 5.1.3 Crescere per prosperare
- p. 306 5.2 Il concetto di "Materiality"
  - p. 306 5.2.1 Un metodo strutturale
  - p. 310 5.2.2 Qualità relazionali
  - p. 315 5.2.3 La tecnologia che media
- p. 320 5.3 "Bio-Augmented Materiality": verso una progettualità proattiva
  - p. 320 5.3.1 Una definizione
  - p. 322 5.3.2 Gli aggettivi della Bio-Augmented Materiality
- p. 324 *Esperimenti: Biovisioni del Futuro*
- p. 331 *Gallerie: Stigmergie operazionali*
- p. 340 Riferimenti Bibliografici

#### CAPITOLO 6 FOCUS: BIOSTAMPA

- p. 345 6.1 Potenzialità e sfide della biostampa
- p. 353 6.2 Metodologie e nuovi parametri
- p. 367 6.3 Biostampa e design
- p. 370 *Esperimenti: Biostampa & Innovazione materica*
- p. 380 Riferimenti Bibliografici

### PARTE III CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

## Introduzione

Oggi viviamo nel terzo decennio del «secolo della biotecnologia» così chiamato da Walter Isaacson (1999) sulla rivista “Time”. Venter e Cohen (2004) – due dei genetisti più famosi al mondo – affermano che mentre il XX secolo è stato quello della fisica, in cui abbiamo scisso l’atomo e trasformato il silicio in potere computazionale; il XXI sarà il «secolo della biologia» facendo riferimento alla possibilità di mappare il genoma, compreso quello umano, che dà alla scienza potenzialità senza precedenti di conoscere e descrivere la natura fin dentro sue fibre più profonde. Arthur Olson dal canto suo, definisce quella che stiamo attraversando l’«era bioatomica», perchè non siamo semplicemente in grado di scomporre il vivente nelle sue unità base, ma riusciamo a vederne le continuità di scala – nano, micro, meso, macro – nelle quali le cose viventi possono essere comprese appieno in un continuum dall’atomo all’organismo (Kinney, 2017). Inoltre, non si tratta semplicemente di comprendere la natura ma anche di saperla di conseguenza manipolare, come suggerisce lo stesso termine “biotecnologia” (dal greco bios, vita; téchne, arte, nel senso di saper fare, saper operare e lògos, studio) che sta ad indicare «qualsiasi applicazione tecnologica che fa uso di sistemi biologici, organismi viventi o loro derivati, per creare o modificare prodotti e processi per usi specifici» utili al soddisfacimento dei bisogni della società (ONU, 1992). Proprio nel 2020, il premio Nobel per la chimica è stato attribuito a Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna per lo sviluppo del metodo di editing genomico CRISPR-Cas9, una tecnologia versatile ed economica che fa uso di «forbici genetiche» per spezzare parti di DNA e sostituirle con ciò che vogliamo, per creare sistemi biologici nuovi o modificare quelli esistenti (Meldolesi, 2020). Prende così slancio vitale la biologia sintetica, espansione ed evoluzione delle biotecnologie, con la quale la natura diventa programmabile e riproducibile: essa sancisce il passaggio definitivo della biologia da scienza prevalentemente descrittiva a disciplina quantitativa o ingegneristica, che fa uso di strumenti, interessi e modi di lavorare che avvicinano come mai prima d’ora l’ambito scientifico a quello progettuale, acquistando un potenziale di trasformabilità senza precedenti e promettendo applicazioni tangibili in diversi campi (De Lorenzo, 2014). È infatti di non poca rilevanza, il fatto che ad oggi, sia lo studio della natura, quanto la sua manipolazione e riproducibilità sono totalmente dipendenti dai computer e dalle tecnologie dell’informazione – frutti dell’era della fisica – (Gruskin, 2020), dalle quali ereditano anche linguaggi e metodologie. Sarà dunque la combinazione di un potere computazionale – dato dall’informatica e dal digitale – con un potere biologico – dato dalle tecnologie di

manipolazione del vivente, sempre più diffuse, accessibili, economiche – a stravolgere gli schemi antecedenti e a rivoluzionare nel prossimo futuro, non solo il modo di curare le persone, ma anche l'industria e l'economia e con esse il divenire del design (Benjamin, 2011). «Bio is the new digital» afferma Jochi Ito (2015) – direttore del MIT Media Lab –, sottolineando come le contemporanee bioscienze stiano influenzando la cultura del progetto e conseguentemente il mondo delle cose: come nel secolo scorso, quando – seguendo la legge di Moore – i computer sono diventati sempre più sofisticati e accessibili, i designer hanno cominciato ad occuparsene contribuendo attivamente alla Rivoluzione digitale; oggi le tecnologie legate allo studio e alla manipolazione del vivente escono dai laboratori specializzati e arrivano nelle mani di progettisti pronti a ripensare “biologicamente” la nostra cultura materiale. Tuttavia, possiamo affermare di vivere nell'Era biologica, non solo per le nuove possibilità tecnologiche di cui disponiamo, ma soprattutto per una modalità organicistica di vedere le cose che si sta diffondendo nei diversi aspetti della nostra vita, della società e della stessa cultura del progetto. Stiamo attraversando quella che Kevin Kelly (1994) aveva prefigurato essere una civiltà di tipo tecno-biologico, in cui ciò che è generato naturalmente e ciò che è artificialmente costruito manifestano caratteristiche analoghe e si integrano sempre più secondo la medesima legge di funzionamento. In altre parole, come in un processo inverso, le sofisticate innovazioni tecnologiche ci riportano alla natura: i meccanismi del vivente cessano di essere semplici modelli teorici, ma si instaurano quali leggi di funzionamento, applicate in maniera trasversale a quasi tutti i settori dell'attività umana. Anche Klaus Swab (2018) – fondatore e presidente esecutivo del World Economic Forum – afferma che stiamo attraversando un periodo in cui tutti i processi sono informati da considerazioni organiche, in cui la cultura è divenuta “wet” (che in inglese fa riferimento all'umidità dei tessuti viventi) infusa da una nuova consapevolezza per la biologia e l'ecosistema. Nel suo libro “La quarta Rivoluzione industriale” egli attesta che ciò che rende diversa questa rivoluzione dalle altre non sono tanto le innovazioni, quanto le trasformazioni di natura sistemica che combinano fenomeni e tecnologie attraverso domini fisici, digitali e biologici; invitandoci ad un ripensamento dei modelli economici e di impresa, dei sistemi di produzione e consumo, nonché di quelli educativi e di conservazione ambientale (Scwab, 2016). Trasformazioni, che Neri Oxman (2016) cerca di spiegare proprio attraverso una metafora biologica nel suo “Krebs Cycle of Creativity”, che nelle scienze indica il ciclo metabolico degli organismi che

vivono in ambienti ossigenati, mentre nel diagramma indica una nuova forma sinergica di pensiero e manifattura in cui differenti domini della conoscenza così come le relative unità di base – fisiche (atomi), digitali (bit) e biologiche (geni) – interagiscono tra loro e si nutrono a vicenda, tanto che i risultati dell'una sono le supposizioni dell'altra. Facendo riferimento alla creatività quale energia intellettuale del nostro secolo, il ciclo mette in relazione i quattro domini dell'arte, della scienza, dell'ingegneria e del design quali discipline ormai inscindibili, che combinando conoscenza teorica (o filosofica) con quella applicata (o economica); lo studio e la comprensione della natura con l'applicazione della stessa, possono informare e influenzare positivamente il mondo in cui viviamo.

Il design quindi, si ritrova al centro di una straordinaria doppia convergenza – tecnologica e culturale – tra la biologia e l'artificio, data la potenzialità dell'artificio di assumere sempre più i tratti del biologico e della natura di essere riprogettata fin dentro le sue fibre più profonde. A partire da questi presupposti, la tesi si propone come indagine delle implicazioni e del significato che questa convergenza apporta nella cultura del progetto sia negli scenari e nelle opportunità di innovazione che si aprono alla disciplina; sia nel mutamento degli approcci (obiettivi e metodologie); sia nell'evoluzione del modo di progettare e immaginare nuovi artefatti. La diffusione di tecnologie sempre più sofisticate e digitalizzate, nano e biosintetiche, nonché il contemporaneo cambiamento nei paradigmi della cultura, porta infatti il design ad allineare sempre più le modalità creative e progettuali alle poetiche della natura, permettendo di operare una riflessione sull'uso critico delle tecnologie di cui oggi disponiamo e sulle effettive possibilità del progetto di orientare i nostri modelli di vita, di produzione e consumo verso strategie di crescita e sviluppo simil-biologiche. In particolare, nella prima parte si intende fornire un quadro teorico e scientifico alla ricerca, descrivendone il contesto in cui si colloca: una dimensione di “eco-agrovigliamento” in cui interrelazioni a tutte le scale si pongono come vettori dell'attuale cambiamento, ma anche come spazio di innovazione per la ridefinizione della pratica progettuale in ottica eco-centrica.

Nella seconda parte, viene introdotto il concetto di Bio-Augmented Materiality quale strumento di visualizzazione e di navigazione tra le idee sovrapposte e concorrenti in cui siamo immersi, ponendo l'attenzione su rinnovate pratiche ed estetiche relazionali che permettono di catalizzare la ridefinizione della disciplina in ottica post-antropocentrica. Esso applica la riflessione strategica – intesa come indagine

critica delle relazioni tra le variabili legate al sistema – a tutti i livelli, dal progetto al progetto per la natura, definendo per le nuove tecniche produttive decisioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili. Ispirato al concetto di crescita in tutte le sue forme, esso fa riferimento anche ad un nuovo modo di concepire la materialità che costituisce la nostra realtà, in cui la decostruzione delle dicotomie moderne tra natura e artificio, reale e virtuale, materia e pensiero, restituiscono un contesto ibrido e in cui anche la sostanza delle cose diventa un aggregato di relazioni, portando ad una loro diversa concezione ed immaginazione.

A supporto della ricerca teorica, sono state effettuate alcune sperimentazioni nel campo della bio-stampa, per capire quali sono i parametri con cui il designer dovrà interfacciarsi per progettare “materialità bio-aumentate”. La biostampa infatti, coniuga le diverse dimensioni della realtà (fisico, digitale, biologico), delinea vie collaborative tra diverse “agentività” (uomo, natura, artificio) e integra le dimensioni del progetto (materiale, prodotto, performance) permettendo al design di operare secondo le logiche della natura. In particolare, è stata svolta una collaborazione con il Bioprinting&Biofabrication Group del centro di ricerca “E.Piaggio” dell’Università di Pisa per comprendere le principali caratteristiche della biostampa, le metodologie utilizzate, ostacoli e potenzialità, nonché per implementare una biostampante. Infine, la tesi si sviluppa su un percorso di ricerca rizomatico ed esperienziale che si riflette anche nella sua struttura: essa vuole dare la libertà al lettore di stabilire connessioni tra le parti ed associa a conoscenze prevalentemente teoriche, altre prevalentemente esperienziali: ad ogni fine capitolo, vengono descritte (come conclusioni) attività svolte (“Esperimenti”) quali azioni mirate che possano dimostrare gli assunti teorici ed acquisire conoscenza esperienziale a tutti i livelli, secondo una dimensione partecipativa e fattiva basata sui presupposti di ricerca-azione e di antidisciplinarietà. Anche le “Gallerie” iconografiche rientrano in questo obiettivo, poiché raccogliendo una serie di immagini o progetti indipendenti dal testo, danno al lettore libertà di interpretazione (e anche di ordine di lettura). Negli Esperimenti vengono riportate alcune attività svolte dall’autrice durante il dottorato e fanno principalmente riferimento ad un percorso portato avanti in collaborazione con Stefano Marzano (ex CEO di Philips Design) e Reon Brand (Senior Director Foresight and Socio-Cultural trends at Philips Design) sulle tematiche della Biorivoluzione. Esse hanno avuto l’intento di indagare criticamente le potenzialità bio-tecnologiche, dimostrando come di fatto sia una sfida culturale prima ancora che tecnologica.

## References

- Benjamin, D. (2011, March 30). Bio Fever. *Domus*. Retrieved from: <https://www.domusweb.it/en/opinion/2011/03/30/bio-fever.html>
- De Lorenzo, V. (2014). La Biologia Sintetica come un nuovo quadro interpretativo dei sistemi viventi. *Istituto Lombardo-Rendiconti di Scienze*, 148, 167-183. Retrieved from: <http://www.ilasl.org/index.php/Scienze/article/view/196/199>
- Grushkin, D. (2020). Design for Life in the “Century of Biotechnology”. *DIID/Disegno Industriale, Industrial Design*, 67-69, 12-16.
- Isaacson, W. (1999, March 22). The Biotech Century. *Time*. Retrieved from: <http://content.time.com/time/world/article/0,8599,2054292,00.html>
- Ito, J. (2015). *Jochi Ito Keynote: why bio is the new digital*. [Video file]. Retrieved from: <https://conferences.oreilly.com>
- Kelly, K. (1994). *Out of Control: The New Biology of Machine, Social System and the Economic Worlds*. Addison-Wesley.
- Kinney, L. (2017). An Introduction to Active Matter. In S. Tibbits (Ed.), *Active Matter* (pp. 7-18): MIT Press
- Meldolesi, A. (2020, October 7). Il premio Nobel per la chimica alla rivoluzione di CRISPR. *Le Scienze*. Retrieved from [https://www.lescienze.it/news/2020/10/07/news/premio\\_nobel\\_chimica\\_2020\\_man:ipolazione\\_genetica\\_crispr-cas9-4812741/](https://www.lescienze.it/news/2020/10/07/news/premio_nobel_chimica_2020_man:ipolazione_genetica_crispr-cas9-4812741/)
- ONU. (1992). Text of the Convention on Biological Diversity (Article 2. Use of Terms). Retrieved from: <https://web.archive.org/web/20080829193133/http://biodiv.org/convention/convention.shtml>
- Oxman, N. (2016, January 13). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*. Retrieved from: <https://doi.org/10.21428/7e0583ad>
- Schwab, K. (2016). *La quarta rivoluzione industriale* (ADAPT, Trans.). Milano: Franco Angeli.
- Swab, K. (2018, May 25). The Fourth Industrial Revolution. *Encyclopedia Britannica*. Retrieved from: <https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>
- Venter, C. & Cohen, D. (2004). The Century of Biology. *New Perspective Quarterly*, 21 (4), 73-77. Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5842.2004.00701.x>

PARTE 1

# Età dell'eco-aggrovigliamento

## CAPITOLO 1 Verso un design decostruzionista

### ABSTRACT (INGLESE)

*The first chapter is a theoretical and critical introduction to the subsequent topics of the thesis and the methodological approach adopted. It justifies the desire to investigate the nature-artifice convergence both from a technological point of view and from the imaginative or productive potential of new artefacts, both from a cultural point of view, bringing new values, ontologies and, therefore, "philosophies of action" for the discipline. The chapter aims to show how the nature-culture convergence can mirror a more comprehensive extension of design up to what defines things internally, encompassing signification (1.1 hybrid phenomenologies), hermeneutics (1.2 multi-verse ontologies) and morality (1.3 deep axiologies). The adjective "deconstructionist" indicates the current metaphysical role of designers, just as for deconstructionists in the second post-war period, highlighting the implicit assumptions, the hidden prejudices, and the latent contradictions of culture and language that modern man too consciously adopts. This comparison also underlines that the thesis does not intend to define an explicit and reproducible methodology but a "listening strategy" to be activated from time to time, since design (and culture) must not be deconstructed, but are themselves be constitutively "in deconstruction". This is through a rhizomatic and experiential model, suitable for investigating and dealing with the new post-human condition, understood as the realignment of humanity to a network of horizontal relationships with other agents, whether natural or artificial.*

### ABSTRACT

Con il primo capitolo si vuole aprire un cappello teorico e critico che introduce i successivi argomenti della tesi e l'approccio metodologico adottato. Esso giustifica la volontà di indagare la convergenza natura-artificio non solo da un punto di vista tecnologico e delle potenzialità immaginative o produttive dei nuovi artefatti, ma anche da un punto di vista culturale, apportando nuovi valori, ontologie e dunque "filosofie dell'agire" per la disciplina. Obiettivo del capitolo è mostrare come la convergenza natura-cultura può essere specchio di una più ampia estensione del design sino a ciò che definisce internamente le cose, inglobando in sé la *significazione* (1.1 fenomenologie ibride), *l'ermeneutica* (1.2 ontologie multiverse) e la *morale* (1.3 assiologie profonde). L'aggettivo "decostruzionista" sta ad indicare il ruolo metafisico, di interpretazione della realtà, che i designer assumono oggi con la progettazione, proprio come fecero i decostruzionisti nel secondo dopoguerra mettendo in luce i presupposti impliciti, i pregiudizi nascosti, le contraddizioni latenti della cultura e del linguaggio che l'uomo moderno troppo consapevolmente adotta. Questo paragone sottolinea anche che la tesi non si propone di definire una metodologia esplicita e riproducibile, ma una "strategia di ascolto" da attivare di volta in volta, poiché il design (e la cultura) non devono essere decostruiti, bensì sono essi stessi ad essere costitutivamente "in decostruzione". Ciò, attraverso un modello rizomatico ed esperienziale, adatto ad indagare ed affrontare la nuova *condizione post-umana*, intesa come riallineamento dell'uomo rispetto ad una rete di relazioni orizzontali con un'alterità agentiva, sia essa considerata naturale o artificiale.





## 1.1 Fenomenologie ibride

*«Che il design proceda attraverso l'operatività tecnica, la produzione di una forma o di protocolli più concettuali, esso rivendica lo statuto di atto sociale, pretende di praticare una trasformazione, diretta o indiretta, del mondo»*

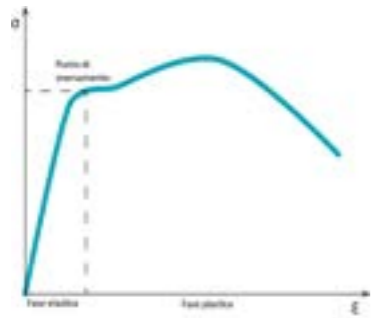
(Quinz, 2020, p.10)

Oggi viviamo in un contesto fluido, in cui la vastità, la profondità e la rapidità dei fenomeni, rendono ogni aspetto della nostra realtà transitorio, non costantemente definito e difficile da gestire. Immerso in una tale complessità, anche il design è attraversato da una molteplicità di fattori che ne modificano il senso e la natura profonda, ma che allo stesso tempo ne destano la volontà di ri-definire continuamente lo sguardo con cui interpretiamo la realtà e ri-significare le cose con le quali l'uomo è in relazione. Approcciandoci al design da un punto di vista fenomenologico infatti, risulta ormai evidente quanto questo termine abbia ampliato il suo significato. La progettualità è estesa ad aspetti che vanno oltre la mera ottimizzazione tecnica ed ergonomica di un artefatto o l'aggiunta di una patina estetizzante ad un prodotto ingegneristico, fino ad invadere ambiti finora considerati di sola competenza della natura. Questa estensione, il cui punto di partenza viene identificato nel passaggio dalla solida modernità alla liquida postmodernità (Bauman, 2011), può essere discussa, rivelandosi da un lato, come potente strumento cognitivo per comprendere le trasformazioni (e crisi) sistemiche della contemporaneità e come la loro pervasività stia progressivamente ibridando gli ambiti del reale; dall'altro, come avvincente indicatore di un più generale cambiamento del modo in cui noi ci rapportiamo agli oggetti (1.1.1 Dall'oggetto alla cosa), all'agire (1.1.2 Design come atto orientato al futuro) e all'esperire il mondo (1.1.3 Il valore strategico del design).

### 1.1.1 Dall'oggetto alla cosa

Come ormai noto, nel descrivere il passaggio da una condizione

1. Il diagramma sforzo-deformazione viene utilizzato per descrivere il comportamento elastico dei materiali in relazione a carichi di trazione e compressione: nella prima fase di “deformazione elastica”, rappresentata da una retta inclinata rispetto al piano orizzontale di un angolo pari al suo “modulo di elasticità” o “modulo di Young”, il materiale è in grado di tornare alle sue condizioni originarie nel momento in cui gli sforzi di sollecitazione vengono rimossi; superato il cosiddetto “punto di snervamento” invece, i materiali entrano in una fase di “deformazione plastica” che non è più reversibile.



Con la consapevolezza che tuttavia il comportamento dei materiali non è lineare, nasce in tempi più recenti la “teoria incrementale della plasticità” (o “flow theory”) in cui viene considerato il carattere anolonomo del fenomeno plastico, ovvero, la deformazione finale raggiunta non dipende solamente dal valore finale di carico ma anche dal percorso di carico, dalla storia e dalle modalità di applicazione del carico stesso. La deformazione viene matematicamente descritta

moderna ad una postmoderna, Zygmunt Bauman (2011) utilizza un’efficace metafora fisica, contrapponendo alla solidità della prima e delle sue certezze, la liquidità della seconda in cui identità, soggetti, relazioni, verità, politiche, spazio e tempo si sgretolano e fluidificano sotto il segno di poteri economici deregolamentati e di un progresso tecnologico incontrollabile. La solidità delle cose si scioglie nella fluidità delle informazioni, le componenti immateriali e dinamiche prendono il sopravvento sugli oggetti solidi, fino alle reti che – sviluppando interconnessioni a tutte le scale – portano a compimento la globalizzazione. A tale “cambiamento di fase” – che soprattutto nelle civiltà occidentali si è sviluppato a ritmi elevati – si aggregano una serie di fenomeni socio-economici e antropologici di portata e vastità prima inconcepibili: alle comunità dei popoli viene sostituito lo sciame della moltitudine (Branzi, 2010); la struttura regolamentata dei luoghi antropologici si interfaccia con la provvisorietà dei nonluoghi (Augè, 2009); le strategie sequenziali delle organizzazioni tradizionali si rinnovano, passando da una catena ad una rete del valore (Normann & Ramirez, 1993); le metanarrazioni della modernità, fatte di valori assoluti e fede cieca nella razionalità scientifica, si dissolvono nel “pensiero debole” (Vattimo & Rovatti, 2010) e nella “post-truth society” (Dennett, 2018) in un contesto generale di relativismo e nichilismo.

In questo quadro, seppur incompleto, anche per il design e la sua produzione si è verificato un “flusso plastico”, raggiungendo proprio in questi anni un “punto di snervamento”, vale a dire un punto di non ritorno dal quale sia l’identità stessa della disciplina che il suo “oggetto del progetto” abbandonano la fermezza dei confini tradizionali e diventano ambigui, in costante necessità di ri-definizione. Per parlare sempre in termini di fisica dei materiali [1], è come se il design sia passato da una fase invariabile o “elastica” in cui, seppur con piccoli mutamenti ed estensioni, torna sempre ad un regime stazionario; ad una regione “plastica” di fluido viscoso che si amplia e si insinua in sempre più aspetti della nostra vita, deformandosi permanentemente al variare delle forze. Un percorso fatto di tensioni incrementali e anolonomie, che portano oggi la fenomenologia della disciplina a tendere, per isteresi, a livelli di plasmabilità particolarmente elevati, rispondendo con ampie deformazioni al più minimo degli sforzi. Ciò da un lato, favorisce il fiorire di una moltitudine di riflessioni teoriche, culturali e sperimentali, che portano la ricerca a ridefinire un nuovo piano ontologico dal quale rivedere la cultura del progetto, nelle sue dinamiche e nei suoi obiettivi. Dall’al-

tro, afferma la componente antropologica del design quale fenomeno totale e matrice sistemica in grado di mostrare, tanto quanto di influenzare, sia gli aspetti empirici che teorici del pensiero e delle “forme di vita” umane (Fiorani, 2010).

In effetti, la natura ambivalente del design, talvolta rivendicato come disciplina all’interno di un sistema delle arti, talvolta come «forza produttiva» in grado di articolare una molteplicità di fattori tecnico-scientifici e simbolico-culturali che «partecipano al processo costitutivo della forma del prodotto [industriale]» (Maldonado, 1976/2013, p.12), ha trovato nel carattere conflittuale, ibrido e plurale della postmodernità terreno fertile per la rivendicazione e l’ampliamento del suo ruolo all’interno della società. Almeno sin dagli anni Sessanta, con il design radicale italiano, il suo sviluppo risulta infatti «costellato di controversie in cui gli approcci funzionalisti e razionalisti del design, si scontrano contro altre voci che rivendicano invece una libertà espressiva o formale più vicina all’arte. Ed è in effetti su queste controversie, in cui due tendenze opposte si affrontano e intersecano senza posa, che si svolge la storia del design (o, almeno, la storia delle definizioni del design)» (Quinz, 2020, p.9). In altri termini, in un periodo di tumulto in cui i grandi nodi irrisolti del passato vengono al pettine e vengono affrontati, prende avvio all’interno della professione stessa un «contro design», un atteggiamento critico nei confronti del design come progetto della modernità e della sua produzione oggettuale, sostenendo che esso «non finisce con l’oggetto messo in produzione dall’industria, ma inizia quando entra nelle nostre case, nelle nostre strade, città, cieli, corpi, anime [...] quando diventa rappresentazione visiva, fisica, sensoriale della metafora esistenziale sulla quale fondiamo le nostre vite» (Sotsass, 1983). Un atteggiamento questo che favorisce una serie di pratiche e sperimentazioni più concettuali vicine all’arte e alla filosofia [2], moltiplicatesi fino ai giorni nostri in maniera del tutto complementare alla liquefazione e decostruzione del solido oggetto industriale, che si fa più concettuale, immateriale e performativo. Ciò non vuol dire che il design viene meno al suo statuto di disciplina strettamente connessa al mondo dell’industria e della produzione degli artefatti, ma che con la postmodernità l’idea stessa di oggetto e, di conseguenza, il campo di operatività del progetto si estendono e moltiplicano, portando da un lato la disciplina ad emanciparsi definitivamente dall’architettura e ad assumere validità accademica con le proprie teorie e prassi [3]; dall’altro ad elevarla ad una sorta di *umanismo* [4] in grado di influire al pari del-

dunque in termini di infinitesimi di tensioni, deformazioni e spostamenti, includendo ad esempio anche parametri di stato interni del materiale, come la temperatura o lo stato fisico che possono rappresentare la variazione di comportamento del materiale a seguito di processi di trasformazione specifici (come incrudimento, fatica, ecc.).

2. Si pensi al design concettuale olandese degli anni Novanta e al design critico britannico dei primi anni del nuovo secolo.

3. A tal proposito, Branzi afferma: «La civiltà occidentale si è trasformata da civiltà architettonica in civiltà oggettuale e questo passaggio è molto importante. La civiltà merceologica non è soltanto consumismo, volgarità commerciale, oggetti inutili e invadenti, ma rappresenta la realtà fisica nella quale si svolge la nostra esperienza esistenziale» (Branzi in Branzi, Linke & Rabottini, 2013, p. 47)

4. Quinz (2020) in “Contro l’oggetto” afferma, parafrasando Sartre, che il design è un *umanismo*, ovvero progetto umano sul mondo, specchio dell’incessante volontà dell’uomo di voler dare forma al mondo.

le altre sui paradigmi concettuali della cultura. Come afferma Vitta (2014), «Il design ha rivelato nell'oggetto moderno la dimensione culturale dell'esperienza quotidiana del mondo. Riscattato dal design, l'oggetto ha recuperato la sua identità originaria di strumento, utensile, oggetto d'uso, rilanciandola però su un più elevato livello di dignità [...]. Solo a questo patto esso ha potuto di diritto presentarsi sulla soglia della riflessione filosofica [...]: l'oggetto moderno non è quello astratto, caro alla tradizione occidentale, ma è, al contrario, proprio quell'oggetto d'uso che essa aveva ostinatamente relegato all'estrema periferia del pensiero, ritenendolo inquinato dal concetto di utilità» (p.93).

In particolare, molti fattori di contesto ad oggi predominanti, come la diffusione e democratizzazione di tecnologie sempre più sofisticate; la crisi ecologica; nuovi modi di intendere la complessità, la società e la conoscenza, portano a cogliere dallo smantellamento critico dell'oggetto una latente decostruzione delle dicotomie della modernità. I progettisti, più o meno consapevolmente, mettono in luce un progressivo annullamento delle opposizioni fondamentali – *in primis* quella tra natura e artificio, ma anche tra teoria e prassi, tra saperi scientifici e umanistici, materiale e immateriale, mente e mano – riappropriandosi delle relazioni che sussistono tra le dimensioni e operando su di esse l'innovazione dei significati, dei linguaggi, dei valori da attribuire alla produzione e al consumo dei nuovi artefatti.

Per dirla con Bodei (2009), i designer non hanno più a che fare con "oggetti" che si manipolano con indifferenza o secondo impersonali procedure tecniche, né tantomeno con "merci" che si concretizzano nel valore d'uso o nell'espressività di uno status-symbol, ma con "cose", nodi di relazioni inter-soggettive e stratificazioni di senso che prendono parte attiva ad una riflessione più generale sull'uomo e sulla sua esistenza. Secondo l'autore, la cosa non assume un significato solamente strumentale o utilitaristico, ma si estende a tutto ciò che l'uomo "pensa e dice" della cosa, ai processi trasformativi incarnati nella sua materialità, agli affetti, ai valori e alle motivazioni che l'uomo vi proietta, configurandosi allo stesso tempo come soggetto narrante di una riflessione culturale sull'uomo e come dispositivo di condizionamento che induce, nella sua dimensione simbolica, nuovi comportamenti.

Etimologicamente infatti, la parola "cosa" assume diversi significati: nella sua versione inglese *thing*, essa indica «complessi assemblaggi di questioni contraddittorie», in maniera equivalente alla versione

heiddeggeriana del tedesco *ding* che denota un assembramento, un raduno (Latour, 2005); dalla contrazione latina *causa*, essa suggerisce un qualcosa «che riteniamo talmente importante e coinvolgente da mobilitarci in sua difesa», in maniera equivalente al termine latino *res* (dalla stessa radice di *retor*, oratore) che ha a che vedere con il discorso fatto attorno a ciò che ci interessa (Bodei, 2009); dalla duplice traduzione tedesca in *ding* e *sache*, quest'ultima (che deriva dal verbo *suchen*, cercare) sta ad indicare che non bisogna fermarsi alla pura materialità delle cose (*ding*) ma che occorre cercare la loro intima essenza (Rigotti, 2007). Tutte queste concettualizzazioni, vivificano in qualche modo l'oggetto, lo riscattano dall'anonimato e dall'imperscrutabilità e lo riportano su un rinnovato piano relazionale: il suo valore si concretizza nella relazione con il soggetto e nel dialogo con le nostre menti e, riportando le cose alla radice, ci avvicina al mondo e alle complesse contraddizioni che ci legano ad esso[5]. Tradotto in termini progettuali, ciò implica dunque un senso di responsabilizzazione maggiore rispetto a ciò che progettiamo e alla volontà di destrutturare il rapporto dicotomico finora instaurato con la realtà attraverso un'indagine più profonda dell'oggetto-cosa e delle numerose questioni umane che lo interessano.

È proprio questa responsabilizzazione e divergenza che, secondo Latour (2009), ha permesso al design di svincolarsi dal ruolo che la società industriale gli aveva conferito e di ampliare enormemente il suo campo di azione in *comprensione*, in *estensione* e in *intensione*, prendendo vantaggio dai gradi di libertà aperti dall'evoluzione tecnologica e riconfigurando le proprie pratiche sui nuovi domini aperti alla *significazione*.

In primo luogo, il progetto cresce in *comprensione*, perchè comprende sempre più aspetti attorno ad un prodotto ed estende la significazione all'intero universo generativo e performativo di cui esso è parte. L'attenzione dei progettisti non è più focalizzata sulla sola costituzione materiale di un artefatto, sulla perfetta coincidenza forma-funzione e sull'espressione di parametri qualitativi standardizzati, ma comprende le numerose sfaccettature delle cose in un'ottica che non è più meccanicistica, ma organica. L'organicismo, introdotto dalle scienze della complessità a partire dagli anni Ottanta e favorito in particolar modo dallo sviluppo delle tecnologie informatiche e telematiche, porta infatti a concepire l'oggetto come un sistema, condizionato ad una rete di variabili esterne e per questo più dinamico, piuttosto che come un'entità statica, sradicata da qualsiasi contesto e dunque universale. Con il digitale gli oggetti co-

5. È interessante notare come, al contrario, la parola "oggetto" deriva dal latino *objectum*, ovvero "ostacolo". L'oggetto infatti è per Bodei (2009) ciò che si contrappone alla piena realizzazione del soggetto, intesa come cammino della coscienza verso la comprensione dell'essenza delle cose guidati da un istinto di verità.



FIG. 1  
Geomerce, Gianata Gatto & Giovanni Iannella, 2015. I designer immaginano una nuova forma di economia finanziaria che tiene conto anche delle specie vegetali. Trasformando l'estrazione (attività solamente umana e invasiva per la natura) in una collaborazione tra uomo e pianta, il progetto propone un'alternativa alla dicotomia che oppone l'uomo alla natura.

minciano a contenere informazioni che vanno ben oltre il loro uso e il loro aspetto immediato, forniscono l'accesso ad una complessa rete virtuale, fungono da gateway ed interpreti, spesso smaterializzandosi su una moltitudine di supporti e media. Basti pensare ai cosiddetti "smart object", interfacce di un'interconnessione più ampia – l'Internet of Things (IoT) –, che assumono senso nel momento in cui scambiano informazioni con altri oggetti o ambienti e comunicano con gli utilizzatori, inglobando nella progettazione anche tutti quegli aspetti relativi all'interazione, sia essa declinata in termini di servizio, di esperienza o di eco-innovazione. Inoltre, la riconfigurazione del sistema industriale da parte di fenomeni favoriti dal web e dagli strumenti di fabbricazione digitale, come il *thinking*, l'*open-source*, il *crowd-sourcing* e il fai-da-te tradizionale, hanno permesso ai designer di muoversi liberamente nelle logiche della produzione e di recuperare un rapporto più diretto con i processi generativi degli artefatti, mediando tra le contemporanee potenzialità del virtuale e la creazione di un artificiale più vicina all'uomo e alla sua mano (La Rocca & Lucibello, 2015). Ciò da un lato, porta i progettisti a sperimentare in prima persona modalità manifatturiere alternative alle tradizionali logiche industriali e commerciali, combinando diverse discipline, tecnologie avanzate e artigianato tradizionale, arte, scienza, cultura, imprenditoria e ponendosi come promotori di nuove strategie di vita e comportamenti sociali. Dall'altro i designer acquistano maggiore consapevolezza e sensibilità rispetto agli oggetti del progetto, guardano all'intero sistema che costituisce le cose progettate e proiettano su di esso le proprie visioni e riflessioni sulle tematiche fondamentali del presente: dalla crisi climatica al mutare incessante dei nostri bisogni, dall'evoluzione esponenziale delle tecnologie al recupero di un rapporto più profondo con la natura e le alterità che ci circondano.

In secondo luogo e di conseguenza, il progetto cresce in *estensione*, perchè è applicabile ad assemblaggi sempre più grandi e la gamma di cose che possono essere sottoposte a progettazione è molto più ampia di un limitato elenco di beni ordinari o di lusso. Infatti «oltre allo scivoloso oggetto del design e alle questioni concernenti le condizioni sotto le quali possiamo parlare del suo significato, dobbiamo anche affrontare un problema più arduo che sta al cuore della politica dell'artificiale; si tratta della natura della realtà» (Margolin, 2002, p.47). In altri termini, l'umanismo del design, non è semplicemente allargato ad entità intangibili come i servizi, i sistemi e gli ambienti; ma nel momento in cui anche ciò che apparteneva alla natura può



FIG. 2  
*Anima*, Kosuke Araki, 2018-19.  
Collezione di stoviglie realizzata con resti alimentari, sia di origine vegetale che animale (ossa e pelle animali). I primi, vengono bruciati e ridotti in carbone; i secondi vengono bolliti a lungo fino ad ottenere una sostanza gelatinosa. Gli oggetti della serie vengono ottenuti miscelando e modellando i due materiali.

essere ricreato, esso si estende ad una discussione più olistica sulla tipologia di realtà che vogliamo ricreare. Come avremo modo di approfondire più avanti, la dicotomia moderna tra ciò che possiamo modificare con l'artificio e ciò che invece possiamo solo studiare come realtà data, svanisce su un duplice fronte: quello culturale, perchè con l'Antropocene l'attività dell'uomo arriva ad influire sino alla stessa geologia del Pianeta e non può più nascondersi dietro le cosiddette "leggi di fatto" della natura (Crutzen & Stoermer, 2000); quello trasformativo, perchè effettivamente le nuove potenzialità tecnologiche entrano nei tessuti molli della biologia, nella fragilità dei nostri corpi e nella performatività delle nostre menti. Dunque, diventano oggetti di design anche le città, i paesaggi, le nazioni, le culture, i corpi, i geni e la stessa natura nella volontà di indagare le effettive dinamiche che si innescano nella realtà tangibile nel momento in cui reale e virtuale si sovrappongono, natura e artificio si confondono, le società umane si aprono ad altre entità, i nostri corpi e menti diventano oggetti all'interno di un sistema più ampio. È questo il *telos*, il fine ultimo, latente in molte applicazioni del design contemporaneo (e dell'infinita gamma delle sue declinazioni: interaction design, strategic design, experience design, service design, biodesign, ecc.), che mirano ad individuare forme alternative di produzione o consumo e che si insinuano nei tessuti sociali, politici e culturali per destabilizzarne lo *status quo*. Nella post-modernità, in ottica del tutto neo realista, il design assume il compito di misurarsi con la realtà alla ricerca di un temporaneo cambiamento del mondo sensibile, destabilizzante, ma capace di rimettere in discussione il valore rappresentativo della realtà oggettuale: come affermava Pierre Restany, oggi abbiamo bisogno che l'arte – così come il design – ci diano una rappresentazione più aderente al nostro tempo che ci abitui a vivere il reale come fenomeno dipendente dal soggetto che la concepisce, un'immagine del mondo che ci faccia vedere ogni elemento che lo compone con una acuta critica di fondo verso la società che ha saputo concepire questo modo di vivere (De Domizio Durini, 2005).

Infine, il progetto cresce in *intensione*, sia perchè aumenta l'intensità di azione, partecipazione e anche di effetto con il passaggio dall'oggetto alla cosa (che dunque include in sé le istanze del presente e un discorso più generale sull'uomo e sulla relazione con il mondo); sia perchè con l'aumento delle qualità progettabili grazie alle nuove tecnologie, il progetto si insinua nella costituzione dell'essenza dell'oggetto ed estende la significazione alla materialità delle cose. Come



FIG. 3  
*Tree of 40 Fruits*, Sam Van Aken, 2008-in corso. L'artista recupera le antiche tecniche di innesto per combinare numerosi frutti in un solo albero, a dimostrare che ora, come allora, siamo in grado di influire e modificare la natura fin dentro le sue fibre più profonde.



6. Con “dispiegamento” degli oggetti, Heidegger intende non solo cosa fanno, ma anche il loro comportamento, parametro che ne convalida ed esprime l’esistenza.

afferma Latour (2009) infatti, «la digitalizzazione ha fatto molto per estendere la semiotica al cuore dell’oggettività: quando quasi ogni caratteristica dell’artefatto digitale è trascritta in codici e software, non desta meraviglia il fatto che l’ermeneutica sia filtrata sempre più in profondità all’interno della definizione stessa di materialità. Se il libro della natura di Galileo era scritto in termini matematici, prodigiosamente estendendo così il dominio dell’interpretazione e dell’esegesi, questa estensione risulta anche più valida oggi dato che sempre più aspetti del nostro ambiente sono letteralmente, e non metaforicamente, trascritti in termini matematici» (p. 257). In altre parole, la moderna dicotomia tra forma e funzione, materia e significato, diventa oggi obsoleta nel momento in cui il digitale, ma anche le nanotecnologie, le biotecnologie e tutte quelle possibilità tecnologiche di intervenire sulle informazioni alla base della sostanza delle cose, ci permettono letteralmente di “ri-scrivere” gli oggetti e quello che Heidegger (1954/2014) chiama il “dispiegamento” sul mondo del loro essere [6]. Aria, acqua, geni, atomi, bit, neuroni diventano parametri del progetto; mentre l’oggetto – sia esso materiale o immateriale – diventa progettabile quasi interamente, dall’essenza della materia alle qualità del suo comportamento.

Questa intensità di azione, che racchiude in sé anche la *comprensione* e l’*estensione* a sempre più aspetti della nostra vita, è indice di come il progetto evolve verso un paradigma vivente, che si riflette tanto negli obiettivi, quanto negli approcci e nelle modalità immaginative e produttive degli artefatti. La visione di un mondo come una macchina, fatto di parti con funzioni distinte e regolate da rapporti di causa-effetto, lascia il posto ad un mondo visto come un organi-



smo, in cui è la relazione tra le parti e la loro possibilità di interazione a portare alla crescita emergente e all’evoluzione specializzata dell’intero sistema. Dunque, anche gli oggetti del progetto nascono come concretizzazione di questi rapporti di interdipendenza, di cui il design ne diventa sempre più consapevole e su cui ricalibra le sue modalità d’azione e di espressione progettuale.

### 1.1.2 Design come atto orientato al futuro

Il design, inteso come progetto, è da sempre considerata un’attività rivolta al futuro. Dalla sua stessa radice latina *pro-icere*, che sta per “butto in avanti”, esso indica un’azione, un gesto, un disegno che anticipa, immagina e definisce il futuro. Anche Herbert Simon (1969/1996), nel definire una base teorica per lo studio dei fenomeni “artificiali” e non “naturali”, aveva intuito che la loro artificialità era conseguenza di un sistema modellato da obiettivi desiderati o scopi futuri per l’ambiente in cui si trovava; mentre il design, quale “scienza dell’artificiale”, si distingueva dalle “scienze naturali” – di studio dei fenomeni biologici – poiché non riguardava “le cose come sono”, ma il modo in cui “le cose dovrebbero essere”. Ken Friedman (2002), sulla scia di Simon, definisce il design come un verbo (“to design”), un’azione, che mira a creare qualcosa di nuovo o riprogettare qualcosa di esistente per un obiettivo, per soddisfare un bisogno, per risolvere un problema, o per trasformare una situazione

FIG. 4-5  
*Algo-r(h)i(y)thms*, Tomas Saraceno, 2018. In spagnolo, “algo” significa “qualcosa”. “Ritmo” deriva dal greco *rhythmos*, che significa “movimento segnato dalla successione regolata di elementi forti e deboli, o di condizioni opposte o diverse”. Sebbene il ritmo sia biologico e intrinseco, ed è correlato nella storia umana alle velocità del battito cardiaco, dell’andatura e dell’affetto emotivo, inella contemporaneità esso opera a un tempo imposto artificialmente piuttosto che sentito intuitivamente. *Algo-r(h)i(y)thms* presenta quindi un invito urgente a sintonizzarsi con i nostri futuri *sim(bio)poetici* ed a recuperare una radicale reciprocità di tutte le cose, viventi e non viventi, attraverso un linguaggio vibrazionale.

meno desiderabile in una preferibile. Per Peter Kroes (2002), dato che il processo di design può essere descritto come il passaggio da una descrizione intenzionale dell'oggetto alla sua descrizione strutturale, possiamo dedurre che essa è un'azione che traduce in sostanza un'immagine proiettata dell'oggetto, della sua funzione e dello scopo intenzionale che esso intende soddisfare. Insomma, soprattutto a partire dalla cosiddetta "svolta empirica in filosofia della tecnologia" (Kroes & Meijers, 2000), proliferano una serie di definizioni del progetto, intesa come una sequenza di azioni che vanno dalla teleologia (il fine, l'obiettivo verso il quale il processo aspira), alla pratica e infine alla rigenerazione che, in ottica del tutto futura e trasformativa, crea nuovo materiale sul quale il design può lavorare e definire un nuovo *telos* (Buckminster Fuller, 2008). Più specificamente, Tomàs Maldonado (1971/2022), riprendendo il termine "speranza" dal filosofo Ernst Bloch, connette la dimensione progettuale ad una radice più profonda, di natura antropologica, intesa come impulso d'anticipazione, coscienza anticipante, che muove gli esseri umani e li spinge non solo a interrogarsi sul loro destino, ma a progettare costantemente un futuro migliore: essa è l'azione che traduce nel mondo della contingenza l'utopia, intesa come riconoscimento di un mondo che, seppur imperfetto, sia perfezionabile. In effetti, fin dall'inizio la speranza ha segnato la nascita del design industriale, sotto la forma dell'imperativo del progresso, della spinta alla crescita, del progetto di un mondo migliore, che passa attraverso lo sviluppo di macchine e strumenti, architetture e artefatti. Come lo stesso Maldonado (1976/2013) scrive qualche anno dopo, il design si afferma come mediatore tra l'evoluzione della tecnologia e la società capitalistica avanzata, mentre il suo fine ultimo è la «concretizzazione di un individuo tecnico» (p.12), condizionato dal modo in cui produzione e consumo di beni si esplicano in una data società, quella solida della modernità. Tuttavia, questo impulso si è presto trasformato in un meccanismo di sviluppo esponenziale che ha portato alla proliferazione illimitata dei prodotti, alla moltiplicazione delle disuguaglianze, al condizionamento dei comportamenti e dei bisogni, all'esaurimento delle risorse e al dominio degli esseri umani sugli altri esseri viventi. Di fronte alla crisi del progetto della modernità e alla critica nei suoi confronti sviluppata dal "contro design" e in generale dal postmodernismo, la speranza progettuale non può più essere la stessa e il "mondo migliore" che essa incarna (quella che negli anni Sessanta e Settanta è stata chiamata utopia) è costruito sul rispetto e sulla condivisione. Come la speranza

dunque, anche il design non può più essere lo stesso, non può più essere solamente industriale, ma deve ridefinirsi come una pratica socialmente ed ecologicamente impegnata – come progetto di futuri alternativi. Come spiegava Victor Papanek (1973): «Ogni uomo è designer. Tutto ciò che facciamo è quasi sempre design, proprio perché il design è alla base di ogni attività umana. La pianificazione e l'attuazione, secondo un modello prefissato, di qualunque atto tendente a un fine desiderato costituiscono il processo di design. Qualsiasi tentativo diretto a isolare il design per renderlo autosufficiente lavora in senso opposto al valore intrinseco del progetto, inteso come matrice primaria della vita. [...] Design significa sforzo cosciente per imporre un ordine significativo» (p.15). In altri termini, il design, con la postmodernità, abbandona l'appellativo di "industriale", di concezione e produzione seriale e standardizzata di oggetti, e si afferma come pratica sociale, direttamente connessa ad una *network* multidirezionale, fatto di persone, oggetti, tecnologie e natura. Esso diventa mediatore semantico indispensabile per la costruzione del significato degli oggetti che progetta, che non è più ridotto "al grado zero" (Baudrillard, 1968/2003), ovvero alla sola funzione utilitaristica fine a se stessa o all'immaginario simbolico del desiderio, ma include anche tutti gli effetti secondari della produzione e del consumo sul tessuto economico, sociale e soprattutto ambientale. Il prodotto in sé (risultato) e l'autorialità del singolo progettista perdono di importanza, mentre diviene fondamentale il processo di progettazione, l'articolazione delle metodologie sperimentate e la dimensione collaborativa e partecipativa tra più attori e soggetti. In tale ottica, il programma di Maldonado appare più che mai attuale, poiché in un contesto in cui l'azione progettuale è immessa in una condizione sistemica, interconnessa ad una serie di altri fattori e fenomeni mutevoli e non perfettamente definibili, essa si pone sia come veicolo che come sostrato della speranza: come veicolo, perché è fondata sulla speranza della tecnologia, sulla possibilità umana di agire sulla realtà; come sostrato, perché è tecnologia della speranza, l'atto tecnico di una possibile trasformazione, coscienza critica della processualità tecnica.

Inoltre, come afferma Leonardo Caffo (2018) in "Costruire futuri: migrazioni, città, immaginazioni", in un contesto di singolarità tecnologica e in cui le grandi narrazioni del passato vengono decostruite, non cambia solo l'immagine del "mondo migliore" ma anche l'essenza stessa del futuro: esso non è "progresso" perché orientato ad un obiettivo specifico che lo distingue dal semplice "domani"

7. La “futuologia” teorizzata da Wells è oggi meglio conosciuta come *future studies*, una metadisciplina il cui obiettivo è quello di anticipare i grandi cambiamenti sociali, tecnologici, culturali delle civiltà e prevederne gli sviluppi attraverso l’elaborazione di scenari. L’assunto di base è che non esista un futuro predeterminato, ma che il futuro sia invece aperto alle scelte individuali e collettive. I *future studies* lavorano su tre livelli: *forecast*, estrapolazione statistica di futuri plausibili; *foresight*, visualizzazione attraverso scenari di futuri possibili; *anticipazione*, traduzione dei due modelli precedenti in azioni e decisioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili (Poli, 2019).

(parafrasando Derrida), ma ciò che abbiamo davanti è “semplice” futuro, uno scorrere delle cose senza un contesto che ne orienti la trasformazione. Il futuro dunque, diventa oggetto di analisi al pari del passato e assume senso solo se anticipato, ovvero se viene riportato “qui e ora” questo presunto “poi” di cui stiamo discutendo e di cui pensiamo sia importante discutere. In quest’ottica, il progetto si presenta come spazio di azione creativa in cui l’anticipazione diventa concretamente attuabile, in cui, in altri termini, possiamo cambiare rotta presente rispetto ai modi in cui pensiamo sia necessario cambiare rotta in futuro. Come avremo modo di discutere più avanti nella tesi, questo cambio di prospettiva, non ha permesso solamente la nascita di interessanti collaborazioni tra il design e la “futuologia” (Wells, 1932) [7], ma ha alterato il modo stesso di intendere il progetto che «non è più inscrivibile nella definizione di un’azione, ovvero di un’entità che conduce a un obiettivo già noto in partenza e raggiunto in accordo alla propria intenzionalità, ma nella dimensione dell’atto: un’entità che conduce un soggetto o un aggregato di soggetti, pur cosciente di muoversi all’interno di un contesto specifico, a raggiungere un obiettivo non previsto e in parte sorprendente rispetto alle informazioni che avevamo in partenza» (Caffo, 2018, p.188). Il design diventa produttore di atti piuttosto che di prodotti, intesi come tentativi ritenuti importanti per risolvere e concepire oggi “drammi” di un futuro aperto, dove per “apertura” non si intende l’assenza di forma o di confini, ma la creazione di un campo di possibilità che dia spazio al maggior numero possibile di esiti formali attraverso l’interazione con la varietà e l’imprevedibilità (Eco, 2013). Per dirla in parole più semplici e in riferimento alla biologia, nel momento in cui ci rendiamo conto che non siamo più una specie distaccata, come volevano i modernisti, ma siamo parte integrante del “sistema mondo”, alle regole del progresso sostituiamo pian piano quelle dell’evoluzione: mentre per il progresso il futuro è un punto di arrivo certo con unico centro focale l’uomo e, proiettandosi su di esso, procede con andamento lineare e incrementale volto al raggiungimento della perfezione; per l’evoluzione il futuro è incerto, contestuale e non intenzionale, per cui ciascuna specie vivente procede per adattamento, attraverso soluzioni strategiche che, prese “qui ed ora” in un determinato contesto, possono garantire la futura sopravvivenza. L’evoluzione dunque procede per differenziazione, secondo un modello rizomatico, esperienziale e collaborativo, che non obbliga ad una direzione ma che può portare a cambiamenti radicali ed “emergenti” a partire da più punti di vista

e più trasformazioni concrecenti. In tal senso, nell’ottica del vivente, possiamo ridefinire la pratica del design come un “atto orientato al futuro”, mentre i suoi prodotti possono divenire “eventi orientati ad un risultato” (Manzini, 2004), ovvero cambiamenti nello stato del sistema che si realizzano in un dato luogo e in un dato tempo e la cui importanza risiede proprio nella quarta dimensione (il trascorrere del tempo) e nell’esperienza (il modo in cui avviene la generazione dell’evento, le relazioni che esso comporta). Tuttavia, la cultura del progetto non è per questo risolutiva per ogni problema che si pone o per il completo e veloce ripristino dell’ecosistema originario. Piuttosto interviene attraverso una sensibilizzazione collettiva alle complesse problematiche del presente, nella volontà di riprogettare il mondo della produzione in maniera completamente diversa. Nell’abilità che i designer hanno di costruire scenari e modelli di comportamento futuri a partire da una collettiva e profonda consapevolezza dei fenomeni attuali, risiede una grande responsabilità volta a dare forma e significato ai gradi di libertà aperti dal progresso e dalla tecnologia (Antonelli, 2008). Coniugando una visione lucida del presente e una spinta utopica all’innovazione, il progetto è in grado di incidere sulla realtà facendosi vettore strategico per la messa in discussione di nuove questioni e per capire anche quale sia il ruolo del design nel prossimo futuro, agendo innanzitutto nella prospettiva del cambiamento.

### 1.1.3 Il valore strategico del design

Mentre nel mondo solido il riferimento monologico è il sistema industriale e la progettazione si rivolge a prodotti per la stragrande maggioranza allineati a convenzioni culturali e comportamentali; nel mondo fluido il ruolo dei designer è sempre più integrato con l’evoluzione delle società poiché, in un contesto in rapida e profonda trasformazione, può accompagnare i singoli soggetti (individui, imprese, città e territori) nel continuo processo di ridefinizione dei propri obiettivi e delle strade per raggiungerli (Manzini, 2004). Secondo Mauro Magatti (2017), ciò è dovuto alla profonda trasformazione dell’idea di libertà individualistica, fondamentale materialistica e consumeristica che negli anni precedenti alla crisi finanziaria del 2008 – momento in cui, secondo l’autore, inizia una nuova fase di “cambiamento di forma” – aveva caratterizzato la coscienza di ognuno, nella convinzione che tutto fosse destinato ad una crescita illimitata e dunque chiunque avrebbe avuto infinite e

8. Il relè è un componente elettrico caratterizzato in genere da due contatti fissi e un contatto mobile. Quest'ultimo, posto in mezzo, è sempre elettricamente connesso ad uno dei due contatti fissi formando un circuito chiuso. Nel momento in cui il relè viene stimolato dalla corrente elettrica, il contatto mobile si sposta disconnettendosi dal primo e connettendosi all'altro, deviando il flusso di corrente. La nostra libertà può essere paragonata al funzionamento di questi dispositivi i cui contatti possono staccarsi momentaneamente, avere la libertà di cambiare posizione, ma funzionano solo nel momento in cui tornano ad essere in relazione con un altro contatto.

9. Il termine "consilienza" è stato definito per la prima volta dallo scienziato Edward O. Wilson (1998) come «un tuffo condiviso nella conoscenza, collegando i fatti e la teoria basata sui fatti attraverso le discipline, per creare una base comune di spiegazione» e che «sposta il focus da un interesse immediato, personale e discreto ad un atteggiamento collettivo, sistemico e a lungo termine».

crescenti possibilità di scelta. La libertà invece si è rivelata essere una sorta di relè [8]: essa esiste sempre in relazione a qualcos'altro e la possibilità di scegliere è un suo ingrediente ma non è né condizione necessaria, né sufficiente (Magatti, 2019). Proprio come avviene per il nostro sviluppo psicologico, nella società dei consumi la "fase adolescenziale" di esplorazione e di disubbidienza (del "faccio tutto ciò che voglio") è arrivata ad un punto di crisi in cui il "soggetto adulto" si rende conto di essere libero, di avere libertà di scelta, ma anche che dopo essersi slegato da tutto, ha bisogno di rilegarsi a qualcosa, previa la stagnazione (Erikson, 1950). Dunque, in un momento in cui l'amplificazione della libertà individuale ha portato alla contingenza, essa si è rivelata essere più una necessità di "adattabilità" alle condizioni del contesto e di contro, ad un suo miglioramento, presentandosi ai singoli soggetti come l'esigenza di effettuare un costante, quotidiano esercizio di progettazione della propria vita, dalle grandi scelte esistenziali alla micro-progettualità quotidiana. In quest'arena in cui tutti sono o dovrebbero essere progettisti, i designer si collocano come "specialisti del progetto" che agiscono come catalizzatori all'interno di una rete più complessa di attori e interlocutori, poiché vengono loro riconosciute tanto le capacità di lettura e interpretazione della realtà, tanto quelle di integrazione di conoscenze multidisciplinari e di rappresentazione di concetti attraverso metafore e immagini che, messe al servizio di processi decisionali, facilitano lo scambio e la creatività collettiva di gruppi multifunzionali, oppure offrono proiezioni di scenari futuri e soluzioni possibili. Paola Antonelli (2019), definisce questa consilienza [9] guidata dai designer come uno spostamento tettonico che dal mondo dell'accademia arriva nel mondo della quotidianità e porta ad una impollinazione incrociata delle diverse comunità, le quali non lavorano più nell'isolamento, sovrapponendosi occasionalmente quando un progetto lo richiede, ma interagiscono costantemente. Il design dunque, si colloca nella contemporaneità come strumento strategico per un cambiamento attivo, specchio di un nuovo modo di pensare ed agire personale e collettivo, mentre si avvale delle numerose opportunità offerte dal contesto per ibridarsi con molteplici saperi (ingegneria elettronica e dei materiali, biotecnologie, scienze computazionali e naturali, sociologia ed economia, studi umanistici e filosofia) e per collaborare con i diversi soggetti a tutte le scale (dai singoli consumatori alle istituzioni politiche, dagli enti territoriali ai protagonisti dell'industria), al fine di rispondere alle sofisticate esigenze della società, comprendere gli scenari futu-

ri, rispondere alle trasversali istanze della contemporaneità e capire il ruolo stesso del design.

Questa estensione dei territori della progettualità oltre gli stretti confini disciplinari, nasconde il seme di una natura più profonda del design, inteso come intermediario «tra le rivoluzioni e la vita di tutti i giorni», in grado di «cogliere importanti cambiamenti nella tecnologia, nelle scienze e nei costumi sociali e convertirli in oggetti e idee che le persone possono capire e usare» (Antonelli, 2008, p.14). In altri termini, esso non si pone solamente come sapere interdisciplinare, in grado di coniugare esperti di diversa disciplina e natura per produrre nuovi prodotti o sistemi, ma attraverso questi ultimi e i numerosi canali di contatto con la realtà (oggetti d'uso, mostre, infografiche, architetture, interfacce) può apportare grandi e piccoli miglioramenti al vivere contemporaneo, adattando le possibilità tecnologiche alla sua complessità e rendendo le persone più consapevoli ed "elastiche" [10]. Questo essere tra le cose infatti, corrisponde alla più ampia relazione che lo lega all'uomo, alla natura e alle cose che lo circondano, in un'ottica rizomatica conforme alle sfaccettate questioni che interessano l'intero Pianeta. Nel presentare la mostra "Broken Nature: Design Takes on Human Survival", svoltasi in occasione della XXII Triennale di Milano, sempre Paola Antonelli (2019) afferma che il design, pur non potendo risolvere in sé i nostri problemi esistenziali, si configura oggi come una "strategia di riparazione" ben ponderata, in grado di sostenere attraverso la produzione di artefatti di vario tipo una riconciliazione tra gli esseri umani e i sistemi complessi che li circondano, verso un futuro più equo e garantito per tutti. Ciò attraverso un acuto senso critico con il quale analizzare i molteplici legami che collegano gli esseri umani ai loro ambienti (economico, sociale, culturale e politico) e ad altre specie (animali, piante, microrganismi o l'intero albero della vita) in ogni ordine di grandezza e in tutti i sistemi, nonché il progetto di riparazioni sotto forma di manufatti e concetti che possano aiutare la collettività ad uscire da un comune senso di "ipocognizione accecante" [11]. Per dirla con Alice Rawsthorn (2018), nel momento in cui la transizione è divenuta permanente e si trasforma il più delle volte in crisi, il design può essere visto non tanto come una professione, ma come un'attitudine [12], lente attraverso il quale analizzare e affrontare la realtà, come sovrastruttura su cui possono poggiare le altre forme di indagine. I designer infatti, si confrontano sempre più spesso con gruppi multifunzionali su questioni urgenti all'ordine del giorno e in tutto il mondo - dalle questioni prettamen-

10. Paola Antonelli (2008) definisce l'elasticità come il risultato tra l'adattabilità e l'accelerazione che ci permette di catalizzare le improvvise variazioni del ritmo odierno a cui avvengono le rivoluzioni.

11. Termine che Antonelli (2019) prende in prestito dalle scienze cognitive, inteso come incapacità di esprimere un concetto o un'idea che vada oltre il proprio orizzonte concettuale. L'ipocognizione accecante che interessa il contemporaneo è proprio quella di non accorgersi di essere nodo in una complessa rete di sistemi complessi.

12. Alice Rawsthorn, critica del design, riprende una famosa definizione del design elaborata da László Moholy-Nagy (1972) in "Vision in Motion". Egli lo descrive come: «a general valid attitude of resourcefulness and inventiveness which allows projects to be seen not in isolation but in relationship with the need of the individual and the community» (p. 42).





**FIG. 6**  
*Plastiglomerate, K. Jazvac, P. Corcoran e C. Moore, 2013. I "plastiglomerati" sono formazioni geologiche che semplificano il concetto di Antropocene, l'epoca durante la quale l'attività umana ha influenzato in maniera massiccia e persistente gli ecosistemi della terra. Essi rappresentano i fossili del futuro, la cui esistenza contribuisce al riconoscimento dell'Antropocene come nuova era geologica. Presentati come object trouvés di natura artistica, testimoniano le interconnessioni tra scienza e cultura e denunciano l'impronta indelebile lasciata dall'uomo sul Pianeta.*

te ambientali, come le microplastiche o il surriscaldamento degli oceani, a problematiche culturali e sociali, come l'invecchiamento della popolazione o il progressivo annullamento delle diversità culturali – al fine di elaborare delle strategie, anche (e il più delle volte) molto capillari e “dal basso” che contribuiscono al delicato processo di “aggiustamento” dei comportamenti e delle libertà individuali e collettive, ad oggi necessarie se vogliamo continuare migliorare l’esperienza umana nel mondo.

Interessante è notare la componente narrativa che contraddistingue il valore strategico e trasformativo del design contemporaneo, motivo per il quale ad esempio molti dei progetti illustrati nella mostra *Broken Nature* o elencati da Alice Rawsthorn nel definire il design attitudinale non siano solamente oggetti ma anche illustrazioni, infografiche, video ed elementi concettuali atti ad istaurare una riflessione profonda sulla nostra condizione interconnessa e ad elaborare su di essa nuove interazioni uomo-mondo. L’uso di avanzate biotecnologie per coltivare e crescere oggetti o edifici sperimentali in collaborazione con la natura; l’impiego di Big Data e di sofisticati strumenti computazionali per restituire una visione chiara della nostra influenza di specie umana sui fenomeni del Pianeta; il racconto di culture locali in estinzione attraverso oggetti che reinterpretano l’uso di materiali e processi tradizionali; esempi di “guerriglia urbanistica” atti a sperimentare nuove forme di convivenza e a riproporre se di successo; la narrazione *step by step* di numerosi processi di reimpiego di strumentazioni aperte e accessibili a vari scopi, sono tutti esempi di come il design sia in grado di restituire la complessità delle sfide presenti in modo tangibile e concreto, mettendo in luce fragilità inesplorate e narrando scenari desiderati.

Tale attitudine riflessiva si estende tuttavia alla stessa disciplina, che è “costretta” a ri-definire continuamente lo sguardo con cui affrontare la realtà e a ri-pensare le proprie prassi in ottica fenomenologica (Rittel & Webber, 1973; Schön, 1984), ovvero rivalutando l’esperienza sensibile come strumento utile alla conoscenza. In altri termini, nel continuo processo di interpretazione e reinterpretazio-

ne del mondo, il design ridefinisce se stesso, il proprio ruolo e le proprie prassi, a partire dall’analisi della stessa azione progettuale e delle sue ricadute sul contesto del progetto, per ricavarne successivamente nuova conoscenza e nuovi principi operazionali che evolvono di volta in volta insieme al punto di vista adottato e al contesto di riferimento. Proprio come in un processo di decostruzione, il design si pone come una “strategia di ascolto” che tende il suo orecchio scaltrito per captare le dissonanze e i guasti, piuttosto che contemplare con l’occhio teoretico concetti distribuiti in un sistema unificante come in una sorta di armonia visuale (Derrida, 1987). In tal senso anche Schön (1984) rivaluta il ruolo trasformativo del progetto, inteso come pratica riflessiva che reinterpreta e riformula continuamente il nostro modo di rapportarci alla realtà, attraverso un processo di creazione e critica delle proprie prassi, facilitando la transizione verso modelli culturali e di vita più sostenibili.

Dunque, in un mondo in cui l’illusione moderna della ricomposizione unica di una realtà finalizzata viene messa in crisi e in cui quelli che venivano considerati modi contrastanti di vedere il mondo, oggi convivono come vie alternative per interpretarlo, la maggiore connessione con la realtà e il pensiero creativo (o laterale) che caratterizzano il design, fanno dell’attività progettuale un potente strumento cognitivo, comunicativo e pragmatico della contemporanea complessità. In particolare, ponendosi nell’ambito del progetto dell’artificiale, in cui i fenomeni, i valori e le innovazioni vengono esternalizzati nella realtà; abbracciando tutte le grandezze, le applicazioni, le dimensioni e costituendo un ambito multidisciplinare, ponte tra materie scientifiche e umanistiche, il design può dare voce al cambiamento ed offrire all’attuale visione olistica creatività tattica, messa a fuoco e strategia. Ma soprattutto, il designer diventa una figura complessa, che attraverso la progettazione è capace di comprendere il nostro tempo e con esso la sua fluidità, stimolando la ricerca ad esplorare ed interpretare profili tematici sempre più articolati e specialistici.

## 1.2 Ontologie multiverse

*«La mia opinione è che, invece, il problema non sia quello di avvicinarsi al "buon design", ma di fare design, di avvicinarsi il più possibile ad uno stato antropologico delle cose»  
(Sottsass Jr in Bardiani, 2017)*

L'estensione del design a fenomeno totale e a matrice sistemica, che invade ambiti un tempo considerati solo della natura, lo porta ad estendere la sua portata concettuale e a rivalutare la sua componente antropologica, elevandolo a strumento utile alla comprensione dell'uomo e del mondo a cui appartiene, ma anche a strumento critico che – ridefinendo sé stesso – trasforma il modo in cui pensiamo la vita e cosa fare al riguardo. Infatti, le crisi ecologiche ed in particolare la traiettoria del *Defuturing* (Fry, 2020), "costringono" il design quale pratica costitutiva dell'artificio, a ridefinire ciò che è e ciò che fa, a partire dalla comprensione della nuova condizione ontologica della nostra esistenza ed uscendo da un campo di significati strutturato la cui ontologia duale non è più adatta a descrivere il mondo e i fenomeni che caratterizzano la contemporaneità. Emerge una nuova prospettiva post-antropocentrica (1.2.1 Dasein ist Design: la condizione postumana), che vede l'uomo come un'entità trasversale, pienamente immersa in e immanente a una rete di relazioni non umane, riportando al centro della discussione il tema della vita. Per tali ragioni, oggi ci ritroviamo di fronte ad una sfida culturale prima ancora che tecnologica, in cui la tecnologia non si identifica tanto come strumento per risolvere un problema tecnico o semplificare un aspetto funzionale, ma quale modello di conoscenza e "strumento di disvelamento" del nostro modo di stare al mondo (1.2.2 Tecnica come disvelamento). In tal senso, il design assume un valore "poelitico" – poetica, etimologicamente il "fare", il "creare" e politica, intesa come condotta –, poiché nell'applicazione delle nuove tecnologie, esso esercita una mediazione tra gli usi della tecnologia e la posizione ideologica e culturale che li genera, prefigurando nuove visioni e scenari alternativi e progettando, magari sovvertendo le stesse tecnologie, l'esperienza delle nuove realtà immaginate (1.2.3 Il valore poelitico del design).



### 1.2.1 Dasein ist Design: la condizione postumana

«Se consideriamo il design come la concezione e la pianificazione dell'artificiale, allora le sue finalità e i suoi confini sono da considerarsi intimamente intrecciati con il nostro modo di guardare l'artificiale. [...] Nella misura in cui il design invade ambiti che un tempo erano considerati appartenenti alla natura piuttosto che alla cultura, la sua portata concettuale si amplia notevolmente» (Margolin, 2002, p.46). Con questa chiara introduzione, Victor Margolin rende esplicita la necessità di ridefinire il design sulla base di nuove categorie filosofiche ed epistemologiche, derivanti da una critica ai termini di "significato" e di "realtà", due basi certe su cui erano state edificate la teoria e la pratica progettuali nel primo modernismo. Per tali ragioni, abbiamo bisogno di un nuovo discorso il cui tema centrale è quello dell'artificiale e dei suoi confini: in relazione ad una sua espansione infatti, la realtà non può essere semplicemente identificata con la natura, mentre il significato (degli oggetti del progetto) non può più far riferimento a segni di valore con referenti incontrastati come la nettezza, la bellezza, l'integrità, la semplicità, l'economicità dei mezzi e la funzione.

In particolare, con l'avvento dell'Antropocene e delle crisi ecologiche, il design si pone al centro della discussione di quello che Tony Fry (2020) definisce "*Defuturing*", un concetto dalla triplice valenza significativa, inteso sia letteralmente come «la negazione del futuro del mondo per noi e per molti dei nostri inconsapevoli altri non umani» (p.10); sia come il riconoscimento che tale negazione è frutto del nostro operato «all'interno delle strutture antropocentriche

FIG. 7-8

*Co-existence, Julia Lohmann, 2009. Il progetto esplora la relazione simbiotica tra noi esseri umani e i trilioni di microrganismi che ospitiamo nei nostri corpi. Ciascun "pixel" della sagoma di una donna è rappresentato da una piastra Petri e contiene al suo interno i microrganismi presenti nella parte del corpo che rappresenta. L'insieme restituisce un quadro completo e insolito della quantità e varietà di questi microrganismi, oltre che a stimolare coscienza critica nei confronti della condizione interrelata in cui siamo immersi.*



e produttiviste dell'insostenibilità» (p.126); sia come strumento concettuale e mezzo di azione critica che ci permette di cogliere significativamente ciò che sta accadendo per iniziare ad agire adeguatamente rispetto alla crisi che stiamo vivendo. In altri termini, l'attuale situazione di incertezza – nata nel momento in cui ci si rende conto di come la storia del mondo materiale stia cambiando al venire meno delle condizioni di vita – costringe il design quale pratica costitutiva dell'artificio, a ridefinire ciò che è e ciò che fa, rivalutandone la duplice valenza antropologica e politica. Antropologica, perché dovrà ragionare su quali sono i futuri verso i quali si vuole tendere a partire dalla comprensione della nuova condizione ontologica della nostra esistenza. Politica, perché dovrà elaborare una nuova filosofia dell'agire che gli permetta di tendere verso tali futuri, intesa in generale come modalità di pensiero in grado di orientare attitudini adeguate alla nuova condizione. Il *Defuturing* ricerca quindi un particolare tipo di conoscenza che possa illuminare le dinamiche del suo sviluppo storico per poter, attraverso di esse, individuare i punti in cui l'azione può effettivamente (e non solo simbolicamente) intervenire. «Agiamo per defuturare perché abbiamo una comprensione molto scarsa della complessità, delle conseguenze in corso e della natura trasformativa dei nostri impatti [...] non capiamo come i valori, i saperi, i mondi e le cose che creiamo continuino a progettare dopo che li abbiamo progettati e realizzati» (Fry, 2020, p. 10). Qui "comprensione" non significa quindi semplicemente comprendere passivamente, «non significa negare l'oltraggioso, dedurre l'inedito dai precedenti o spiegare i fenomeni con analogie e generalizzazioni tali da non far sentire più l'impatto della realtà e lo shock dell'esperienza. Significa piuttosto esaminare e sopportare consapevolmente il fardello che il nostro secolo ci ha imposto, senza negarne l'esistenza né sottometterci docilmente al suo peso. La comprensione, in breve, significa il non premeditato, attento confronto e resistenza alla realtà – qualunque essa sia» (Arendt, 1951/2009, p. viii). In effetti, come sottolinea Edgar Morin (2011), le minacce che gravano sulla biosfera impongono all'umanità una "comunità di destino" che esiste di fatto e che ci apre ad uno sguardo globale sul mondo che dobbiamo affrettarci a cogliere: «per la prima volta nella storia umana, [...] la Terra-Patria è diventata realtà concreta: è la realtà concreta dell'inter-solidarietà oggettiva dell'umanità nella quale il destino globale del pianeta sovradetermina i destini singolari [...] e nella quale i destini singolari [...] perturbano o modificano il destino globale» e per parlare di "patria

terrestre" «è di fondamentale importanza far emergere la consapevolezza del destino planetario ed è essenzialmente illuminare il caos degli eventi, le loro interazioni e le loro retroazioni – in cui si mescolano e interferiscono processi economici, politici, sociali, mitologici, etnici, nazionali, religiosi – che tessono il nostro destino» (Ceruti, 2011, pp.4-6). Benché infatti nell'età della globalizzazione gli sviluppi scientifici, tecnici, economici hanno prodotto un'interconnessione planetaria tra tutti gli esseri umani e i fenomeni relativi alla loro esistenza, essi non hanno creato solidarietà; hanno ampliato le possibilità di comunicazione tecnica e commerciale, ma non hanno creato la reciproca comprensione; hanno permesso di accumulare informazioni ma ciò non ha creato davvero conoscenza e, allo stesso modo, l'accumulo di conoscenze non ha creato comprensione. Abbiamo dunque bisogno innanzitutto di una riforma del pensiero e dello spirito che ci inviti a cambiare sguardo sul mondo e che ci renda capaci di guardare alla sua inedita complessità, data da una reale interdipendenza planetaria piuttosto che da un'interconnessione occasionale. A partire da questo possiamo davvero intraprendere un cammino antropologico e cognitivo che Morin (2011) identifica in un "nuovo umanesimo". Mentre «l'antico umanesimo aveva prodotto un universalismo astratto, ideale e culturale, il nuovo umanesimo non può che essere un universalismo concreto reso tale dalla comunità di destino irreversibile che lega ormai tutti gli individui e tutti i popoli dell'intera umanità e l'umanità intera all'ecosistema globale, alla terra. Questo universalismo concreto non oppone la diversità all'unità, il singolare al generale. Si basa sul riconoscimento dell'unità delle diversità umane e delle diversità nell'unità umana. E, allo stesso tempo, anche sul riconoscimento dell'unità dell'ecosistema globale entro la diversità degli ecosistemi locali, e della diversità degli ecosistemi locali entro l'unità dell'ecosistema globale» (Ceruti, 2011, p.6). Come suggerisce infatti Donna Haraway (2016), dal momento che «il compito nella vita e nella morte è non fare finire il racconto, il divenire del mondo [...], diventare umano, diventare humus, diventare terrestre, assume tutta un'altra forma: la forma serpeggiante del con-divenire» (p. 64).

In tale prospettiva co-evolutiva anche gli approcci, le strategie e gli obiettivi del design cambiano e si amplificano in relazione ad un concetto di natura che non è più esterno all'essere umano – un "over yonder" che fa da habitat e da sfondo alle sue attività (Morton, 2009) –, ma di cui egli è parte fortemente interconnessa e attiva. Allo stesso tempo, in un mondo nel quale la realtà non costituisce

FIG. 9-10  
*Botanica, Formafantasma, 2011.*  
esplora la storia delle plastiche presintetiche nel tentativo di riportare in superficie ricordi e frammenti di una storia che parte da molto più lontano di quanto si percepisca nei riflessi impeccabili degli oggetti che ci circondano.



più il terreno sul quale si fondano i valori, il significato diviene un concetto strategico che sussiste pragmaticamente all'interfaccia del design e della sua applicazione.

Di fatto, come riassume il motto filosofico «Dasein ist Design», elaborato da Henk Oosterling (2009) a partire dal pensiero del tedesco Peter Sloterdijk, nel momento in cui la scala di ciò che deve essere rifatto è divenuta infinitamente grande, la nostra stessa esistenza situata nel mondo – insita nella proposizione heideggeriana di “*dasein*” (“esser(c)”, “essere-nel-mondo”) – si traduce proprio in azione progettuale (Latour, 2009). La questione dell’abitabilità del mondo dunque, assume contorni nuovi all’interno di una dimensione ecologica del progetto, che accetta la sfida dei cambiamenti in atto ed eleva le attitudini che da sempre lo caratterizzano (come la significazione, l’abilità interpretativa, l’analisi e la sintesi di più questioni e competenze) ad una dimensione collettiva, facilitando la transizione verso modelli culturali e di vita più sostenibili.

Il concetto di “abitabilità” del mondo (che pone in accordo le filosofie relativiste come il realismo speculativo e il postumanesimo, il paradigma geologico dell’Antropocene, le teorie scientifiche della complessità, l’ipotesi Gaia e molte altre filosofie) si fonda su una visione post-antropocentrica e sul progressivo decentramento dell’uomo ad «assemblaggio mobile in uno spazio di vita condiviso che egli non controlla né possiede, ma che semplicemente occupa, attraversa sempre in comunità, in gruppo, in rete» (Braidotti, 2020). Per continuare ad abitare il Pianeta dunque, l’uomo deve agire nella continua ridefinizione delle condizioni ottimali al dispiegamento



della propria vita e di quella di tutte le altre entità che formano un ecosistema a noi congeniale, in un’ottica di “interconnessione radicale” (Escobar, 2020). Come infatti spiega Donna Haraway (2016), siamo ormai immersi in uno spazio di vita “simpoietico” piuttosto che autopoietico, caratterizzato da processi trasversali di organizzazione emergente tra agenti umani e non umani, animati e inanimati, che si ridefiniscono, sostengono e riproducono non in maniera autosufficiente, bensì auto-adattandosi di volta in volta a configurazioni di sistema condivise e relazionali.

Visto in questa prospettiva, il design assume una valenza “cosmopolitica” capace di accompagnare le trasformazioni in corso e offrire un’immagine alternativa della “vita associata”, tenendo in conto allo stesso modo istanze sociali ed ecologiche fortemente interconnesse nella materialità del mondo in cui viviamo (Yaneva and Zaera, 2015).

### 1.2.2 Tecnica come disvelamento

Nella nuova “visione cosmica” che sfugge al controllo dell’uomo e non pone gerarchie tra le forme di esistenza, anche il modo di guardare alla tecnologia cambia in virtù del suo tramutarsi in una forza evolutiva autonoma di cui l’uomo non riesce a governarne più tutte le sue evoluzioni. Se ci volgiamo ad analizzare la storia dell’umanità infatti, non possiamo fare a meno di notare come la tecnica, attraverso pause e discontinuità, abbia sempre migliorato le sue prestazioni, nel tentativo (per larga parte riuscito) di addomesticare la

FIG. 11-12

*Metamorphism, Sahar Livne, 2017-in corso. Il progetto esplora un futuro in cui i rifiuti plastici vengono fossilizzati dai processi naturali e vengono restituito come nuova risorsa estraibile chiamata “Lithoplast” e lavorabile in modo simile all’argilla. L’autrice esplora come le persone sperimentano una materia originariamente considerata sintetica, come un possibile nuovo materiale naturale e come le qualità del materiale possono essere una base per il design.*

natura. Tuttavia nel Novecento il progresso tecnologico ha subito un'accelerazione prima sconosciuta, tanto che sono molti coloro che ritengono che ci troviamo di fronte a un salto di qualità irreversibile, che tende a sottomettere l'uomo stesso al fare tecnico. Come afferma Galimberti (2016, p. 524): «Il dispiegarsi della formula baconiana [*scientia est potentia*] ha cambiato lo scenario: non più il potere dell'uomo sulla natura, ma il potere della tecnologia sull'uomo e sulla natura. In questo tipo di condizione l'orizzonte antropocentrico è già dissolto perché il potere appartiene ormai alla tecnica e non più all'uomo. La tecnica impone al presunto detentore del potere (l'uomo) il suo uso corretto, così l'uomo diventa esecutore passivo delle possibilità tecniche che si esercitano sulla natura, che le subisce passivamente». Con l'incredibile rapidità del progresso tecnico a cui non ha corrisposto un'adeguata educazione culturale si può andare incontro all'imprevedibile, proprio come esso appare ai teorici del caos, i quali ci fanno notare che, al contrario di quanto sosteneva il riduzionismo della fisica classica, anche sistemi molto semplici, retti da leggi deterministiche, hanno un comportamento caotico e imprevedibile (Massaro & Grotti, 2000). Dunque, anche nel rapporto dell'uomo con la natura, sul quale si sposta l'autogoverno della tecnica (Galimberti, 2016), la tendenza è sempre quella di "diagnosticare" in modo "tecnico" le patologie che affliggono il Pianeta e di rispondere con i giusti rimedi "tecnici" alle stesse patologie, senza contare l'imprevedibilità insita in tali soluzioni. Ad esempio, le piante – considerate macchine che fissano l'umidità, producono ossigeno, assorbono CO<sub>2</sub> e microparticelle – vengono utilizzate nella bioarchitettura e nell'arredo urbano per dare alle città attuali un modo per vivere meglio; con un semplice processo di "sostituzione", bioplastiche di origini naturali vengono utilizzate al posto di polimeri sintetici; batteri – considerati abili produttori di pigmenti – vengono utilizzati nell'industria tessile per ridurre l'inquinamento delle acque, tutte soluzioni sicuramente sostenibili, ma incapaci di guardare all'intero contesto in cui avvengono le trasformazioni, né alle qualità profonde che la tecnologia può esprimere. Come afferma Escobar (2020), è necessario invece un salto culturale, che rianalizzando il rapporto dell'uomo con la tecnologia e in relazione alla natura, ci permetta di abbandonare un'"ontologia della separazione" secondo la quale la tecnica è intesa in un'accezione funzionalista e strumentale – come insieme di macchine, metodi e processi che asserviscono l'uomo nel rincorrere la sua emancipazione – e di ripensarla in termini di "convivialità", ovvero di co-evoluzione simbiotica

[13]. Questo cambio di prospettiva è di fondamentale importanza anche per la cultura del progetto che, in virtù del moltiplicarsi delle tecniche e dell'accesso ad una grande quantità di dati e informazioni, può mettere in atto un tipo di ricerca tecno-estetica, relazionale e collettiva, quale territorio di esplorazione per nuove possibilità che si danno all'uomo come vie alternative per capire dove ci si sta dirigendo e cosa si può essere. L'interesse del progettista verso un particolare tipo di tecnologia assume dunque il significato di voler esplorare o meno un determinato ambito, per un obiettivo che non è solamente pratico, ma più che altro conoscitivo. «Il design, il cui compito è stato di dare forme al pensiero, ha la possibilità di ridare pensiero alle forme e dar vita ad un'estetica, un'antropoetica, una visione dell'uomo e del mondo senza la quale la tecnica prevale sul linguaggio e sul pensiero [...]. Design è comprendere le qualità profonde che una tecnologia può esprimere in quanto scopo e senso dei nuovi strumenti, è equilibrare tecnologia e cultura e interessi per l'uomo, la società e l'ambiente» (Fiorani, 2010, p.4). D'altra parte, che le tecnologie abbiano avuto un ruolo determinante nell'evoluzione dell'uomo sia in termini strumentali ma anche conoscitivi e comportamentali, non è un fatto nuovo. René Berger, nel "Il nuovo Golem" (1992), ci ricorda infatti che la parola "tecnologia" – come rivela il suffisso greco *-logos* (discorso, ragionamento) – implica sempre una visione del mondo, cioè una relazione tra il "fare" e il più generale contesto socioculturale. In questo senso la tecnologia, a differenza della semplice "téchne" [14], porta in sé una peculiare visione del mondo che ci influenza e ci modifica: non solo nel nostro modo di vivere e di agire, ma anche nel nostro modo di essere e di pensare. Quando è intesa nel senso generale di cultura, essa comprende anche tutti gli aspetti relativi al comportamento, individuale o comunitario, come vivere in collettività o organizzarsi creando delle istituzioni (come l'agricoltura, l'allevamento, le tradizioni, il sistema giuridico) o disciplinare le proprie pulsioni e attività attraverso l'etica e la moralità, come a costituire una sorta di "seconda natura" in cui la nostra azione precedente al pari dell'ambiente naturale influisce sullo sviluppo umano e determina la sua condotta (Gehlen, 2010). Nel momento in cui le sue possibilità trasformative sono cresciute a dismisura, potendo ad esempio «trasformare il DNA in un computer operativo [e allo stesso tempo] far evolvere un computer operativo alla stessa maniera del DNA» (Kelly, 2010, p. 14), la tecnologia può essere letta come una sorta di estensione della natura e che, come quest'ultima, è in grado di intra-

13. Sul piano etimologico, il concetto di convivialità, più che al vivere insieme, alla "vita", fa riferimento alle vivande che servono a vivere, proprio a far riferimento ad un rapporto di interdipendenza che permetta, come nel mutualismo, un beneficio reciproco.

14. Berger considera la parola "téchne" nel suo significato classico di "perizia", "saper fare" e in maniera estensiva di "arte". Essa dunque si configura come sottoinsieme della parola "tecnologia", posta in analogia a quella di italiana di "tecnica", tedesca di "technik" e francese di "technique" che indicano l'insieme di artefatti strutturali (configurazioni oggettuali come il martello, l'automobile, il telefono) e sovrastrutturali (configurazioni simboliche e astratte come il linguaggio, la scansione del tempo, la scrittura e i codici informatici), metodi, processi, strumenti e qualsiasi cosa di utile prodotto dalle nostre volontà e dalle nostre menti – in maniera estesa si può parlare di cultura.

15. «Il *technium* va oltre l'hardware e le macchine, per includere la cultura, l'arte, le istituzioni sociali e le creazioni intellettuali di ogni genere. Comprende entità intangibili come il software, le leggi, i concetti filosofici. E, cosa ancora più importante, comprende gli impulsi generativi delle nostre invenzioni che stimolano ulteriori produzioni di strumenti, ulteriori invenzioni tecnologiche, ulteriori connessioni autoaccrescenti» (Kelly, 2010, p.16)

16. Nei Future Studies, la singolarità tecnologica viene definita come "punto congetturato nello sviluppo di una civiltà, in cui il progresso tecnologico accelera oltre la capacità di comprendere e prevedere degli esseri umani".

prendere percorsi evolutivi autonomi, dotata delle stesse capacità di autoriparazione, autodifesa, automantenimento, autocontrollo degli obiettivi e automiglioramento. Analizzandola in relazione all'evoluzione umana, Kevin Kelly (2010) conia il termine *technium* [15], a raccogliere tutto l'insieme di strumenti, invenzioni e conoscenze che non costituiscono semplicemente una "seconda natura" o una cultura, ma un ecosistema creativo all'interno del quale le cose inventate danno origine ad altre invenzioni e in cui l'uomo è coinvolto in un processo di comprensione più che di influenza sulla tecnica e sul proprio destino in rapporto ad essa.

Dunque, in un contesto di singolarità tecnologica [16], l'applicazione di una tecnologia da parte di un designer va oltre l'uso "corretto" che la tecnologia ci impone e si configura come occasione utile per un'indagine più profonda, sensibile e intellettuale, sulle opportunità impensate che la tecnica ci rivela, facendosi strumento culturale nel senso più profondo. Per dirla con l'antropologa Eleonora Fiorani (2010, p.2): «Non sono le pure tecnologie che fanno il design ma è il riportare la *téchne* alle sue relazioni con la *poiesis*, il pensarla nella sua possibilità poetica e valenza estetica e umana. Il design manipola la tecnologia per darle un senso diverso o più ampio della finalità tecnica, quello di un cominciamento in cui cercare e far emergere le possibilità inesplorate, le relazioni alternative che si danno nel rapporto dell'uomo con la macchina e con la tecnica». Proprio come accade con la natura vista in prospettiva post-antropocentrica e postumana, non si tratta di cosa la tecnologia può o non può fare, ma di un cambio di prospettiva che si focalizza sulla condizione interrelata tra l'uomo ed una forza autonoma ed emergente, di cui egli è allo stesso tempo parte implicata ed elemento attivo, per cui la creatività diventa un mezzo per comprendere cosa l'uomo può o non può essere in relazione alla natura e al suo stesso fare tecnico.

Heiddegger dedica a questa tematica un famoso saggio, "La questione della tecnica" (1991), in cui spiega proprio che il cambiamento del nostro modo di disporre della natura in relazione alla tecnica, avvenuto con le scienze moderne, ci ha portato ad un punto tale da comprendere come «l'essenza della tecnica non è affatto qualcosa di tecnico», essa «non è solamente un mezzo: la tecnica è un modo del disvelamento». Mentre per gli antichi la natura è ciò che produce e la tecnica è qualcosa che si limita ad assecondare la natura (la natura produce il vento e l'uomo tramite il mulino lo sfrutta); con il salto qualitativo avvenuto con la tecnica moderna la natura viene modificata a vantaggio dell'uomo e diventa un fondo a sua disposizione

(il vento viene immagazzinato sotto forma di energia, per poter poi essere utilizzato a piacimento). Questa modalità produttiva dunque, che rende ogni presenza, incluso l'uomo, un oggetto da manipolare e ogni ente uno strumento da valorizzare o impiegare, permette di inquadrare la tecnica secondo una diversa cornice ontologica: essa non è meramente uso di strumenti tecnologici o macchine, ma un vero e proprio modo di stare al mondo dell'uomo, un modello di conoscenza che influisce e modifica il modo umano di impegnarsi con il mondo. L'uomo quindi non è essere autonomo, indipendente e già in sé teologicamente orientato alla soddisfazione dei propri fini e bisogni, ma attraverso la tecnologia può "interrogare" la realtà e attendere da essa il disvelarsi di una verità, ovvero l'instaurarsi di una relazione – mai uni-direzionale, ma multi-dimensionale e multi-versa – a sua volta portatrice di nuove possibilità immaginative e trasformative.

Dunque, nella nuova ottica post-antropocentrica, amplificata dalle tecnologie che arrivano a ri-creare ciò che finora era stata considerata come natura data, l'interazione non è tra l'uomo e le tecnologie, ma tra l'uomo e la natura (realtà materiale, artificiale e biologica), mentre la tecnica è lo strumento che permette l'interdipendenza tra le due componenti e l'indagine critica di nuove forme di co-esistenza. È in quest'ottica che agiscono molte sperimentazioni portate avanti dai progettisti contemporanei che si interfacciano con le discipline più all'avanguardia e con sistemi tecnologici avanzati, ma che rivalutano anche tecnologie tradizionali e forme di artigianato contemporaneo, mediando la dimensione del fare con la cultura, le istanze umane, sociali e ambientali. In linea con questi mutamenti, negli spazi di ricerca più avanzati del design, è possibile vedere materiali innovativi, tecniche di fabbricazione avanzata, strumenti autocostruiti, affiancarsi a processi riflessivi, metodi sperimentali e narrazioni transmediali, con l'obiettivo di "disvelare" le possibilità impensate che la tecnologia può esprimere, specchio di nuovi modi di essere, agire e pensare. Ad esempio, Claudia Pasquero e Marco Poletto nel loro EcologicStudio a Londra, sperimentano ipotesi di continuità interspecie nelle città del futuro (Fig. 13), attraverso installazioni urbane basate su promettenti forme di utilizzo di organismi viventi (come microalghe, muffe e funghi) e su rapporti cibernetici tra architetture, ambiente e diverse comunità attraverso l'uso dell'Internet of Things. Il loro intento è «quello di rendere più trasparenti, o più visibili, i sistemi di trasformazione del cibo, delle risorse, dei materiali», poiché fare progetto «non significa più

FIG. 13  
BIT.BIO.BOT, EcologicStudio, 2021.  
Esperimento per la coltivazione domestica di microbiomi urbani. L'installazione esplora infatti la coesistenza tra uomini e altri organismi in una sfera urbana post-pandemica in cui, attraverso le nuove biotecnologie, sarà possibile trasformare gli inquinanti nell'aria e nell'acqua in sostanze nutritive per le alghe. Se agiamo collettivamente infatti, ci sarà meno rischio che ecologie virali raggiungano i nostri corpi attraverso catene del cibo insostenibili e atmosfere inquinate.



interessarsi solo della forma, della struttura o della morfologia, ma anche della morfogenesi dell'oggetto e della città, compresi i flussi energetici e materiali che li definiscono. Occuparsene significa renderli più evidenti a tutti» (Valenti & Pasquero, 2021, p.45). Proprio come in natura l'estetica è una misura dell'intelligenza ecologica, anche nelle loro opere l'estetica è espressione dei processi, è linguaggio visivo del loro stato e delle trasformazioni materiali, capace di attivare una forte componente di coinvolgimento ed interazione basata sul metalinguaggio dell'arte. Nel descrivere Deep Green (2021), un masterplan ecologico che usa l'intelligenza artificiale per elaborare strategie innovative di *re-greening* urbano, di *re-wilding*, di agricoltura urbana e di rigenerazione dei rifiuti, Claudia Pasquero afferma che «possiamo interagire con questi sistemi dinamici naturali o artificiali e leggerli, comprenderli meglio e tramite i sistemi architettonici renderli più espliciti ed eventualmente instillare dei comportamenti positivi. [...] abbiamo ottenuto molto in termini di *'innovation'* ma abbiamo fatto poco in termini di *'design innovation'*. Ovvero: le tecnologie ci sono, forse anche troppe, peccato che non siano state integrate nel contesto sociale e nelle abitudini quotidiane» (Valenti & Pasquero, 2021, p.46). Anche Neri Oxman con il suo team presso il Mediated Matter Group dell'MIT di Boston sperimenta una «filosofia pragmatica che mette insieme uomini, processi automatizzati e natura per trasformare l'architettura in un atto ibrido di costruzione e crescita. Il risultato sono dimostrazioni del tipo di strumenti che sono o potrebbero essere disponibili ad architetti e designer, probabilmente molto prima di quanto pensiamo» (Antonelli & Burckhardt, 2020). Tale metodo, chiamato "Material Ecology", ha portato infatti alla produzione di numerosi prodotti, architetture e sculture ibride che crescono, si comportano e muoiono come esseri viventi, e la cui eleganza estetica è specchio di una nuova ecologia bi-materiale in cui cresciuto e costruito, uomini e artefatti, possono convivere ed interagire grazie ad un uso intelligente delle nuove potenzialità tecnologiche. Maurizio Montalti, dal canto suo, sperimenta all'interno dei laboratori di Officina Corpuscoli – studio di design da lui fondato – «il potenziale di un pensiero artigiano ad alta tecnologia se combinato ad una filosofia *open source* e a processi disegnati su misura» (Ciuffi, 2013). Si tratta delle sue sperimentazioni di *growing design* con il micelio dei funghi, che sfruttano la maggiore accessibilità di conoscenze e tecnologie per la manipolazione della materia vivente fai-da-te. Attività manuali, artigiane appunto che, virate su strumenti e obiettivi contemporanei (o



FIG. 14  
*Mychrome*, Valentina Di Pietro, 2019.  
Sperimentazione di diverse colorazioni e texture per il micelio ottenute miscelando scarti organici specifici oppure utilizzando pigmenti estratti da sostanze naturali.

futuribili), possono aprire alla possibilità, sempre più realistica, di mettere mano e configurare processi che strutturano profondamente la materia per poi diffonderli sotto forma di racconti avvicinabili e avvincenti.

In questa nuova dimensione del progetto, in cui la tecnologia fa da sfondo ad un più generico pensiero del progettista sul mondo, le sperimentazioni tecnologiche e le estetiche che ne derivano si pongono quindi come un "cominciamento", un punto di partenza prima di tutto cognitivo, per ottemperare al «nostro grande compito collettivo [che] non [è] la difesa, ma la costruzione della natura come fondamento della vita umana, e ad operare seriamente nel suo rispetto» (Böhme, 2012, p. 24).

### 1.2.3 Il valore "poetico" del design

Abbiamo visto come, nell'applicazione delle nuove tecnologie, il design si avvale il ruolo di mediatore tra il controllo che la tecnologia esercita sull'individuo e sulla società e le sue potenzialità, anche al di là degli usi per essa definiti. Non è infatti la tecnologia in sé a determinare i suoi usi, ma la posizione ideologica e culturale che li genera, portando spesso il design a prefigurare nuove visioni e scenari alternativi e a progettare, magari sovvertendo le stesse tecnologie, l'esperienza delle nuove realtà immaginate. Tuttavia, se finora l'ideologia classica e modernista ha visto il design come mediatore tra l'evoluzione delle tecnologie e la società capitalistica per soddisfare i bisogni degli individui, con l'avvento delle crisi ecologiche e della traiettoria del "defuturing", il design assume un ruolo politico di mediatore tra la materialità delle cose e il loro significato, includendo tutti gli effetti sul tessuto economico, sociale e ambientale, secondo il desiderio di proporre una radicale trasformazione della società e della cultura. Sono molti i teorici del design (e non solo) che mettono l'accento sul rinnovato ruolo politico della disciplina, portando alle estreme conseguenze il celebre invito di Viktor Papanek per una pratica comune e comunitaria, di condivisione e cooperazione, che assumesse una dimensione socialmente ed ecologicamente responsabile: essi spingono verso una "svolta ontologica" del design, secondo la quale può essere letto non più come un'attività specialistica, ma come carattere essenziale dell'essere umano, come la sua capacità di "essere-nel-mondo" e trasformarlo, adattandolo alle proprie necessità e a quelle di un Pianeta in salute. Il design dunque si avvale della già approfondita



**FIG. 15**  
*Weaving Algae, Axelle Gisserot, 2019. La designer esplora l'uso delle alghe come risorsa sostenibile per la produzione di tinture per tessuti. Il suo progetto mette in campo creatività e sperimentazione non solo per dimostrare l'utilità delle alghe come risorsa alternativa, ma anche per denunciare gli alti tassi di inquinamento dell'industria tessile anche quando le materie prime sono di origine naturale.*

posizione strategica, della sua capacità di orientare i comportamenti e di apportare miglioramenti al vivere contemporaneo, per agire in favore della “vita pubblica”, rimettendo però al centro della stessa nuovi valori. Ad esempio, Arturo Escobar nel definire la sua idea di “design ontologico” (2018), mette in evidenza come nell’era dell’Antropocene ciascuna azione di design ha implicazioni per la creazione della vita, per i tipi di mondi che costruiamo, per come la vita viene prodotta, per cui può diventare un valevole mezzo critico per mettere in discussione la società post-capitalista e i suoi valori, spostando l’attenzione sulle relazioni che includono non solo l’essere umano, ma tutte le specie e l’ambiente che ci circonda. In questo senso si può parlare di Politica Pluriversa (Escobar, 2020), nella quale il design non interviene sul modello di crescita attraverso il pensiero economico tradizionale o le scienze politiche, ma con una prospettiva più ampia che include una discussione antropologica e un dibattito politico sul modo stesso in cui pensiamo la vita, il mondo e cosa fare al riguardo.

«Viviamo in un tempo in cui è più che mai necessario riformulare, riconoscere la trama della Storia attraverso la rivisitazione di alcune categorie filosofiche, storiche, sociologiche e progettuali», così scrive Marco Petroni nelle prime pagine del suo “Studio Formafantasma, il design degli iperoggetti” (2022, p. 19), ad indicare



il vento di crisi profonda – sociale, politica, ecologica –, secondo alcuni irreparabile, che soffia sul mondo e che indica una crisi dei modelli di interpretazione del reale, ma anche delle proiezioni nel futuro. E sempre di più ci si accorda sul ruolo del design, nella crisi – come strumento della modernità, dall’industrializzazione alla globalizzazione – ma anche nella riconfigurazione degli scenari possibili, per affrontare questa crisi. Partendo dall’esempio virtuoso dello Studio Formafantasma (Andrea Trimarchi e Simone Farresin), l’autore disegna il profilo di quello che chiama “il design degli iperoggetti”: non più un design che si limita alla concezione di prodotti o servizi per un mercato saturo, ma che si estende alla trama profonda che lega oggetti, infrastrutture, relazioni e valori: «Il design degli iperoggetti non è contro l’oggetto, ambisce invece a un’evoluzione in aderenza con la complessità del contemporaneo. È un’azione dall’interno, un’opera di scavo e sensibilizzazione che scommette sul design come fattore di trasformazione e cambiamento» (Petroni, 2022, p. 7). Nel suo libro, che ha la compattezza asciutta e tagliente di un manifesto, il teorico e critico del design apre due fronti paralleli: da una parte, si tratta di riscrivere il design, di riaffermare una tensione critica, descrittiva e analitica delle pratiche, di rilanciare il dibattito teorico, e dall’altra, attraverso una convergenza tra teoria e pratica, tra analisi e azione,

**FIG. 16**  
*Weaving Algae, Axelle Gisserot, 2019. La designer sperimenta l'uso di alghe come materia prima per produrre differenti tipologie di sottoprodotto per l'industria tessile, dai pigmenti alle fibre, e dimostrare come sia possibile ripensare gli attuali paradigmi industriali. In questa immagine è visibile una delle sue sperimentazioni al telaio dove intreccia filamenti di lana Merino e filamento a base di alghe prodotto in collaborazione con Atelier Luma.*



tra ricerca e sperimentazione – come nel lavoro dei Formafantasma – di ripensare il mondo, anche e soprattutto attraverso il design. Dunque, nella fase che stiamo vivendo, il design, che si relaziona in maniera diretta con la realtà materiale e con il modo in cui la trasformiamo, non va letto solo come strumento strategico in grado di captare i bisogni e i nuovi orientamenti della produzione, ma nella sua dimensione antropologica: nel come lo fa, come da forma e progetta in esso la dimensione umana in forma nuova. In tal senso esso include in sé l'ermeneutica – intesa come continua interpretazione dell'intera esistenza umana – poiché nel fare progetto esso amplia il suo orizzonte dal desiderio del mercato al desiderio del futuro e del possibile diversamente; da concretizzazioni oggettive o statiche a “forme di vita” dell'uomo e della comunità; dalla neutralità ed oggettività delle scienze e delle tecniche a nuove reti e catene di uomo-cosa-processo e di uomo-natura-artificio. Il design assume una valenza poetica, rivalutando la sua componente umanistica, non separata ma complementare a quella scientifica e in grado di concretizzare un alto contenuto di pensiero oltre che di tecnica; e politica, adattando il pensiero progettuale alle mutevoli condizioni del reale e identificando nuove “filosofie dell'agire”.

John Thackara, in un'interessante intervista sulle alghe come nuova “materialità” per il design (2021), afferma che per acquisire un nuovo approccio, lungimirante e consapevole, il design deve approfondire i propri valori umanistici e acquisire una rinnovata consapevolezza nei confronti della complessa realtà contemporanea, la quale, per essere compresa, necessita di una differente capacità di analisi, possibile solo attraverso approcci interpretativi e non capitalizzabili. Con specifico riferimento al rapporto tra uomo e natura, tematica trasversale e sottesa alla sofisticazione delle esigenze e crisi delle società attuali, egli afferma che l'innata transdisciplinarietà del progetto e il suo capillare contatto con la realtà, lo configurano come elemento utile per il passaggio da un mondo governato dalla “metrica” ad uno in cui la “poetica” torna ad avere un ruolo significativo. Infatti, in un contesto in cui la struttura del mondo – e con essa la natura – viene interpretata in termini di numeri e calcolo matematico a causa del prevalere di scienza ed economia, tornare ai valori umanistici attraverso il design significa stimolare un pensiero critico, apertura, flessibilità e creatività, tutte competenze ormai necessarie per un'innovazione conforme alle crescenti complessità di una realtà fluida. La “poetica” presuppone interpretazione dei dati e dei numeri in coerenza con le esigenze umane e del mondo,

portando la cultura umanistica a svolgere un ruolo fondamentale nello sviluppo di un pensiero divergente che superi le dicotomie tra scienza e filosofia e che riporti allo sviluppo di idee e strategie anticipatrici derivanti non solo da aspetti razionali, ma anche antropologici e intrinsecamente umani. Ci viene in aiuto in tal senso il significato della stessa parola “poetica”, che analizzata nella sua accezione classica di “*poiesis*”, include in sé un pensiero sul mondo e la capacità di vedere oltre gli aspetti più pratici e funzionali: Platone nel Simposio la identificava come “qualsiasi causa capace di addurre una cosa dal non essere all'essere”, dunque si ha poiesis ogni volta che qualcosa viene portato alla luce della presenza (assume cioè una forma). I greci distinguevano la poiesis dalla praxis e come spiega Agamben (2022/1970) «il carattere essenziale della *poiesis* [era] nel suo essere un modo della verità, intesa come disvelamento», dunque superiore alla praxis che invece indica l'azione umana in generale. Tuttavia fondamentale è ricordare che etimologicamente la parola si identifica con il “fare” e il “creare”, non con un pensiero teorico ma progettuale, con il processo che c'è dietro il significato e l'espressione di una determinata concretizzazione (artistica) e che ne caratterizza l'essenza in un ambiente culturale di riferimento. Dunque la “*poiesis*” presuppone produzione (dal latino *producere*, composto dal prefisso verbale *pro*, “fuori”, “avanti”, e dal verbo *ducere*, “condurre”), il condurre qualcosa “fuori” o “avanti” dal non essere all'essere, rendere tangibile un pensiero: non a caso, Platone considerava la *poiesis* complementare alla *technè* (la tecnica) ed insieme costituiscono l'arte; la prima perché dà forma al pensiero, la seconda perché intesa non semplicemente come la capacità (“l'arte”) di eseguire correttamente un processo, ma come responsabilità deontologica di portare alla giusta espressione del pensiero.



FIG. 17  
*Spirulina Culture in Chad. Molte filiere del cibo tradizionali mostrano una simbiosi tra uomo e natura che va al di là delle semplici esigenze di produzione e consumo. Ne è esempio la produzione di alga spirulina in Chad, in cui fattori ambientali, uomo e ambiente costituiscono un micro-sistema di produzione, raccolta e rigenerazione.*

## 1.3 Assiologie profonde

*«Oggi possiamo pensare soltanto entro il vuoto dell'uomo scomparso. Questo vuoto infatti non costituisce una mancanza; non prescrive una lacuna da colmare. Non è né più né meno che l'apertura di uno spazio in cui finalmente è dato di nuovo pensare»*  
(Focault, 1996, pp. 367-368) [15]

17. Qui Focault (1996) si riferisce al crollo dei valori assoluti dell'Umanesimo (dunque della Modernità) e con essi l'idea di Uomo al centro dell'Universo, che lascia un vuoto di certezze e valori, ma che "ci libera" anche spazio per ri-pensare il mondo e la produzione umana su nuovi paradigmi e presupposti derivanti da un'indagine critica e continua della realtà.

Se finora abbiamo discusso di come l'estensione del design abbia rivalutato e trasformato il ruolo della disciplina a strumento strategico per adattarsi e fronteggiare i continui stati di passaggio (nelle fenomenologie ibride), nonché a strumento dialogico utile ad analizzare e comprendere la loro rapidità e profondità (nelle ontologie multiverse), il capitolo ora si conclude esplicitando il motivo per il quale una dimensione "decostruzionista" del design possa essere importante in un tale contesto. In particolare le istanze della contemporaneità (come la sostenibilità ambientale, il corpo tecnologico, la biologia sintetica, la robotica e l'intelligenza artificiale) richiedono un *surplus* di dimensione critica e di sofisticazione delle risposte, da portare il design e la trasversalità della disciplina a porre l'accento sul mutamento dei valori (1.3.1 Il tema della vita; 1.3.2 Verso una sostenibilità "profonda"), oltre che su quello dei linguaggi e sull'innovazione. È necessario cioè un diverso approccio e stato mentale, cominciando a vedere le cose diversamente per renderle diverse, "decostruendo" l'immaginario ed occupandolo con nuove idee e valori. Crollati infatti i riferimenti assoluti dell'Umanesimo e la "solidità" della moderna società industriale, si apre al design un nuovo terreno fertile, in cui la libertà di ideazione e pensiero si combina con la possibilità di "mettersi in ascolto" delle emergenze contemporanee, per rispondere con il progetto alla domanda che da essi viene. Come afferma Latour (2009), nel momento in cui la portata di ciò che deve essere rifatto diventa infinitamente grande, anche il design si riveste del mantello della moralità: la dimensione etica che gli è propria, si estende oltre l'*appeal* di un prodotto, ma fa riferimento ad un più ampio insieme di principi (1.3.3 Il valore morale del design).

FIG. 18-19-20  
*Post-Natural History, Vincent Fournier, 2012. Enciclopedia speculativa delle nuove specie biologiche fabbricate dall'uomo per adattarsi maggiormente all'ambiente costruito.*

### 1.3.1 Il tema della vita

La prospettiva post-antropocentrica, la questione della sostenibilità, l'artificio che irrompe nella nostra vita dotato di qualità viventi (ad es. robotica e intelligenza artificiale) o nella biologia nostra e degli altri (ad es. biotecnologie e biologia sintetica) e molto altro, riportano il tema della vita al centro della discussione pubblica. Oggi infatti, possiamo affermare di vivere nell'Era della Biorivoluzione, in cui il confine tra biologico e artificiale, "nato" e "costruito" svanisce sempre di più, sullo sfondo di tecnologie sempre più sofisticate che arrivano a ricreare la stessa vita. Secondo il McKinsey Global Institute (2020), la Biorivoluzione sarà caratterizzata dai progressi nelle scienze biologiche, combinati con l'accelerazione dello sviluppo dell'informatica, dell'elaborazione dei dati e dell'intelligenza artificiale. Essa inoltre, avrà un impatto significativo in tutti i settori, dalla produzione alimentare e di beni all'assistenza sanitaria, modificando i modelli di *business*, le catene del valore e le pratiche di progettazione. Tuttavia, più in generale, la Bio Rivoluzione si riferisce sia all'insieme delle nuove possibilità tecnologiche per l'ingegnerizzazione della materia vivente, sia a una sorta di "processo inverso" in cui sofisticate innovazioni tecnologiche ci riportano a modelli biologici: i meccanismi del vivente cessano di essere semplici modelli teorici, ma si affermano come leggi operative, applicate in modo trasversale a quasi tutti i settori dell'attività umana (Kelly, 1994). Dunque, possiamo facilmente immaginare come discutere di design nel contesto della Bio Rivoluzione equivale ad estendere il discorso ad un pensiero "cosmopolitico" rivalutando l'etica e la morale di ciascuna azione. Il concetto del "buon design - cattivo design", inizialmente confinato a prodotti più-o-meno attraenti o più-o-meno *user-friendly*, si estende ora ad una discussione più ampia, che spazia dall'ontologia della stessa disciplina al rapporto dell'uomo che co-abita il mondo con una varietà di entità ontologiche - specie, nuove specie, aria, inquinamento, intelligenze artificiali, materiali e persino divinità - incluse come parametri o elementi negli stessi progetti. Da un lato, manipolazioni genetiche, riscrittura del DNA, nanotecnologie e organi artificiali (per dirne alcune) accrescono la già crescente preoccupazione per il destino della vita; sia perchè la rendono schiava del commercio e dell'economia come mai prima d'ora (basti pensare al *business* che si nasconde dietro i dati genetici), sia perchè manipolano e influenzano i nostri corpi e la materialità delle altre creature, andando ad influire sulla loro (finora) naturale evoluzione. Dall'altro, emerge una rinnovata consapevolezza



della dimensione ontologica del progetto in grado di trasformare il modo stesso in cui pensiamo la vita e concepiamo la realtà, rendendolo chiaro e tangibile alla collettività.

Escobar (2018) afferma che oggi assistiamo a due cambiamenti principali: una crescente preoccupazione per il destino della vita, ponendola al centro di ciò che facciamo e pensiamo; e una rinnovata consapevolezza che tutto ciò che progettiamo ha una dimensione ontologica, vale a dire che ciascuna azione di design ha implicazioni per la creazione della vita, per i tipi di mondi che costruiamo, per come la vita viene prodotta. Il tema della vita dunque, sia che la si intenda come vita umano-biologica da preservare, sia che ci si riferisca ai modelli di vita e di comportamento da ripensare, diviene preponderante e si pone al centro della progettazione diversamente da quello della produzione e della crescita economica, invitandoci ad operare sul ruolo decisivo delle interconnessioni che caratterizzano il funzionamento e sostentamento del sistema della vita. Tuttavia, come già chiaro nelle intenzioni dell'oncologo Van Rensselaer Potter, che diffuse il termine "bioetica" dagli anni '60, parlare di vita implica una nuova saggezza caratterizzata da una prospettiva globale, interdisciplinare e che riguarda l'umanità nel suo complesso, comprendendo quindi anche la dimensione ecologica quale insieme delle risorse utili alla sopravvivenza della specie umana (Ten Have, 2020). Il tentativo della prima bioetica (più attuale che mai), era infatti quello di stabilire un ponte non solo verso il futuro, reso incerto dallo sviluppo di potenti biotecnologie, ma anche tra le scienze della natura e le scienze umane, incluse etica e filosofia. Ciò presuppone anche la facoltà di prendere decisioni e azioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili. Agire in modo anticipante infatti, significa modificare il proprio comportamento attuale per affrontare le situazioni future, preparandosi proattivamente al domani. Quando infatti, in un contesto come quello attuale, i cambiamenti sono in costante accelerazione, presentandosi in forme nuove e inattese, risulta fondamentale ampliare i propri orizzonti e approfondire i possibili percorsi che collegano il presente e il futuro. L'incertezza e la molteplicità di soluzioni che caratterizzano questa attività, ci invitano dunque ad assumere un approccio sperimentale al cambiamento, in grado di auto-correggersi al variare delle condizioni senza perdere di vista l'intenzione del progetto. Al di là della sorprendente analogia con il principio di "auto-correzione" dei processi trasformativi della natura, questo concetto ci permette, come designer, di influire positivamente sul sistema della vita.



Se infatti quest'ultimo, come afferma Escobar (2018), è dato da un insieme di relazioni di interdipendenza, portando di volta in volta a configurazioni multiple di interazione, allora l'unica attitudine possibile in cui pensare l'etica e la politica è quella sperimentale. Ciò ha implicazioni per il design come pratica che, nel cercare di riparare i legami con l'intero tessuto della vita, dovrà necessariamente immergersi in un territorio sperimentale di investigazione, nutrito sia dalla pratica scientifica che dalla conoscenza umanistica, attraverso il quale reinterpretare la realtà, implementare migrazioni di pensiero e superare le dicotomie della modernità tra umano-non umano, soggetto-oggetto, scienza-politica.

### 1.3.2 Verso una sostenibilità "profonda"

Oggi che non è più possibile ignorare la complessità degli ecosistemi e quella della globalizzazione, l'umanesimo del design assume un ruolo centrale nella ridefinizione attuale dell'etica nelle problematiche ambientali, che implica un modo di pensare e di mettere in atto un processo progettuale in modo sistemico, e ci immette nelle dinamiche dell'interrelazione. In altri termini, cambia il concetto di sostenibilità assieme a quello di natura e di vita e lo stesso pensiero ecologista perde i connotati universali, si contestualizza e si fa plurale: le forme in cui si declina l'etico si ampliano, dall'uomo all'animale, all'ambiente, alla rete, alle differenze sessuali e culturali, e estende lo statuto di soggetto morale e giuridico ad enti non umani (Fiorani, 2010). Da un punto di vista prettamente ambientale, emerge un'ecosofia o "ecologia profonda" interessata alle doman-

FIG. 21  
*Growth Assembly, Alexandra daisy Ginsberg & Sacha Pohflepp, 2009. Le designer immaginano un futuro in cui la biologia sintetica permetterà di produrre i nostri cibi in ambienti naturali, i negozi evolvono in orti condivisibili e la produzione di beni di consumo suocera gli attuali standard industriali per tornare ai vecchi modi di fabbricare.*

de filosofiche fondamentali sul ruolo della vita umana come parte dell'ecosfera, distinguendosi così sia dall'ecologia come branca delle scienze biologiche, sia dall'ambientalismo meramente utilitaristico basato sul benessere dei soli umani. Questo approccio porta una nuova interpretazione del "sé" derivante dalla de-enfatizzazione della dualità razionalista tra l'organismo umano e il suo ambiente naturale, permettendo così di rivolgere l'attenzione al valore intrinseco delle altre specie, dei sistemi e dei processi naturali. Come afferma Arne Naess (1973), padre dell'ecosofia, vi è una relazionalità intrinseca tra l'uomo e la natura, e se vogliamo recuperare equilibrio e sostenibilità, dobbiamo sviluppare una visione completa o totale del mondo e delle cose, che vada oltre motivazioni superficiali ed essenzialmente antropocentriche come l'inquinamento, la distruzione della biodiversità o lo sfruttamento delle risorse, in cui alla natura viene conferito un significato solamente strumentale in termini di uso e abuso da parte dell'essere umano. Dunque, anche il design, se vuole consentire futuri preferibili attraverso le nuove tecnologie, dovrà porsi come interprete non solo degli avanzamenti tecnologici, ma soprattutto di questa nuova visione simbiotica dell'Universo e stimolare attraverso scenari e concept di prodotto, nuovi modelli culturali e forme di pensiero in grado di innescare un cambiamento sistemico nel nostro modo di esperire il mondo. Per fare ciò necessita di un coinvolgimento interdisciplinare, di un confronto tra chi immagina il futuro e chi lo implementa, tra chi studia la realtà e chi la plasma e trovare uno o più elementi di sostenibilità che diano spessore al progetto e valore all'innovazione.

### 1.3.3 Il valore morale del design

Il cambiamento nella scala dei valori, fa del design non tanto il referente privilegiato per ripensare i consumi e la produzione in forme etiche, ma lo rende componente critica in grado di mettere in discussione e riconvertire strategicamente lo stesso sistema produttivo e la stessa cultura dei consumi: mettendo in atto "mediazioni"; dando forma a nuovi valori; aprendo nuove opportunità di sviluppo sostenibile che per esempio le nuove tecnologie della conoscenza e quelle relative agli sviluppi delle nano e biotecnologie offrono. Non si tratta di ripensare radicalmente il sistema ma, come afferma Latour (2009), di coniugare finalmente materia e morale, etica ed estetica: progettare qualcosa, non solleva solamente la questione semiotica relativa alla significazione ma anche una questione di ca-

rattere normativo, relativa al "buon-cattivo design". «Per questo è così importante parlare di design e non di costruzione, creazione o fabbricazione. [...] Questo è vero per le manipolazioni del DNA, come per il controllo del clima, per i *gadget*, per la moda, per le città o per i paesaggi naturali – un caso perfetto di design dall'inizio alla fine» (Latour, 2009, p.261). In particolare, il passaggio ad un ruolo strategico, politico e morale del design nasce a seguito soprattutto del complessificarsi della realtà a causa di fenomeni di portata globale come la crisi climatica. Nel passaggio dall'oggetto alla cosa (approfondito nel primo paragrafo) infatti, gli artefatti diventano concepibili come complessi assemblaggi di questioni contraddittorie piuttosto che come entità a se stanti e, nel momento in cui le cose sono prese in considerazione per verificare se sono ben o mal progettate, allora esse non appaiono più come "materie di fatto", ma come "materie in questione", ovvero "materie del contendere" e "materie di preoccupazione", intorno alle quali si generano controversie, ma che suscitano anche interesse e apprensione. La diffusione del design sino a ciò che definisce internamente le cose, porta dunque con sé non solo la significazione (1.1 Fenomenologie ibride) e l'ermeneutica (1.2 Ontologie multiverse), ma anche la moralità «Ciò è di enorme rilevanza dato che se cominci a riprogettare città, paesaggi, parchi naturali, società, così come geni, cervelli e chip, nessun designer potrà permettersi di nascondersi dietro la vecchia protezione delle "materie di fatto". Nessun designer potrà rivendicare: "Sto solo constatando ciò che esiste" o "Sto semplicemente traendo le conseguenze delle leggi della natura" o "La matematica non è un'opinione". Grazie all'estensione del design che lo porta a divenire rilevante in ogni ambito, i designer si rivestono anch'essi del mantello della moralità. [...] la dimensione normativa, intrinseca al design, offre un buon appiglio grazie al quale è possibile estendere la questione del design alla politica. Una politica delle "materie di fatto" e degli oggetti è sempre sembrata alquanto forzata; una politica di cose e questioni progettate è in qualche modo più accettabile. Se le cose o, piuttosto, "*das dinge*", sono assemblamenti, raduni, come Martin Heidegger le definiva, allora il passo da qui alla considerazione che tutte le cose sono il risultato di ciò che in Scandinavia è chiamata "design partecipativo" è breve. Tale attività di design partecipativo è infatti l'effettiva definizione della politica delle "materie in questione", dato che tutti i progetti di design sono progetti partecipativi, anche se in alcuni casi i partecipanti non sono tutti visibili, benvenuti e attivamente partecipi» (Latour, 2009).

## Le nuove attitudini del design

### Esperimento 1

Il primo capitolo indaga l'estensione del ruolo del design a strumento strategico, "poelitico" e morale in un contesto, quello della postmodernità, in profonda e rapida trasformazione. In particolare, viene posto l'accento su una progressiva convergenza dei domini della natura e dell'artificio, data la potenzialità quest'ultimo di assumere sempre più i tratti del biologico e della natura di essere riprogettata fin dentro le sue fibre più profonde. Tale convergenza porta il progetto a porsi di fronte alle sfide della contemporaneità in prospettiva culturale prima ancora che tecnologica, facendosi catalizzatore di nuove visioni e valori alimentati dallo sviluppo del pensiero scientifico e da teorie filosofiche post-antropocentriche. Si configura così un nuovo umanesimo che si incontra con la cultura del progetto e che porta quest'ultima ad assumere un atteggiamento "decostruzionista", inteso come volontà di andare oltre le dualità del passato e i valori dal fondamento certo, ripensando in chiave critica il rapporto con gli oggetti, l'approccio ai processi e il ruolo stesso della disciplina a fronte di un'interrelazione sempre più fitta tra i diversi aspetti della realtà.

Ciò è tanto più evidente nel momento in cui occorre interrogarci sulla nostra capacità di gestire le reali ricadute dell'"onnipotenza" tecnologica, ancorchè si utilizzino strumenti progettuali o processi non tradizionali, bensì ad altissimo livello di sofisticazione scientifica come ad esempio quelli di biofabbricazione: in fondo, manipolazioni genetiche, riscrittura del DNA, nanotecnologie, fabbriche di batteri e organi artificiali non sono altro che esempi di design dall'inizio alla fine.

A partire da questi presupposti, è stata realizzata una prima esperienza di confronto collettivo e multidisciplinare dal titolo "Biovision of the Future. Discuss life through design" (Fig.1), con l'obiettivo di stimolare una dimensione più critica della cultura del progetto, che sia in grado di ascoltare e sintetizzare più punti di vista (che vadano oltre quello individuale del designer che collabora con lo scienziato per implementare una biotecnologia o per esplorarne le dimensioni sociali) e che guardi al futuro della Biofabbricazione attraverso considerazioni meno tecno-centriche, ma più morali,

etiche, naturali e di concentricità dell'uomo con la natura.

La biofabbricazione infatti, intesa come reinvenzione pragmatica dei processi industriali esistenti attraverso la biologia, è considerata da molti progettisti come rimedio ecologico, svolta tecnologica, opportunità economica e rivoluzione industriale e manifatturiera, in grado di far fronte tanto agli effetti ambientali dell'Antropocene, tanto al fallimento dei primi movimenti verdi nel mobilitare il cambiamento. Progettando con il vivente, industrie e start-up possono potenzialmente sfidare il modo in cui vengono realizzati i prodotti di consumo e migliorare i loro cicli di vita: Ecovative (US) ad esempio, è una nuova start-up che produce packaging biodegradabili cresciuti dal micelio dei funghi; Ginkgo Bioworks (UK) tinge i suoi tessuti con un pigmento prodotto da batteri geneticamente modificati; Bolt Threads (US) produce seta di ragno nutrendo con lo zucchero lieviti ingegnerizzati. Allo stesso tempo, la stampa, i film e le mostre di design, immaginano come l'evoluzione della Biofabbricazione ci porterà ad esempio a consumare carne prodotta in vitro e/o



Fig. 1 – Flyer dell'evento

stampata in 3D (Van Mensvoort, 2014); ad illuminare le strade attraverso alberi bioluminescenti (Estève, 2006); o a ricoprire gli edifici delle città di alghe in grado di purificare l'aria e di canalizzare l'acqua piovana in maniera

ottimale (Malik et al., 2019). Tuttavia, ciò che rimane irrisolto è lo spazio in cui operano queste alternative, dominato da un sistema capitalistico che richiede una crescita continua; da un modo essenzialmente antropocentrico

di affrontare la questione ecologica e da un sistema scientifico-fattuale che limita la nostra immaginazione a cosa possiamo fare con la tecnologia senza contemplare il perché dovremmo farlo. Inoltre, produrre utilizzando sistemi biologici, significa creare altre forme di vita autonome, imprevedibili e mutevoli. Ciò necessita di una revisione, soprattutto se fatto ancora una volta per proteggere noi stessi con la tecnologia e non in ottica sistemica, ecologica ed equa nei confronti di tutta la biologia. Il rischio infatti, è quello di ritrovarci in futuro con le stesse problematiche ambientali e sociali di oggi, se non peggiori, andando ad influire sulla (finora) naturale evoluzione del nostro pianeta (Ginsberg & Chieza, 2018).

In "Biovision of the Future. Discuss life through design" (QRcode1) esperti di diversa natura e disciplina sono stati coinvolti in una tavola rotonda su questi temi ed invitati ad un dialogo critico e partecipativo attraverso diversi filtri di coinvolgimento, contemplando anche contributi visuali di introduzione al tema (QRcode2), in grado di stimolare l'elaborazione di scenari e nuove sinestesie di pensiero. Inoltre, nella prima parte di "critical thinking" ciascun partecipante è stato invitato a condividere le proprie ricerche e il proprio punto di vista riguardo le tematiche in questione attraverso interviste mirate, al fine di sviluppare una visione condivisa

del cambiamento in atto, in grado di spiegare come la (bio) tecnologia stia rimodellando gli scenari, cambiando le nostre vite e innescando nuovi interrogativi. Nella seconda parte di “critical roundtable” invece, gli esperti si sono confrontati in maniera libera, in una sorta di brainstorming, cercando di delineare teorie, metodi e processi per modellare la transizione verso futuri preferibili.

Le figure coinvolte sono state:  
**Stefano Marzano**, ex Chief Design Officer di Philips Design, che ha accompagnato tutto il percorso di tesi, in qualità di architetto e designer  
**Roberto Poli**, professore in sociologia e cattedra UNESCO sui Sistemi Anticipanti, in qualità di futurista  
**Mauro Magatti**, professore in sociologia e fondatore dell'Archivio della Generatività Sociale, come sociologo-economista  
**Leonardo Caffo**, filosofo, fondatore di Waiting Posthuman Studio e docente in ontologia del progetto, in qualità di filosofo  
**Carmelo De Maria**, ricercatore presso il centro di ricerca “E.Piaggio” di Pisa (Bioprinting & Biofabrication Group), con il quale è proseguita la collaborazione per la parte sperimentale della tesi, in qualità di bioingegnere  
**Mons. Carlo Maria Polvani**, sottosegretario al Pontificio Consiglio della Cultura, come religioso [1]  
**Francesco Morace**, professore in sociologia e fondatore di Future Concept Lab, come sociologo

La multidisciplinarietà e l'integrazione tra differenti punti di vista ha reso possibile delineare, quale risultato del dibattito, alcune possibili “filosofie dell'agire” che tenessero conto tanto dei nuovi approcci alla comprensione ecologica, tanto di nuove prospettive di cambiamento sistemico verso futuri preferibili. In particolare, possiamo riassumere tali filosofie in cinque attitudini, elaborate in un secondo momento e intese come linguaggi, comportamenti e modalità di approccio alla realtà che mettono in discussione quelli che hanno caratterizzato le rivoluzioni precedenti (e che sotto il segno dell'*hybris* hanno portato alle crisi attuali) per affrontare la nuova rivoluzione in maniera cauta e attenta (Fig.2).

**ANTICIPAZIONE** l'anticipazione, deriva dagli studi di futuro ed è il terzo e più sofisticato livello di indagine, dopo i più tradizionali livelli di “forecasting” e di “foresight”, intesi rispettivamente come l'extrapolazione statistica di futuri plausibili e la visualizzazione di futuri possibili attraverso la costruzione di scenari. L'anticipazione ingloba i due modelli precedenti e li traduce in decisioni e azioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili. Agire in modo anticipante infatti, significa modificare il proprio comportamento attuale per affrontare le situazioni future, preparandosi proattivamente al domani (Poli, 2019). Quando

infatti, in un contesto come quello attuale, i cambiamenti sono in costante accelerazione, presentandosi in forme nuove e inattese, risulta fondamentale ampliare i propri orizzonti e approfondire i possibili percorsi che collegano il presente e il futuro. L'incertezza e la molteplicità di soluzioni che caratterizzano questa attività, ci invitano dunque ad assumere un approccio sperimentale al cambiamento, in grado di auto-correggersi al variare delle condizioni senza perdere di vista l'intenzione del progetto. Al di là della sorprendente analogia con il principio di “auto-correzione” dei processi trasformativi della natura, questo concetto ci permette, come designer, di influire positivamente sul sistema della vita. Se infatti quest'ultimo, come afferma Escobar (2018), è dato da un insieme di relazioni di interdipendenza, portando di volta in volta a configurazioni multiple di interazione, allora l'unica attitudine possibile in cui pensare la politica è quella sperimentale. Ciò ha implicazioni per il design come pratica che, nel cercare di riparare i legami con l'intero tessuto della vita, dovrà necessariamente immergersi in un territorio sperimentale di investigazione, nutrito sia dalla pratica scientifica che dalla conoscenza umanistica, attraverso il quale reinterpretare la realtà, implementare migrazioni di pensiero e superare le dicotomie della modernità tra umano-non umano, soggetto-oggetto, scienza-politica.



Fig. 2 – Relatori

**PREVENZIONE** direttamente connessa all'anticipazione, la seconda attitudine della prevenzione mira a sottolineare l'importanza di allontanarsi da un approccio reattivo, dispendioso e poco efficiente, al fine di favorire la mitigazione degli impatti, la gestione delle criticità e lo sfruttamento delle opportunità

che possono presentarsi. Per tali ragioni risulta importante includere nella pratica progettuale tanto la consapevolezza critica, tanto la riflessione strategica. Nel primo caso, si intende la capacità di analizzare le situazioni in maniera critica in relazione al valore che vogliamo dare ad un progetto o un'azione, andando ad

indagare anche il lato oscuro di ciò che stiamo facendo. In tal senso, la dimensione normativa del design è ora estesa ad un discorso politico più ampio, coniugando definitivamente materia e morale (Latour, 2009): nel momento in cui cominciamo a riprogettare geni, cervelli e chip, nessun designer potrà più nascondersi dietro

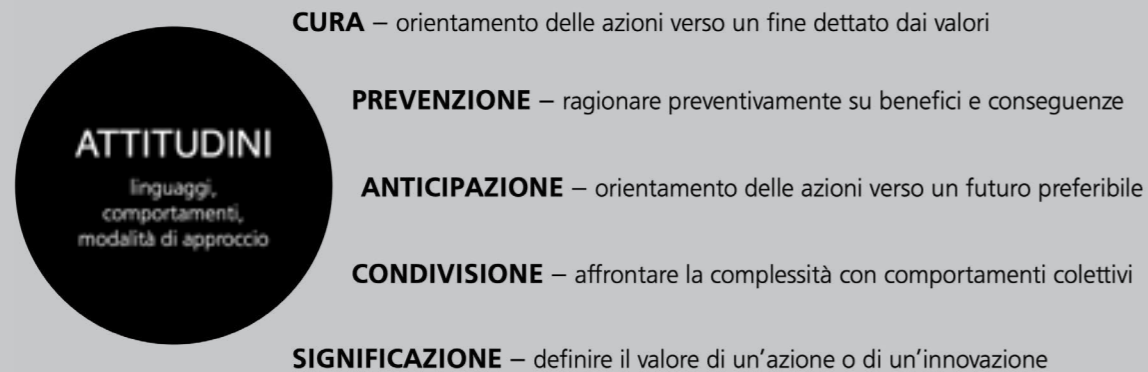


Fig. 2 – Schema attitudini quali nuove “filosofie dell’agire”

le certe “materie di fatto”, ma dovrà esplicitare tanto i benefici, quanto le possibili conseguenze indesiderate. Dovremmo progettare il “risk-management dell’innovazione” (Marzano, 2022), applicando ad essa la riflessione strategica. Quest’ultima, utilizzata prevalentemente in contesti aziendali, si prefigura come un flusso continuo di indagine critica di se stessa e del contesto di relazioni in cui si trova, che parte dalla valutazione dei rischi che si corrono e dalla comprensione del valore che si vuole creare per elaborare una strategia. Agire in maniera sostenibile e trovare un equilibrio dinamico tra lo sviluppo tecnologico e la protezione dell’ambiente, significa dunque inglobare all’interno del nostro pensiero una valutazione dei rischi e una strategia per mitigarli.

**CURA** la cura, intesa come orientamento delle nostre azioni verso un fine dettato dai valori

che abbiamo deciso di perseguire, sottolinea il necessario carattere di continuità che il processo iterativo di pensiero-azione-critica-pensiero deve avere nel tempo. La cura infatti, come afferma Magatti (2018) non è una questione privata, che riguarda la sfera intima o familiare, ma è un vero e proprio modo di stare al mondo e forse l’attitudine più importante da recuperare, poiché il modello entropico della modernità ci ha fortemente disabituato ad essa. Come sottolineato dalla duplice etimologia della parola, quella latina di “*core dirat*” che significa “scalda il cuore” e quella classica di “*cao*” che vuol dire “vedere”, il tema della cura ha una portata cognitiva, sia nel senso che recupera dimensioni che tendiamo a mettere tra parentesi, sia nel senso che spinge ad apprendere – in un costante rapporto di affezione, ingaggio e impegno – i principi e le relazioni che caratterizzano l’ambiente in cui viviamo.

**CONDIVISIONE** la condivisione, è un concetto che può assumere diverse sfaccettature, ma che in generale, indica la necessità di affrontare la complessità e le sfide contemporanee in maniera condivisa, multistakeholder e multi-disciplinare. Essa fa riferimento alla nuova consapevolezza di abitare un mondo condiviso che, come un sistema dinamico complesso, deve le sue caratteristiche alle relazioni causali, reciproche e interdipendenti tra le parti, piuttosto che alla somma delle stesse (Bridgman, 1927). In tale ottica, le nuove tecnologie vengono rivalutate quale strumento che ci permette di assumere comportamenti collettivi e collaborativi, non solo uomo-uomo, ma anche uomo-artificio e uomo-natura.

**SIGNIFICAZIONE** la significazione è un’attitudine che in realtà ha caratterizzato la pratica

progettuale sin dalla società industriale, quando il suo ruolo era confinato a dare un significato superficiale – sia esso estetico, funzionale, simbolico – ai prodotti ingegneristici. Nel design infatti, c’è sempre un “disegno”, che in italiano implica uno scopo, un valore di un’azione o di un prodotto in rapporto alle ragioni che lo hanno motivato o alle eventuali conseguenze. Tuttavia, con la digitalizzazione e con le bio e nano tecnologie, l’azione progettuale si estende alla stessa materialità, portando il design dal livello degli oggetti, statici e incastrati nella dualità forma-funzione, al livello delle cose, intese nel senso heiddeggeriano di “*das dinge*”, dunque come complessi assemblaggi di questioni contraddittorie. Dunque, nel momento in cui si progetta una cosa oggi, si mobilitano tutti gli strumenti, le competenze e le abilità dell’interpretazione, non solo per permetterne la realizzazione, ma anche per la sua analisi e valutazione critica. L’immagine che ne è venuta fuori è stata dunque una sorta di “nuovo rinascimento” che sulla base di una rinnovata visione del mondo cerca di avventurarsi nella rivoluzione corrente in maniera cauta, incarnando attitudini assenti nei movimenti rivoluzionari precedenti. Il design così, nell’intento di produrre soluzioni innovative e sostenibili (coinvolgendo nel progetto anche la biologia) dovrà analizzare l’intera natura complessa e contraddittoria dei contemporanei

oggetti della progettazione: dovrà ad esempio esplicitarne i benefici, ma rintracciarne anche le conseguenze indesiderate; dovrà assumere una prospettiva strategica, mettendo al centro visione di lungo termine e mitigazione dei rischi; dovrà assumere un approccio sperimentale al cambiamento, in grado di auto-correggersi al variare delle condizioni senza perdere di vista l’intenzione del progetto.

Infine, se è vero che il design si pone al centro di un dibattito “esistenziale” che caratterizza il nostro tempo, è pur vero che il suo ruolo verrebbe meno senza offrire la “concretezza dell’esemplificazione” [2], ovvero la sua capacità di sintetizzare le istanze in prodotti, servizi, sistemi, artefatti tangibili e visibili. Per tali ragioni, quanto emerso è stato poi applicato ad una attività di workshop multidisciplinare e di co-progettazione (che sarà descritto nel Capitolo V). L’obiettivo è offrire visioni e scenari utili ad un dialogo più maturo sulle decisioni del futuro, nella speranza che il contributo si traduca in invito e stimolo ad essere – per tornare a Latour (2009)– “radicalmente attenti, o accuratamente radicali”.

1. il potere legislativo (che norma l’etica) e quello spirituale (che norma la morale) sono stati coinvolti entrambi nelle attività svolte. Secondo Stefano Marzano essi risultano infatti fondamentali per definire i confini (della sostenibilità, della natura, dell’uomo) entro i quali possiamo agire.
2. definizione utilizzata da Roberto Poli in occasione della tavola rotonda.



QRcode1 - Registrazione integrale del roundtable *Biovision of the Future*. *Discuss life through design*



QRcode2 - Video di introduzione al roundtable *Biovision of the Future*. *Discuss life through design*

## GALLERIA Dal villaggio globale al giardino planetario



La prima galleria parte dal pensiero e dalle esperienze – a tutti gli effetti decostruzioniste – di Gilles Clément, perchè in grado di mostrare assieme alle metafore del “giardino” e del “giardiniere”, un nuovo progetto politico e di società, del tutto alieno dai modelli tradizionali e dalle nostre credenze più consolidate, bensì basato su un nuovo modo di osservare il mondo e di concepire la vita. A partire da attente osservazioni della natura, soprattutto di quella incolta, il “terzo paesaggio”, Clément elabora il concetto di “giardino planetario”, una visione post-antropocentrica che vede l'uomo «in posizione di equivalenza biologica con gli altri esseri naturali» (Clément, 2023/2011), parte di processi biologici che lo legano all'ambiente, senza poter vantare nessuna pretesa di superiorità e di dominio. Di conseguenza, il “giardiniere” è colui che è chiamato a costruire una nuova politica creativa che rinuncia al dominio tecnologico sulla natura per assecondarne, invece, la spontaneità dei processi. Scopo dei progetti di Clément è infatti quello di «educare lo sguardo» per una transizione di civiltà verso un mondo vario, interconnesso e rispettoso, che si contrappone all'idea di “villaggio globale” (McLuhan, 2015/1964), basata esclusivamente sull'idea di mondo delle società capitalistiche occidentali e che ne impone le logiche su scala planetaria





01^

### Il «giardino in movimento»

>

Nel «giardino in movimento», la natura non è assoggettata e soffocata dalle briglie di un progetto, di uno schema preconfezionato, e spesso è più prezioso sapere cosa non fare piuttosto che intervenire e aggredire. Si apprende l'arte di agevolare, favorire, incoraggiare, mentre «il gioco delle trasformazioni sconvolge costantemente il disegno del giardino».

02 >



01 *Parco Henri Matisse, Gilles Clément, 1995.* Al centro del parco il progettista colloca un'isola denominata "Ile de Derviborence". Alta sette metri, quest'area diventa un luogo inaccessibile in cui la natura può esprimersi in maniera incontrollata.

02 *I've Heard About, Francois Roce & Stéphanie Lavaux, 2005.* Ipotesi di città futura la cui forma non dipenderà più da decisioni arbitrarie e di pochi eletti, ma si auto-costruirà seguendo una propria logica interna adattata alle esigenze degli abitanti.

03 04 05 *Future Perfect, Judy Natal, 2011.* Focalizzandosi su tre siti: (dall'alto al basso) un laboratorio di ricerca sperimentale, un paesaggio geotermico e una riserva naturale, l'autrice mostra come il continuo assoggettamento della natura da parte dell'uomo ci porterà in futuro a vivere in un mondo vuoto, dove la sola tecnologia ci farà sopravvivere.

03 >



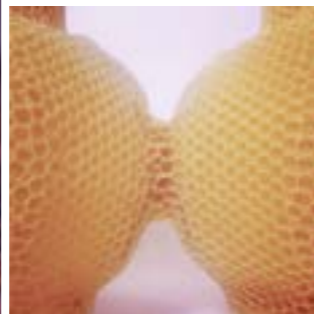
< 04

05 >





01 >



< 02

01 *Algaerium*, Marin Sawa, 2011. Il prodotto contiene alghe ed è pensato per ossigenare gli ambienti domestici e per produrre biofuel. Esso tuttavia è anche elemento decorativo e interattivo, data la capacità delle alghe di variare colore al consumo di CO<sub>2</sub>.

02 *The seed of Narcissus*, Tomàs Libertiny, 2010. Oggetti di diversa tipologia e forma realizzati in collaborazione con le api che, attratte da una forma in vetro altamente riflettente ricoprono la superficie con pattern di crescita e giunture imprevedibili.

03 *The Growing Lab*, Officina Corpuscoli, 2009. Sperimentazioni con il micelio dei funghi e le estetiche che ne derivano.

04 *TETRAPot*, Sheng-Hung Lee, 2015-18. Elementi cementizi per rigenerare gli ambienti acquatici, lagunali e fluviali. Le morfologie sono flessibili, possono fluire nell'acqua e accogliere la vita, ricreando da sé nuovi ecosistemi.



03^

### Il «giardiniere»

>

Il giardiniere è il «guardiano dell'imprevedibile», che ad ogni eventuale visita, potrà nutrirsi delle immancabili dosi di sorpresa che la natura riserva quando si esprime finalmente nella sua pienezza.

04 >





### L' «essenzialità dell'invisibile»

>  
«Ogni uomo, assoggettato alla sua cosmogonia, porta in sé un giardino che traduce il paesaggio e, in secondo piano, l'universo intero. Il fatto che in un luogo di natura controllato e circoscritto coabitino il visibile e l'invisibile costringe a considerare questo luogo, il giardino, come il territorio specialistico dell'anima».

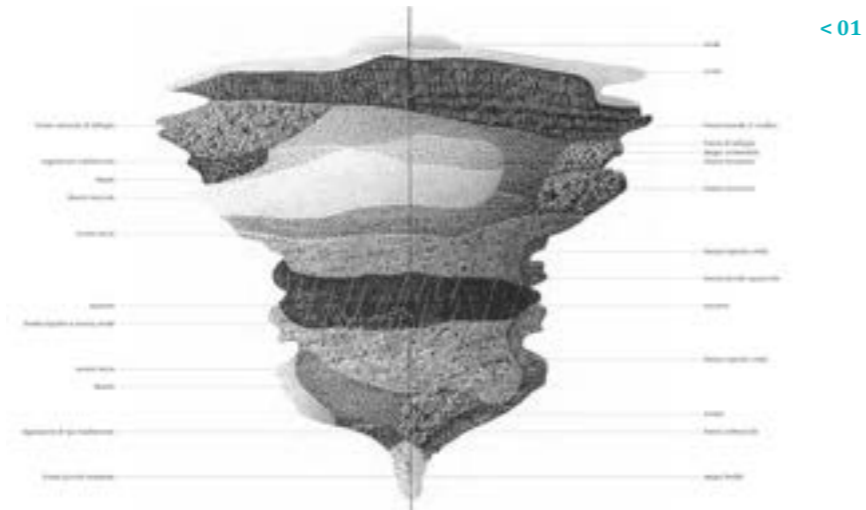


01 *Cartography of the Human Body*, Sonia Bäumer, 2010. Il progetto esplora i batteri presenti sulla pelle e rende visibile alla collettività l'enorme varietà di simbioti che colonizzano il corpo umano e che ci permettono di interagire con l'ambiente.

02 *(In)visible Membrane* by Sonia Bäumer, 2009. Elementi indossabili che nella struttura mimano la flora batterica sulla nostra pelle e che mirano a favorirne la proliferazione per migliorare le nostre condizioni di salute e autoimmunità.

03 *Pathogen Hunter*, Susana Soares, 2009. Dispositivi per la diagnosi fai-da-te e per la prevenzione di epidemie.

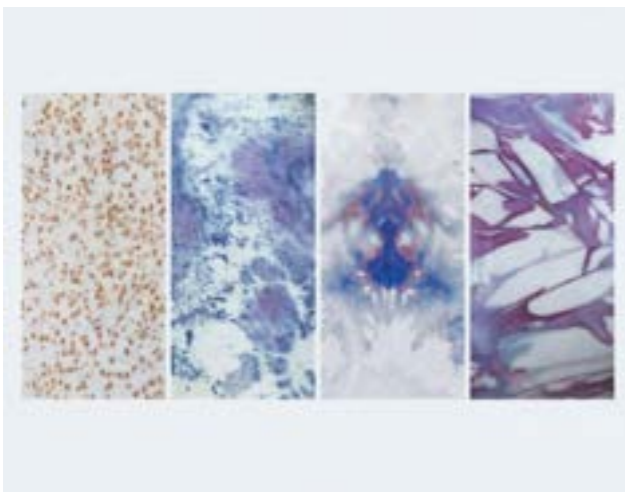
04 *BRUISES\_The Data We Don't See*, Giorgia Lupi 2018. L'infografica mostra le emozioni che risiedono in una mamma che ha da poco scoperto una malattia grave di sua figlia, a sottolineare quanto sia importante tenerne conto.



### Mescolanza e diversità, motori dell'evoluzione

>  
«La mescolanza minaccia la diversità e, nello stesso tempo, produce delle situazioni nuove e degli esseri viventi nuovi. [...] La mescolanza planetaria interessa tutti gli esseri viventi e, soprattutto, quelli dotati di uno spettro biologico più ampio. Sapiens, specie unica del genere Homo, ha uno spettro immenso e mescola le sue varietà naturali [...] ne esce un *métissage* cromatico, accompagnato da caratteri singolari che legano, di differenza in differenza, l'insieme della specie umana».

02v



04 >



01 Il continente teorico, Gilles Clément, 1968. Disegno di Clément che raggruppa le grandi aree climatiche con la loro vegetazione

02 Pili (start-up francese), Fabric Dyes, 2019. Tinture per tessuti protette da più microorganismi

03 04 Totems, Neri Oxman & Mediated Matter Group (MIT), 2019. La ricerca al centro di questo lavoro fonde produzione digitale e design computazionale, dinamica delle reazioni chimiche, politica dell'identità ed etica. In particolare, il progetto indaga sulle implicazioni biologiche e culturali della recente possibilità di produrre artificialmente melanina, pigmento alla base della vita ma anche motivo di disuguaglianze e distinzioni razziali; nonché sulle possibilità applicative nel futuro in campo architettonico, nel design e per la salute pubblica.

## References

- Antonelli, P. (2008). *Design and the Elastic Mind*. Museum of Modern Art
- Antonelli, P. (2019). *Broken Nature. XXII Triennale di Milano*. Milano: Mondadori.
- Antonelli, P. & Burckhardt, B. (2020). *The Neri Oxman Material Ecology catalogue*. Museum of Modern Art.
- Arendt, H. (2009). *Le origini del totalitarismo* (A. Guadagnin, Trans.). Einaudi.
- Augé, M. (2009). *Nonluoghi. Introduzione a una antropologia della surmodernità* (D. Rolland & C. Milani, Trans.). Elèuthera.
- Baudrillard, J. (2003). *Il sistema degli oggetti* (S. Esposito, Trans.). Bompiani. (Original work published in 1968)
- Bauman, Z. (2011). *Modernità liquida* (S. Minucci, Trans.). Laterza.
- Berger, R. (1992). *Il nuovo Golem. La televisione tra simulacri e simulazione*. Raffaello Cortina editore.
- Bill, M. & Sotsass, E. (1945). Design and Theory: Two Points of View. In K.B. Heisinger (Ed.), *Design Since 1945* (pp.1-4). Philadelphia Museum of Art.
- Bodei, R. (2011). *La vita delle cose*. Laterza.
- Braidotti, R. (2020). *Il postumano. La vita oltre l'individuo, oltre la specie, oltre la morte* (vol.1) (A. Balzano, Trans.). DeriveApprodi.
- Böhme, G. (2012). *La natura come compito*. Consorzio per il festivalfilosofia.
- Branzi, A. (2010). Dal concetto di "popolo" al concetto di "moltitudine": verso uno spazio integrato. *Paper presented at Design&Humanities*. Retrieved from: <https://designforculturalheritage.wordpress.com/2010/06/18/design-humanities-contributi/>
- Branzi, A., Linke, A. & Rabottini, A. (2013). *Gli strumenti non esistono. La dimensione antropologica del design*. Johan&Levi.
- Bridgman P. (1927). *The Logic of Modern Physics*. The MacMillan Company
- Buckminster Fuller, R. (2008). *Utopia or Oblivion. The Prospects for Humanity*. Lars Muller Publishers
- Caffo, L. & Muzzonigro, A. (2018). *Costruire futuri: Migrazioni, città, immaginazioni*. Bompiani.
- Ceruti, M. (2011). Prefazione in Morin, E. (2011). *La via. Per l'avvenire dell'umanità* (S. Lazzari, Trans.). Cortina Raffaello
- Ciuffi, V. (2013). Growing design. *Abitare*, 531, 108-111.
- Crutzen, P.J. & Stoermer, E.F. (2000). *The "Anthropocene"*. Global Change Newsletter, 41, 17.
- De Domizio Durini, L. (2005). *Pierre Restany. L'eco del futuro*. Silvana.
- Dennett, D. (2018). *From Bacteria to Bach and Back: the Evolution of Minds*. Penguin
- Derrida, J. (2008). *Psyché. invenzioni dell'altro* (R. Balzarotti, Trans.). Jaca Books.
- Erikson, H. E. (2001). *Infanzia e società medico-psico-pedagogica*. Armando Editori.
- Eco, U. (2013). *Opera aperta. Forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*. Bompiani.
- Escobar, P. (2018). *Designs for the Pluriverse. Radical Interdependence. Auntonomy, and the Making of Worlds*. Duke University Press.
- Escobar, P. (2020). *Pluriversal Politics. The Real and the Possible*. Duke University Press.
- Estévez, A. T. (2007). Genetic Barcelona Project. *Leonardo*, 4. MITPress.
- Fiorani, E. (2010). Per un'antropologia del design. *Paper presented at Design&Humanities*. Retrieved from: <https://designforculturalheritage.wordpress.com/2010/06/18/design-humanities-contributi/>
- Foucault, M. (1996). *Le parole e le cose. Un'archeologia delle scienze umane*. Milano: Rizzoli
- Friedman, K. (2002). Theory construction in design research: criteria approaches, and methods. In J. Shackleton & D. Durling (Eds.), *Common ground: Proceedings of the 2002 Design Research Society International Conference, Stoke on Trent* (pp. 388-414). Staffordshire University Press.
- Fry, T. (2020). *Defuturing: A New Design Philosophy*. Bloomsbury.
- Galimberti, U. (2016). *Psiche e techne. L'uomo nell'età della tecnica*. Feltrinelli.
- Gehlen, A. (2010). *L'uomo: la sua natura e il suo posto nel mondo* (V. Rasini, Trans.). Mimesis.
- Ginsberg & Chieza (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*, 4
- Heiddegger, M. (2014). *Saggi e discorsi*. Ugo Mursia Editore (Original work published 1954).
- Heiddegger, M. (2017). *La questione della tecnica: con un saggio di Federico Sollazzo*. GoWare.
- Haraway, D. (2016). *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*. Duke University Press.
- Kelly, K. (2010). *Quello che vuole la tecnologia* (G. Olivero, Trans.). Codice
- Kroes, P. (2002). Design Methodology and the nature of technical artefacts. *Design Studies*, 23, 287-302
- Kroes, P. & Meijers, A. (2000). *The Empirical turn in the philosophy of technology*. JAI.
- La Rocca, F. & Lucibello, S. (2015). *Innovazione e utopia nel design italiano*. Rdesignpress.
- Latour, B. (2005). From Realpolitik to Dingpolitik. How to Make Things Public. In B. Latour & P. Wiebel (Eds.), *Making Things Public* (pp. 14-43). MIT Press
- Latour, B. (2009). A cautious Prometheus? A few steps toward a philosophy of design. In J. Glynn, F. Hackney & V. Minton (Eds.), *Networks of Design. Proceedings of the 2008 Annual International Conference of the Design History Society* (pp. 2-10). Boca Raton (US): Universal- Publishers.
- Magatti, M. (2017). *Cambio di paradigma. Uscire dalla crisi pensando il futuro*. Feltrinelli.
- Magatti, M. (2018). *Oltre l'infinito. Storia della potenza dal sacro alla tecnica*. Feltrinelli.
- Magatti, M. (2019, November 15). Generatività e dono. Festival della Generosità [Video]. Retrieved from: <https://www.youtube.com/watch?v=lpp2nBJ2Lqk>
- Maldonado, T. (2013). *Disegno industriale: un riesame*. Feltrinelli. (Original work published 1976)
- Maldonado, T. (2022). *La speranza progettuale*. Feltrinelli. (Original work published 1971)

- Malik et al. (2019). Robotic Extrusion of Algae-Laden Hydrogels for Large-Scale Applications. *Global Challenges*, 4(1)
- Manzini, E. & Bertola, P. (2004). *Design multiverso. Appunti di fenomenologia del design*. Edizioni Polidesign.
- Massaro, D. & Grotti, A. (2000). *Il filo di Sofia. Etica, comunicazione e strategie conoscitive nell'epoca di Internet*. Bollati Boringhieri.
- Margolin, V. (2002). *The Politics of the Artificial: Essays on Design and Design Studies*. University of Chicago Press.
- Moholy-Nagy, L. (1972). *Vision in Motion*. Paul Theobald & Co.
- Morin, E. (2011). *La via. Per l'avvenire dell'umanità* (S. Lazzari, Trans.). Cortina Raffaello
- Morton, T. (2018). *Iperoggetti* (V. Santarcangelo, Trans.). Produzioni Nero
- Normann, R. & Ramirez, R. (1993). Strategie interattive d'impresa. Dalla catena alla costellazione del valore Rizzoli.
- Oosterling, H. (2009). Dasein as Design Or: Must Design Save the World?. *Melintas*, 25(1930), 1-22.
- Papanek, V. (2005). Design for the Real World: Human ecology and Social Change. Chicago review Press. (Original work published 1973)
- Poli, R. (2019). *Lavorare con il futuro. Idee e strumenti per governare l'incertezza*. Egea.
- Quinz, E. (2020). *Contro l'oggetto: conversazioni sul design*. Quodlibet.
- Rawsthorn, A. (2018). Design as an Attitude. Jrp Ringier Kunstverlag Ag
- Rigotti, F. (2007). *Il pensiero delle cose*. Apogeo
- Rittel, H. W. J. & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169.
- Schön, D. A. (1984). The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. *Journal of Policy Analysis and Management*, 34(3).
- Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press. (Original work published 1969)
- Sotsass, E. in Bardiani, E. (2002, November 20). *Il "radical design" (e oltre) di Ettore Sottsass in mostra allo Csac*. Retrieved from: <https://www.parmateneo.it/?p=35992>
- Valenti, A. & Pasquero, C. (2021). La seconda vita dei micro organismi. Il design biodigitale per una nuova ecologia dello spazio e del comportamento. *Agathòn*, 9, 42-53.
- Van Mensvoort, K. (2014). *The In Vitro Meat Cookbook*. Laurence King Publishing
- Vattimo, G. & Rovatti, P.A. (2010). *Il pensiero debole*. Feltrinelli
- Vitta, M. (2014). Dall'oggetto all'oggetto. Le radici profonde dell'estetica. In G. Matteucci (Ed.). *Estetica e pratica del quotidiano*. Mimesis
- Wilson, E.O. (1998). *Consilience: The Unity of Knowledge*. Knopf.
- Yaneva, A. & Zaera-Polo, A. (2015). *What Is Cosmopolitical Design? Design, Nature and the Built Environment*. Routledge



FIG. Resurrecting the Sublime, A.D. Ginsberg, 2019.

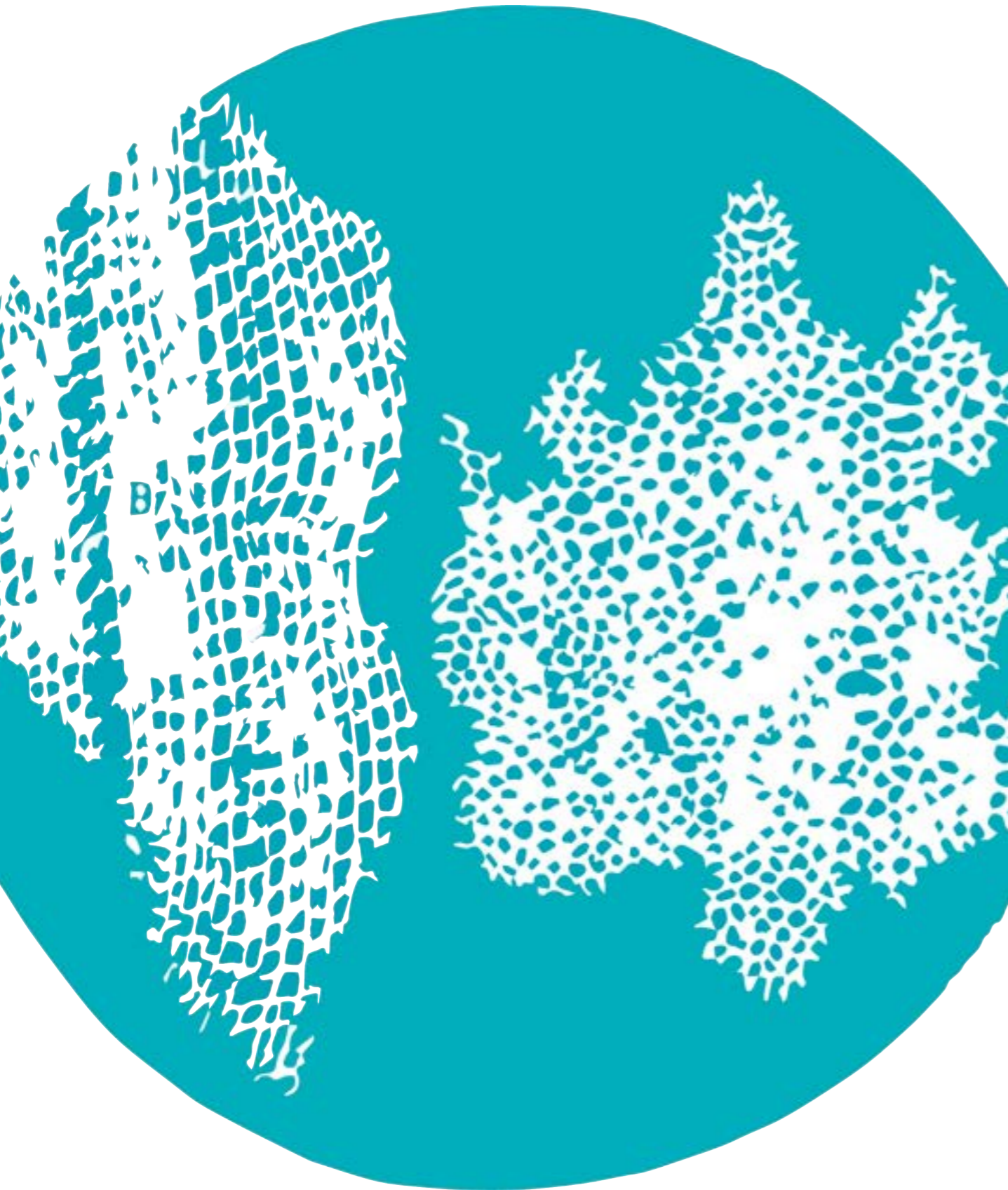
## CAPITOLO 2 Natura e progetto

### ABSTRACT (INGLESE)

*The second chapter explores the relationship between nature and design, a millenary and profound theme, also a mirror of the evolution of the more general relationship between man and the natural environment that surrounds him, as well as the profound changes that affect him in the current perspective post-anthropocentric, allocentric and holistic. In particular, through numerous examples, the transition from a functionalist and pragmatic vision is underlined, which sees nature as a model to be imitated in order to resolve all the contrasts between man, his technical activity and nature; to a plurality of interpretative horizons that accept the irreducible complexity of the man-nature-technique relationship and investigate - through different transdisciplinary hybridizations - the possible points of contact and visions helpful in opening new paths. The three paragraphs are defined by reevaluating and expanding the three points or ways of looking at nature identified by Janine Benyus in defining "Biomimicry", one of the most successful design approaches in recent decades and which looks to nature as a source of inspiration for innovative solutions concerning the broader context in which we live. The choice is not accidental but derives from the desire to intercept a latent deconstruction of the nature-project relationship, due above all to a different way of looking at nature from time to time: from an ideal model of rigour and absolute efficiency to be imitated in the forms, constructive geometries, in processes, in logics (2.1 Nature as a model); an ecological and systemic reference to turn to for the development of more complex and "environmentally correct" solutions (2.2 Nature as a measure); to a collaborator who enters not only the conceptual phase of the project but also the design process, tracing new hybrid scenarios between the organic and the synthetic and questioning our relationship with objects, behavioural models and the usual forms of consumption (2.3 Nature as a mentor).*

### ABSTRACT

Il secondo capitolo esplora il rapporto tra natura e progetto, una tematica millenaria e profonda, specchio anche dell'evoluzione del più generale rapporto tra l'uomo e l'ambiente naturale che lo circonda, nonché dei profondi cambiamenti che lo interessano nell'attuale prospettiva post-anthropocentrica, allocentrica ed olistica. In particolare, attraverso numerosi esempi, viene sottolineato il passaggio da una visione funzionalista e pragmatica, che vede la natura come modello da imitare per poter risolvere tutti i contrasti tra l'uomo, la sua attività tecnica e la natura; ad una pluralità di orizzonti interpretativi che accettano l'irriducibile complessità del rapporto uomo-natura-tecnica e ne indagano – attraverso ibridazioni transdisciplinari differenti – i possibili punti di contatto e visioni utili ad aprire nuove strade. I tre paragrafi sono definiti rivalutando ed espandendo i tre punti o modi di guardare la natura individuati da Janine Benyus nel definire la "Biomimicry", uno degli approcci progettuali di maggior successo negli ultimi decenni e che guarda alla natura come fonte di ispirazione per soluzioni innovative in relazione al più ampio contesto in cui viviamo. La scelta non è casuale, ma deriva dalla volontà di intercettare una latente decostruzione del rapporto natura-progetto, dovuta soprattutto ad un differente modo di guardare di volta in volta la natura: da modello ideale di rigore ed efficienza assoluta da imitare nelle forme, nelle geometrie costruttive, nei processi, nelle logiche (2.1 Natura come modello); a riferimento ecologico e sistemico a cui rivolgersi per lo sviluppo di soluzioni più complesse e "ambientalmente corrette" (2.2 Natura come misura); ad un collaboratore che entra non solo nella fase concettuale del progetto ma anche nel processo progettuale, ricalcando nuovi scenari ibridi tra il biologico e il sintetico e mettendo in discussione il nostro rapporto con gli oggetti, i modelli comportamentali e le consuete forme di consumo (2.3 Natura come mentore).



## 2.1 Natura come modello

*«È che, come le invenzioni umane esistenti sono state anticipate dalla natura, così si troverà sicuramente che nella natura giacciono i prototipi delle invenzioni non ancora rivelate all'uomo. I grandi scopritori del futuro saranno, quindi, quelli che guarderanno alla natura per l'Arte, la Scienza e la Meccanica, invece di essere orgogliosi di qualche nuova invenzione e poi scoprire che esisteva in natura da innumerevoli secoli» [1]*  
(Wood, 1875)

Sin dalle sue origini la cultura del progetto si è basata sull'osservazione della natura e sullo studio dei sistemi viventi, intravedendo nell'armonia delle loro forme e nell'efficienza dei loro meccanismi nuovi modelli per soluzioni tecniche ed espressive. La natura, intesa come un insieme di elementi interagenti e perfettamente configurati in modo finalizzato, viene infatti assimilata ad un sistema progettuale che in miliardi di anni di esperienza e di *trial and error*, abbia accumulato una serie di "prototipi" utili alla progettazione e produzione di nuovi artefatti. Come affermava Steadman (1988, p.209) «l'adattamento e la perfetta corrispondenza dell'organismo all'ambiente in cui esso vive, possono essere paragonati all'armoniosa relazione tra una costruzione e lo spazio circostante e, più astrattamente, alla concordanza tra il design e i vari scopi a cui esso è destinato. Probabilmente tra tutte le scienze, è la biologia quella che prima, più significativamente, affronta il problema centrale della teleologia del design in natura; quindi, per questo motivo, è perfettamente naturale che, fra tutte le scienze, sia quella che debba attrarre l'interesse dei designers».

In particolare, la sofisticazione delle tecnologie e l'evoluzione delle conoscenze biologiche, ha portato nel tempo al fiorire di numerosi approcci che, seppur sempre accomunati da un rapporto di discendenza lineare che applica i risultati conseguiti dalla scienza al mondo degli oggetti, hanno di volta in volta modificato il modo di osservare la natura e – di conseguenza – la natura delle innovazioni. Si passa infatti, da approcci che imitano la biologia e che riproducono

1. Traduzione ad opera dell'autore.  
Testo originale: *«it is, that as existing human inventions have been anticipated by Nature, so it will surely be found that in Nature lie the prototypes of inventions not yet revealed to man. The great discoverers of the future will, therefore, be those who will look to Nature for Art, Science or Mechanics, instead of taking pride in some new invention, and then find that it existed in Nature for countless centuries».*



in maniera esatta le sue forme e i suoi meccanismi in concretizzazioni tecniche (2.1.1 Trasferimenti analogici), a livelli di astrazione più ampi che, talvolta mirano a studiare le risposte fornite dalla natura a determinati problemi progettuali per replicarne l'intima intelligenza (2.1.2 Trasferimenti omologici); talvolta estendono il riferimento biologico alle modalità processuali con cui plasmiamo il mondo materiale e diamo vita a nuove soluzioni (2.1.3 Trasferimenti processuali).

### 2.1.1 Trasferimenti analogici



**FIG. 1**  
Illustrazione realizzata da Robert Hooke in "Monographia". Essa raffigura la struttura del sughero osservato al microscopio quando viene tagliato longitudinalmente (sinistra) e trasversalmente (destra). Sotto è raffigurato un ramo della pianta.

Nel 1665 lo scienziato inglese Robert Hooke – membro fondatore della Royal Society – pubblicava "Micrographia", un capolavoro dell'osservazione scientifica dedicato alla microscopia che rivelava nel dettaglio il mondo della vita prima inaccessibile su piccola scala. Il libro raccoglieva le sue osservazioni sulla struttura cristallina dei fiocchi di neve, ma anche la scoperta delle microscopiche cavità a nido d'ape nel sughero (Fig. 1), riportava le descrizioni dettagliate della struttura delle piume, dei tessuti vegetali, del piede di una mosca, del pungiglione di un'ape, della radula dei molluschi. Queste osservazioni, ottenute grazie ad una varietà di lenti e sistemi di microscopia ottica sviluppati in quegli anni, vennero poi documentate dall'autore attraverso grandi illustrazioni e la descrizione di ogni singolo particolare, spesso facilitata dall'uso di similitudini con oggetti di uso quotidiano come rasoi e aghi.

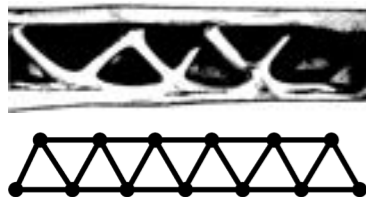
Un punto di vista così ravvicinato, fu di fondamentale importanza per il nostro modo di comprendere la natura, fino a quel momento limitato all'osservazione e alla classificazione delle strutture visibili del vivente, mettendo in relazione ciò che appariva in superficie con gli aspetti intangibili che si celavano dietro di essa. Le enormi lacune della conoscenza, colmate dall'immaginazione, dalla filosofia naturale e da vari sistemi di credenze, si trasformarono così in opportunità di studio per le scienze naturali, che evolvendo insieme alle tecnologie e al metodo scientifico, hanno permesso negli anni di comprendere e misurare tutti quei fenomeni sottesi al funzionamento del mondo biologico. L'entusiastica esplorazione della natura, che non a caso prende avvio con l'ideologia positivista (inizio XIX secolo) – la quale al chimerico contrapponeva tutto ciò che attraverso la scienza era dimostrabile e poteva tramutarsi in utilità (Comte, 1844) – divenne ben presto anche fonte di ispirazione per il progetto di nuovi artefatti, nella convinzione che molte invenzioni utili

all'uomo si trovassero nascoste dietro i meccanismi della biologia (Wood, 1875). Si generò una visione "biotecnica" che, come osserva Steadman (1988, p.209), permetteva di risolvere «in maniera ingegnosa tutti i tipi di problemi funzionali ed ingegneristici – strutturali, meccanici, persino chimici ed elettrici. Ciò che si richiedeva era uno studio accurato della ingegneria della natura; l'uomo avrebbe così trovato la soluzione per tutte le sue esigenze tecniche, dal momento che bastava soltanto ricopiare i modelli naturali nel design di macchine e strutture». Il principio era quello di prendere in prestito il duro lavoro perpetuato dall'evoluzione biologica, per elaborare in minor tempo delle soluzioni tecnologiche che comprendessero tutte quelle qualità di bellezza, integrità ed efficienza funzionale dei loro analoghi naturali. Ne è esempio il Crystal Palace, progettato da Joseph Paxton nel 1850 in occasione della prima Esposizione Universale, che celebrava le moderne tecniche industriali attraverso un'innovativa architettura in vetro e ferro, ispirata nelle sue nervature alle foglie di ninfea gigante *Victoria Amazonica* (Fig. 2).

Alla cospicua produzione di artefatti tecnici, si affiancano inoltre in questo periodo numerosi testi divulgativi che affrontano il dibattito sulla teleologia del design in natura e che, considerando gli organismi biologici come delle macchine, portano l'analogia tra l'artificio e il vivente ad un livello sempre più profondo. Ad esempio, nel 1920 il botanico Raul Francé pubblica un'opera di divulgazione dal titolo "Die Pflanze als Erfinder" ("Plants as Inventors") in cui, oltre ad introdurre per la prima volta il termine "biotechnik", indaga sulle forze meccaniche che governano i processi di crescita e le morfologie strutturali delle piante facendo riferimento alle opportunità offerte dalla conoscenza di tali fenomeni nel progetto di artefatti: i principi di comportamento natatorio di creature unicellulari sono applicati al design degli scafi delle navi; i meccanismi di raffreddamento delle piante possono essere un modello per nuovi refrigeratori; dagli scheletri delle alghe silicee vengono estratti numerosi principi ingegneristici per il design di nuovi mattoni o impalcature strutturali. Le teorie di Francé e le sue analogie tra biologia e tecnologia, vengono poi riprese da molti artisti e architetti, primo tra tutti Laszlo Moholy-Nagy alla Bauhaus (1929), ma anche Fritz Neumeyer, Mies van der Rohe and El Lissitzky. Un altro testo degno di nota è "On Growth and Form", pubblicato per la prima volta nel 1917 dal biologo D'Arcy Wentworth Thompson e considerato ancora oggi un capolavoro di letteratura scientifica, non tanto per i contenuti – molti ormai scientificamente superati – quanto per il modo di ap-



**FIG. 2**  
Versione originale del Crystal Palace, installato nel 1851 nell'Hyde Park di Londra. Nell'illustrazione è visibile la facciata principale e il rosone ispirato alle nervature delle foglie di ninfea gigante.



**FIG. 3**  
Raffigurazione della struttura delle ossa del metacarpo in un'ala di avvoltoio, realizzata da D'Arcy Thompson (in alto). Essa rimanda al metodo di travatura Warren (in basso), una struttura reticolare, composta da aste (travi) digonali e complanari, tese e compresse, vincolate ai nodi. In natura, lo stesso principio di sviluppo sul piano tridimensionale.

proccacciarsi all'osservazione della natura (Medawar, 2006). D'Arcy W. Thompson, considerato il precursore dell'odierna biomatematica, cerca di spiegare in termini matematici e geometrici le morfologie e i processi di crescita degli esseri viventi per ipotizzare similitudini funzionali con le forme e i meccanismi realizzati dall'uomo. Egli pone in analogia le strutture biologiche – come gli steli delle piante e gli scheletri degli animali – con i sistemi meccanici e architettonici prodotti dall'uomo, dimostrando come alcuni principi funzionali osservati in natura possano essere trasferiti nel mondo degli artefatti combinando le diverse componenti su medesime leggi fisiche o matematiche. Così ad esempio, egli mostra come le ossa cave delle ali degli avvoltoi siano rinforzate secondo il metodo di travatura reticolare di Warren, allora utilizzato per i longheroni degli aeroplani, ma secondo un modello tridimensionale che gli ingegneri potevano copiare per rendere le loro strutture più resistenti agli sforzi di taglio (Fig. 3). Nonostante molte di queste osservazioni, come affermava lo stesso autore, erano sperimentali e non dimostrate scientificamente, furono anch'esse un grande stimolo per molte ricerche successive e furono riprese da diversi progettisti dell'emergente Movimento Moderno.

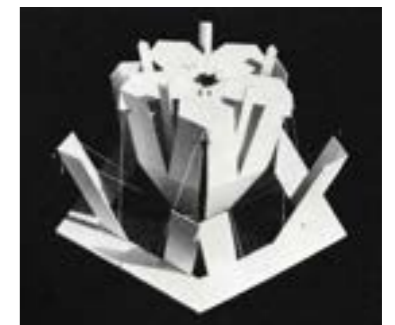
L'approccio biotecnico si configura così come una strategia per l'apprendimento e per lo sviluppo di conoscenza scientifica utile ai fini pratici e di innovazione tecnologica, applicando ai designs della natura le leggi della fisica, della chimica, della matematica, della geometria e dimostrando la loro riproducibilità tecnica per il miglioramento delle soluzioni pensate dall'uomo. L'universo biologico viene posto in analogia con quello antropico in un'accezione razionalista e funzionalista; ad una serie di "invenzioni" naturali seguono analoghe "invenzioni" dell'uomo che dapprima studia approfonditamente le "ingegnerie della natura" e successivamente tenta di riprodurle in prodotti, strutture e architetture artificiali al fine di comprenderne, tra l'altro, la reale applicabilità. A tale visione statica e deterministica della natura, si sono riferite nel tempo numerose branche del sapere di matrice progettuale – come la bionica e la cibernetica – ed è visibile nella contemporaneità in tutti quegli approcci al design bioispirato più prossimi alla ricerca scientifica e all'innovazione tecnologica, come quelli che intersecano gli studi di neuroingegneria o bioingegneria.

Nella bionica, disciplina nata alla fine degli anni Cinquanta in ambito militare, la volontà di simulare la natura allo scopo di produrre innovazione tecnologica è dichiarato e sviluppato con specifiche

2. In tutti gli Echinoidi (ricci di mare) la bocca è armata di uno speciale apparato triturante, detto "lanterna di Aristotele". I principali costituenti della lanterna sono cinque denti che sporgono all'ingresso dell'apertura boccale; a questi cinque denti si associa un complicato sistema di pezzi calcarei che funzionano da leve e muscoli che li muovono.

ricerche. Il termine inglese "bionica" è stato presentato per la prima volta da Jack Steele (1960) ed è dato dalla combinazione della parola latina *bios*, ovvero "vita", con il suffisso *-nic*, che significa "qualche ruolo, caratteristica" ad indicare una «scienza dei sistemi artificiali, il funzionamento dei quali è basato sui sistemi naturali o che presentano caratteristiche o analogie comuni ai viventi». Il procedimento tipico per lo studio bionico consiste nella descrizione (analisi) del sistema biologico, nella sua traduzione in uno schema (modellazione) e nella realizzazione concreta (sintesi) di tale schema con un dispositivo costituente il modello analogico del processo in esame (Treccani, 2010). Bruno Munari (1996) ad esempio, nel descrivere la bionica e la sua importanza per lo stimolo della creatività, si riferisce allo studio portato avanti da Giorgio Scarpa sull'apparato boccale del riccio di mare [2], descrivendone fasi analoghe: un'analisi approfondita della struttura nelle sue parti e correlazioni; la costruzione di un modello, geometrizzando i vari pezzi ma conservandone le esatte proporzioni e funzioni; la realizzazione di un prototipo in grado di riprodurre perfettamente il sistema e i suoi meccanismi, stimolando – nel caso specifico – nuove idee per geometrie trasformabili (Fig. 4). Si tratta dunque di produrre copie, ovvero riproduzioni in termini di forma, struttura e funzione delle soluzioni della natura, che porta oggi la bionica a studiare e riprodurre i sistemi neurofisiologici delle forme viventi per generare innovazione nei campi delle neuroscienze, della cibernetica, dell'elettronica, della robotica e della protesica. I risultati sono dispositivi elettronici o di altro tipo, come trasduttori che imitano gli organi di senso in grado di rilevare stimoli esterni; neuroni artificiali, che come quelli biologici riconoscono e trasmettono impulsi nervosi; macchine intelligenti ed autonome in grado di muoversi, di elaborare stimoli e adattarsi all'ambiente; fino ad arrivare a fedeli riproduzioni di parti del nostro corpo sia nei materiali che nelle funzioni (retina elettronica, coclea elettronica, valvole cardiache, protesi ortopediche, ecc.).

La natura informazionale di molte di queste applicazioni, ci porta inoltre ad introdurre il più ampio campo di studi della cibernetica, un programma di ricerca interdisciplinare particolarmente attivo nel secondo dopoguerra e di cui la bionica ne costituisce una filiazione. Nonostante a livello teorico abbia stimolato l'abbandono di una visione meccanicista, rigorosa e quantitativa della natura, la cibernetica è stata anch'essa di forte derivazione biotecnica, ponendo una sostanziale analogia tra i meccanismi di regolazione e scambio di informazioni negli esseri viventi con quelli trasferibili a



**FIG. 4**  
Dall'alto al basso: apparato boccale del riccio di mare (sono visibili solamente le punte dei denti); vista inferiore del prototipo realizzato da Giorgio Scarpa; vista prospettica del medesimo prototipo. Come evidente, viene studiata la relazione tra il numero delle parti e la loro disposizione spaziale, il loro comportamento in analogia con la struttura calcarea e muscolare del modello biologico.

macchine intelligenti ed automi artificiali. Definita come la scienza che riguarda «la comunicazione e il controllo nell'animale e nella macchina» (Wiener, 1947), la cibernetica riprende il discorso sulla teleologia del design in natura ed estende il concetto di meccanismo dalla struttura alla funzione di un sistema: l'analisi non è basata sulla struttura interna degli oggetti ma sui loro comportamenti osservabili all'esterno e che sia le macchine che gli organismi espletano al fine di raggiungere un obiettivo (Wiener, Rosenblueth & Bigelow, 1943). Questo ampliamento di prospettiva, favorito dalle tecnologie allora emergenti (dell'autoregolazione, della comunicazione e del calcolo automatico) e da una cross-fertilizzazione tra le discipline sempre più fitta, fu di fondamentale importanza per rivitalizzare l'approccio biotecnico, capace dunque non solo di copiare la natura nei suoi funzionamenti, ma anche nei comportamenti. Oggi infatti, molti campi applicativi eredi del movimento cibernetico, come l'intelligenza artificiale, la bioingegneria, la biorobotica, la biologia computazionale, ecc., sono in grado di condurre trasferimenti analogici sempre più fedeli alla realtà, come nel caso degli androidi che interagiscono come degli esseri umani o degli organoidi, repliche in miniatura di organi e tessuti umani di cui ne eseguono l'intero comportamento fisiologico.

Benché l'odierno approccio biotecnico assume una valenza ingegneristica e scientifica, sono molti i progetti che vedono il coinvolgimento anche di designer, sia per la natura interdisciplinare dei numerosi campi prima citati, sia per le capacità immaginative e interpretative del design che aiutano la scienza ad individuare per le loro ricerche applicazioni realmente utili ai bisogni e agli stati d'animo della collettività. Di contro, uno studio "bionico" della natura è perseguito da molti designer contemporanei nella volontà di indagare l'evoluzione del rapporto uomo-natura-tecnologia a fini speculativi e di prefigurazione critica di futuri possibili, oppure di prender parte a sofisticate sperimentazioni interdisciplinari particolarmente attente alle sfide del presente, come l'inquinamento ambientale o la salute personale. Così ad esempio in "Tissue Printing", scienziati e designer collaborano per capire come avanzate tecnologie di biostampa possano essere applicate alla rigenerazione di delicate cellule renali, epatiche e pancreatiche, attraverso la riproduzione computazionale di diverse strutture vascolari presenti nel nostro corpo (Grigoryan et al., 2019). Questo progetto, sviluppato dal laboratorio di bioingegneria di Jordan Miller alla Rice University e dallo studio di design Nervous System, ha portato successivamente allo sviluppo



FIG. 5

*Tissue Printing, Nervous System & Miller Lab (Rice University), 2018. Il progetto è stato esposto per la prima volta presso la XII Triennale di Milano "Broken Nature" (in alto a sinistra). Scienziati e designer hanno preso ispirazione dalla natura per applicare forme e strutture dei vasi sanguigni alla biostampa di vie circolatorie e respiratorie artificiali, utili alla sostituzione funzionale degli organi nei pazienti umani. Hanno dapprima sperimentato diverse forme con modelli in zucchero stampati in 3D e modellati tramite software computazionali (in basso) e poi hanno stampato alcuni prototipi in gel tramite bioplotting, una particolare tipologia di biostampa (in alto a destra).*

di un software in grado di generare reti multivascolari e vie respiratorie su misura per il mantenimento in vita degli organi sintetici (Fig. 5). In "Life Hand" (2014), un laborioso progetto guidato dall'École Polytechnique Federale di Losanna e che ha condotto alla realizzazione di una protesi biomeccatronica, ingegneri, neuroscienziati, medici e designer esplorano le frontiere della comunicazione bidirezionale real-time imitando la rete di fibre nervose presenti nel braccio e che permettono di inviare segnali dalla protesi al cervello (sensazioni) e dal cervello alla protesi (intenzioni di movimento). Sul versante speculativo e critico, il collettivo Next Nature Network in "Reprodu-topia" affianca il centro di ricerca Maxima Medical Centre per lo sviluppo del primo grembo artificiale totalmente funzionante, partendo da uno studio approfondito del corrispettivo reale e di tutti i parametri che dovrebbero essere riprodotti al suo interno, come il calore, il suono della pulsazione del sangue, i movimenti e le interazioni madre-bambino (Grievink, 2018). Mentre l'obiettivo dei medici è quello di ridurre la mortalità infantile di buona parte della

nascite molto premature, lo scopo dei progettisti è quello di comprendere come, nel momento in cui saremo in grado di riprodurre effettivamente la vita al di fuori dei nostri corpi, l'esperienza della nascita di un bambino data da tutti quei parametri e quelle interazioni riprodotte potrà essere vissuta (Fig. 6).

Simulare la natura è dunque ancora oggi una valida strategia per il design per produrre innovazione nella conoscenza o per realizzare artefatti sofisticati in grado di migliorare la qualità della vita dell'uomo o dell'ambiente che lo circonda. Non a caso nel 2015, il "Design of the Year Award" del Design Museum di Londra, è stato vinto dal Wiss Institute dell'Università di Harvard con "Lung-On-A-Chip", un simulatore dei processi che avvengono nel polmone umano utile per testare l'efficacia dei farmaci in fase di sviluppo (Huh et al., 2010; Traldi, 2016). Da questa innovazione, deriva oggi un'ampia gamma di cosiddetti "organi in vitro" che promettono di diminuire drasticamente i costi e gli errori nello sviluppo di medicinali, nonché di favorire la diffusione della medicina personalizzata (Fig. 7).

FIG. 6  
*Reprodutopia – Artificial Womb, Next Nature Network & Maxima Medical Centre, 2018. Considerato il primo prototipo di utero artificiale, esso è stato realizzato all'interno di un progetto più ampio che indaga il futuro delle tecnologie riproduttive, dall'editing genomico alla genitorialità multipla.*



FIG. 7  
*Organs-on-Chips, Wiss Institute (Harvard University). A sinistra Lung-on-a-Chip, modello in vitro di un polmone artificiale (2015); a destra Heart-on-a-Chip, modello in vitro del cuore (2016).*



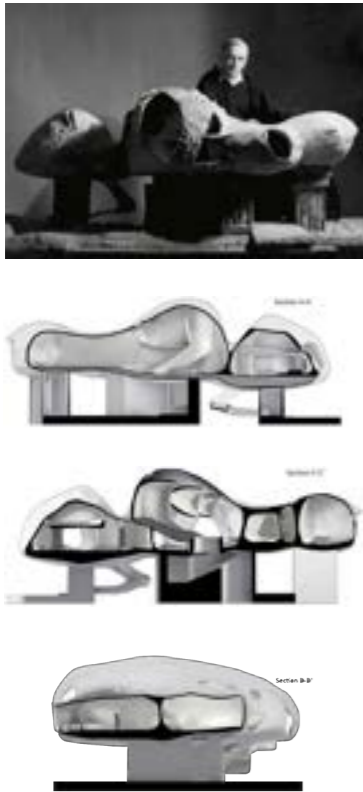
### 2.1.2 Trasferimenti omologici

I paragoni tra artificio e natura – macchina e organismo biologico – esplicitati dal determinismo biotecnico, furono in gran parte ripresi anche negli studi teorici del Movimento Moderno, in cui «l'argomento maggiormente ricorrente, è ancora una entusiastica esaltazione delle realizzazioni delle nuove tecniche, nelle quali 'razionalisti' e funzionalisti vedevano gli esiti della fedeltà agli stessi principi di produttività e a quel diretto e immediato adattamento agli scopi pratici che essi avevano lodato nelle forme della natura» (Steadman, 1988, p. 25). È da queste teorie che, secondo Colquhoun (1969), deriva gran parte della fiducia nella suprema importanza dei metodi scientifici di analisi e classificazione, ritenuti in grado di legittimare il progetto di architetture, artefatti e strutture la cui «forma era il risultato di un processo logico attraverso il quale le esigenze e le tecniche operative venivano unite» (p. 72). Horatio Greenough, considerato il precursore del funzionalismo in architettura e nel design, affermava infatti che l'adattamento delle forme naturali all'ambiente erano date dalla loro perfetta corrispondenza alla funzione, per cui tale principio doveva essere riproposto anche nella progettazione (Small, 1947). In altri termini, si genera un'attenzione particolare verso un'estetica funzionale, di radici squisitamente elleniche [2], che porta a vedere nelle forme della natura non tanto un'equilibrata composizione visiva tra le parti, quanto la capacità di comunicare attraverso l'aspetto esterno un significato funzionale, anche se ciò implica una mancata comprensione biologico-scientifica dell'organismo. Tale principio, riassunto nella famosa frase di Luis Sullivan "form ever follows function", venne visto dunque come una legge operativa alla base di tutto il vivente [3] che poteva essere trasferita al mondo degli artefatti, in cui un insieme di elementi interagenti e perfettamente configurati in modo finalizzato potevano coniugare sia l'aspetto funzionale che simbolico. In questa prospettiva, anche l'ornamento riacquista una sua valenza, visto come elemento utile ad articolare la struttura di un'architettura (o oggetto) e a svilupparne la simbolica espressione delle funzioni (Sullivan, 1892).

Il funzionalismo della biotecnica assume dunque nel XX secolo un'accezione meno ortodossa e non mira semplicemente a copiare le forme della natura o a riprodurre esattamente i funzionamenti in meccanismi artificiali, ma guarda alle logiche e ai principi alla base dei processi di adattamento dei sistemi viventi per replicarne nell'artificio le medesime qualità. I progettisti rivolgono la loro

2. Il concetto di "bellezza funzionale" risale alle teorie di Aristotele, secondo il quale la nostra percezione della bellezza degli animali deriva da un apprezzamento razionale della struttura delle loro parti e delle funzioni dei loro organi.

3. Luis Sullivan a tal proposito scriveva: «Questa è la sempre operante legge della natura, per la quale ogni singola cosa assume, nella sua materialità, forma individuale, e come tale è riconoscibile. Questa legge non solo è comprensiva ma è universale. Concerne il cristallo come l'albero, ogni cosa tesa a cercare e a trovare la sua forma, in virtù del suo programma, o del suo scopo o funzione; oppure, se lo preferite, in virtù del suo desiderio di vivere e di esprimersi» (Sullivan, 1906, come citato in Twombly & Menocal, 2000, p. 138).



**FIG. 8**  
*Endless House, Frederick Kiesler, 1958. Il progetto affronta il problema dell'abitare, che non è una semplice funzione fisiologica da soddisfare, ma un'arte di cui bisogna continuamente cercare le regole e capirle.*

attenzione agli apparati concettuali e metodologici delle moderne scienze biologiche – relativi all'evoluzione, alla morfologia, alla classificazione, al comportamento dei sistemi dinamici, alla trasmissione di informazioni – che «hanno, ad un livello astratto e formale, molto da offrire a quelle nuove scienze dedite allo studio degli oggetti prodotti dall'uomo e alla loro progettazione» (Steadman, 1988, p. 19). Infatti, «vi sono aspetti degli oggetti progettati dall'uomo, quali ad esempio le costruzioni, e aspetti dei modi in cui i loro progetti sono realizzati, i quali, osservati entrambi sia ad un livello individuale che culturale, si prestano particolarmente bene ad essere descritti e spiegati tramite la metafora biologica. I concetti di 'completezza', 'coerenza', 'correlazione' e 'integrazione', usati per esprimere relazioni non certo casuali tra le parti di un organismo biologico, possono essere utilizzati per descrivere simili qualità nei manufatti progettati con criterio» (Steadman, 1988, p.17). Ne sono la dimostrazione molte opere di architetti del Novecento, da Frank Lloyd Wright ad Alvar Aalto, da Frederck Kiesler a Buckminster Fuller, che benché presentino estetiche tutt'altro che organiche o biomorfiche, vengono concepite nel rispetto di alcuni principi e metodi della natura. Il concetto di "correalismo" ad esempio, viene coniato dallo stesso Kiesler (1939) per indicare lo studio dei rapporti tra l'uomo e i suoi ambienti naturali e tecnologici, secondo un paradigma condizionale mediato dal progetto per cui la forma di un edificio o prodotto funge da mediatore tra l'uomo e la natura circostante. Nell'introduzione alla sua Endless House (Fig. 8) egli scrive: «L'oggetto respira nell'ambiente circostante e ispira le realtà dell'ambiente a prescindere dal fatto che lo spazio sia limitato o esteso, all'aria aperta o in interni. Nessun oggetto, tanto della natura che dell'arte, esiste senza ambiente. Infatti l'oggetto stesso si può espandere fino al punto in cui diventa il suo stesso ambiente» (Kiesler, 1965). Lo stesso si potrebbe dire del modello organicista adottato da Wright (Fig. 9) e Aalto che, seppur in modi differenti, esplorano le modalità di "integrazione" tra natura, tecnologia e società, imparando dalla natura piuttosto che copiandola, integrando parametri inediti dall'ambiente come luce e calore solare, oppure recuperando l'uso di materiali naturali come il legno. A tal proposito Paolo Portoghesi (1999), nel definire i legami che nel tempo hanno caratterizzato architettura e natura, afferma che il concetto di omologia si adatta maggiormente a descrivere questa relazione, perché mentre il termine analogia indica una concordanza di funzioni e un trasferimento acritico delle forme naturali alle strutture

architettoniche, il termine omologia indica affinità più profonde legate all'obbedienza ad una stessa legge o logica.

Queste sono le premesse fondative della biomimetica, uno dei settori più vivaci del panorama scientifico contemporaneo che, prendendo vantaggio dalle crescenti possibilità di conoscere a fondo i processi della natura, riesce ad interpretare l'osservazione della biologia non solo come fonte di ispirazione, ma anche come strumento di innovazione (Langella, 2007). Il termine "biomimetica" venne coniato negli anni Cinquanta da Otto Herbert Schmitt per indicare l'emergente campo della biofisica applicata, ma si diffuse soprattutto a partire dagli anni Ottanta per delineare un più ampio approccio interdisciplinare ispirato alla natura e inizialmente rivolto agli ambiti dell'ingegneria dei materiali, dell'ingegneria meccanica e della robotica. Nel 1960, durante il "Bionic Symposium – Living Prototypes: the key to new technology" che esplorava proprio i punti di contatto tra le comunità scientifiche e tecniche, lo stesso Schmitt presentò il termine "biomimetica" in contrapposizione a quello di "bionica" delineando quelle che effettivamente sono state le successive evoluzioni dei due approcci: mentre la bionica si è configurata maggiormente all'intersezione tra biologia, elettronica e *computing*, ruotando attorno all'immaginario popolare del *cyborg*; la biomimetica, lavorando su livelli multipli di astrazione, ha esteso il suo campo di azione ai materiali, alle strutture e ai processi di generazione e produzione degli artefatti, attraverso un'innovazione più concettuale che operativa. Ciò perché l'interesse della biomimetica non si concentra soltanto sulle caratteristiche del mondo vivente, ma sull'intera "fenomenologia biologica" alla base della sua organizzazione ed evoluzione. In altri termini, il progetto biomimetico si rivolge alla natura per ricavarne le logiche, i principi, le strutture che sottendono l'intero progetto di ogni suo "prodotto", i modi in cui viene realizzato, le strategie attuate per mantenerlo in vita, i linguaggi attraverso i quali avvengono gli scambi informativi con l'ambiente e altri "prodotti", per ricavarne nuovi strumenti e soluzioni per il progetto. Le entità progettate non sono più degli analoghi che replicano la natura nelle sue diverse forme, ma degli omologhi che si rifanno alla natura in termini di comportamento rispetto ad un determinato problema o situazione, cercando di replicarne strategicamente l'intima intelligenza [4]. È il caso ad esempio del velcro, il primo nonché uno dei più noti brevetti biomimetici registrato nel 1955 dall'ingegnere Georges de Mestral, in cui la struttura dei fiori di bardana da cui è ispirato non viene ricopiata del

4. A tal proposito, nel definire la biomimetica, Carlo Santulli (2012) afferma: «Ricorrendo a una tautologia, direi che la biomimetica altro non è che un approccio naturale alla soluzione dei problemi, nel senso che, invece di pensare a domare la natura, si cerca di utilizzare le buone idee che quasi quattro miliardi di anni di evoluzione hanno prodotto. [...] Lo scopo perciò non è imitare una certa forma, ma capire qual è l'obiettivo che la Natura si è posta nell'utilizzarla. In parole povere, la Natura ci dice "Questa è la risposta"» (pp. 23-24)



**FIG. 9**  
*La casa sulla cascata, Frank Lloyd Wright, 1936. Esempio più pragmatico del modo wrightiano di intendere il concetto di "integrazione" e armonia tra uomo e natura, ambiente costruito e ambiente naturale. Il progetto è manifesto della cosiddetta "architettura organica".*

5. Come: biologia molecolare, biofisica, biochimica, biologia sintetica, biorobotica, bioingegneria dei materiali, neuroscienze, biomeccanica, farmacologia, scienze naturali

FIG. 10

(in alto) Shinkansen Train - serie 500, 2014. I treni della linea giapponese Shinkansen sono ispirati alla morfologia aerodinamica del becco del Martin Pescatore in grado di penetrare in acqua senza alcun attrito. Ciò ha permesso di ridurre notevolmente i tempi di percorrenza e il consumo di carburante.

FIG. 11

(al centro) Bone Chair, Joris Laarman, 2006. Gli elementi strutturali della seduta sono ispirati alla struttura del tessuto osseo e ai suoi modelli di crescita sotto determinate condizioni di carico. Il design della Bone Chair, iniziato nel 1998, fa uso di strumenti computazionali al fine di ottimizzare digitalmente la struttura e ridurre al minimo la quantità di materiale utilizzato, proprio come accade nelle nostre ossa.

FIG. 12

(in basso) Morphotex dress, Donna Sgro, 2009. Morphotex è un tessuto realizzato dall'azienda giapponese Tejin Fibers Limited e ispirato al colore strutturale nelle ali di farfalla. Queste ultime infatti, non contengono pigmento, ma sono ricoperte da micro-lamelle, a loro volta nano-strutturate al fine di riflettere la luce in modo tale da ottenere diverse colorazioni e affascinanti effetti iridescenti.

tutto, ma viene intesa come la risposta della natura al concetto di ancoraggio: osservando come questi fiori rimanevano impigliati in modo stabile ma reversibile al pelo degli animali grazie alla presenza di piccoli uncini, de Mestral intuì che questa poteva essere una valida strategia per realizzare un sistema di giunzione più efficiente rispetto ad altri già esistenti (come le cerniere lampo) soggetti a rotture, difetti ed inefficienze varie. L'elemento dell'imitazione formale è presente solo in maniera secondaria tanto da non rendere immediata l'associazione del prodotto artificiale con l'esempio biologico, mentre i principi di ancoraggio e reversibilità dell'ancoraggio vengono riprodotti accoppiando una parte più rigida e uncinata ad una parte più morbida e lanosa. Tali trasposizioni hanno stimolato negli anni numerosi brevetti e applicazioni sempre più sofisticate, sia in relazione allo sviluppo delle tecnologie, sia in seguito ad una comprensione più profonda e olistica della complessità insita nel design della natura.

Oggi, il design che guarda alla biologia deve tenere conto del più ampio panorama delle bioscienze contemporanee [5], tanto quanto dei diversi livelli di accesso alle informazioni della natura moltiplicati dall'evoluzione tecnologica: da quelli più intuitivi e accessibili, come il livello morfologico o strutturale, a quelli più complessi che comprendono le dinamiche di comportamento e auto-organizzazione (Langella, 2019). In particolare, ciò che si richiede al progetto è la capacità di mediare tra più competenze – scientifiche, ingegneristiche, artistiche, sociologiche – e di ricercare nella natura riferimenti coerenti con l'idea progettuale, in grado di dare maggiore significato – sia esso funzionale o simbolico-culturale – alle soluzioni delineate e di portare ad un'innovazione di tipo qualitativo. Sono molte infatti le qualità complesse che nel contesto contemporaneo sono essenziali nei prodotti come sostenibilità, dinamicità, adattabilità, multifunzionalità, reattività, tutte caratteristiche che gli organismi biologici possiedono e che i designer possono mutuare nei loro progetti attraverso un'attenta decodifica dei linguaggi della natura (Langella, 2007). Ad esempio, sono molte le applicazioni biomimetiche che puntano su omologie morfologico-strutturali per ottenere specifiche prestazioni: dalle sedute ispirate alla biomeccanica di strutture ossee o tessuti vegetali ottimizzando l'uso di materia in funzione delle condizioni di carico (Fig. 10); a veicoli più efficienti perché modellati su comportamenti aerodinamici o fluidodinamici di alcuni animali (Fig. 11); fino ad arrivare a tessuti che riproducono fenomeni ottici o proprietà autopulenti mutuando le micrometriche

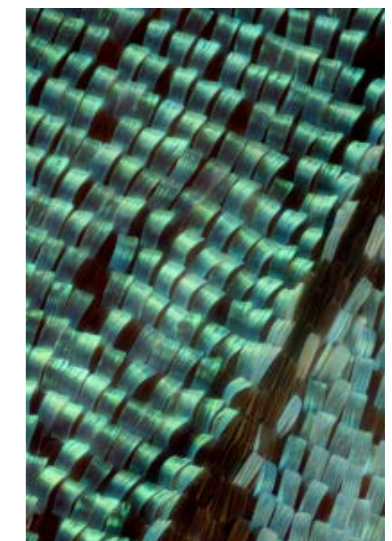




FIG. 13  
*Biomimicry Chair, Lilian van Daal, 2014. In basso, dettaglio della struttura ispirata alle trabecolae, possibile grazie alle tecniche di stampa 3D.*

o nanometriche strutture superficiali di alcuni elementi naturali (Fig. 12). È il caso della Biomimicry Chair, realizzata nel 2014 dalla designer Lilian van Daal, una seduta interamente stampata in 3D e ispirata alla microstruttura porosa delle nostre ossa (Fig.13). Quest'ultima infatti, è caratterizzata da sottili lamelle cave dette "trabecole", che variano dimensione ed orientamento a seconda dei carichi a cui sono soggette: esse diventano più piccole e fitte nelle zone sottoposte a forze maggiori, aumentando la rigidità, e sono sempre posizionate parallelamente rispetto alle direzioni dello sforzo, assumendo un comportamento anisotropo. Trascrivendo tale logica, la designer è dunque riuscita a realizzare una poltrona monomaterica (quindi anche più facile da riciclare) che alterna parti rigide e strutturali a parti morbide e più ergonomiche solamente variando la struttura interna. La stessa tipologia di trasferimento è stata applicata a Metamesh, struttura indossabile sviluppata dall'MIT di Boston per produrre giubbotti antiproiettile e protezioni per gli sport di contatto (Duro-Royo et al., 2015). La professoressa Ortiz e il suo team hanno individuato nell'anguilla del Senegal (o anguilla "dinosaurio") una particolare struttura gerarchica che, operando su più scale, permette a questi pesci di difendersi dagli attacchi dei predatori ma allo stesso tempo di muoversi liberamente. Ciò è dato da un'organizzazione a scaglie che variano di dimensioni e geometria lungo tutto il corpo, da uno specifico sistema di giunture sovrapposte e da una stratificazione di materiali differenti, rigidi e morbidi, in grado di resistere agli impatti e dissiparne l'energia. I ricercatori dunque, ispirandosi a tali principi e rispettando l'ordine gerarchico delle diverse componenti, sono riusciti a realizzare un sistema indossabile e multimaterico in grado di resistere agli urti e alle perforazioni ma senza limitare la libertà di movimento. Ciò grazie anche all'utilizzo di sofisticati software parametrici che hanno guidato la variazione delle geometrie e l'adattamento specifico delle armature al corpo degli utilizzatori.

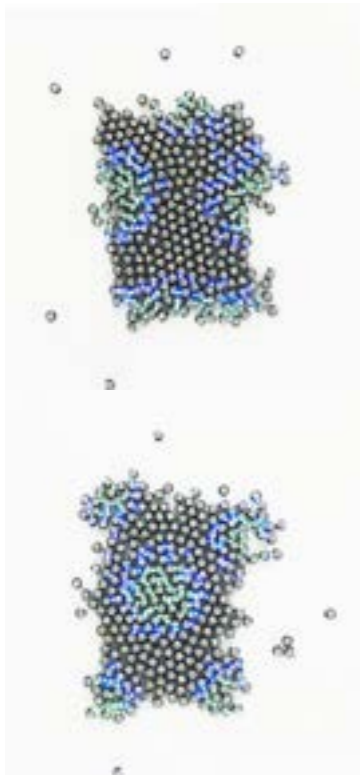
Altre omologie possono avvenire a livello dinamico, mimando ad esempio le logiche con cui si muovono i sistemi naturali, o comportamentale, come nel caso di complessi fenomeni protettivi, reattivi e di organizzazione collettiva che possono essere trasferiti grazie all'uso di tecnologie sempre più sofisticate. Veronika Kapsali (2016), professoressa in materiali e design presso il London College of Fashion, afferma che lo sviluppo tecnologico a partire dalla Rivoluzione digitale ci ha permesso di guardare con una luce diversa i fenomeni informativi che avvengono in natura, ispirando una



progettazione biomimetica 4D in cui sono racchiusi sia gli elementi spaziali che temporali, in modo che le proprietà di un oggetto cambino in relazione agli stimoli futuri. Con questa definizione Kapsali cerca di introdurre un vasto campo di sperimentazione biomimetica che spazia dalla robotica ai materiali programmabili e che, grazie alla possibilità di introdurre informazioni nelle strutture create dall'uomo, consente di riprodurre comportamenti avanzati simili al vivente come auto-assemblaggio, auto-riparazione, auto-organizzazione e movimento autonomo. Ne sono esempio tutte quelle applicazioni che applicano il principio igroscopico della pigna, le cui brattee si chiudono quando c'è umidità e si aprono in condizioni di aridità, modulando in tal modo la disseminazione dei semi. Questo comportamento, studiato per la prima volta negli anni Novanta da Colin Dawson nell'originale Centre for Biomimetics dell'Università di Reading, è particolarmente interessante perchè non richiede l'uso di energia esterna, ma è un meccanismo reversibile dato dall'accoppiamento di due tessuti con proprietà igroscopiche differenti, uno più poroso in grado di rigonfiarsi alla presenza di umidità e uno più rigido, idrofobo e anisotropo, con fibre direzionate in una specifica direzione. Alla presenza di umidità, il primo tessuto aumenta lo spessore portando quello più rigido a piegarsi lungo la direzione delle fibre e a determinare l'apertura della pigna. Ciò ha ispirato numerosi progetti come Sphere Macro (2006), un tessuto performativo sviluppato dalla Nike per mantenere il corpo degli atleti sempre asciutto grazie alla presenza di texture intagliate simili alle brattee che si aprono alla presenza di umidità. In HygroSkin Meteorosensitive Pavillion (2013), il principio igroscopico della pigna viene trasferito ad un particolare materiale composito dato dalla stratificazione di legni con diverse proprietà rigonfianti e viene applicato alle aperture del padiglione in grado di aprirsi e chiudersi al variare delle condizioni atmosferiche. La dinamica dell'apertura è stata attentamente studiata e programmata grazie all'orientamento delle fibre dei legni lungo gli assi di curvatura desiderati. Particolarmente attenti a quest'ultimo aspetto sono stati alcuni ricercatori dell'MIT che hanno studiato un modo per produrre trasformazioni igroscopiche programmabili attraverso l'orientamento delle fibre con la stampa 3D (Correa et al., 2015) (Fig. 14). A tali comportamenti passivi e reattivi, ne corrispondono altrettanti attivi che, benché necessitano di energia propria, sono in grado di elaborare spesso set di informazioni molto più complessi. Ci troviamo ad esempio nel campo della *swarm robotics* che prende ispirazione dai comporta-

FIG. 14  
*Printed Wood Eames Elephant, Self Assembly Lab (MIT), 2014. Progetto dimostrativo, frutto delle numerose ricerche che i progettisti dell'MIT hanno svolto nel campo dei materiali igroscopici stampati in 3D. Sono chiaramente visibili parti più chiare, corrispondenti alle aree ricoperte di filamento polimerico (idrofobico) e parti più scure, dove è stato stampato filamento a base di legno (idrofilo). Come nella pigna, l'alternanza di strati idrofili e idrofobici permette alla struttura piana di piegarsi in presenza di umidità e calore assumendo la specifica conformazione del famoso elefantino di Charles Eames.*





**FIG. 15**  
*Kilobot, Self-organizing System Research Group - Harvard University, 2014. Centinaia di robot sono stati programmati per auto-organizzarsi nei cosiddetti "pattern di Turing", conformazioni spaziali che assumono le cellule dei tessuti in natura e che sono responsabili ad esempio della disposizione delle dita in una mano, oppure delle macchie sul corpo dei leopardi.*

menti intelligenti e auto-organizzanti degli "sciame", «sistemi collettivi di agenti (non sofisticati) che interagiscono localmente con l'ambiente e che producono l'emergere di schemi funzionali globali nel sistema» (Beni & Watt, 2004). In natura, la *swarm intelligence* è individuabile nelle colonie di insetti, negli stormi di uccelli, nei banchi di pesci, nella crescita batterica o nelle mandrie di mammiferi, che scambiano informazioni in maniera differente (feromoni, infrasuoni, *quorum sensing*) e modulano il proprio comportamento su questi segnali indipendentemente dalla conoscenza dello schema complessivo. Nel 2014, il Self-organizing System Research Group dell'Università di Harvard, ha sviluppato il più grande sistema di *swarm robotic* chiamato "Kilobot" e composto da 1,024 unità, capaci di auto-assemblarsi in differenti configurazioni e con potenzialità applicative per l'esplorazione dello spazio (Rubenstein et al., 2014) (Fig. 15). Molti ricercatori traducono inoltre gli "swarm principles" in algoritmi sofisticati per creare modelli di simulazione e prevedere il comportamento di sistemi complessi che vedono la partecipazione di numerosi agenti. È il caso dell'Agent-Based Modelling and Simulation (ABMS) utilizzato da Davide Del Giudice (2017) per simulare i fenomeni di erosione e sedimentazione individuati in natura e utilizzare i risultati per ottimizzare la superficie di una *body suit* per lo sport: i sedimenti (parti in rilievo) si addensano in prossimità di organi da proteggere, mentre le erosioni (depressioni della superficie) diventano parti sottili in tessuto traspirante.

Trasferimenti omologici dalla natura al progetto sono dunque ancora oggi protagonisti nella sfera dell'innovazione e le abilità di astrazione e interpretazione che essi richiedono forniscono un grande stimolo per il design, favorite da una progressiva cross-fertilizzazione tra le discipline e da un insieme di strumenti tecnologici che permettono di toccare con mano le meraviglie della natura.

### 2.1.3 Trasferimenti di processo

La crisi ecologica, nuovi concetti introdotti dalle scienze omiche, la maggiore conoscenza dei processi di crescita e di auto-organizzazione, ma soprattutto la comprensione di una matrice informazionale alla base di tutto il vivente, porta il design ad estendere il riferimento biologico alle modalità processuali con cui plasmiamo il mondo materiale che ci circonda e diamo vita a nuove soluzioni. Le strategie costruttive adottate dalla natura, i materiali che essa usa e il modo in cui li manipola, stimolano la cultura del progetto a spe-

rimentare modi alternativi di concepire e realizzare i suoi prodotti; mentre nuove potenzialità bio-digitali permettono di analizzare e riprodurre i processi generativi, chimici, fisici, molecolari alla base del vivente (Estévez & Navarro, 2017), estendendo il paradigma non solo a ciò che la natura fa, ma anche a come lo produce. In particolare, cresce la consapevolezza che il nostro sistema industriale è stato fondato su logiche diametralmente opposte a quelle naturali, tanto da portare a problemi ecologici, ma anche ad una condizione di paralisi per cui, se vogliamo dotare l'artificio di qualità viventi, non sarà più possibile utilizzare i metodi tradizionali di fabbricazione. Basta pensare al modo in cui noi produciamo polimeri artificiali, i materiali con cui oggi sono prodotti gran parte degli oggetti che utilizziamo: per legare i monomeri (molecole più semplici che formano le catene polimeriche) li esponiamo ad alte temperature e pressioni che richiedono un forte dispendio di energia; utilizziamo fonti non rinnovabili e i sottoprodotti sono spesso tossici; per decomporre questi materiali abbiamo bisogno di simili processi, contribuendo alla nostra sempre crescente produzione di rifiuti; le qualità del materiale sono standardizzate e vengono delineate a priori, indipendentemente dal contesto di utilizzo dell'artefatto. Al contrario, in natura, i polimeri si formano in condizioni ambientali utilizzando quantità minime di energia da abbondanti materie prime; allo stesso modo, questi materiali si decompongono con relativa facilità e vengono ridistribuiti nell'ambiente per essere riutilizzati; vengono creati e modellati dai singoli organismi in relazione alle dinamiche condizioni al contorno, variando di volta in volta l'organizzazione delle catene polimeriche, la loro interazione e il loro aggrovigliamento per ottenere specifiche proprietà di resistenza, tenacità ed elasticità. Come è evidente, la principale differenza tra i polimeri naturali e quelli sintetici è, ancora una volta, l'informazione. Nella biologia infatti, sono presenti principalmente due polimeri, le proteine e i polisaccaridi (Tab. 1), ma la varietà delle proprietà e funzioni necessarie al sostentamento della vita derivano da una loro strutturazione gerarchica attraverso le informazioni piuttosto che dalla chimica di base, dal loro design piuttosto che da ipotesi quantitative (come ottenere chimicamente un acciaio più tenace o utilizzare più materiale per ottenere un ponte più resistente). Il design dunque, stimolato dalla sorprendente innovatività di queste logiche e dalla volontà di riallineare il nostro sistema industriale a quello naturale, inizia ad esplorare vie alternative di produrre gli artefatti, aprendo la strada ad una particolare forma di biomimesi che per vastità e

**TAB. 1**  
*Alcuni esempi di polimeri presenti in natura. I polisaccaridi sono prodotti dall'aggregazione di più di dieci molecole di monosaccaridi, sono a base di carboidrati e si trovano principalmente nel regno vegetale. Le proteine sono polimeri di amminoacidi (contengono un atomo di carbonio centrale) uniti da specifici legami e si trovano principalmente nel regno animale.*

#### Polysaccharide based

Cellulose  
Starch  
Chitosan  
Chitin  
Alginate  
Dextran  
Hyaluronic acid  
Pectine Lignin

#### Protein based

Gelatine  
Collagen  
Albumine  
Elastine  
Silk  
Resiline





FIG. 16  
Busti ortopedici realizzati dall'azienda Wasp, specializzata in stampa 3D. Nell'immagine è visibile la texture traspirante che varia la dimensione dei fori in corrispondenza delle aree che necessitano più o meno solidità strutturale.

varietà ha bisogno senz'altro di una discussione a parte.

In primo luogo, avanzati strumenti di lettura e rappresentazione della realtà offerti dalla scienza e dalla tecnologia, portano il design a confrontarsi con i linguaggi e i paradigmi concettuali alla base dei processi biologici, come crescita, evoluzione, riproduzione e trasformazione. Ne è un caso la progettazione generativa che, prendendo vantaggio dalle opportunità offerte dall'informatica, da nuovi software per la modellazione e dalla tecnologie di fabbricazione digitale, si ispira ai principi della genetica e fonde le fasi di concezione e produzione di un prodotto come in un unico processo di crescita biologico. Inoltre, l'ampia quantità e varietà di dati ad oggi processabili dall'informatica, permette di applicare questo processo a tutte le tipologie di artefatto, dalle grandi infrastrutture, alle architetture, ai prodotti d'uso, mutuando anche i vantaggi che ne derivano, come la possibilità di produzione *on-demand* (cioè che avviene solo nel momento del bisogno e anche per un singolo progetto) o la perfetta aderenza delle soluzioni finali alle condizioni del contesto, come nel caso di architetture che si adattano alle condizioni atmosferiche di uno specifico sito o ai prodotti indossabili modellati sul corpo di un determinato utente. Ad esempio, lo studio di design Nervous System in collaborazione con la New Balance, ha realizzato nel 2015 un algoritmo per produrre delle soles stampate in 3D e adattate alla modalità di cammino di ciascun utente. I progettisti si sono ispirati alla struttura e al principio di crescita delle ossa, secondo il quale in zone di maggior carico la densità di materiale aumenta e successivamente, hanno modulato in maniera simile la texture traforata della suola a partire da un insieme di dati sulla morfologia della pianta del piede e sulle progressive pressioni effettuate durante il cammino. Questa adattabilità ha stimolato molti progetti in ambito biomedico, dove la personalizzazione di busti, tutori, protesi al corpo dei pazienti è di fondamentale importanza. In Osteoid Medical (2013), vincitore dell'"A'Design Award", il designer Deniz Karasahin realizza un tutore per l'immobilizzazione del braccio a partire da alcuni parametri forniti da una tomografia assiale computerizzata (TAC) e tradotti in un algoritmo, che definisce la forma e la differenziazione della struttura porosa in cui le parti più dense corrispondono ai punti fratturati che non devono muoversi. Sui problemi di scoliosi si sono concentrati invece i progettisti della Wasp – azienda specializzata in stampa 3D – in collaborazione con l'ortopedico Lelio Leoncini, i quali hanno realizzato una serie di busti modellati sui corpi dei pazienti e che alternano parti porose e traspiranti a parti



FIG. 17  
Arboskin Pavillion, ITKE (Università di Stoccarda, 2013).

più rigide a seconda della tipologia di deviazione scoliotica da correggere (Moretti, 2016). Interessanti sono anche le sperimentazioni sulla texture delle parti traspiranti, alcune delle quali sono ispirate alle membrane auxetiche [6] presenti in natura, migliorando così la flessibilità dei busti (Fig. 16). A livello architettonico, il design parametrico viene utilizzato spesso a fini più estetici che funzionali, come dimostrazione di possibilità formali prima impensabili e per l'ottimizzazione di complesse geometrie strutturali in base a parametri ambientali o di carico. Ne è esempio il padiglione ArboSkin (2013), realizzato dall'Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) dell'Università di Stoccarda per dimostrare la possibilità nel futuro di realizzare edifici utilizzando bioplastiche, ad oggi meno resistenti e stabili rispetto a quelle convenzionali. La bioplastica utilizzata è Arboblend [7], prodotta dall'azienda tedesca Tecnar, mentre la geometria del padiglione è costituita da moduli piramidali, variabili in dimensione e inclinazione, che formano una membrana a doppia curvatura che si avvolge su sé stessa. L'utilizzo di software di progettazione parametrica è stato dunque fondamentale, sia nella realizzazione della struttura, che combina gerarchicamente elementi modulari variabili per ottenere una geometria complessiva più complessa; sia nell'ottimizzazione della stessa in relazione al materiale utilizzato, misurando ad esempio i carichi esercitati dal vento e dalla neve, oppure il rischio di deteriorazione a causa dell'esposizione al sole di alcune parti (Fig. 17).

Un altro fertile terreno di sperimentazione per i progettisti è quello che si ispira alle logiche costruttive utilizzate dagli organismi viventi per produrre nidi, tele, tane, gusci, conchiglie e bozzoli; i modi in cui le componenti vengono aggregate e le modalità di tessitura utilizzate (Langella, 2019). Ad esempio, l'ITKE precedentemente citato, in collaborazione con l'Institute for Computational Design (ICD) di Stoccarda, sviluppa ogni anno padiglioni sperimentali che mutuano le strategie costruttive che alcune specie biologiche adottano per proteggersi, adattarsi alle condizioni termo-igrometriche, resistere alle aggressioni esterne, o adeguarsi alla mutevolezza delle proprie esigenze. Per l'anno 2014/2015, essi hanno realizzato un padiglione ispirato alle modalità di tessitura utilizzate dal ragno palombaro per creare il suo nido sott'acqua, dimostrando un'innovativa modalità di costruzione per strutture fibrorinforzate (Doerstelmann et al., 2015; Schieber et al., 2015). Questa particolare specie di ragno infatti, tesse la propria tela attorno ad una bolla d'aria usata come una sorta di cassaforma, irrigidendone progressivamente le pare-

6. Strutture auxetiche molto sono diffuse in natura, ad esempio nella struttura microscopica del sughero o nella pelle dei serpenti e delle salamandre, ed hanno la capacità di ispessirsi in una direzione quando vengono sottoposti a trazione nell'altra o di assottigliarsi in una direzione quando vengono compressi nell'altra. In termini matematici possiamo dire che essi possiedono "modulo di Poisson" negativo, che permette loro di assumere quindi lo stesso comportamento in entrambe le direzioni, cosa che non accade invece nei comuni materiali.

7. Arboblend è una famiglia di bioplastiche estraibili e stampabili, biodegradabili al 100% e che mostrano proprietà simili all'ABS in termini di resistenza all'impatto. Questo materiale fa parte della collezione di campioni del MaterialPoint "Hylocene", ospitato nell'area coworking del centro Saperi&co di Sapienza e realizzato dall'autrice sotto la direzione scientifica delle proff. Lucibello e Cecchini. Il database dei materiali è consultabile al seguente link: [https://web.uniroma1.it/saperi\\_co/materialdesignpoint](https://web.uniroma1.it/saperi_co/materialdesignpoint)



FIG. 18  
*LifeObject, Padiglione Israele Biennale Architettura Venezia, 2016. Le installazioni sono caratterizzate da aste in alluminio ricoperte da tessuto elastico le cui proprietà strutturali variano a seconda del tessuto e della tipologia di intreccio utilizzati.*

ti con specifici movimenti e geometrie costruttive. Il team ha dunque riprodotto la bolla d'aria con un cassero pneumatico tenuto in tensione da una pompa e ha riprodotto i movimenti del ragno in un algoritmo che, trasferito ad un braccio robotico, orienta la deposizione di fibre di carbonio imbevute di resina lungo le pareti inizialmente flessibili. Il risultato è un padiglione con qualità architettoniche uniche, dalla struttura leggera ma rigida ed altamente efficiente. Con la stessa modalità di trasferimento, è stata realizzata l'installazione "LifeObject: Merging Architecture and Biology" proposta nel padiglione Israele alla Biennale di Architettura di Venezia nel 2016. L'opera, che rispecchia il tema della resilienza comune a tutto il padiglione, presenta logiche bioispirate su più livelli, visibili dalla scala del materiale fino a quella dell'intera struttura. Quest'ultima in particolare, è basata sulle modalità costruttive utilizzate dal passero giordano per realizzare il suo nido, il quale intreccia rami di diverse dimensioni in un sistema spaziale morfologicamente complesso, non lineare e non gerarchico, in grado di assorbire gli urti e mantenersi eretto, ma allo stesso tempo di contenere e interiorizzare i cambiamenti quando necessario (Jessel et al., 2019). Lo studio di questo sofisticato sistema di costruzione ha permesso al team, guidato dall'architetto Bnaya Bauer, di realizzare un algoritmo che modula la disposizione di aste in base allo spessore, alla lunghezza e alla capacità di piegatura in modo da riprodurre i complessi intrecci presenti nel nido e una struttura in grado di sorreggersi da sola combinando forze di tensione e fenomeni di integrazione indotta (Fig. 18). Di interesse per i designer, sono anche le numerose sperimentazioni, perlopiù di natura bio-chimica, che imitano il modo in cui alcune specie viventi realizzano nuove sostanze o aggregano diverse componenti. Famosa è la seta sintetica prodotta e commercializzata da Bolt Threads, una giovane azienda americana che, a partire dallo studio della speciale fibra proteica prodotta dai ragni, ha sviluppato un nuovo processo di fermentazione in grado di crescere un materiale con le stesse proprietà a partire da un composto di zuccheri, acqua, sale e lieviti. Proprio come avviene nei ragni poi, la sostanza liquida a base di proteine viene raccolta e filata in fibre solide attraverso un processo di *wet spinning*, che estrude il liquido attraverso degli ugelli e lo solidifica in un bagno di sostanze chimiche. Ispirandosi invece al processo con il quale le vespe producono i propri alveari, l'azienda olandese Freedom of Creation, ha realizzato nel 2011 un processo di stampa 3D a base di polvere di legno (Fig. 19). Le vespe infatti, creano una sostanza simile alla car-

ta, resistente e impermeabile all'acqua, masticando il legno secco e depositandolo in sottili strati tenuti insieme dalla loro saliva, che funge da legante.

Infine, la creatività della natura non si esprime solamente nella produzione di sofisticati sistemi materici o in articolate strategie di crescita e adattamento, ma anche nel fine vita e nell'assicurarsi che i componenti base, utili allo sviluppo di nuove forme viventi, tornino in circolazione all'interno dell'ecosistema in forma semplice, tale da essere facilmente riutilizzati dalle generazioni successive (De Rosnay, 1977). Forse è questo l'aspetto che maggiormente ha diversificato le nostre logiche produttive (lineari) da quelle biologiche (circolari) e su cui si concentrano gli sforzi di molti designer, sia a livello concettuale che operativo. Come avremo modo di approfondire in seguito, la traduzione dei concetti di riuso, riciclo, scomposizione, monomaterialità presi in prestito dalla natura, è stato negli ultimi decenni uno dei *leitmotiv* della cultura del progetto, spinta da esigenze ambientali, sociali e culturali, a trovare significati alternativi all'incessante necessità produttiva insita nella nostra umanità.

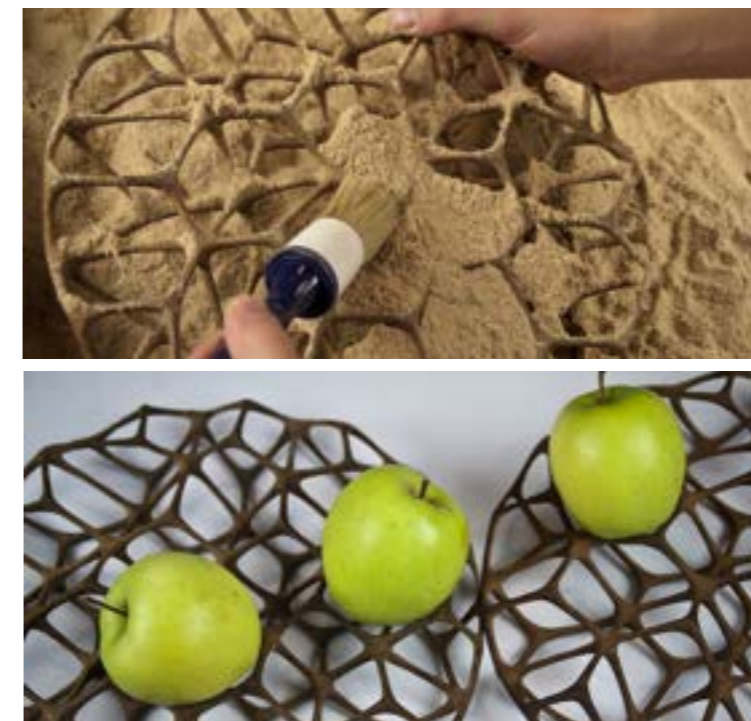


FIG. 19  
*Sawdust, Freedom of Creation, 2011. Processo di stampa 3D a partire da polvere di legno e ispirato al modo in cui le vespe fabbricano i loro nidi. La stampa dei componenti all'interno della polvere consente a quest'ultima di fungere da supporto, permettendo la realizzazione di forme anche molto complesse.*

## 2.2 Natura come misura

*«Il mondo che abbiamo creato è diventato così complicato che ora dobbiamo rivolgerci al mondo della natura per imparare come mantenerlo in funzione. In pratica più rendiamo meccanico il nostro ambiente fabbricato, più esso dovrà divenire biologico se vorrà continuare a funzionare»*  
(Kelly, 1995, p.2)

Sin dagli anni Settanta le questioni relative alla sostenibilità ambientale sono penetrate all'interno della cultura del progetto, rendendo progressivamente il principio ecologico un requisito fondamentale di cui tenere conto. Soprattutto a partire dagli anni Novanta, quando la questione giunge a maturità, si genera un atteggiamento progettuale profondo e globale che ha portato talvolta ad appiattire il dibattito intorno al rapporto natura-progetto; quasi che la risoluzione delle problematiche ecologiche costituisse un'orizzonte esaustivo, in grado di conciliare i due termini attraverso una perfetta coincidenza etica-estetica-ecoefficienza (La Rocca & Lucibello, 2015). Da un punto di vista concettuale, si intensificano i paragoni tra natura e artificio, poiché quest'ultimo diventa sempre più complesso e simbiologico, che non funziona più come una macchina o un'orologio, ma come un organismo vivente. La complessità della natura viene vista dunque come efficace riferimento per una cultura del progetto che non rinuncia alle opportunità tecniche ed espressive offerte dalle nuove tecnologie, ma ne prende vantaggio in un'ottica di innovazione ambientalmente sostenibile e sistemica (2.1.1 Prodotti come organismi). Dai primi esiti dell'"ecodesign" fino ai giorni nostri, la natura viene vista dunque come "misura", riferimento etico e strategico per valutare la "correttezza" delle nostre innovazioni di fronte ad un panorama complesso e in evoluzione, stimolando nuove soluzioni a più livelli di astrazione e intensità di azione: da interventi puntuali che mirano a trasferire qualità sostenibili a prodotti, materiali, processi (2.1.2 Bioispirazione per l'eco-efficienza); fino a progetti che mutuano le logiche comportamentali e organizzative del vivente per stimolare forme di comportamento socialmente più

sane o corrette (2.1.3 Bioispirazione per l'eco-innovazione).

### 2.2.1 Prodotti come organismi

Janine Benyus (1997), nel presentare la Biomimicry quale approccio biomimetico particolarmente rivolto alle sfide dello sviluppo sostenibile, afferma che la principale innovazione apportata dall'applicazione della bioispirazione risiede nell'aver stimolato un abbandono delle soluzioni antropocentriche e una continua ricerca per trovare un equilibrio tra la natura e l'impronta umana sul nostro Pianeta. Gli sviluppi nelle scienze biologiche degli ultimi decenni hanno infatti modificato le nostre consapevolezze e percezioni culturali nei confronti dell'ecosistema, portando ad una «riorganizzazione non solo dei nostri sistemi produttivi ma anche dei modelli di pensiero psico-culturali» al fine di raggiungere uno stato in cui la natura serva piuttosto come «un abilitatore di esistenza» (Benyus, 1997). Le conquiste ottenute dalla scienza a partire dall'inizio del secolo scorso, hanno di fatto influenzato i modelli di riferimento e di interpretazione della realtà, apportando anche nel design dei cambiamenti paradigmatici nel modo di vedere le cose e di affrontare le sfide che si presentano al progetto, non solo da un punto di vista tecnico ma anche dal punto di vista sociale, degli stili di vita, delle esigenze, dei linguaggi e dei modelli di consumo.

Non a caso, Viktor Papanek (2005/1973), tra i primi a svolgere considerazioni sulle responsabilità ambientali e sociali del design [8], affermava che «la progettazione, se vuole essere ecologicamente responsabile e socialmente rispondente, deve essere rivoluzionaria e radicale nel senso più vero dei termini. Deve votarsi al "principio del minimo sforzo" adottato dalla natura, in altre parole al massimo della varietà con il minimo delle invenzioni, ovvero ad ottenere il massimo con il minimo. Ciò significa consumare meno, usare di più, riciclare i materiali». A simili principi si riferiva anche Tomàs Maldonado in "La speranza progettuale" (2022/1971), dove esortava i progettisti ad agire contro le cause e gli effetti della nostra situazione ambientale, recuperando fiducia nella «funzione rivoluzionaria della razionalità applicata» (p.163). Negli anni Settanta dunque, iniziano ad emergere all'interno della cultura del progetto le prime considerazioni in merito alla sostenibilità, per ora del tutto rivolta all'ambiente, stimolate anche dal dibattito scientifico e dalle prime prese di posizione nei confronti dei problemi ambientali e dei "limiti dello sviluppo" che si diffondevano a livello globale. A

8. Papanek denunciava il design industriale della propria epoca, sprovvisto di ogni responsabilità sociale ed ecologica, dunque dannoso per l'ambiente e la società. gli affermava: «Fra tutte le professioni, una delle più dannose è la progettazione industriale. Forse nessuna professione è più falsa. Il disegno pubblicitario, che tende a persuadere la gente ad acquistare cose di cui non ha bisogno, con denaro che non ha, allo scopo di impressionare altre persone che non ci pensano per niente, è quanto di più falso possa esistere. Subito dopo arriva il design, che appronta le sgargianti idiozie propagandate dagli esperti pubblicitari» (1971, p.7)

9. Studio di architettura fondato a Firenze nel 1966 da Adolfo Natalini e Cristiano Toraldo di Francia, con Roberto Magris, Alessandro Magris, Giampiero Frassinelli, a cui in seguito si aggiunge Alessandro Poli.  
10. Adolfo Natalini, Lorenzo Netti, Alessandro Poli, Cristiano Toraldo di Francia, *Cultura materiale extraurbana*, Firenze, Alinea, 1983 (opera realizzata durante il corso di *Plastica ornamentale* tenuto dagli autori tra il 1974 e il 1977 alla Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze).



FIG. 20  
Enzo Mari pubblica nel 1974 *Proposta per un'autoprogettazione*, un progetto per la realizzazione di mobili con semplici assemblaggi di tavole grezze e chiodi. La definisce "una tecnica elementare perché ognuno possa porsi di fronte alla produzione attuale con capacità critica".

tal proposito, si ricorda l'impatto che ebbe "The limits to growth", il primo studio commissionato dal Club di Roma al System dynamics group dell'MIT per documentare l'insorgere della questione ambientale in termini globali, virando il dibattito scientifico sul problema della scarsità delle risorse, sulla crisi del petrolio, su un attacco al consumismo e sul promuovere una filosofia del "fare meno con meno" (Meadows et al., 1972). Nella produzione di design quindi, iniziano ad emergere una serie di concetti che guidano il progetto: riduzione, riuso e riciclo, montaggio/smontaggio/autocostruzione, uso di energie pulite e rinnovabili, riduzione delle emissioni nocive, scelta di materiali eco-sostenibili, analisi, certificazione e dematerializzazione del prodotto-servizio (Tamborrini & Tartaro, 2010); che benché rappresentati da pezzi unici e serie limitate che rappresentavano di fatto un approccio naïf e poco risolutivo se visto in termini globali, cominciavano a superare la fase dell'indiscriminata immissione di nuovi prodotti per pure logiche di profitto eolgevano lo sguardo ad assecondare le logiche della natura. Ne è esempio la mostra "Proposta per un'autoprogettazione" (1974), presentata da Enzo Mari, nella quale metteva a disposizione di tutti una serie di disegni e istruzioni per farsi i mobili da sé, mettendo in luce una critica nei confronti della produzione su larga scala, inquinante ma anche responsabile di una progressiva perdita di creatività e capacità di fare da parte degli individui (Fig. 20). Anche se del tutto teorica, rilevante è anche l'attività di ricerca etnografica e pedagogica portata avanti da Superstudio16 [9] alla fine degli anni Settanta, che mirava a dimostrare come le forme degli utensili e degli spazi della cultura rurale, forgiati dalla necessità, dall'uso, dalle consuetudini, costituivano da sempre un legame essenziale tra l'identità degli abitanti di un territorio e l'ambiente (Natalini et al., 1983) [10]. Secondo gli autori, le rapide trasformazioni prodotte dall'economia industriale avevano di fatto portato ad una rapida sparizione dell'«enorme patrimonio di conoscenze» testimoniato dagli oggetti/utensili e ambienti della ricerca e di un «diretto rapporto tra l'uomo e la natura, tra l'uomo e gli oggetti che servono a soddisfare i suoi bisogni reali utilizzando cognizioni, intelligenza e creatività che il sistema di divisione del lavoro ha reso inutili per la produzione di merci», che tuttavia potevano essere un punto di partenza per «rintracciare non solo le radici della nostra scienza, ma anche la possibilità di una scienza diversa [...] un'attività diversa in cui coincidono progetto, costruzione, uso e riciclo [...] tutti metodi di riappropriazione dell'attività progettuale vista come attività naturale» (Natalini

et al., 1983, p. 9).

Tuttavia, è dagli anni Novanta che la questione della sostenibilità giunge a maturità e si genera un atteggiamento progettuale profondo e globale che porta il dibattito sull'eco-progettazione (progettazione sostenibile) e sull'eco-design (design sostenibile) [11] a ricoprire l'importanza che occupa attualmente. Ciò è dovuto soprattutto alla consapevolezza di una crescente complessità che caratterizzava l'ambiente naturale tanto quanto quello artificiale, che diede vita nel decennio precedente ad una serie di "riforme" dal punto di vista epistemologico, normativo e politico: si sviluppa un nuovo "paradigma della complessità", un movimento che parte dalle scienze, ma che influenza anche la società, l'economia, i sistemi di produzione e consumo in un momento tra l'altro in cui maturano crisi di portata sistemica e globale, come quelle economica ed ecologica.

Dal punto di vista politico e normativo, gli anni Ottanta sono stati determinanti per la diffusione delle tematiche ecologiche, come dimostra il report "Our common future", pubblicato nel 1987 dalla World Commission on Environment and Development (WCED), meglio noto come "Rapporto Brundtland". In tale rapporto è interessante notare l'evolversi della definizione stessa di sostenibilità da questioni prettamente ambientali a scenari più ampi, che avrebbero portato anche il design nei decenni successivi a guardare all'"alto potenziale rigenerativo" delle sue soluzioni, capaci di integrarsi nel contesto d'uso, nonché di valorizzare e rigenerare le risorse ambientali e sociali localmente disponibili (Manzini & Jégou, 2003) [12]. Ciò è dimostrato dalle dicotomie di sostenibilità-sviluppo sostenibile e di sostenibilità debole-forte. La prima presuppone il passaggio dalla nozione di sostenibilità quale condizione di equilibrio degli ecosistemi naturali al significato più globale di sviluppo sostenibile, che tiene conto, oltre che della dimensione ambientale, di quella economica e sociale. I tre aspetti, considerati in rapporto sinergico e sistemico, implicano una condizione di benessere costante e preferibilmente crescente, al fine di lasciare alle generazioni future una qualità della vita non inferiore a quella attuale. La seconda dicotomia invece, contrappone al concetto di "sostenibilità debole", che ammette la sostituzione del "capitale naturale" con quello "manufatto" come eredità da trasferire alle generazioni future, a quello di "sostenibilità forte", secondo il quale è fondamentale tramandare un "capitale naturale costante" dotato delle sue proprietà di qualità, rigenerazione, resilienza e autoregolazione, al fine di ammortizzare il rischio di reazioni non lineari causate dal sopravvento delle logi-

11. Per "eco-progettazione" o "progettazione sostenibile" qui si intende un approccio tecnocratico ai problemi ecologici, mentre per "eco-design" si intende più in generale un "design per la sostenibilità" quale riorientamento globale degli obiettivi di produzione dei beni e dei saperi, materiali ed immateriali. (Antonioli & Vicari, 2015)

12. Il concetto di "rigenerazione", mutuato dallo studio dei sistemi biologici e degli ecosistemi, diventa infatti per gli autori uno strumento operativo per lo sviluppo di proposte realmente sostenibili e radicalmente innovative che guardano anche all'etica, all'estetica e allo sviluppo responsabile e condiviso della società.

13. Si tratta dunque di ribaltare tutta l'ideologia occidentale che, almeno da Descartes in poi, ha fatto dell'uomo il solo soggetto in un mondo di oggetti, unità insulare ed autosufficiente, padrone del mondo che lo circonda.

che antropiche. Un ulteriore passo avanti rispetto alla decisiva definizione del Rapporto Brundtland è stato fatto poi con la "strategia per un vivere sostenibile" realizzata congiuntamente dall'International Union for Conservation of Nature (IUCN), dall'United Nations Environment Programme (UNEP) e dal World Wildlife Fund (WWF) (1991). Stilata come un programma che offre oltre 130 proposte operative da attuarsi a tutti i livelli (locale, comunitario, regionale, nazionale, internazionale), essa fornisce una precisazione ulteriore sul concetto di sviluppo sostenibile sostituendo alla parola sviluppo, sovente legata alla forma economica delle società umane, con il termine vivere, in grado di comprendere appieno i concetti di stile di vita quotidiana e di responsabilità che ciascuno dovrebbe adottare per evitare eccessi nel proprio impatto sull'ambiente (Tamborriani & Tartaro, 2010).

Dal punto di vista epistemologico invece, si sviluppa a partire dagli anni Ottanta la cosiddetta "scienza della complessità", una sinergia di diverse discipline che mirava a rifondare la conoscenza su una prospettiva ecologica atta a comprendere ed affrontare quelli che iniziavano ad essere definiti i problemi globali e le interdipendenze planetarie che essi presupponevano. In particolare, essa deriva da un movimento che nasce all'interno delle cosiddette "scienze dure" o "esatte", che proprio indagando sempre più a fondo i fenomeni della natura, scoprono che quest'ultima non è data da forme, meccanismi e corrispondenze sempre rigorosamente esatte – come voleva dimostrare il determinismo scientifico – ma che al di sotto dell'apparente semplicità si nasconde una complessa rete di interrelazioni, interferenze, complementarità e interdipendenze che potevano essere interpretate più che determinate. Estensione che comprendeva anche il nostro ambiente costruito, sempre più complesso e interconnesso, che andava a costituire insieme alla "biocenosi" (l'insieme delle specie viventi) un'unico ecosistema attorno alla nozione di uomo: «più un sistema è evoluto, vale a dire complesso e ricco, più è aperto. L'uomo è il sistema più aperto di tutti, il più dipendente nell'indipendenza. Mai la civiltà era dipesa da un numero così vasto di fattori ecosistemici e qui, per ecosistema, non intendo soltanto la natura, ma l'ecosistema tecno-sociale, che si sovrappone al primo e lo rende sempre più complesso» (Morin, 1972, p. 22) [13]. La nuova "riforma" della conoscenza prevedeva dunque nuove alleanze tra conoscenza scientifica e conoscenza umanistica, il superamento della dicotomia tra osservatore e osservato e un sempre più fitto scambio di concetti e metodologie sistemiche tra il

mondo del vivente e i sistemi artificiali, per affrontare con approccio qualitativo la sfida dell'incertezza (Bocchi & Ceruti, 1985). Il tutto con un'attenzione rivolta non più alle singole parti che costituivano i fenomeni, ma alle relazioni tra di esse, secondo un "principio ologrammatico" per cui la parte è nel tutto, ma anche il tutto è nella parte, quindi «non possiamo considerare un sistema complesso attraverso l'alternativa del riduzionismo (che vuole comprendere il tutto a partire soltanto dalle qualità delle parti) o dell'"olismo" – non meno semplificante – che ignora le parti per comprendere il tutto» (Morin, 1985, p.28).

La nuova prospettiva culturale, genera dei profondi cambiamenti anche all'interno della disciplina del progetto, nella consapevolezza che la sua attività ha un'influenza diretta e globale sulle interrelate questioni ecologiche e che dunque non può prendere in considerazione i problemi di salvaguardia dell'ambiente solo alla fine del ciclo di vita di un prodotto (riuso, riciclo, smontaggio, riduzione delle emissioni), ma anche in tutte le fasi del processo di progettazione-produzione, dalla scelta dei materiali al trasporto dei prodotti, dal controllo degli sprechi al giusto comportamento in fase d'uso (Papaneck, 1995). Ciò, combinato ad una crescente complessità che caratterizza il nostro mondo oggettuale sempre più simile al vivente (Kelly, 1995), porta il design a vedere i prodotti come degli organismi, sistemi in cui ogni elemento partecipa ad una medesima "logica ologrammatica" e che siano in grado di esplicare una mentalità sostenibile in ciascun livello dimensionale e a ciascuna fase del suo ciclo di vita. Si genera così un'"ecologia dell'artificiale", che fa dei vincoli ambientali una straordinaria occasione per il progetto di proporre soluzioni diverse basate su rinnovati criteri di qualità e il fine ultimo non è il prodotto in sé o la semplice applicazione di tecnologie e materiali sostenibili ai prodotti, quanto piuttosto un'innovazione radicale e sistemica che tenga conto, già in fase progettuale, di tutto il contesto con cui questi prodotti sono in relazione, fatto di persone, comportamenti, processi, valori, relazioni mutuali e flussi di materia (Manzini, 1991). Alla base del concetto di "ecologia dell'artificiale" vi è quello di co-evoluzione, ovvero di un mondo in cui produrre, consumare e ricercare la soddisfazione dei propri bisogni non è in contrasto con la necessità di garantire alle generazioni presenti e future la vivibilità del Pianeta, ma in cui un diverso rapporto tra le cose e la tecnica che le produce, nonché un approccio di "cura" nei confronti di ciò che ci circonda, può portarci verso un mondo possibile perché sostenibile. Manzini, nell'introdurre la

14. Mostra inserita all'interno della XVIII edizione della Triennale di Milano promossa da F. Carmagnola, F. Doveil, F. Morace e A. Petrillo, "La vita tra cose e natura: il progetto e la sfida ambientale". La Triennale ospitava nove mostre a tema attorno al tema del rapporto prodotto e natura, ponendosi interrogativi sulla cosiddetta "sostenibilità" ecologica del progetto.

mostra “Il giardino delle cose” (1992) [14], una sorta di manifesto dell’ecologia dell’artificiale, afferma: «“Il giardino delle cose” è la metafora di un mondo in cui si coltiva la tecnica, così come nel giardino delle piante si coltiva la natura. Un mondo in cui le cose sono affascinanti e diverse come le piante. E, come le piante, hanno una propria vita: cose che durano per secoli come una quercia o che vivono una giornata come un fiore, ma che comunque rientrano in una più generale ciclicità della materia e dell’energia. Cose che, come un albero da frutto, si amano per come sono e per ciò che ci danno. Cose che rendono un servizio e che ci richiedono una cura. [...] Un mondo possibile in cui le cose hanno un senso, un’individualità, una storia e a volte anche, come certe piante, una loro magia e un loro mistero. Allo stesso tempo, però, “il giardino delle cose” è solo uno tra i tanti, diversi e altrettanto possibili, mondi futuri. Le sue potenzialità sono quelle di un germoglio: può crescere o morire soffocato da altre piante più forti di lui. Ciò che avverrà dipende da noi tutti: dalla capacità che avremo di riconoscerne il valore e di dargli la possibilità di vivere».

Con l’avvento delle problematiche ecologiche dunque, il riferimento alla natura diventa imprescindibile, non solo da un punto di vista concettuale, ma anche operativo. Le strategie del vivente vengono riprese per rendere prodotti, processi e servizi sempre più eco-efficienti, ovvero in grado di stabilire un rapporto più simbiotico con l’ambiente circostante e di agire talvolta anche in forma attiva, rigenerando i materiali, riprocessando le sostanze inquinanti, ottimizzando l’uso delle risorse e restituendo alla natura l’energia e la fatica spese per produrli. Come afferma Luigi Bistagnino (2009) infatti, ispirarsi alla natura significa ragionare per relazioni e secondo i principi della complessità che, combinati con le maggiori conoscenze scientifiche e tecnologiche, offrono spunti progettuali capaci di soddisfare sia i requisiti di funzionalità ed efficienza, sia i principi di sostenibilità ambientale. Gli organismi viventi infatti, fondano il loro successo evolutivo su una complessità che la scienza conosce sempre più a fondo e a cui il design può ispirarsi per “intessere” il progetto di prodotti e servizi ibridi, innovativi e con ridotti carichi ambientali (Langella, 2007). Ridondanza, adattabilità, auto-organizzazione, exaptation, rumore, diventano dunque le nuove qualità complesse che i designer cercano di trasferire a prodotti e processi che, assimilati ormai ad organismi biologici, possano in qualche modo rendere possibile la nostra sopravvivenza e la nostra co-evoluzione con un Pianeta ormai infetto.

## 2.2.2 Bioispirazione per l’eco-efficienza

Nell’era delle crisi ecologiche, la natura non è solamente un modello da preservare ed imitare formalmente, ma è anche fonte di ispirazione per nuove strategie atte a favorire uno sviluppo sostenibile del sistema produttivo in termini di equilibrio, vantaggio, evoluzione e progresso (Salvia, Rognoli & Levi, 2009). Essa fornisce un corredo di espedienti pressoché illimitato in quanto, se consideriamo l’evoluzione di ciascun organismo in relazione al suo contesto, possiamo raccogliere una molteplicità di sistemi di gestione dinamica ed adattiva delle risorse materiali e dell’energia, da sperimentare sia nel miglioramento dei processi produttivi – ad esempio, risparmiando energia in fase di produzione oppure ottimizzando la dismissione dei rifiuti –, sia nella progettazione di prodotti eco-efficienti – in grado, ad esempio, di fare un uso più parsimonioso delle risorse.

Julian F.V. Vincent, docente di biomimetica all’Università di Bath in Inghilterra, ha portato avanti nel 2006 una ricerca dal titolo “Biomimetics: its practice and theory”, in cui esplora le fondamentali differenze tra la biologia e la tecnologia nell’approccio al *problem solving* o, biologicamente parlando, ai cosiddetti *problems of living*. In particolare, analizza insieme al suo team centinaia di soluzioni ingegneristiche in relazione alle corrispondenti soluzioni biologiche e riassume in due grafici gli approcci evidenziando il quantitativo utilizzato da ciascuno in termini di informazioni, energia, spazio, tempo, struttura e sostanza (Fig. 21). Come è evidente, la natura è in grado di ottenere soluzioni con un vantaggioso rapporto costi-benefici e con l’utilizzo di una quantità di energia ridotta al minimo, puntando invece su una progettazione intensiva a tutti i livelli (che si riscontra sia nella maggiore organizzazione delle informazioni, sia nell’uso ottimizzato di materia in complesse strutture) e sull’impiego di un tempo più lungo. Al contrario, la tecnica guidata dall’uomo utilizza ampie quantità di energia, materia e spazio a discapito di intelligenza, intesa come la capacità di assumere un comportamento efficace ed efficiente in un contesto o situazione specifica. Inoltre, la natura è in grado di distribuire i suoi sforzi in maniera equa a tutte le scale, dai nanometri ai chilometri, al contrario dell’uomo che invece non è in grado di sfruttare i vantaggi derivanti da una medesima continuità gerarchica. Quest’ultima infatti, è caratterizzata da una molteplicità di interconnessioni non lineari tra gli elementi di un sistema disposti su più livelli e risulta fondamentale nel processo di adattamento degli esseri viventi, perchè permette di apportare

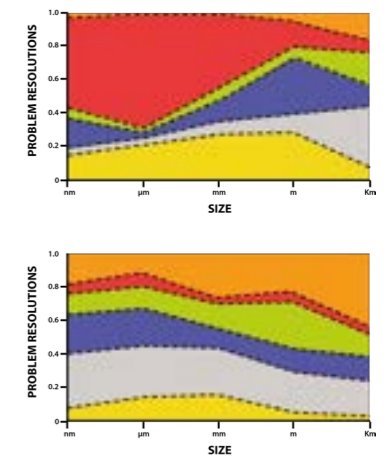


FIG. 21  
I due grafici elaborati da Vincent (2006) esplorano il quantitativo di informazioni (arancio); energia (rosso); tempo (verde); spazio (blu); struttura (grigio); sostanza (giallo), che viene utilizzato dall’uomo (in alto) e dalla natura (in basso) nella risoluzione dei problemi e nel creare una soluzione per essi.



FIG. 22  
From Venice with Algae, Dorigo Semper, 2020. Francobolli realizzati con Alga Carta, realizzata dalla Favini. Il designer ripercorre con l'azienda tutte le tappe del processo produttivo, sperimenta nuove forme di riutilizzo delle alghe e realizza un inchiostro a base di alga spirulina per la stampa delle grafiche.

piccoli cambiamenti alle scale inferiori per ottenere proprietà dette "emergenti" ai livelli superiori, determinando il più delle volte la sopravvivenza dell'intero sistema. Dunque, per arrivare a soluzioni più sostenibili, anche l'uomo dovrebbe cominciare ad assumere una logica differente, sostituendo all'economicità dei costi finanziari e del tempo, un più attento uso dell'energia e della materia, apportando anche piccoli miglioramenti a tutte le scale del sistema, senza pretendere, tra l'altro, di raggiungere risultati in tempi brevi.

Sulle medesime considerazioni si sono focalizzate ad esempio le prime sperimentazioni di design sistemico orientato alla sostenibilità, poi sfociato nelle metodologie Life Cycle Design che, riprendendo dalle analisi LCA (Life Cycle Assessment) l'attenzione all'intero ciclo di vita del prodotto, vedono il design quale disciplina in grado di contribuire all'organizzazione delle attività e dei diversi stakeholder coinvolti nelle fasi di produzione, distribuzione, consumo e dismissione per la minimizzazione dell'impatto ambientale di prodotti, servizi e infrastrutture (Vezzoli, 2005; Vezzoli, Ceschin & Cortesi, 2009). Mentre queste metodologie si ispirano alla chiusura dei cicli biologici in ottica *zero emission*, molte altre strategie sono state adottate negli anni per imitarne le qualità di rigenerazione, elevando le pratiche di riutilizzo e reimmissione a scalabilità industriali ed ottimizzazioni produttive: da strategie del "fare e disfare", dove le singole parti dei prodotti possono essere facilmente disassemblate e valorizzate all'interno di nuovi cicli produttivi; a sistemi circolari o "dalla culla alla culla" che, assimilando i processi industriali ai cicli metabolici della natura, puntano ad eliminare il concetto di scarto, trasformandolo in nutrimento per nuovi processi (McDonough and Braugart, 2003).

In tale ottica, è fondamentale il connubio tra design e ricerca sui materiali, che negli ultimi anni ha rivestito un ruolo sempre più centrale in relazione all'innovazione sostenibile, non solo perchè essi rappresentano l'interfaccia fisica della produzione e dunque portano il peso tangibile in termini di consumo di risorse primarie (Pellizzari & Genovesi, 2017), ma anche perchè sono strumenti attraverso i quali caratterizzare il progetto, sia dal punto di vista di nuove e migliori prestazioni, sia dal punto di vista semantico e percettivo. I materiali infatti, possono essere uno di quegli elementi strategici, posti ad una scala gerarchica inferiore ma che, se opportunamente impiegati o progettati, possono portare ad un'innovazione radicale dell'intero sistema di realizzazione dell'artefatto. Inoltre, la spinta alla sostenibilità rafforzata da iniziative *top-down* da parte dei go-

verni mondiali, porta non solo i progettisti, ma anche l'accademia, l'industria e la ricerca in altre discipline a sviluppare soluzioni materiali alternative e etiche nei confronti dell'ambiente. Esse vedono il coinvolgimento del design a monte, che reinventa e sperimenta attraverso la creatività nuove forme di industrializzazione e visioni "disruptive" dei materiali e a valle, dando loro identità attraverso applicazioni di significato. Se da un lato infatti, favoriti da fenomeni bottom-up come il *do-it-yourself* (Atkinson, 2006) e il *material tinkering* (Parisi et al., 2017), i progettisti entrano nella fase di realizzazione di materiali inediti, dall'altro risulta fondamentale il loro contributo nella riqualificazione dell'ambiente semiotico di un materiale e nella definizione della sua riconoscibilità quanto del suo significato (Ceppi, 2016). In particolare, sono due le direzioni principali verso le quali la ricerca e la produzione di materiali eco-responsabili sta evolvendo, apparentemente opposte ma che in realtà rappresentano le due facce della stessa medaglia. La prima, più artigianale e autarchica, è quella dei materiali circolari derivanti dagli scarti della produzione, del consumo e post-consumo dei prodotti, secondo l'approccio sistemico "dalla culla alla culla". Questi materiali a loro volta, posso derivare da un processo di rivalutazione e *upcycling* di materie prime di scarto di origine naturale, rinnovabili e biodegradabili; oppure dalla rigenerazione e valorizzazione di scarti di origine sintetica, finiti e limitati. Nel primo caso, lo scarto può essere recuperato da processi produttivi biobased e biosourced, come nel caso di "Appleskin", una pelle eco-sostenibile e alternativa etica a quelle di origine animale, ricavata dal riuso degli scarti industriali della lavorazione delle mele biologiche in Alto Adige. Oppure, vengono rivalutate risorse abbondanti in natura, come in "Shiro Alga Carta" prodotta dalla Favini, che affronta il surplus di alghe infestanti nella Laguna di Venezia (dannose per l'ambiente e difficili da smaltire) reimpiandole nella realizzazione di questa carta che tra l'altro, per la presenza di clorofilla, diventa più bianca nel tempo (Fig. 22). Nel caso di materiali tecnociclici invece, gli scarti vengono in genere recuperati da attività di *landfill* e *urban mining*, che mirano a dare valore e nuova utilità a materie rigettate perchè ormai obsolete. Ad esempio, nel progetto "Rethinking materials", Ecopneus e Matrec con la collaborazione di molti designer hanno sviluppato 15 nuovi materiali esteticamente rinnovati, fonoassorbenti e antivibranti derivati al 100% da gomma riciclata da pneumatici fuori uso, miscelata e poliaccoppiata, utili per diverse applicazioni: dall'arredo urbano all'oggettistica, alle pavimentazioni (Fig. 23). Ai materiali



FIG. 23  
Rethinking Materials, Ecopneus & Matrec, 2019. Il materiale a base di gomma riciclata viene miscelato o poliaccoppiato con numerosi materiali, sia di origine naturale che sintetica, anch'essi derivanti da riciclo, come: trucioli di legno, sughero, muschio, trucioli di plastica, ecc., a conferire proprietà uniche per ciascun tipo.

16. È il cemento utilizzato per realizzare le facciate del Padiglione Italia di Expo 2015, progettato dallo studio di architettura Nemesi e che anche nelle trame evoca i fitti intrecci naturali dei rami o delle ragnatele.

17. I materiali fin qui elencati sono stati raccolti all'interno del MaterialPoint "Hylocene", ospitato nell'area coworking del centro Saperi&co di Sapienza e realizzato dall'autrice sotto la direzione scientifica delle proff. Lucibello e Cecchini. Il database dei materiali è consultabile al seguente link: [https://web.uniroma1.it/saperi\\_co/materialdesignpoint](https://web.uniroma1.it/saperi_co/materialdesignpoint)

circolari si contrappongono quelli altamente performanti, in cui le più sofisticate tecnologie danno voce alla loro utilità, dotando la materia di caratteristiche biologiche di autonomia e autorganizzazione, sensibilità e multifunzionalità. È il caso dei materiali eco-attivi, che grazie alle caratteristiche intrinseche, sono in grado di attivarsi autonomamente, di produrre una risposta a determinate condizioni o intraprendere un cambiamento di fase, solitamente reversibile. Nascono così materiali "vivi" che come gli organismi viventi, sono in grado di autopulirsi, di bloccare le radiazioni UV, di abbattere agenti inquinanti o di purificare le acque. Ad esempio, "I.Active Biodynamic" [16] è una malta cementizia prodotta dalla Italcementi, proveniente dal riciclo di sfridi di lavorazione del marmo di Carrara e contenente un principio attivo fotocatalitico che le conferisce proprietà autopulenti e disinfettanti. "Sunspace" è un materiale bioispirato, poroso ed economico, sviluppato dall'Università di Brescia e ancora in fase di definizione, in grado di catturare il particolato atmosferico e di rigenerarsi come una foglia attraverso la pioggia, costituendo una valida alternativa ai filtri oggi esistenti [17]. Con l'ausilio delle contemporanee biotecnologie poi, le proprietà attive dei materiali possono essere conferite grazie all'uso di microrganismi, come nel caso di "BioConcrete", un cemento sviluppato dallo scienziato Jank Hinkers e dal suo team presso la TU Delft University (2011), che utilizza batteri alcalifili (capaci di produrre calcite) per riparare le crepe che nel tempo possono generarsi nel calcestruzzo, generando un materiale auto-riparante ed estremamente resiliente che può durare (si stima) fino a 50-100 anni più dei suoi simili, con enormi vantaggi ambientali e di sicurezza (Fig. 24). Anche Ginger Krieg Dosier, professoressa in architettura presso l'American University of Sharjah, ha utilizzato batteri alcalifili per rendere il processo di produzione delle componenti edili - che utilizza quantità di energia e calore molto elevate - più sostenibile e a temperatura ambiente (2013), aggiudicandosi numerosi premi di design e dando vita alla start-up Biomason. "Silk Leaf", realizzato dal designer Julian Melchiorri (2014), è un materiale fotosintetico che utilizza le proteine della seta iniettata con cloroplasti derivanti da piante, comportandosi come una vera e propria foglia in grado di assorbire anidride carbonica e restituirla sotto forma di ossigeno (Fig. 25).

Tuttavia, molti designer e ingegneri si sono ispirati alle strategie viventi anche per realizzare artefatti eco-efficienti nelle forme, che in fase d'uso possono minimizzare gli sprechi, l'energia e le risorse: "Lily Impeller" (2009) è stato uno dei primi esempi, un miscelatore

per acqua ispirato alla forma a spirale della calla, ottimizzata per far fluire autonomamente l'acqua in un vortice con un dispendio energetico molto limitato; molto conosciuti sono anche le pale eoliche sviluppate dai ricercatori Phil Watts e Frank Fish nel 2004, che si ispirano ai tubercoli delle pinne della megattera per generare più energia con flussi d'aria ridotti e il "Bullet Train" o "Shinkansen" (2014), un treno la cui forma è ispirata dal becco del martin pescatore, perfettamente aerodinamico, aumentando la velocità di viaggio ma riducendo anche il consumo medio di carburante.

Il riferimento alla natura può dunque aiutare il design ecologicamente sostenibile a trovare le strategie più adatte ad un uso più intelligente delle fonti energetiche, a riciclare risorse non rinnovabili, a riutilizzare i rifiuti, fino a giungere a strategie più complesse come quelle di autonomia, ridondanza e multifunzionalità, dotando l'artefatto di capacità di adattamento e flessibilità al pari del vivente. Tali strategie possono essere applicate non solo a prodotti tangibili ambientalmente responsabili, ma anche a servizi e rinnovate modalità di consumo che fanno della smaterializzazione il nuovo riferimento di valore, come nel caso delle strategie di monitoraggio indoor e outdoor che, come in natura, utilizzano complessi sistemi di feedback per ricalibrare l'uso delle risorse in ottica adattiva ed eco-efficiente. Le nuove opportunità tecnologiche offerte dalle tecnologie dell'informazione, dalle nanotecnologie e dalle biotecnologie possono essere un utile riferimento per la realizzazione di artefatti che non mirano solamente a soddisfare le nostre esigenze fluide, ma a ristabilire un rapporto più proficuo e mutualistico con la natura che ci circonda. Tuttavia, nonostante la prospettiva dell'eco-efficienza ha cambiato radicalmente la nostra estetica, la nostra etica e il modo di produrre, ha generato sin da subito nei corridoi della cultura progettuale un dissenso nei confronti della riduttività dell'approccio: per arrivare ad una vera "ecologia dell'artificiale" non può essere sufficiente creare prodotti e processi ecologicamente responsabili se poi non vengono contestualizzati, o comunque si presentano estranei agli utilizzatori in fase d'uso. Ed è qui che si inserisce la valenza più profonda ed innovativa del design sostenibile, che attraverso il progetto è in grado di proporre soluzioni di senso e attraverso l'espressività della natura può tradurre le innovazioni in forme di sensibilizzazione e di stimolo per comportamenti più responsabili.

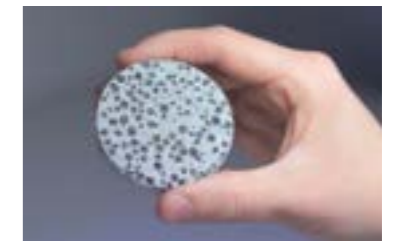


FIG. 24  
BioConcrete, TUDelft University, 2011.



FIG. 25  
Silk Leaf, Julian Melchiorri, 2014.



### 2.2.3 Bioispirazione per l'eco-innovazione

Con il consolidarsi della globalizzazione e delle criticità derivanti da una “modernità liquida”, si diffonde sempre più nella cultura del progetto la convinzione che, se si vuole raggiungere una reale dimensione del “vivere sostenibile”, sia necessario andare al di là del tradizionale assioma “inquinare di meno” e cominciare – a partire da ciascuno – a pensare, scegliere e consumare diversamente. Più che enfatizzare l'innovazione tecnologica, ci si deve dunque concentrare su un cambio di mentalità a favore di un mondo globale e sostenibile, amplificando il pensiero sistemico e perciò contestualizzando le applicazioni in riferimento all'intero sistema che le ospita. Il design, con le sue caratteristiche di pervasività, può fare dunque la sua parte definendo nuovi scenari in cui cogliere i contorni di un mondo nuovo, più responsabile e condiviso, supportando uno sviluppo maieutico di nuovi stili di vita e di nuovi valori. Ciò attraverso una pratica interdisciplinare e una visione complessa, che tenga conto dei valori legati all'uomo, di parametri qualitativi piuttosto che quantitativi e di un grado di benessere non materiale ma morale delle persone. Si tratta dunque di rimettere al centro l'uomo e non le cose, focalizzandoci su quello che possono fare le persone piuttosto che sulle potenzialità delle nuove tecnologie, verso un tipo di innovazione collaborativa capace di innescare nelle comuni coscienze un atteggiamento etico e di cura nei confronti dell'ambiente e del prossimo (Thackara, 2006). Ecco allora che al progettista si richiede di progettare non solo assecondando il metabolismo naturale delle cose, minimizzando gli sprechi, l'energia e le risorse in virtù di un processo meramente transitivo dalla natura all'artificio, ma anche suggerendo ad esempio nuovi comportamenti, usi, funzioni ed estetiche sostenibili: la transizione verso un nuovo e più partecipato concetto di sostenibilità è infatti un processo di apprendimento sociale e di adattamento che necessita di «integrare prospettive e conoscenze di diverse discipline e sistemi di valori» (Baxter & Wahl, 2008). A tal proposito, John Thackara nel suo “In the Bubble. Designing in a Complex World” (2006), incita ad un nuovo tipo di innovazione sostenibile, ispirata alla società, che soprattutto a partire dalle potenzialità del digitale e delle tecnologie dell'informazione, porti alla realizzazione di servizi, piattaforme, sistemi e attitudini che educino le persone ad interagire in modo più efficace e responsabile, condividendo le risorse, valorizzando i luoghi, prendendosi cura gli uni degli altri e rigenerando quotidianamente la natura. Per

l'autore infatti, «la progettazione dall'alto verso il basso, dall'esterno, non potrà più funzionare», piuttosto, il rinnovamento sociale può avvenire solo da piccoli mutamenti incrementali e dal basso, secondo un principio di emergenza del tutto affine alla natura. Tuttavia, come in qualsiasi processo di matrice culturale, ciò richiede tempi di sedimentazione lunghi e complessi, spesso di durata più estesa rispetto a quelli di una comunità; è quindi indispensabile indurre una trasformazione culturale che dia continuità e prospettiva evolutiva ai progetti di breve termine, rendendo percepibili le trasformazioni in corso e favorendo transizioni spontanee e radicali. Non solo il design dei servizi, seppure si presti effettivamente a promuovere e a diffondere una sensibilità nei confronti della sostenibilità sociale, ma il design nella sua globalità deve saper divulgare maggiore consapevolezza verso le problematiche ambientali al fine anche di consentire scelte corrette da parte dei soggetti fruitori. «Abbiamo bisogno di nuovi modi di guardare al mondo e di agire in esso; di una nuova estetica della sostenibilità, di modo che quando guardiamo un aeroporto non ne percepiamo solo le forme e le prestazioni, ma anche l'*emergy* [18]» (Thackara, 2006, p.112). Dunque, il design per la sostenibilità agisce oggi anche, e soprattutto, attraverso un rinnovamento delle estetiche, dei linguaggi, dei significati, prefigurando nuovi scenari sensoriali ed esperienziali, capaci di colpire nel profondo la sensibilità umana. Infatti, nel momento in cui la progettazione di design è ampliata oltre la forma e la funzione di un artefatto, fino a comprenderne tutta una serie di altri aspetti, come il significato espresso, l'interazione con l'utente, i comportamenti di risposta, la dimensione simbolica o la tattilità della superficie, gli oggetti diventano di fatto attivi, soggetti in grado di veicolare un messaggio e di coinvolgere le emozioni degli utenti, condizionandone i comportamenti e le modalità di visione. In tal senso, l'eco-innovazione si esprime oggi su un duplice binario: da un lato, quello che vede la progressiva dematerializzazione delle soluzioni progettuali, puntando sugli strumenti digitali e sulle intangibili interconnessioni della rete per mediare e modulare i rapporti tra gli individui; dall'altro quello delle sperimentazioni materiche e processuali che, attraverso l'uso sofisticato di materiali e tecnologie, mirano a rinnovare le estetiche inglobando una serie di parametri qualitativi, come l'esperienza, la sensorialità, l'interattività e la valenza narrativa.

Anche in questo caso il binomio design-scienze della vita risulta proficuo, poiché le complesse logiche strutturali alla base degli

18. Ovvero l'energia incorporata. Qui Thackara vuole incitare i progettisti a dare un senso profondo all'uso delle tecnologie, talvolta scardinando le consuetudini e agendo attraverso un'estetica fortemente comunicativa, in grado di rendere visibili tanto l'insostenibilità del nostro artificio (come nel caso dell'aereo) tanto il pensiero che c'è dietro un nuovo prodotto o sistema che agisce nella prospettiva della sostenibilità.

**FIG. 26**  
*DesignLens: Life Principles, Baumeister D., 2013. Schema riassuntivo dei principi della vita utili per un design sostenibile ed innovativo. Questi principi sono ora alla base delle metodologie proposte dal collettivo "Biomimicry 3.8", una piattaforma dedicata al design biomimetico che riunisce designer e biologi di tutto il mondo per favorire lo scambio reciproco.*



ecosistemi naturali, che permettono ai sistemi biologici di sopravvivere e prosperare in relazione a fattori biotici e abiotici del contesto circostante, possono fornire efficaci strategie applicative per attivare relazioni sinergiche e collaborative, secondo un approccio co-evolutivo e mutualistico. Dayna Baumeister ha elaborato per il suo dottorato un interessante manuale dal titolo "The Biomimicry Resource Handbook. A seed bank of best practices" (2013), in cui mostra proprio come alla base del vivente esistano delle condizioni operative senza le quali la continuità della vita non è garantita e che dunque possono essere trasferite al mondo degli artefatti per una migliore integrazione ecosistemica. In particolare, l'autrice raccoglie le sue considerazioni in un diagramma a tre livelli che restituisce una rappresentazione sintetica del sistema interconnesso dei principi della vita (Fig. 26): il livello più interno è rappresentato dal motto «life creates conditions conducive to life» ed è l'obiettivo aspirazionale e la proprietà emergente dai principi della vita; il livello più esterno raccoglie i "life's principles" in 6 grandi categorie (evolve

to survive; adapt to changing condition; be locally attuned and responsive; integrate development with growth; be resource efficient; use life-friendly chemistry); il livello intermedio spiega come la vita mette in pratica i suoi principi attraverso l'elenco di una serie di strategie. Come appare evidente da una prima lettura, tali strategie sono molto generali ed applicabili ad una vastità di campi, ma restituiscono una «banca di semi per pratiche migliori» che, se i designer si prestano a seminare, possono dare vita a germogli di futuri più etici, qualitativi ed eco-integrati. Così, nella categoria "be locally attuned and responsive", possiamo trovare ad esempio diverse strategie utili a sperimentare modelli comportamentali collettivi che, mediante prodotti e servizi, possano facilitare la cooperazione e la sinergia: "cultivate cooperative relationships" indica la capacità di alcune specie di attivare relazioni collaborative e reazioni reciproche per affrontare i cambiamenti in ottica co-evolutiva; "use feedback loops" indica la capacità di alcuni organismi di rispondere alle sollecitazioni del mondo esterno, portando anche ad esempio a intelligenze collettive o "di sciame" (forme di apprendimento collettivo e di prassi decisionali basate su sistemi decentralizzati e organizzati in autonomia); "use readily available materials and energy" riguarda il modo in cui la natura sceglie le materie prime per i suoi processi, cercando di sfruttare al massimo ciò che si ha a disposizione in un dato tempo e in un dato spazio. Come possiamo immaginare, solamente dall'elenco di tre strategie appartenenti al più generale principio di "essere sempre sintonizzati e reattivi rispetto al contesto locale", può aprire a numerosi scenari innovativi, molti dei quali già sperimentati dai designer a diversi livelli. Ad esempio, a fronte della sempre maggiore possibilità di connettere oggetti, persone e natura, nel 2008 la mostra "Toward the Sentient City", curata da Mark Shepard e organizzata dalla Architectural League di New York, esplorava possibili traiettorie su come vari dispositivi mobili e incorporati, sistemi di comunicazione in rete e distribuiti avrebbero potuto informare e influenzare i nostri comportamenti per vivere le città in modo più partecipativo e sostenibile. In "Amphibious Architecture" (Fig. 27), i progettisti David Benjamin e Natalie Jeremijenko hanno creato due installazioni galleggianti sull'East River e sul Bronx River, al fine di fornire un'interfaccia tra la vita sopra e sotto l'acqua, stimolando così dialogo e cicli di feedback tra esseri umani, pesci e il loro ambiente condiviso (il fiume): attraverso un SMS i cittadini potevano inviare messaggi di testo ai pesci, ricevere informazioni in tempo reale sul fiume e contribuire ad una mani-

**19.** Pachube è una delle piattaforme per la gestione di dati in realtime più conosciute e viene utilizzata nei sistemi IoT (Internet of Things) per mettere a sistema milioni di datapoint al giorno (ciascuno corrispondente ad un individuo, un'organizzazione o un'azienda) e permetterne l'istantanea interazione.



**FIG. 27**  
*Amphibious Architecture, David Benjamin e Natalie Jeremijenko, 2011*



**FIG. 28**  
*Natural Fuse, Usman Haque, 2008.*



FIG. 29  
*Autarchy, Formafantasma, 2010. Nelle immagini è visibile l'ampia cartella colori ottenuta dai designer a partire da sostanze naturali come spezie e radici.*

festazione di interesse collettivo per l'ambiente. Benché sia stata un'installazione interattiva, il cui risultato finale era una coreografia di luci che variavano di intensità e colore a seconda di diversi parametri (intensità di partecipazione, qualità dell'acqua, presenza di vita subacquea, ecc.), questo progetto ha reso visibile l'invisibile, mappando una nuova ecologia di persone, vita marina, edifici e spazi pubblici, nonché incoraggiando nelle persone curiosità ed impegno. Partendo invece dal presupposto che ogni apparecchio elettronico che usiamo quotidianamente consuma energia la quale, per essere prodotta, genera emissioni di anidride carbonica, "Natural Fuse" (un altro dei progetti esposti) mette a punto un sistema interattivo composto da tre elementi (Fig. 28): un dispositivo elettronico (che può essere un oggetto di uso quotidiano come una lampada, un ventilatore o una radio), una pianta e un sistema Pachube [19]. Per utilizzare il dispositivo elettronico, all'utilizzatore del sistema viene fornita solamente la quantità di energia corrispondente alla quantità di anidride carbonica che la pianta ad esso collegata riesce a riassorbire. Su scala urbana poi, il sistema Pachube collega tutti i sistemi "Natural Fuse" e i diversi proprietari sparsi per la città e fornisce la quantità di energia complessiva corrispettiva alla capacità di eliminazione dell'anidride carbonica da parte di tutte le piante. Il consumo dell'energia è quindi condiviso tra tutti i partecipanti al sistema: se qualcuno non sta usando la lampada, un altro potrebbe aumentare il volume della radio; ma cosa più importante, questo sistema – applicato alla città di Londra ma scalabile anche ad altre parti del mondo – stimola attraverso il design una nuova consapevolezza di quanto ognuno di noi può impattare sull'ambiente e di quanto invece si può fare se si fondano delle sinergie.

Sul piano invece dell'utilizzo di materiali ed energie locali, valorizzandoli, si sono focalizzati molti progetti di sperimentazione materiale e processuale che, riappropriandosi della dimensione del fare – sia essa artigianale o tecnologicamente avanzata –, hanno dato vita a prodotti esperienziali e poetici in grado di rivelare estetiche e possibilità produttive più sostenibili. Emblematico in tal senso, è il lavoro di Formafantasma, alias Andrea Trimarchi e Simone Farresin, che attraverso cultura, creatività ed ingegno, si focalizzano sulle possibilità trasformatrici di materiali semplici, naturalmente e localmente disponibili, attuando una riflessione profonda che va al di là del risultato tecnico-formale, verso estetiche contemplative e processi ad impatto nullo. Così ad esempio in "Autarchy" essi danno vita ad una collezione di contenitori, vasi e lampade prodotti con

una miscela di farina, scarti agricoli, calce naturale e ad una cartella colori ottenuta dalla selezione di verdure, spezie e radici diverse che vengono essiccate, bollite e filtrate. Tutte queste materie prime vengono collezionate all'interno del contesto locale siculo dal quale i progettisti provengono e ne restituiscono estetiche e poetiche atte a contemplarne la semplicità del quotidiano. I prodotti poi, sono stati accompagnati da un'approfondita spiegazione delle varie fasi di ricerca, dei processi attuati, degli strumenti utilizzati come macine e forni, dei saperi tradizionali rivalutati, e così via, in un'ottica del tutto open source per stimolare attraverso la condivisione di conoscenze ed informazioni modalità alternative di autoproduzione. Nel più recente progetto "Cambio: on Finnish Forestry" (2022), i due progettisti spostano la loro attenzione sul territorio finlandese ed esplorano il suo rapporto con la silvicoltura. La mostra – appartenente al più ampio progetto "Cambio" in cui viene indagato l'impatto ambientale di un materiale apparentemente sostenibile come il legno, invitando i designer ad utilizzarlo con più coscienza – si pone come uno studio approfondito del rapporto che l'industria e il design finlandese hanno avuto nel tempo con l'abbondante quantità di foreste presente sul territorio, restituendo attraverso video, installazioni e nuove sperimentazioni le opportunità e le implicazioni che ne derivano: sono prodotti della ricerca di nuovi modi per «mettere in relazione la produzione con un ecosistema specifico. [...] Può sembrare banale, ma quello che vogliamo è spostare l'attenzione dalle cose al contesto, [...] vorremmo che le persone vedessero le sedie come pezzi di foresta e il design come il risultato di decisioni politiche e non esclusivamente come il frutto della creatività di un designer» (Englefield, 2022).

Così, tornando ad una dimensione più esperienziale di vivere il progetto e la stessa natura, l'eco-innovazione si ispira oggi alle complesse dinamiche relazionali che fondano il successo evolutivo delle specie viventi, cercando di replicarne le medesime qualità rigenerative. Dalla rivalutazione dei sistemi locali alla realizzazione di servizi di *sharing*, passando per sperimentazioni autarchiche di economia circolare, estetiche dell'effimero [20] e l'"internet di ogni cosa", essa si configura quindi come un campo ricco di stimoli e di possibilità tecnico-espressive, ritenendo sempre la natura come esempio e "misura", riferimento etico e strategico per valutare la "correttezza" delle nostre innovazioni e prefigurare un futuro in cui la responsabilità condivisa possa garantire migliori qualità di vita.

20. Ne sono esempio tutti quei prodotti "effimeri", realizzati con materia biologica, bioderivata o edibile, che proprio come in natura si degradano o si trasformano una volta terminata la loro vita utile.



FIG. 30  
*Cambio, Formafantasma, 2020. La mostra, inaugurata per la prima volta al Serpentine Galleries di Londra, indaga i processi produttivi del legno per la realizzazione di diverse tipologie di artefatti. Il duo ha infatti svolto un'approfondita ricerca delle diverse tipologie di legno, delle lavorazioni ad esse relative, dalla fase di estrazione a quella di tintura e rifinitura, collezionando elementi finiti, materie prime e semilavorati.*

## 2.3 Natura come mentore

*«Jacques Monod aveva ragione: è ormai tempo che ci assumiamo i rischi dell'avventura umana. Ma se oggi possiamo farlo è perché, ormai, solo così possiamo partecipare al divenire culturale e naturale, perché questa è la lezione che ci impartisce la natura, se vogliamo davvero ascoltarla. Il sapere scientifico sbarazzato dalle fantasticherie di una rivelazione ispirata, soprannaturale, può oggi scoprirsi essere ascolto poetico della natura e contemporaneamente processo naturale nella natura, processo aperto di produzione e di invenzione, in un mondo aperto, produttivo e inventivo. È ormai tempo per nuove alleanze, alleanze da sempre annodate, per tanto tempo misconosciute, tra la storia degli uomini, delle loro società, dei loro saperi e l'avventura esploratrice della natura»*

(Prigogine & Stengers, 1981, p. 288)

Come prefigurato dai due autori precedenti in “La nuova alleanza. Uomo e natura in una scienza unificata”, a partire dagli inizi del Novecento le scoperte scientifiche (come la teoria della relatività, la nuova termodinamica, la teoria del caos, fino alle più recenti scoperte nelle scienze omiche o nella biologia sintetica) hanno radicalmente modificato l'immagine della natura proposta dalla fisica classica e aperto alla possibilità di riscoprire un legame profondo tra scienze e discipline umanistiche, quale occasione di instaurare una “nuova alleanza” tra l'uomo e la natura. Quest'ultima, vista come una “creatrice” libera dalla necessità delle leggi, in grado di operare delle “scelte” che nel tempo vanno a costituire la sua “storia”, può dunque essere vista come un mentore con caratteristiche analoghe a quelle della coscienza umana, per cui nell'indagare la natura l'uomo può, in qualche modo, ritrovare sé stesso. Questo discorso è particolarmente valevole in ottica contemporanea, in cui una prospettiva post-antropocentrica, rivaluta la componente antropologica del design e lo porta non solo ad attingere dalla natura riferimenti astrattamente scientifici o modelli funzionali, ma ad aprire con essa un processo dialogico e più libero per reinterpretare tematiche più o meno profonde dell'esperienza umana nel

mondo (2.3.1 Mutualismi progettuali). Il design entra pienamente nel processo scientifico di indagine e manipolazione della natura, decodificata e raccontata attraverso più tecnologie e punti di vista (2.3.2 Decodificare il vivente) oppure esaminata come materia viva, riprocessabile mediante tecnologie avanzate e protocolli laboratoriali, per realizzare non solo nuovi oggetti, ma anche nuove visioni e processi divergenti (2.3.3 Codificare il vivente).

### 2.3.1 Mutualismi progettuali

Se finora lo studio e la manipolazione del vivente erano relegati al solo ambito scientifico e ingegneristico, gli attuali fenomeni di cross-fertilizzazione tra le discipline, la maggiore accessibilità delle biotecnologie e la pervasività del digitale, la “creatività” e “poeticità” della natura, il carattere qualitativo del tempo, favoriscono una collaborazione più diretta tra natura e progetto, prefigurando nuovi ed interessanti filoni di ricerca. «Bio is the new digital» afferma Joiichi Ito (2015), direttore del MIT Media Lab, sottolineando come le nuove potenzialità biotecnologiche stiano influenzando la cultura del progetto e conseguentemente il mondo delle cose: come nel secolo scorso, quando – seguendo la legge di Moore – i computer sono diventati sempre più sofisticati ed accessibili, i designer hanno cominciato ad occuparsene contribuendo attivamente alla Rivoluzione digitale; oggi le tecnologie legate alla manipolazione del vivente stanno uscendo dai banchi di laboratori specializzati e arrivano nelle mani di progettisti pronti a ripensare la nostra cultura materiale. Così, l'equivalente nel XXI secolo di interfacce, universi virtuali e stampe 3D è il Bio Design (Myers, 2012), che indica la tendenza di molti progettisti contemporanei a progettare con organismi come piante e animali, ma anche batteri e cellule, e persino a creare nuovi sistemi viventi manipolando il DNA. In particolare, ciò che emerge all'interno delle ultime evoluzioni del design è un rinnovato organicismo, che va oltre l'applicazione di leggi e forme della natura, verso una nuova fase che non solo riconosce un diverso sistema di priorità ecologiche, ma che in più agisce su di esso attraverso il coinvolgimento di materia viva o organica. Grazie ai progressi della scienza, della tecnologia e della cultura, i designer hanno infatti imparato nuovi modi per interagire e collaborare con altre specie viventi, ma anche a pensare per sistemi, reti e famiglie di progettazione; ad intraprendere nuove modalità collaborative; a guardare della natura i processi e la sapienza a lungo termine, mescolanza e circolarità;



**FIG. 31**  
La tecnica della "pluviagraphy", inizialmente applicata su tessuti in seta, è oggi sperimentata dalla designer anche su altri materiali e superfici, come la ceramica. In entrambi i casi, viene utilizzata una tintura o un rivestimento con pigmenti sensibili all'acqua in grado di "registrare" la morfologia delle gocce di pioggia. Il processo può avvenire in due modalità a seconda che pigmento utilizzato sbiadisce in presenza di acqua (macchie più chiare) o crea delle concentrazioni in sua presenza (macchie più scure).

nella volontà di recuperare un rapporto più proficuo tra l'uomo e il suo ambiente (Antonelli, 2019). Il progetto si fa carico di una cultura tecnologica che avanza inesorabilmente, per riscoprire la natura nelle sue molteplici valenze e per attivare con essa processi sperimentali e dialogici in grado di recuperare una reciprocità a più livelli, da quello essenzialmente co-creativo e co-produttivo a visioni più ampie di co-evoluzione simbiotica.

Tale tendenza è stata dimostrata in questi ultimi anni da numerose esposizioni come le già citate "Design and the Elastic Mind" e "Broken Nature: Design Takes on Human Survival", entrambe curate da Paola Antonelli ed esposte rispettivamente nel 2008 al MoMA di New York e nel 2019 presso la XII Triennale di Milano. Nel 2012 è stata presentata, sempre al MoMA, la mostra "Biodesign: nature, science, creativity" curata da William Myers; nel 2014 si è esibita alla Science Gallery di Dublino "Grow your Own", curata da diversi designer e biohacker emergenti come Alexandra Daisy Ginsberg e Anthony Dunne; mentre nel 2019, presso il Centre Pompidou, si è tenuta la mostra "La Fabrique du Vivant", organizzata come parte della terza edizione del ciclo "Mutation/Creation", che dal 2017 esplora i legami tra arte, scienza, ingegneria e innovazione, attraversando le tendenze progettuali più effervescenti come la stampa 3D, i codici digitali e, appunto, il vivente e i suoi protocolli di (ri) creazione.

In tutte queste esposizioni si evince un design che fa riferimento ai nuovi orizzonti scientifici della ricerca, come ad esempio le biotecnologie, la genetica, le neuroscienze e l'ingegneria informatica, per coglierne le molteplici possibilità esplorative e di manifattura che ne conseguono, combinando una forte componente critica ad una approfondita cultura scientifica. L'intento è quello di sovvertire la tradizionale nozione di oggetto industrialmente prodotto, verso un nuovo tipo di manifattura vivente: i designer non si preoccupano soltanto di produrre un oggetto finito e commerciabile, ma indagano su come poterlo realizzare, progettando nuovi strumenti, inventando processi, divulgando nuove pratiche di manipolazione della materia viva. Inoltre la tematica del "vivente" assume un significato profondo e sfuggente nel momento in cui si intrecciano in esso questioni filosofiche, etiche ed estetiche che riguardano la società, l'ecosistema ed ognuno di noi, portando il progetto a recuperare un rapporto più proficuo con universi della cultura un tempo lontani, creando occasioni di ricerca che invitano a riflettere sulle nuove identità delle stesse discipline. È proprio indagando la natura da più

punti di vista, che il design può oggi guardare ad essa con una diversa sensibilità, moltiplicando i linguaggi e le transizioni concettuali, o può comprendere a fondo la sua poetica, facilitando mutualismi progettuali tra uomo e natura, conoscenza scientifica ed umanistica, design e comunità di interesse (produttori, politici, collettività), verso la prefigurazione di futuri più desiderabili ed orientati alle tematiche emergenti come sostenibilità, benessere e salute. Nel primo caso, ad esempio, possiamo rintracciare il progetto "Made by Rain" (2012) della designer olandese Alike van der Kruijs, la quale cerca di rendere visibile l'invisibilità della pioggia e dell'esperienza psico-sensoriale che essa ha sulla vita quotidiana delle persone. La designer infatti, afferma che la pioggia – profondamente radicata nella cultura olandese – cambia la nostra esperienza dello spazio: possiamo udire la pioggia, provarla e vederla, anche se i pattern che essa crea sono fugaci e non possono essere osservati accuratamente (van der Kruijs, 2016). Tale pensiero ha stimolato così la volontà di catturare l'esperienza della pioggia sul tessuto attraverso una nuova tecnica da lei denominata "pluviagraphy", che ricopre i tessuti con un particolare inchiostro che reagisce all'acqua e permette di "fotografare" i motivi generati dalle precipitazioni (Fig. 31). Tuttavia, il progetto non si limita a questo, ma Alike tuttora viaggia attraverso i Paesi Bassi per creare una vera e propria mappatura delle condizioni meteorologiche, raccogliendo di volta in volta i pattern che la pioggia stessa imprime sui tessuti ed accompagnando questi ultimi con i dati di ciascuna registrazione come la posizione, la data, l'intervallo di tempo e i millimetri di pioggia. Un modo questo del tutto anticonvenzionale di approcciarsi alla natura che diventa collaboratore attivo, oggetto di studio e parametro allo stesso tempo, surclassando l'obiettività delle sperimentazioni scientifiche verso un nuovo tipo di sensibilità nei confronti della "vitalità" dell'ambiente che ci circonda. Guidati da una medesima emotività, anche molti progetti che fanno al secondo caso, quello che della natura cerca di comprenderne la creatività riprocessandola attraverso tecnologie più o meno avanzate. Ne sono esempio tutti quei progetti che collaborano con il micelio e con la sua speciale capacità di colonizzare strutture predeterminate e renderle oggetti leggeri, resistenti ed esteticamente "contestualizzati": dalle sperimentazioni di Erik Klarenbeek, che stampa impalcature in 3D in grado di ospitare e far crescere cellule di funghi le quali, colonizzando la struttura sottostante, co-creano sedie e sgabelli dalla forma inconsueta; alle "Mycotecture" di Phil Ross (Fig. 32), strutture autoportanti realizza-



**FIG. 32**  
Mycotecture, Phil Ross, 2014. In questo progetto il designer sfrutta la capacità del micelio di crescere e fungere da legante tra le diverse componenti, costruendo ponti leggeri e resistenti tra di essi attraverso una fitta rete di filamenti. Ciò ha permesso lo sviluppo di numerosi elementi strutturali e strategie per costruire edifici sperimentali realizzati esclusivamente con mattoni di scarti organici e micelio.



**FIG. 33**  
*Aniela Hoitink ha svolto il suo progetto in collaborazione con NEFFA, un'azienda specializzata in tecniche di manifattura 3D per materiali a base di micelio. Il materiale utilizzato più conosciuto è MycoTex, utilizzato anche da Aniela Hoitink nel suo progetto.*

te con mattoni di micelio disposti in maniera ogni volta differente; fino ad arrivare a dei veri e propri tessuti, come nel caso della designer Aniela Hoitink che unisce sottili lamelle di tessuto sfruttando le capacità leganti del micelio, guidandone anche precise geometrie (Morby, 2016) (Fig. 33).

I designer dunque entrano pienamente nei laboratori della scienza o si fanno promotori di queste sperimentazioni innovative – basti pensare alle ricerche condotte da designer pionieri di questo approccio che sono loro, in prima persona, a riunire più discipline all'interno di spazi “del fare” ibridi come Neri Oxman, Maurizio Montalti, Formafantasma, Suzanne Lee, ecc. –, mentre la natura non partecipa solo nella fase concettuale del progetto, ma anche nello stesso processo progettuale, che si fa sperimentale, enigmatico e dialogico. Si genera così una pluralità di orizzonti interpretativi, che non si escludono l'un l'altro ma che convivono e che esplorano il rapporto tra natura e progetto, tra l'uomo e il suo ambiente, non semplicemente per una loro perfetta conciliazione (le tematiche ecologiche sono ormai sottese a qualunque progetto di design) ma per innescare una riflessione critica che ne sovverte le relazioni. Stimolati soprattutto dai nuovi scenari filosofici post-antropocentrici, essi infatti mirano a ristabilire i legami che ci connettono alla natura, alle sue sostanze organiche e ai suoi organismi viventi in un'ottica che non è assolutistica, ma rizomatica, individuando di volta in volta logiche produttive alternative rispetto all'industria dominante, nuovi strumenti e visioni, nonché ri-significando la materia. Anche la componente materica infatti ingloba sempre un intenso contenuto di comunicazione e informazione per trasmettere e far comprendere agli utenti i principi e le logiche su cui si basa la natura, i rapporti che possiamo allacciare con essa e le probabili ricadute sulla società. Ciò attraverso due strade parallele su cui si stanno orientando le sperimentazioni di design contemporaneo. La prima, che vede la natura decodificata, scomposta e riconfigurata attraverso sofisticate tecnologie interattive, immagini e prodotti a forte valenza estetica o percorsi di indagine alternativi a quelli prettamente scientifici: l'obiettivo è tradurre complesse dinamiche in termini semplici e accessibili alla comunità, contemplare le poetiche della natura attraverso le strumentazioni della scienza o favorire una maggiore divulgazione dei progressi di quest'ultima, dei suoi benefici e delle sue implicazioni etiche per la società. La seconda strada invece, vede la materia viva codificata attraverso processi e manipolazioni più o meno convenzionali con lo scopo di riallineare

il mondo da noi prodotto alle modalità stesse con cui opera la natura, portando al completo dissolvimento delle frontiere tra biologia e artificio, nonché contribuendo ad una definitiva ibridazione del design con la scienza.

### 2.3.2 Decodificare il vivente

Come abbiamo avuto più volte modo di accennare, la contemporanea complessità del contesto in cui viviamo, accentuata dal progressivo annullamento dei confini tra artificio e natura, porta a guardare quest'ultima in maniera differente e gradualmente rinnovata rispetto ai progressi della scienza ed agli avanzamenti della tecnologia che mettono sempre più in luce l'inadeguatezza delle “metanarrazioni scientifiche” che ci hanno accompagnato per buona parte della storia moderna (Stengers, 2005). Inoltre, nel momento in cui la rivoluzione apportata dalle contemporanee bioscienze comprende tematiche di carattere etico, sociale e culturale sempre più profonde, diventa indispensabile coinvolgere l'intera collettività e trasmettere, attraverso interpretazioni e linguaggi accessibili e appropriati, le ricadute di tali avanzamenti sulla vita delle persone. In tal senso, il design, attraverso le sue abilità interpretative, si pone come mediatore tra scienze e società, natura e tecnica, uomo e ambiente, al fine di andare oltre una loro perfetta conciliazione, piuttosto rivalutandone la pluralità di orizzonti esegetici che emergono di volta in volta. Come affermano Ilya Prigogine e Isabelle Stengers (1981), la pluralità di forme che sorgono nella natura richiede, per essere descritta, una pluralità di linguaggi, ciascuno dei quali necessariamente parziale e storicamente contestualizzato: tale parzialità e relatività delle teorie e dei linguaggi si può riscontrare in tutte le forme della cultura «che si tratti di musica, di pittura, di letteratura o di costumi, nessun modello può più pretendere alla legittimità, all'esclusività. Da ogni parte vediamo sperimentazioni molteplici, più o meno arrischiate, più o meno effimere o di successo» (p.287). Ed ecco allora che il design entra nei *wet lab* per coadiuvare la scienza nel decodificare la natura sotto molteplici punti di vista, rielaborandone i significati, i processi e le estetiche, o mostrandone i linguaggi e i concetti in forma nuova, al fine di operare una sensibilizzazione a tutti i livelli. Ne emerge una natura esteticamente amplificata, raccontata e contemplata attraverso i linguaggi dell'arte e della sensorialità; oppure ricomposta attraverso sperimentazioni più radicali a modello immaginifico di presenti alternativi e possibili futuri.

Tra le possibili strade, possiamo trovare ad esempio interventi divulgativi, volti a comunicare i risultati scientifici e le multiple possibilità di osservazione dei fenomeni naturali a diverse tipologie di utenti con efficacia, chiarezza e coinvolgimento emotivo; interventi interpretativi, speculativi e critici, orientati a sensibilizzare l'opinione pubblica rispetto a tematiche scientifiche, alle loro implicazioni etiche, sulla società e sul futuro; interventi dialogico-relazionali, in cui il design affianca i rapporti tra scienza-design-tecnologia o natura-società-produzione, stimolando nuove indagini sui processi naturali o nuove forme di visualizzazione design-driven che supportano la comunicazione e la produzione di nuove conoscenze (Langella, 2019).

Infatti, «ogni giorno, dal momento in cui ci svegliamo, affrontiamo il limite della nostra attuale comprensione dei fenomeni del mondo fisico. Nel corso della giornata eseguiamo esperimenti, registriamo dati, scattiamo foto, registriamo video e scambiamo comunicazioni. Alla fine della giornata, la nostra conoscenza fondamentale del mondo naturale e il nostro ruolo al suo interno cambia: la nostra comprensione della natura evolve. Questo rapido ritmo di scoperta e apprendimento sfugge alla facile comprensione, cosicché il nostro desiderio di comprendere le sfumature della natura si radica nell'empatia. Gli esseri umani cercano connessioni con il mondo naturale che cambino la loro prospettiva alla fine della giornata. Il design crea l'opportunità di riflettere offrendo metodi per vedere la natura in modo nuovo. Attraverso la visualizzazione, i dati diventano distinguibili» (Condell, 2019, p.18). Il design dunque, può essere efficace in termini visivi e comunicativi, proponendo i complessi fenomeni naturali attraverso interpretazioni e punti di vista originali, in grado di stimolare empatia e sensi, nonché di facilitare il coinvolgimento della collettività e lo sviluppo della cultura scientifica. Infatti, tale processo di estetizzazione, risulta sempre più rilevante anche nei processi propri della scienza, dove la grande quantità di dati spazio-temporali e di variabili "dinamiche" rendono la comunicazione tra specialisti, così come tra esperti e dilettanti, difficile da gestire, richiedendo la traduzione degli stessi in termini visuali e interattivi (DiBiase et al., 2013). Ad esempio, il Banfield Lab dell'Università della California, si è rivolto a Stamen Design, un'azienda fondata da Eric Rodenbeck e specializzata in design interattivo e data visualization, per sviluppare un software che consentisse al laboratorio di variare il modo in cui potevano visualizzare le sequenze di DNA degli organismi. La collaborazione, che si è sostanziata nel pro-

getto "Metagenomic Data Visualization" (Fig. 34), ha prodotto come risultato tre diversi tipi di visualizzazione, che hanno permesso ai ricercatori di «interrogare i dati in modi nuovi» (Rodenbeck, 2016): un grafico a barre con un codice colore consente agli scienziati di capire quali geni sono più espressivi; una mappa ad albero permette di valutare la corrispondenza tra un campione genetico ed un altro già identificato; un dendogramma radiale classifica le informazioni sugli stessi genomi per visualizzarne la posizione all'interno dell'albero della vita. Mentre Stamen Design creava uno strumento che permettesse agli scienziati di esplorare i domini microscopici, il designer tedesco Kim Albrecht, residente presso il Barabási Lab, si rivolge all'intera collettività attraverso uno strumento interattivo digitale che permettesse a tutti di comprendere l'emergenza di sistemi complessi come la "rete cosmica", il sistema attraverso il quale tutte le galassie dell'Universo sono tenute insieme dalla gravità. Ispirandosi al lavoro di ricerca del fisico Bruno C. Coutinho (2016), il quale ha raccolto dati da 24.000 galassie e li ha riuniti in diversi algoritmi, Albrecht crea "Visualizing the Cosmic Web" (2016) (Fig. 34), una simulazione basata sul web e accessibile da tutti attraverso di esso, che restituisce in maniera più semplice ed estremamente coinvolgente le sofisticate dinamiche che sottendono l'architettura del Cosmo, come il "nearest neighbors model" che «si basa sulla prossimità spaziale e cattura le migliori correlazioni tra le caratteristiche fisiche di galassie vicine» (Coutinho et al., 2016, p.1). Oggi dunque i designer si rivolgono alle ricerche più avanzate delle scienze per decodificare la natura e comprenderne le complesse dinamiche che sottende, restituendole in forme esteticamente aumentate, non solo per permetterne una maggiore accessibilità da parte di tutti, ma anche per elevarla ad una dimensione contemplativa, quasi catartica. È il caso dello scienziato e designer australiano Charles Reilly, ricercatore presso il Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering dell'Università di Harvard, il quale dichiara proprio di essere «alla ricerca di un'agenda artistica» per portare a nuove intuizioni scientifiche, ma anche per stimolare una connessione più profonda tra noi e le strutture del vivente, ripensando radicalmente anche il processo di sperimentazione (Reilly & Ingber, 2017). Di recente ad esempio, il ricercatore ha lavorato sull'adenosina trifosfato (ATP), la valuta energetica della vita, cercando di restituire attraverso un'animazione dal titolo "Choreography of Life" (2019) (Fig. 34), il complesso sistema di relazioni che ruota attorno a queste biomolecole, sottile ma significativo per i processi e spesso trascurato dalla

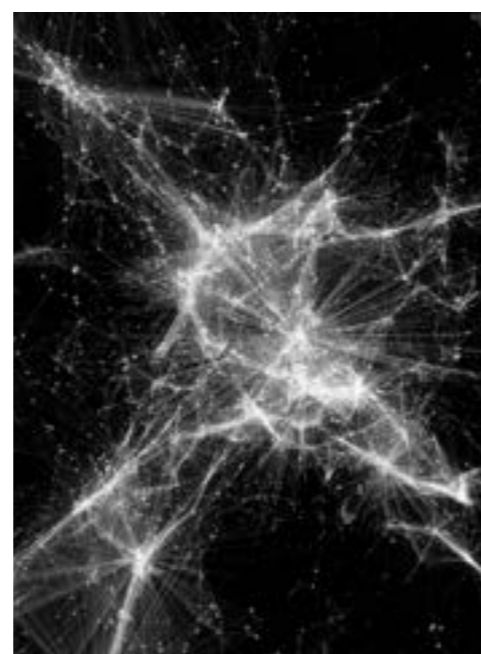
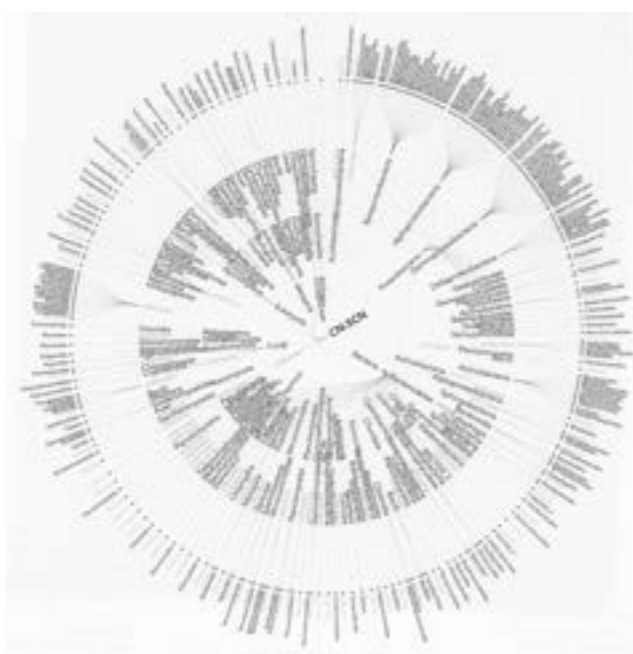
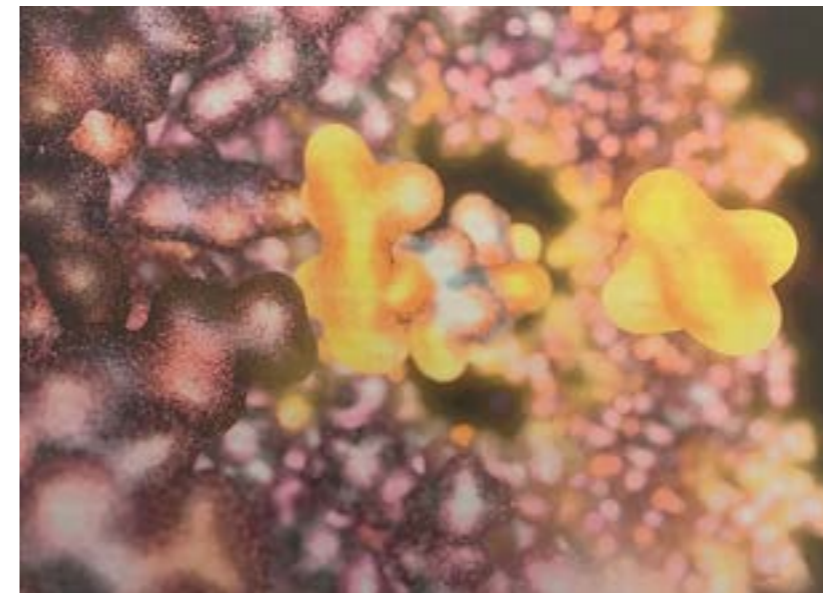
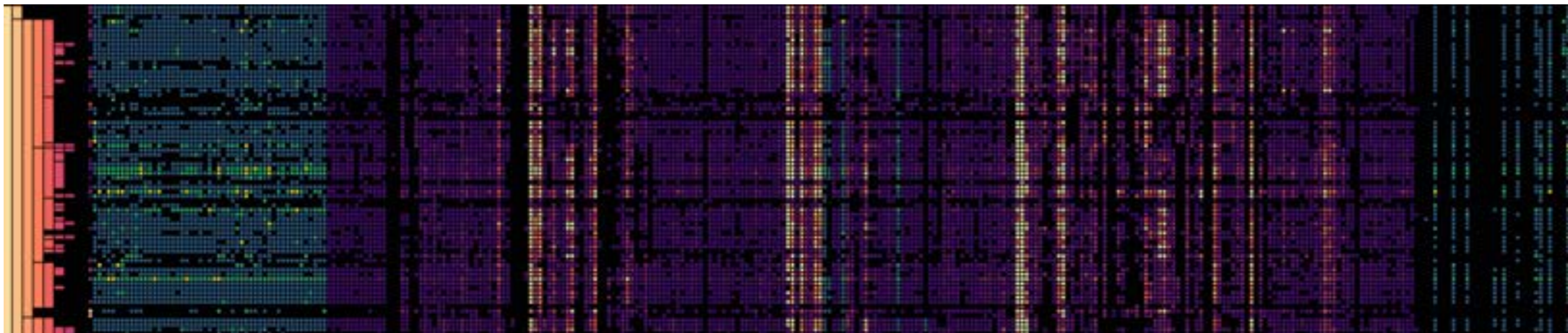


FIG. 34

Il design può affiancare la scienza nella visualizzazione e divulgazione dei suoi risultati, oggi sempre più complessi. Video, infografiche, Big Data, piattaforme interattive, sofisticate microscopie, costituiscono il repertorio di strumenti o mezzi attraverso i quali rendere la scienza più comprensibile, ma anche coinvolgente e comunicativa:

**a-b-c** Metagenomic Data Visualization, Stamen Design & Banfield Laboratory (University Of California, Berkley), 2016. In particolare, **a**, grafico a barre, permette di visualizzare i geni più espressivi (quelli che risaltano nel colore), ovvero quelli responsabili della sintesi di molecole per le attività metaboliche e/o strutturali di un microorganismo, facilitandone la comprensione; **b**, mappa ad albero, permette il confronto del patrimonio genico di una specie non conosciuta ("unknown") con altre già identificate, facilitandone la classificazione; **c**, dendrogramma radiale, che riporta in forma scritta l'abero della vita in uno specifico microbioma.

**d** Visualizing the Cosmic Web, Kim Albrecht - Barabási Lab (Northeastern University), 2016. "Modello della lunghezza variabile", ovvero che la lunghezza di ciascuna connessione è proporzionale alla grandezza di ciascuna galassia. È possibile "interagire con le leggi dell'Universo" al seguente [link](#).

**e-f** Choreography of Life, Charles Reilly - Wyss Institute (Harvard University), 2019. Entrambe le immagini mostrano la proteina ATP synthase (**f**), la quale immagazzina energia metabolica e la cede alle molecole di ATP (**e**) che la trasportano alle cellule.



scienza che tende ad isolare ciascuna biomolecola per studiarla con più facilità. Infatti, egli spiega, «mentre possiamo pensare al mondo molecolare come un insieme di palline appiccicose che si scontrano l'una con l'altra, è mia opinione che dovremmo dare più peso al modo in cui queste palline si muovono l'una rispetto all'altra» (Reilly, 2018, p.10). Inoltre, con ciò l'autore non vuole evidenziare come questo diverso approccio possa portare a significative scoperte nel campo della biofisica e della produzione di farmaci, ma vuole restituire un'importante lezione, ovvero che: «Ogni componente della vita, non importa quanto piccolo, contribuisce al mondo in generale. La vita, a partire dalle scale più elementari, procede in costante interazione, relazione e comunità; la vita è l'opposto dell'isolamento» (Reilly, 2018, come citato in Condell, 2019, p. 19).

All'interno di queste possibilità esplorative rientrano anche tutti quegli interventi dialogico-relazionali, che come precedentemente accennato, favoriscono domini di convergenza ed ibridazione tra discipline differenti o tra diversi attori della società e del sistema produttivo. Un esempio è dato dai software di simulazione digitale, che attraverso "digital twins" o vere e proprie riproduzioni virtuali di organismi naturali ne permettono lo studio dinamico in relazione a diversi parametri (biotici e abiotici) e che possono essere impiegati per modulare logiche evolutive, principi comportamentali e persino ecosistemi (Scott, MacPherson & Gras, 2019). Rilevanti in tali termini, sono anche le possibilità di modellazione algoritmica o parametrica, che permettono di riprodurre forme o fenomeni corrispondenti al reale mediante l'uso di sofisticati algoritmi e, se connessi ad una stampante 3D, possono restituirli in forma solida, puntando anche sulla manipolazione e il coinvolgimento aptico degli utenti. Ad esempio Taylor Caputo in "Microbial Donuts" (2016) realizza delle forme per ciambelle geneticamente aumentate o probiotiche che mettono in relazione la forma, algoritmicamente derivata, con i processi biochimici utilizzati in ciascuna, rendendoli anche visibili al consumatore finale (Fig. 35).

Caputo, che insegna presso la School of Design dell'Università della Pennsylvania, collabora con il suo collega Orkan Telhan in molti progetti interdisciplinari che si concentrano sulla progettazione di oggetti interrogativi, interfacce e media, impegnandosi con questioni critiche riguardo responsabilità sociale, culturale e ambientale, come appunto le implicazioni di un futuro cibo "biotecnologicamente aumentato". Con i loro lavori, si approda in un campo ampio che, con diverse sfumature, indagano la nostra relazione con la natura

in presenti alternativi o possibili futuri, soprattutto in vista di una crescente estensione delle strutture dell'artificiale alla sfera naturale, potendola manipolare, modificare e ricreare. Queste sperimentazioni, che a volte assumono il nome di *critical* o *speculative design* (Dunne & Raby, 2007); a volte quello di *design fiction* (Sterling, 2012) e di *social fiction* (Caccavale, 2012), hanno come obiettivo quello di creare uno stato di coscienza critica rispetto all'impatto che le rivoluzioni indotte da genetica, neuroscienze, nanomedicina, robotica e biologia sintetica hanno sui nostri comportamenti e sulle nostre vite, sia da un punto di vista etico che sociale. L'indagine speculativa della natura e delle sue possibili trasformazioni, avviene in genere attraverso artefatti tangibili e intangibili esposti in musei, gallerie d'arte, ma anche sul web e in spazi pubblici, progettati per esprimere concetti in maniera evocativa e fortemente coinvolgente da generare nelle comuni coscienze degli interrogativi, nella speranza di rendere le persone più consapevoli del cambiamento e stimolare in loro azione e impegno per affrontarlo. Ad esempio, Elio Caccavale in "Neuroscope" (2009) fornisce un'interfaccia per consentire all'utente di interagire con una coltura di cellule cerebrali che vengono curate in un laboratorio distante: quando le cellule virtuali vengono "toccate", viene inviato un segnale elettrico ai neuroni reali in laboratorio, che rispondono con cambiamenti nell'attività, provocando la formazione di nuove connessioni (Fig. 36). L'obiettivo è avvicinare gli utenti, adulti e bambini, ai progressi delle neuroscienze che permetteranno in un futuro prossimo di creare delle forme di interattività tra uomo e biologia. Sulla interdipendenza delle forme biologiche – inclusi noi umani – e sulla sua importanza rispetto anche alla geologia del Pianeta, si focalizza invece il progetto "Curiosity Cloud" (2015-2019), sviluppato dal team austriaco Mischer'traxler per sensibilizzare il pubblico all'urgente tematica dell'Antropocene (Fig. 37). Gli autori hanno realizzato un'installazione che ospita copie di insetti fabbricate artigianalmente e racchiuse in centinaia di lampadine a bulbo dotate di un sensore termico e di un motore: nel momento in cui il visitatore si avvicina, i bulbi emettono una luce fioca e fanno fluttuare gli insetti al loro interno, mentre quando il visitatore si allontana di nuovo, il sistema torna al suo stato stazionario. Oltre ad essere un omaggio alla biodiversità – ospitando copie di insetti comuni, nuove specie ed altre estinte –, il progetto intende comunicare attraverso una dimensione esperienziale l'approccio che dovremmo assumere nei confronti della biologia: dovremmo proteggerla (ciò è rappresentato dai bulbi che difendono gli inset-



FIG. 35  
Microbial Donuts, Taylor Caputo, 2016.



FIG. 36  
Neuroscope, Elio Caccavale, 2009.

ti dal tocco umano), osservarla e conoscere la sua ampia differenziazione, infine dovremmo interagire e co-esistere attivamente con essa (rappresentato dall'attivazione del meccanismo alla vicinanza del visitatore). Come affermano gli autori nel presentare l'opera sul loro sito ufficiale: «La cosa più sorprendente della natura è che tutto è interconnesso e armonioso. Ogni aspetto di una creatura vivente ha una ragion d'essere, lavorando insieme in un ciclo infinito di dialogo e correlazione».

Dunque, che sia attraverso un elaborato grafico ben articolato, un'installazione interattiva, una sperimentazione laboratoriale o un artefatto speculativo, la codifica della natura da parte del design risulta essere oggi un ampio campo di possibilità che va oltre semplici tecnicismi e scontate trasposizioni, verso orizzonti di pensiero più profondi. Grazie all'incontro di saperi tecno-scientifici e umanistico-artistici, il progetto con la natura si traduce in una sua indagine intima e sensibile, alla riscoperta di un complesso sistema interconnesso in cui anche naturale e artificiale sono strettamente interrelati dai fili di un'ecologia ibrida.

FIG. 37  
In basso: *Curiosity Cloud*,  
Mischer'raxler studio, 2015-2019.



### 2.3.3 Codificare il vivente

Nel XIX secolo la meccanizzazione del telaio ha dato vita alla Prima rivoluzione industriale, nel XX secolo l'avvento di circuiti integrati su un substrato di silicio ha dato il via alla Rivoluzione dell'informazione, ristrutturando la vita moderna. Oggi, alcuni prevedono che sia la biologia sintetica il principale *driver* del cambiamento, che non influenzerà solamente il modo di curare le persone, ma anche l'industria e l'economia, e con esse il divenire del design (Benjamin, 2011).

La biologia sintetica infatti, è la nuova frontiera della biologia e segna il suo passaggio da scienza prevalentemente descrittiva a disciplina quantitativa o ingegneristica (De Lorenzo, 2014). Mentre le bioscienze del secolo scorso si limitavano ad osservare il vivente per acquisire nuova conoscenza, con la biologia sintetica – espansione ed evoluzione delle biotecnologie – si approda nel territorio della creazione: il suo scopo, è riscrivere le forme della vita copiandole da quelle esistenti, per esempio sintetizzando la copia del DNA di un batterio; o creare sistemi biologici nuovi, trasferendo copie di DNA da un microorganismo ad un altro. Così, per la prima volta, le scienze della vita abbandonano il linguaggio dell'evoluzione, della vita e della morte, della riproduzione e degli intrecci di proteine, per affidarsi a logiche e principi propri dell'ingegneria elettrica e del digitale, acquisendo un potenziale di trasformabilità senza precedenti e promettendo applicazioni tangibili in diversi campi, tra cui quello del design. Ad esempio, il sistema ad oggi utilizzato per riscrivere e riprogrammare "oggetti biologici" consiste in una serie di sequenze di DNA standard, chiamate "BioBrick", che codificano ben definite strutture e funzioni e che i biologi sintetici possono agganciare insieme per ottenere risultati predefiniti (Ginsberg et al., 2017), proprio come gli ingegneri agganciano transistori e condensatori per creare determinati circuiti elettrici. In un futuro probabilmente non molto lontano, ciò permetterà agli specialisti di progettare le parti e ai non specialisti – come designer, artisti, scienziati dei materiali ed ingegneri – di progettare sistemi biologici anche non comprendendo il complesso comportamento molecolare delle parti. Per i designer e i progettisti in generale poi, alcuni aspetti della progettazione con il vivente possono sembrare un'estensione di strumenti di calcolo familiari. "Tellurium" ad esempio, è un nuovo software di modellazione parametrica che, basato sul linguaggio Python, permette di costruire, simulare, analizzare sistemi biologici

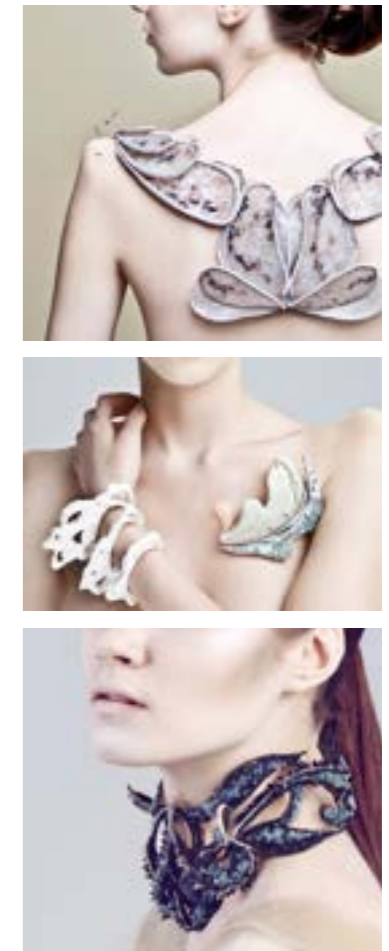


**FIG. 38**  
*Bio-ex-Machina, Officina Corpuscoli & Co-de-it, 2016. Un braccio robotico, dotato di un estrusore per paste a spinta pneumatica, deposita una miscela di scarti organici e spore di fungo. Il componente stampato viene posizionato all'interno di un bioreattore con elevate condizioni di umidità fino a quando non viene ricoperto totalmente dal micelio, trasformandosi in una struttura leggera e resistente.*

(Choi et al., 2016). I biologi possono impostare come parametri o input diverse sequenze di codice genetico e ottenere come output il modello dell'organismo, possono variare i parametri e simulare la performance dell'entità biologica risultante. I designer del futuro dunque, potranno potenzialmente manipolare modelli parametrici per esplorare i sistemi biologici esistenti, astrarre i loro comportamenti e applicarli ai propri progetti su diverse scale o, con qualche conoscenza scientifica in più, progettare nuovi artefatti biologici capaci di espletare compiti predeterminati. Anche con i sistemi hardware delle bioscienze i progettisti sembrano avere una certa affabilità: "Flink" ("Functional Living Ink") è un nuovo materiale vivente per stampanti 3D, resistente abbastanza per creare qualsiasi tipo di forma e capace di ospitare al suo interno uno o più tipi di batteri, che possono ad esempio degradare le sostanze inquinanti o produrre cellulosa per scaffold destinati alla riproduzione di organi in vitro (Dengler, 2017). Così si possono stampare artefatti in forme complesse, ma anche vivi e funzionali e che possono avere applicazioni delle più disparate, da filtri per intrappolare agenti contaminanti ad innesti cutanei per il trapianto di pelle. Se infine, combiniamo la crescita esponenziale delle tecnologie biologiche con la drastica decrescita dei loro costi – che secondo la "curva di Carlson" sta avvenendo in maniera 5 o 6 volte più velocemente rispetto alla legge di Moore, quindi di Internet e del digitale (Carlson, 2011) – per i designer codificare il vivente sarà sempre più possibile. Ma il processo è già iniziato, come dimostrano le sperimentazioni di Maurizio Montalti (2016) – e del suo team di biologi, ingegneri, esperti di robotica e design computazionale – nell'ambito del progetto "Bio-ex-Machina", che ha lo scopo di sviluppare un braccio robotico per la stampa di un supporto biologico contenente cellule di micelio e un software parametrico coordinato per prevenire il comportamento della materia vivente e ottenere risultati specifici. Oppure, il progetto Tissue Engineered Textiles della designer inglese Amy Congdon in collaborazione con gli scienziati del King's College di Londra che, immaginando un futuro in cui la biotecnologia sarà essenziale in ogni aspetto della nostra vita, sviluppa scaffold tessili con tecniche come ricamo e uncinetto (digitalizzate) e diversi materiali, con lo scopo di suggerire modi alternativi di produrre e crescere materiali biologici, nonché facilitare la rigenerazione dei tessuti, con applicazioni dalla moda alla medicina (Hobson, 2015) (Fig. 39). Come si evince dagli esempi appena descritti, le sperimentazioni attuali come quelle future, richiedono l'elaborazione di strategie

di co-progettazione e attività simbiotiche di scambio tra le discipline, che già stimulate nell'Era del digitale e di Internet – si pensi ad esempio al *thinking* – hanno bisogno di concretizzarsi sempre più anche in spazi fisici come i laboratori. Infatti, benché progettare con il vivente stia diventando sempre più semplice e a portata di mano, non è una novità che vi sono ancora molti aspetti oscuri persino alla scienza. Il comportamento cellulare e molecolare è estremamente complesso e contrariamente a quanto accade oggi in natura nella manipolazione della materia inerte attraverso strumenti sofisticati, con la biologia non possiamo superare la complessità semplicemente attraverso metodi, logiche e schemi. Possiamo superarla piuttosto, attraverso un approccio "antidisciplinare", che supera gli stessi confini della cross-fertilizzazione e della transdisciplinarietà, per riunire competenze diverse in uno spazio che non si adatta a nessuna disciplina esistente e in cui l'elemento unificante sarà il processo del fare piuttosto che un particolare linguaggio fatto di parole, strutture e metodi condivisi (Ito, 2016). L'importante sarà stabilire obiettivi e interessi comuni in modo che le collaborazioni siano biunivoche e convenienti per tutti (Langella, 2019), come riassume perfettamente il termine "consilienza", definita letteralmente come «un tuffo condiviso nella conoscenza, collegando i fatti e la teoria basata sui fatti attraverso le discipline, per creare una base comune di spiegazione» e che «sposta il focus da un interesse immediato, personale e discreto ad un atteggiamento collettivo, sistemico e a lungo termine» (Wilson, 1998, p.14). Una definizione questa che sposa perfettamente il binomio design-scienza, stimolato non solo dai progressi delle tecnologie biologiche, che come visto in precedenza, stanno avvicinando sempre più i rispettivi modi di lavorare, ma anche dalla necessità di fronteggiare una complessità ben più grande dell'effettiva fattibilità e realizzazione di un artefatto vivente: il mondo in cui viviamo.

Nella civiltà tecno-biologica infatti, il limite tra "prodotto" e "nato" tende ad essere travalicato: ciò che è generato naturalmente e ciò che è artificialmente costruito manifestano caratteristiche sempre più analoghe e si integrano sempre più secondo la medesima legge di funzionamento (Kelly, 1994). Nulla di più vero in un'epoca in cui progettare il vivente diventa possibile e in cui nella comunità scientifica si comincia a discutere a proposito di modifiche genetiche, riproduzione di organi e materiali viventi. Una rivoluzione questa, che innesca un cambio di paradigma dovuto alla sparizione del confine che finora ha separato mondo naturale e artificiale: emerge un



**FIG. 39**  
*Tissue Engineered Textiles, Amy Congdon, 2015. La collezione si compone di elementi indossabili speculativi e comprende, ad esempio, collane e spille in grado di ospitare cellule "customizzabili" che ciascun utente può far crescere sulla propria pelle. Un altro tema spesso affrontato è la possibilità di ibridare tessuti prodotti in vitro da cellule animali, combinando ad esempio squame e pelli.*



nuovo modo di vedere il mondo, il World-as-Organism, un modello che in contrasto a quello prevalente nelle tre rivoluzioni precedenti, il World-as-Machine, rivoluziona il modo di concepire, progettare e produrre la nostra cultura materiale (Oxman, 2016). In quest'ottica, quelle interconnessioni ibride tra ambiente naturale e antropico, finora offuscate e fin troppo recise, diventano così innumerevoli alternative per interpretare la realtà che ci circonda e per generare affascinanti scenari co-evolutivi in cui nuovi rapporti sinergici tra materia vivente e artificio, tra uomo e ambiente, tra uomo e uomo, siano il sostrato di un benefico e duraturo complesso ecosistema simbiotico. Ed è qui che i designer, mettendo a frutto capacità di coniugare diversi saperi, sperimentazione e pensiero creativo, realtà e ricerca radicale, cominciano ad interfacciarsi con una "nuova biologia" sempre più aperta al confronto e alla consilienza, e si sforzano a dare qualità viventi agli oggetti, agli edifici, alle città, per celebrare una sorta di "ritorno alla natura" in cui l'integrazione ecologica tra naturale e artificiale sia la base per interessanti innovazioni sostenibili, per l'uomo e tutto ciò che ci circonda. Dal lato della scienza, i biologi sono sempre più desiderosi di «sporcare i loro cervelli con la realtà» (Aldersey-Williams & Antonelli, 2008), al fine di dare applicazioni tangibili ai progressi raggiunti. Infatti, come abbiamo visto, mentre la tecnologia opera ancora tradizionalmente come interfaccia, le bio-nanotecnologie hanno dato agli scienziati un nuovo assaggio del potere di un design e di una manifattura senza ostacoli (proprio come i computer hanno fatto per i designer), portando al diffondersi tra i corridoi della scienza pura, di una pragmatica opinione verso il reale. Inoltre, ugualmente coinvolta dal nuovo modo olistico di vedere le cose e di approcciare alla realtà, la scienza necessita della componente interpretativa e immaginativa del design, che la aiuta a superare la complessità e l'incontrollabilità di fenomeni ed emergenze a livello ambientale, etico e sociale; nonché a trovare per le tecnologie e scoperte da essa prodotte, applicazioni realmente utili ai bisogni e agli stati d'animo di una collettività in continuo divenire. Dal lato del design, i progettisti si trovano sempre più a considerare il loro ruolo di interpreti di una realtà straordinariamente dinamica e vedono nella loro abilità di costruire scenari futuri e modelli di comportamento, la responsabilità di dare forma, significato e vita ai gradi di libertà aperti dal progresso, dalle nuove tecnologie e consapevolezza. Stimolati dunque da nuove e dinamiche possibilità di concezione e produzione degli artefatti, che si allontanano sempre più dal rigore della manifattura e dall'as-

semblaggio di parti con funzioni distinte, per avvicinarsi a nuovi concetti di crescita e funzionalizzazione flessibile (Oxman, 2016); i designer cercano nuove vie simbiotiche di collaborazione con scienziati e specialisti, per sperimentare e dare forma alle potenzialità dell'Era Biologica.

Nascono così nuove concretizzazioni e declinazioni funzionali o espressive, che talvolta iniziano a smuovere dal basso il mondo dell'industria tradizionale. Sono sperimentazioni molto attente alle grandi sfide che oggi ci troviamo ad affrontare, come l'inquinamento ambientale o la salute personale e che vedono il design spesso uscire dai propri ambiti tradizionali, senza tuttavia perdere la sua essenza. Ad esempio, molto è stato fatto a livello di processo, in cui designer e scienziati si sono ingegnati a trasformare processi meccanici, energetici ed inquinanti in processi biologici, grazie alla manipolazione di organismi e micro-organismi. Ne sono esempio le sperimentazioni svolte dalla designer Natsay Audrey Chieza (2017) in collaborazione con la startup biotecnologica Ginkgo Bioworks, per un settore, quello della moda, notoriamente tra i più inquinanti. Natsay da qualche anno, produce un pigmento rosso-viola dal batterio *Streptomyces coelicolor* e lo usa per colorare la seta, riducendo lo spreco di acqua e il deflusso chimico dei coloranti tradizionali. Tale processo è stato ripreso da numerosi altri progettisti e da alcune aziende come la Puma, che nella collezione "Living Colours" utilizza proprio un pigmento estratto da alcuni batteri presenti sulla pelle delle salamandre per tingere i suoi tessuti, caricandoli anche di un'esteticità mutevole che sbiadisce con il tempo e i progressivi lavaggi. Anche altri processi nati dalle sperimentazioni dei designer cominciano oggi ad entrare nella produzione industriale e nel mercato, grazie all'accelerazione del progresso tecnologico e alla diffusione di pratiche interdisciplinari all'interno dei processi creativi. Ne è un caso Mogu, azienda fondata da Maurizio Montalti e che produce pannelli acustici, rivestimenti per pareti e mattonelle per pavimenti a partire dal micelio dei funghi. La decennale esperienza del designer, insieme alla consulenza di esperti in diversi campi, ha infatti permesso di ottimizzare il processo produttivo per ottenere prodotti completamente cresciuti e conformi alle diverse norme del mercato e del consumo (come specifiche caratteristiche ignifughe, l'assenza di sostanze tossiche, ecc.). Un altro esempio è Algiknit (Fig. 40), una start-up nata dal progetto di un gruppo di studenti del Fashion Institute of Technology di New York, che nel 2016 hanno vinto la competizione internazionale "Biodesign Challenge"

FIG. 40

*Algiknit, Aaron Nesser, Aleksandra Gosiowski & Tessa Callaghan, 2017. Con questo progetto, i tre (allora) studenti del Fashion Institute of Technology di New York hanno vinto il contest internazionale "Biodesign Challenge". Sono partiti da filamenti in alginato estrusi in una soluzione di cloruro di calcio (crosslinking) e intrecciati a ferri. Oggi, il progetto è divenuto una start-up e stanno perfezionando la formula per produrre dei veri e propri filamenti per la fashion industry.*

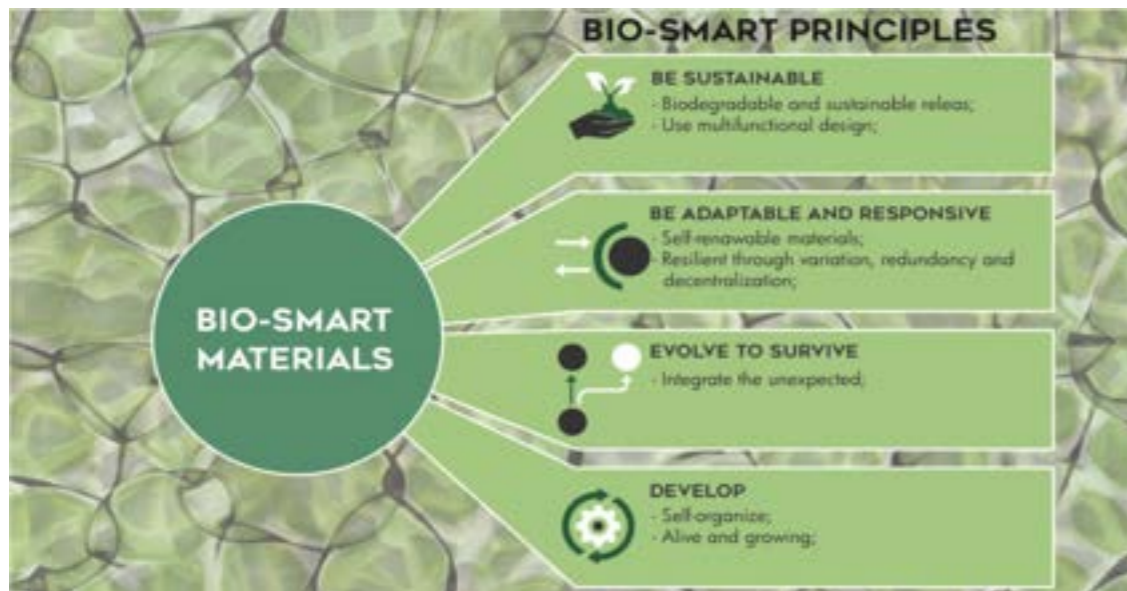


FIG. 41  
*Bio-smart's principles, Design4Materials, 2018. Schema riassuntivo delle qualità che i materiali bio-smart possono esprimere. Lo schema prende ispirazione dai "Life's Principles" sviluppati dal Biomimicry DesignLens (Fig. 26) e fa riferimento a materiali sostenibili in grado di assumere comportamenti "intelligenti" tanto quanto quelli naturali grazie allo sviluppo di tecnologie bio-digitali.*

che si tiene ogni anno. Il team ha inizialmente realizzato degli indumenti intrecciando a ferri dei filamenti a base di alginato, alghe ed altre sostanze bio-chimiche. Con il tempo e sempre con uno sforzo congiunto con altre discipline, la "ricetta" per produrre il filamento è stata perfezionata, permettendo ad oggi di produrre dei veri e propri tessuti che variano di proprietà e colore a seconda del tipo di alga utilizzata.

Tuttavia, mentre molti designer si concentrano sugli aspetti ecologici di questa nuova disciplina, sfruttando le qualità di auto-produzione e auto-generazione del vivente, gli avanzamenti nella biologia sintetica permettono alla ricerca più radicale di sviluppare nuovi prodotti che possiamo definire "bio-smart", poiché non utilizzano solamente la materialità del vivente, ma anche la sua stessa intelligenza (Lucibello et al., 2018) (Fig. 41). Rispetto al futuro, i designer hanno l'opportunità di prospettare nuove e dinamiche possibilità fatte di prodotti, modelli di comportamento e forme di consumo in cui natura e artificio si fondono insieme fino a diventare indistinguibili. I nuovi prodotti non saranno inerti e passivi, ma vivi, in grado di crescere, interagire ed adattarsi, stravolgendo il modo stesso di esistere nel mondo e di rapportarsi con chi li usa.

Da tute interattive per lo sport come "Bio Skin", che diviene traspirante grazie alla presenza di batteri in grado di reagire a sudore e umidità (Tucker, 2015); a sistemi di illuminazione che sfruttano la luminescenza di alcuni organismi come nel caso di "E.glowli", svi-

luppato da un team di studenti dell'Università di Cambridge ingegnerizzando batteri di *Escherichia coli* (Takeuchi et al., 2012); i prodotti del futuro diverranno sempre più parte della nostra vita e richiedono la comprensione e l'accettazione da parte di tutta la società. Ciò in primo luogo, richiede uno sforzo da parte dei designer per capire le potenzialità, ma anche le implicazioni derivanti dall'utilizzare materia viva, biologicamente attiva, in prodotti utili e fruibili da tutti. In secondo luogo e a stretto contatto con la scienza, sarà necessario che essi mettano in moto le loro abilità di envisioning per capire come ciò potrà avvenire in termini di interfacce, usabilità, impatto visivo, impatto psicologico ed ergonomia (Langella, 2013). A differenza dei prodotti *smart* convenzionali infatti, capaci di "sentire" e "reagire" in maniera attiva, visibile e macroscopica; la bio-intelligenza implica altre qualità complesse come l'adattamento, l'auto-organizzazione, l'inter-connesione e l'interdipendenza: ai prodotti *bio-smart* non sarà sufficiente un semplice *input* (che può essere un pulsante di attivazione o un evento scatenante), ma avranno bisogno di cura, sorveglianza e fonti di alimentazione alternative e sostenibili. Ne è esempio lampante "Latro" (2010), una lampada vivente sviluppata dal designer inglese Mike Thompson, che contiene alghe e per illuminarsi necessita di luce solare, anidride carbonica e acqua che devono essere fornite dall'utilizzatore in fase d'uso (Fig. 42): attraverso un'apertura (che tra l'altro, permette anche la fuoriuscita di ossigeno per purificare l'ambiente domestico) l'utente può inserire l'acqua; attraverso un'altra apertura può soffiare nella lampada fornendo l'anidride carbonica necessaria e, durante il giorno, può esporla al sole per innescare la fotosintesi clorofilliana e procurare l'energia necessaria per alimentare la luce durante la notte. Dunque, nell'Era biologica le strutture dell'artificiale hanno esteso i confini fin dentro le fibre più profonde della natura, varcando il confine che da sempre separava il biologico dal sintetico. Ci aspetta un cambio di paradigma che influenzerà il nostro futuro, quello degli oggetti che ci circondano e il nostro modo di vivere insieme a loro: entità pensanti, vive, biologicamente attive, si insinueranno nella quotidianità, stravolgendo la fenomenologia stessa della nostra cultura materiale. Starà al design e alla sua capacità di dialogare con la scienza far sì che questa rivoluzione sia attuabile in maniera sostenibile e fruibile da tutti, sperimentando in prima persona le implicazioni che possono derivarne e senza farsi troppo meravigliare e inibire da un *technium* che evolve rapidamente insieme a noi (Kelly, 2010).



FIG. 42  
*LatroLamp, Mike Thompson, 2010. In basso, le attività di cura necessarie per mantenere vive le alghe e permettere il funzionamento del prodotto.*

## I segni magici dell'invisibile

Esperimento 2

Il secondo capitolo indaga il rapporto tra natura e progetto, sia in termini di potenzialità tecniche che in termini di approccio alla natura. Lo sviluppo delle tecnologie, l'evoluzione delle discipline, nonché del pensiero filosofico ed epistemologico, portano progressivamente a guardare la natura da prospettive differenti, moltiplicatesi nel tempo e che tuttora coesistono. Dunque il capitolo parte dalle positiviste visioni moderne, dove la natura è modello di rigore ed efficienza assoluta, modello unico studiato dalle scienze e da imitare nel progetto dell'artificio; per arrivare fino ai giorni nostri, in cui l'ormai evidente complessità insita nei processi naturali porta alla relatività delle scoperte e alla volontà di interpretare la natura anche attraverso gli strumenti della cultura.

In questa evoluzione, un ruolo fondamentale è stato svolto dalle possibilità di osservazione della natura a scale sempre più piccole. Nella primavera del 2016 ad esempio, uno studio condotto da un team di scienziati dell'Università della California,

ha ampliato con più di mille nuove specie l'albero della vita, mostrando come anche nelle zone più inospitali del mondo – come nelle distese di sale nel deserto di Atacama o all'interno della bocca di un delfino – esiste una così vasta quantità di microorganismi invisibili ai nostri occhi da «ribaltare la nostra comprensione di tutta la biologia e della vita invisibile dentro e intorno a noi» (Arnold, 2017). Oggi infatti, disponiamo di numerosi strumenti e tecniche per osservare il vivente in tutte le sue forme, dai diversi tipi di microscopi alle diverse tecniche utilizzate per visualizzare specifici microorganismi o molecole e favorirne lo studio. Ad esempio, oggi esiste una vasta quantità e varietà di microscopi, ognuno con le proprie specificità e peculiarità: stereo-microscopi, microscopi a fluorescenza, microscopi elettronici a scansione (SEM), microscopi confocali, microscopi a scansione di sonda (SPM) ecc.. Il microscopio SEM permette un'analisi estremamente dettagliata della forma e della struttura di un organismo, anche a scale nanometriche;

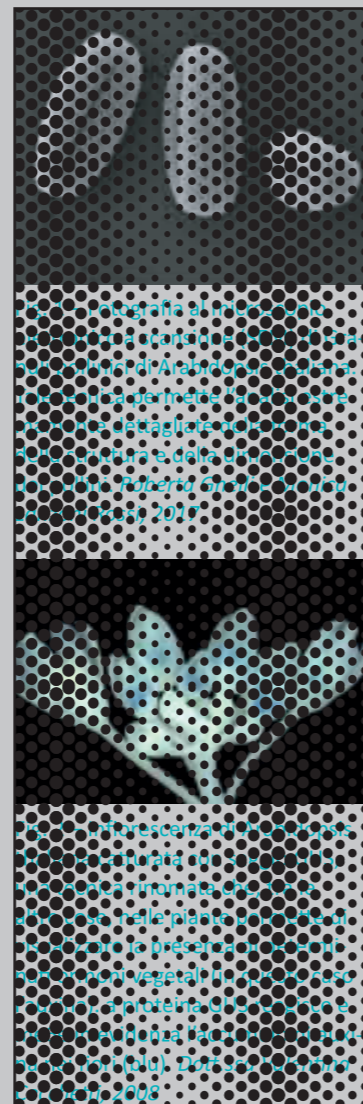


Fig. 3 - Fotografia al microscopio elettronico a scansione (SEM) di un gruppo di Atacama, un deserto di sale perenne. La scala è in micrometri. Foto: Robert Arnold e della sua équipe, 2017.

Fig. 4 - Fluorescenza di un campione di DNA estratto da un batterio. La scala è in micrometri. Foto: Robert Arnold e della sua équipe, 2017.

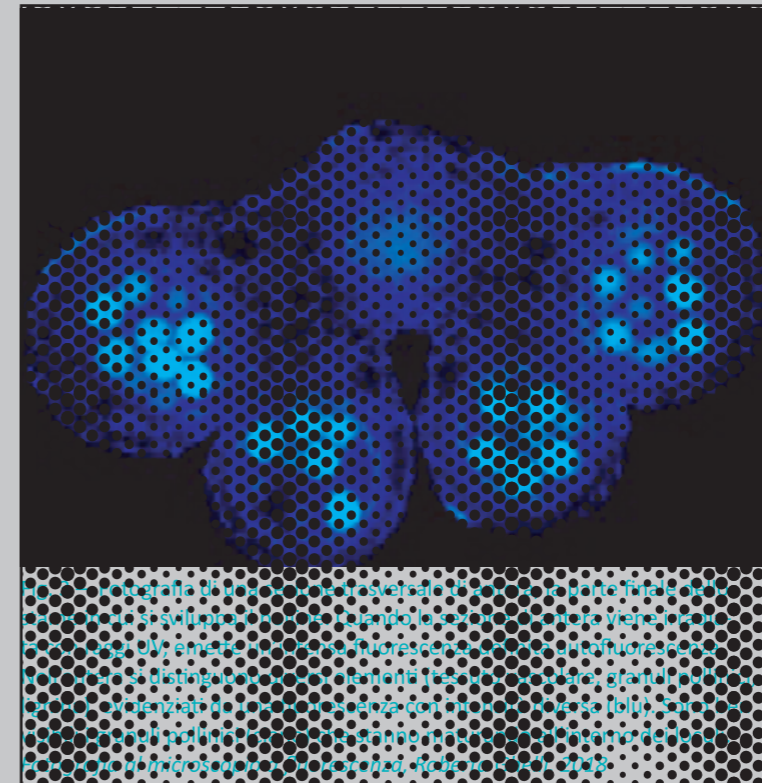


Fig. 5 - Fotografia di un campione di DNA estratto da un batterio. La scala è in micrometri. Foto: Robert Arnold e della sua équipe, 2017.

i microscopi ottici – come lo stereo-microscopio o i microscopi a fluorescenza – permettono di utilizzare tecniche di osservazione uniche grazie all'impostazione del tipo di illuminazione, della polarizzazione, nonché del filtraggio spettrale e spaziale; i microscopi a scansione di sonda raggiungono la scala atomica (come nel caso dei microscopi AFM, a scala atomica) e così via. Anche le tecniche di supporto alla microscopia sono oggi molte, vengono continuamente aggiornate e personalizzate

per ciascuna osservazione specifica e l'approccio creativo che si richiede può attirare l'attenzione dei designers. Esse utilizzano proteine o molecole di diverso tipo per restituire effetti ottici utili all'individuazione e allo studio di cellule di interesse, o all'identificazione di specifiche regioni con funzioni e attività differenti. Ad esempio, l'immunofluorescenza è una delle tecniche più utilizzate nella microbiologia e consiste nell'inserire all'interno di un campione di cellule un

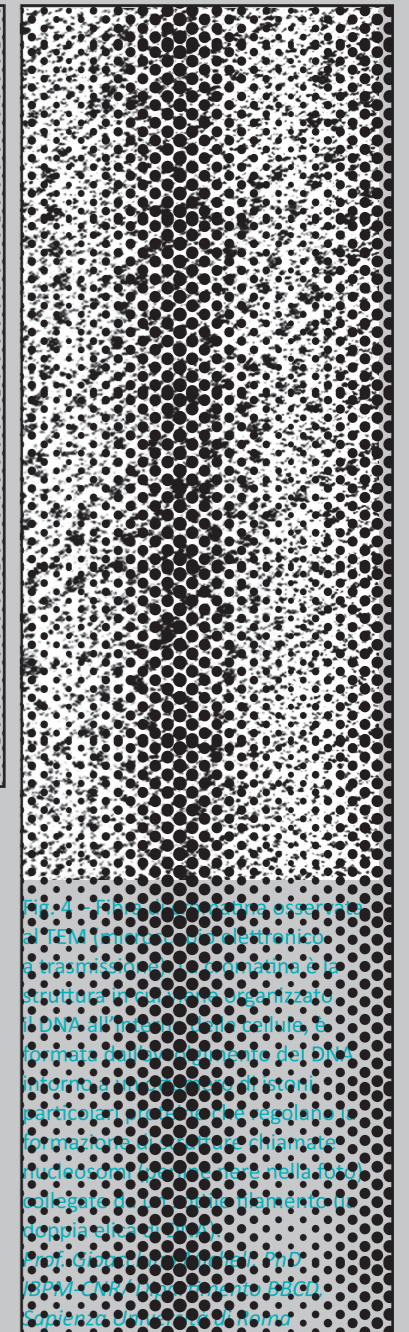


Fig. 6 - TEM (Transmission Electron Microscopy) di un campione di DNA estratto da un batterio. La scala è in micrometri. Foto: Robert Arnold e della sua équipe, 2017.

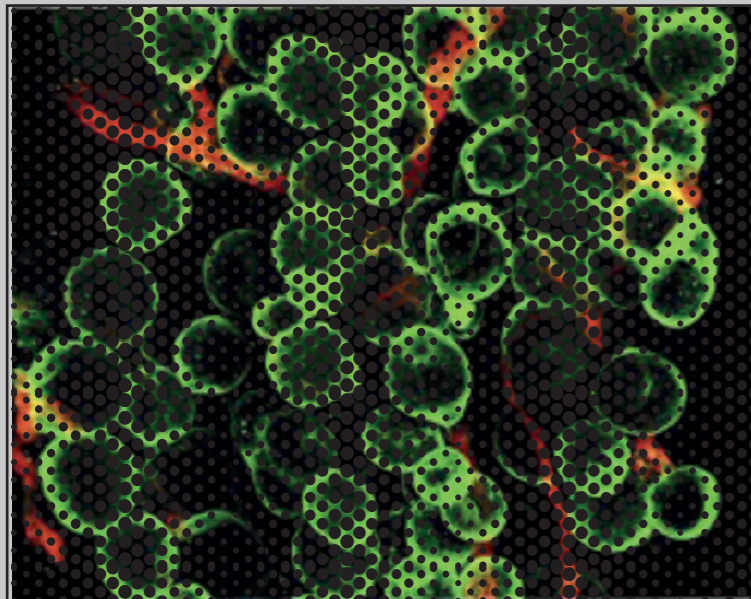


Fig. 5 - Dettaglio di un "GUS" murino. Il tessuto adiposo (DAPI) viene colorato con un microscopio fluorescente. L'enzima lacZ, che si esprime in modo la cui trascrizione principale è quella del sistema di attivazione, è espressa in modo uniforme in tutto il corpo. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo.



Fig. 6 - I cromosomi di un individuo. Le strutture di cui il DNA è composto quando si divide si dividono in cromosomi. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo.

"marcatore", ovvero un agente fluorescente (la più famosa è la "green fluorescent protein") che reagisce alla luce ultravioletta e permette di individuare al microscopio lo specifico batterio, cellula, anticorpo che si vuole studiare. Un altro esempio è la colorazione istologica con il DAPI, un colorante organico fluorescente utilizzato per lo studio del DNA attraverso microscopia a fluorescenza e che sotto luce ultravioletta evidenzia di blu le zone di interesse. La colorazione di Alexander permette di discriminare parti funzionali e non funzionali con colorazioni rosse; il "saggio GUS" è una rinomata tecnica in biologia molecolare vegetale che utilizza l'enzima *Escherichia coli beta-glucuronidasi* per colorare promotori e geni di interesse; e così via. Tali tipi di osservazioni, in grado di restituire di volta in volta punti di vista differenti, possono essere anche motivo di stimolo per il design, attraverso i quali può intravedere non solo l'intima intelligenza del vivente ma anche nuovi significati, può coniugare questi ultimi ai valori umani, in una continua ricerca di identità e connessione. A tal proposito, vengono presentati i risultati della mostra "Molecole", realizzata dall'Associazione giovanile Laboratorio11 di cui l'autrice ne è un membro fondatore, che si è proposta l'obiettivo di comunicare

la ricerca scientifica attualmente svolta nei laboratori (sia di Sapienza Università di Roma che di altri centri di ricerca e/o aziende del territorio) nei campi della genetica, della biologia molecolare e della microbiologia (vegetale e animale), attraverso immagini scientifiche, disegni, stampe 3D, video, installazioni interattive. L'intento è stato quello di stimolare nel visitatore non solo nuove conoscenze, ma anche un pensiero etico, critico, divergente, in grado di interrogarsi sulle effettive potenzialità della scienza contemporanea e sugli impatti che queste possono avere sulla società, sulla vita quotidiana delle persone (e non solo), sui risvolti etici e culturali. Per enfatizzare ancor più la natura quale amplificatore estetico-sensoriale, che non smette mai di stupirci, sono state volutamente presentate e messe a confronto anche diverse tecniche di indagine, in grado di restituire colori, segni ed elementi comunicativi, effetti ottici, utili alla comprensione degli argomenti ma anche all'efficacia del messaggio. In particolare, la mostra, concepita come una sorta di "aperitivo scientifico", prevedeva un percorso strutturato dal macro al micro per poi tornare al macro e alle nuove conoscenze sul sistema della vita, lungo il quale il visitatore poteva interfacciarsi di volta in volta con organismi differenti (piante, animali), cellule o molecole

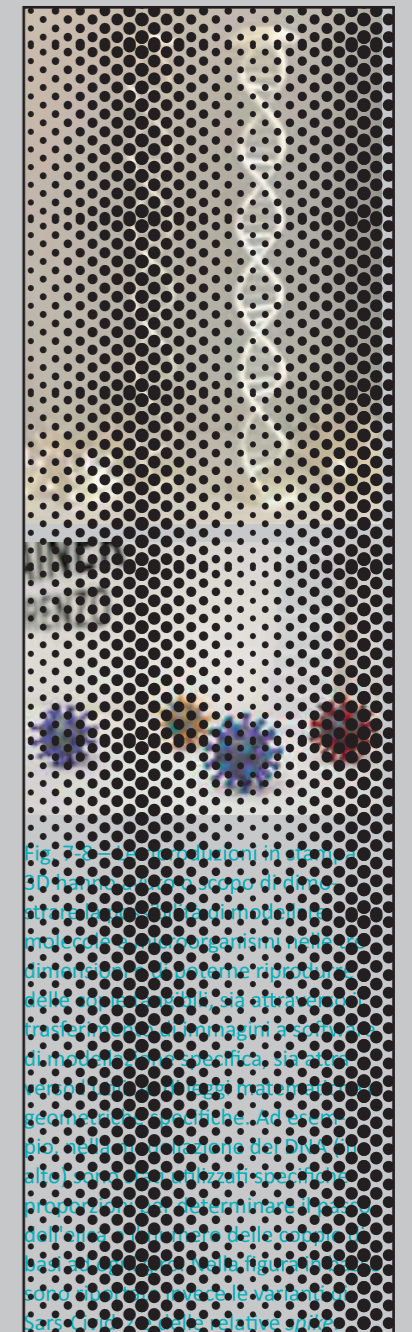


Fig. 7 - Un modello 3D di un DNA stampato in 3D. Il DNA è composto di due filamenti di zucchero e fosfato, che formano la molecola. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo. In modo da stabilire il "GUS" come parte del genotipo di un individuo, gli organismi sono in grado di essere colorati fluorescente in modo uniforme in tutto il corpo.

cresciute in vivo o in vitro, nonché con le diverse tecniche utilizzate. In particolare, la mostra si componeva di quattro aree principali, di cui riportiamo le didascalie generali:

**MACRO:** per studiare i principali processi alla base della vita, genericamente si impiegano sistemi modello, ossia microorganismi (virus e batteri), piante e animali, che hanno un ciclo di vita rapido, sequenza del DNA nota e la possibilità di essere cresciute in laboratorio. Le nozioni apprese grazie ai sistemi modello forniscono strumenti fondamentali che aiutano la comprensione delle basi molecolari e fisiologiche della vita.

**TECNICHE:** l'uso di tecniche all'avanguardia consente uno studio minuzioso di organi e tessuti, fornendo dettagli significativi sullo sviluppo degli organismi. Le diverse colorazioni nelle immagini identificano regioni con funzioni e attività differenti, legate al tipo di cellula presente in quell'area. La cellula è l'unità di base di tutti gli organismi viventi, in grado di comunicare con l'ambiente che la circonda grazie ad un costante scambio di segnali. A seconda dei segnali che percepisce ed invia, ogni cellula avrà un destino diverso.

**IN VITRO:** tecnologie innovative

permettono di crescere le cellule in vitro, offrendo l'opportunità di studiare il loro comportamento in diverse condizioni. Tra i principali segnali percepiti e inviati dalle cellule, c'è un considerevole numero di molecole che ne regola e coordina lo sviluppo. D'altronde le cellule stesse sono formate da molecole.

**MOLECOLE:** tra le molecole che costituiscono le cellule, gli acidi nucleici - DNA e RNA - sono di fondamentale importanza per la vita in quanto custodiscono delle sequenze uniche che, grazie a specifici sistemi di lettura e decodifica, rappresentano il manuale di istruzioni per cellule, tessuti, organi e organismi. Parte delle informazioni racchiuse negli acidi nucleici stimola la produzione delle proteine, coinvolte in numerose funzioni all'interno e all'esterno della cellula. Per distinguere ed identificare DNA, RNA e proteine, spesso sono usate molecole fluorescenti che instaurano interazioni specifiche, rivelando la presenza delle sole molecole di interesse.

Il percorso dal macroscopico al microscopico è quindi un viaggio di andata e ritorno, si parte dal grande per andare nel dettaglio, per tornare indietro arricchiti di contenuti. La vita infatti non è quella che vediamo, ma quella che

si nasconde dietro i segni magici dell'invisibile.

*La mostra è stata realizzata con il contributo della Regione Lazio nell'ambito del progetto "VitaminaG" ed è stata supportata dal Dipartimento di Biologia e Biotecnologie di Sapienza, dal centro Saperi&Co di Sapienza e da Nanolive, azienda laziale nel settore delle biotecnologie. È stata svolta presso Container San Lorenzo (Roma) nelle giornate del 13 e 14 ottobre 2022.*

*Link alle pagine dell'Associazione Giovanile Laboratorio 11:*

*Facebook: Associazione Giovanile Laboratorio11*

*Instagram: associazione\_laboratorio11*

*Al lato – Momenti della mostra "Molecole" svoltasi il 13 e 14 ottobre 2022. L'evento ha attirato un pubblico variegato, di diverse età e background scientifico-culturali. Il pubblico è stato accompagnato dalla guida di alcuni studenti del Dipartimento di Biologia e Biotecnologie "C. Darwin" di Sapienza Università di Roma, che spiegavano nel dettaglio le immagini esposte e rispondevano alle curiosità. L'informalità dell'evento e le serate musicali hanno attirato ancor più un pubblico giovanile, target dell'Associazione Laboratorio 11, rendendo l'esperienza divertente e culturalmente rilevante allo stesso tempo.*





## GALLERIA Oltre le frontiere



La seconda galleria intende approfondire la tematica natura-progetto, mettendo in evidenza la progressiva ibridazione tra discipline, tra teoria e prassi, tra natura e artificio, tra calcolo e interpretazione. Il racconto si addentra negli scenari contemporanei in cui il pensiero progettuale si contamina di volta in volta con le diverse scienze, poiché specchio dei diversi modi di interpretare e approcciare alla natura. Si tratta delle scienze classiche cosiddette “dure”, come la matematica, la biologia, la chimica; di quelle più avanzate, fluide e interdisciplinari, come la robotica, le biotecnologie e le scienze mediche, oppure di quelle umanistiche e sociali, come la filosofia o le STS, mettendo in mostra concretizzazioni tecniche ed espressive che, come in un gioco ricorsivo, oscillano al di qua e al di là delle frontiere ibride. Il vivente diventa riferimento, materia prima e modello per artefatti innovativi, in grado di fronteggiare le sfide odierne, come sostenibilità, salute e personalizzazione, ma anche di cambiare il modo di percepire la realtà e prefigurare il futuro. Il filo rosso della sperimentazione connette ed interseca i progetti presentati, specchio di un nuovo modo di fare design, che trova nella Natura il termine ideale di paragone.

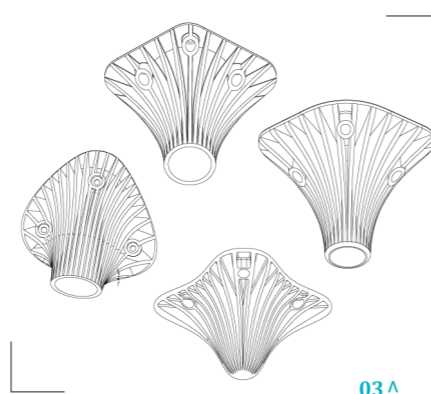


01 >

### Le logiche della natura

> Dalla natura all'artificio, logiche, principi e qualità complesse confluiscono in nuovi artefatti che sembrano esseri viventi, non tanto nel modo di comparire ma per il modo stesso di comportarsi. Strutture sensibili, reattive e sostenibili, che usano meno materia ed energia, oltre che sofisticati processi, nascono da un design che guarda alle conquiste della biologia classica capace, grazie alle nuove tecnologie, di comprendere sempre più a fondo l'intima intelligenza del vivente.

02 v



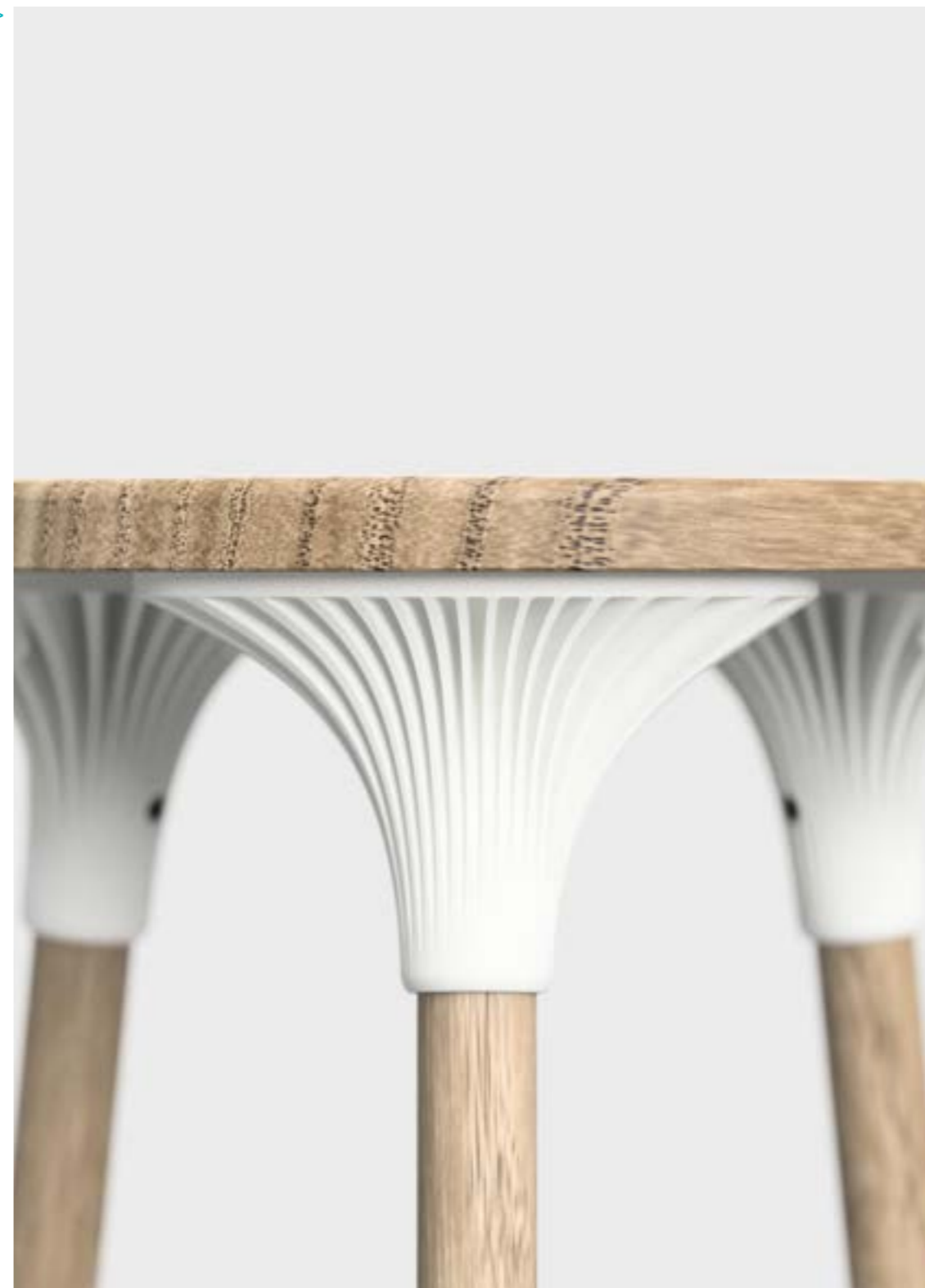
03 ^

01 *Flowing Water & Standing Time*, Ying Gao, 2019. "Abiti autonomi", esempi di soft robotics indossabile, ispirati alla capacità di cambiare colore del camaleonte, piuttosto che al raggrinzirsi della pelle di alcuni animali in presenza di pericolo.

02 *ICD/ITKE Research Pavillion*, Università di Stoccarda, 2014-15. Struttura fibrinforzata realizzata attraverso un processo di fabbricazione tecnologica ispirato al processo di costruzione che il ragno palombaro usa per tessere il suo nido subacqueo.

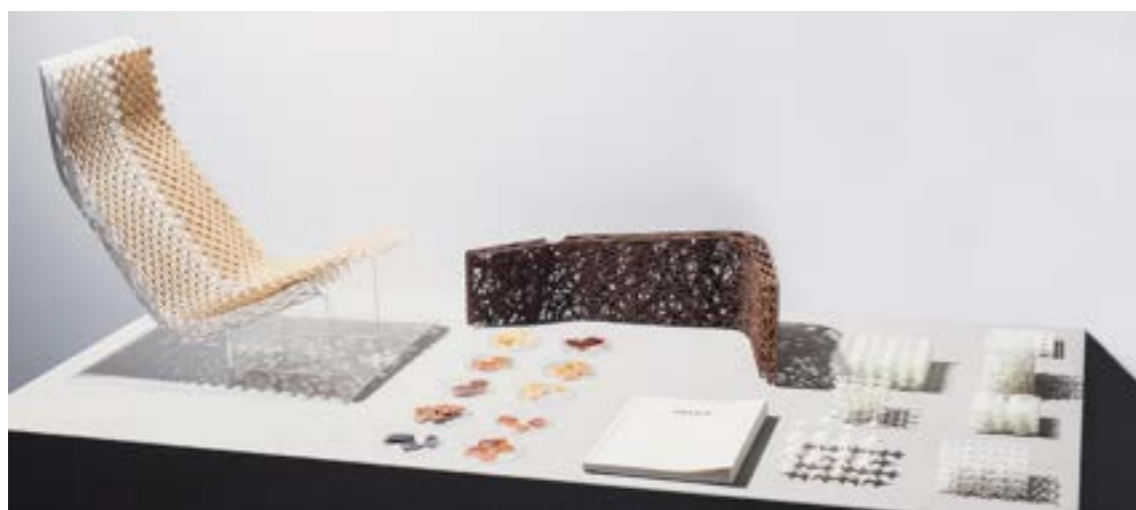
03 04 *Lamella*, Almond studio, 2018. Giunti polimerici customizzabili stampati in 3d, che grazie alla struttura ispirata alle lamelle dei funghi, sono capaci di connettere componenti combinando leggerezza, flessibilità e resistenza.

04 >





< 01



< 02

**01 02** *Shapes of Sweden, Lilian van Daal, 2015.* Seduta realizzata per il contest "Volvo Design Challenge" che applica algoritmi biomimetici (ispirati dalle pigne e dalle radici degli abeti) per raggiungere caratteristiche di flessibilità, comfort, resistenza.

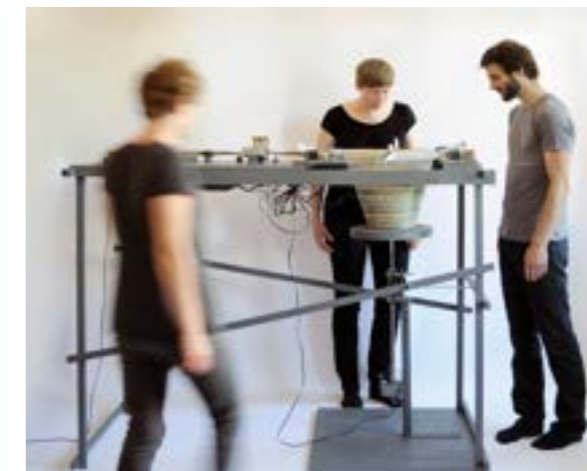
**03** *The idea of a Tree, Mischer+Traxler studio, 2009.* Elementi di arredo realizzati attraverso un macchinario ad energia solare che, proprio come alberi, variano morfologia e colorazione a seconda dell'esposizione solare.

**04** *H.O.R.T.U.S. XL Astaxathin.g, EcoLogicStudio, 2019.* Primo bio-reattore stampato in 3d, la cui struttura è ispirata alla crescita del corallo, esponendo i cianobatteri che dovrà contenere in maniera ottimale rispetto alla radiazione

**05** *Data-driven midsoles, Nervous System studio, 2015.* Solette funzionali e customizzabili, progettate per New Balance, la cui texture ispirata alle ossa varia a seconda dei parametri di pressione di ciascun corridore, ottimizzandone le prestazioni.



03 >



### I codici della natura

> Nell'era del digitale, il design incontra la matematica attraverso l'introduzione di algoritmi generativi e processi parametrici nelle diverse fasi di concezione e realizzazione del prodotto. Informazione, computazione e progetto si combinano grazie a sofisticati strumenti di calcolo, generando proprio come in natura, artefatti tecnici ed espressivi che crescono e si modellano secondo strutture complesse, ottimizzate e adattate allo specifico contesto o utente con cui entrano in contatto.

04 v



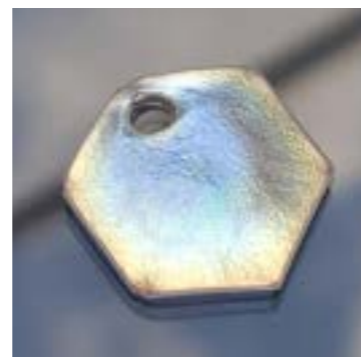
05 >



01 >



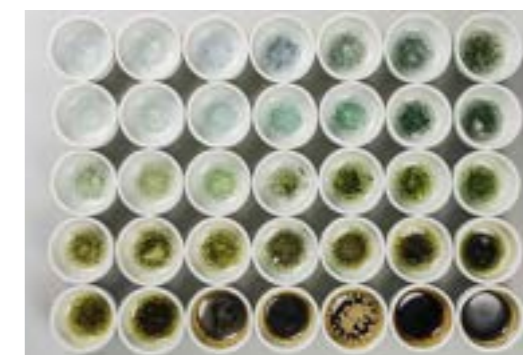
04 >



02 ^

< 03

05 v



### Alchimie sostenibili

>  
Oggi il design che guarda alla chimica costituisce un panorama ampio e ricco di sfaccettature e si esplica attraverso sperimentazioni materiche più vicine all'alchimia che alla scienza. Materie organiche e inorganiche vengono riciclate, combinate, stratificate e nobilitate attraverso la creatività, reinventandosi nell'Ecosistema come in un ciclo naturale. Attraverso pratiche rudimentali, ma anche tecniche sofisticatissime i progettisti reinventano nuovi materiali ponendo il focus non solo su aspetti prestazionali ma anche comunicativi e persino poetici.

**01** *Agriluma*, High Society Studio, 2015. Lampade realizzate con biomateriali derivanti da scarti dell'industria agro-alimentare come canapa, tabacco e mosto del vino. Le miscele vengono poi compresse in stampi per ottenere diverse forme e prodotti.

**02** *Bio Iridescent Sequin*, Elissa Brunato, 2019. Paillettes bioderivate dal legno. La cellulosa liquida infatti, se opportunamente processata, è in grado di formare nanostrutture strutture che riflettono luce e generano iridescenza.

**03** *Structural Colour Studio*, Noora Yau & Konrad Klockars, 2017. Con un processo analogo al progetto precedente, design e scienza dei materiali collaborano alla creazione di un rivestimento a base di nanocellulosa in grado di generare iridescenza.

**04 05** *A World of Sand*, Atelier NL, 2010-in corso. Il duo di designer raccoglie da qualche anno sabbie da tutto il mondo che, se cotte ad alte temperature, producono vetri con trame e colori che rimandano ai luoghi, alla loro geologia e storia.

**06** *The Agari Project*, Ari Jönsson, 2016. Contenitore per l'acqua realizzato con un materiale ricavato dalle alghe, che può essere riempito con acqua e inizia a decomporsi non appena viene svuotata, educando il consumatore al rispetto per l'ambiente.



< 06



01 ^

### Nuovi esseri animati

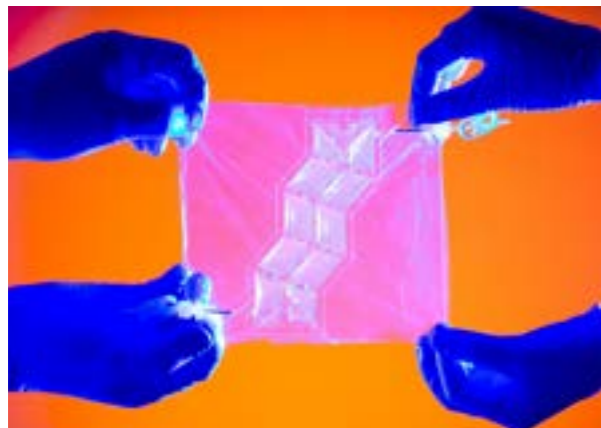
> Dalla biomeccanica alla robotica, passando per le nanotecnologie, la *soft robotics* e le neuroscienze, il design si mostra capace di ibridarsi anche con i settori d'avanguardia, per dar vita ad oggetti e materiali intelligenti, capaci di auto-organizzarsi, auto-assemblarsi e persino vivere una propria vita autonoma. Possibilità preziose, idonee alla mutevolezza del vivere contemporaneo e premonitrici di futuri extra-terrestri e universi *cyborg*.

02 >



03 ^

04 v



05 v



06 >



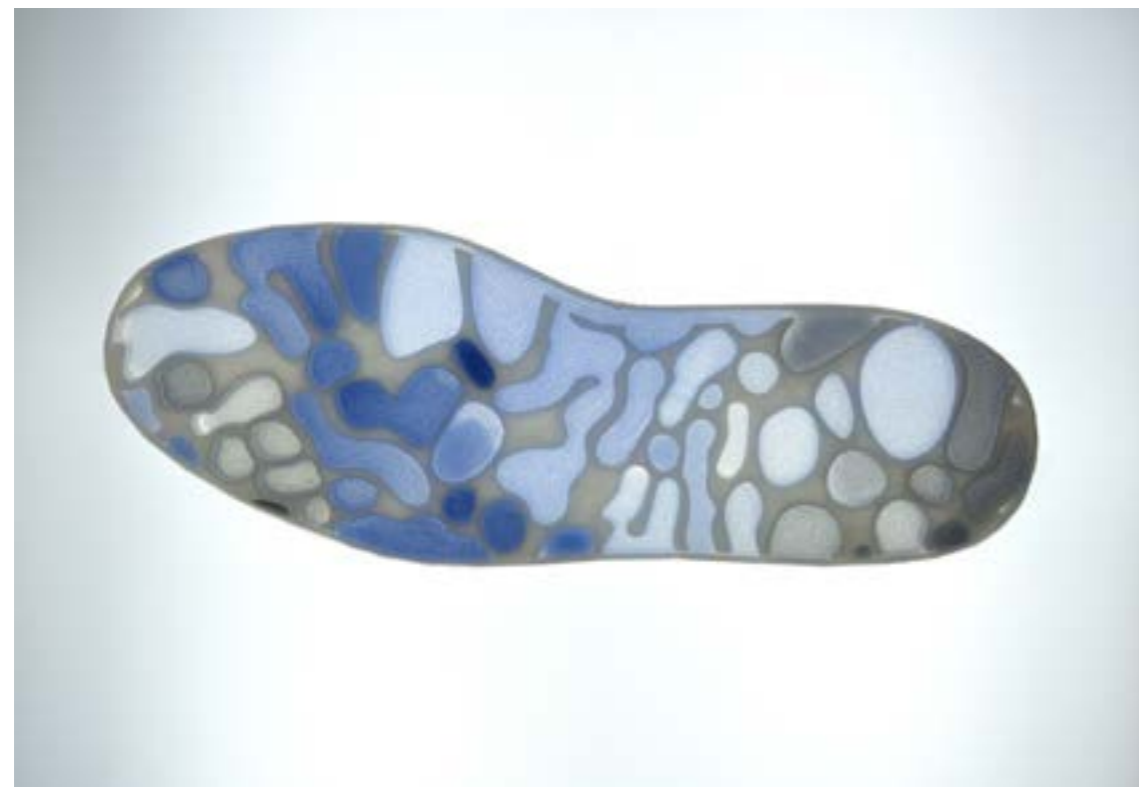
**01** *Kirobo Mini, Toyota, 2016.* Mini robot pensato per assistere i conducenti durante i viaggi in auto, è in grado di parlare, gestire e comprendere l'umore. Contribuisce a rendere la guida un'esperienza migliore e ad evitare il sonno.

**02 03** *Fiberbots, MIT Mediated Matter Group, 2018.* Sistema di swarm robotics per la costruzione autonoma di strutture architettoniche. Ciascun dispositivo, connesso agli altri e all'ambiente, può realizzare strutture tubolari a base di fibra di vetro.

**04** *Origami Membrane for 3D Organ Engineering, Wyss Institute, 2018 - in corso.* Dispositivo portatile per la dialisi in grado di gonfiarsi una volta riempito con idrogel a base di cellule renali. La struttura pieghevole permette forme adattate al corpo senza danneggiare le cellule all'interno.

**05** *Riforma, IAAC & Materiability, 2015.* Sistema di auto-assemblaggio basato sui principi della soft robotics per l'architettura.

**06** *Soft Assembly, Pola Demianiuk, 2023.* Progetto speculativo che indaga futuri nei quali non è il corpo a muoversi, ma l'indumento. Basati sui principi della *soft robotics* e da performance bioispirate, gli indumenti si adattano al corpo e ai suoi movimenti.



< 01

02 >



< 03

### Il progetto del vivente

>  
Artefatti che incorporano materia viva, biologicamente attiva; fabbriche biologiche; organismi viventi ri-progettati e ri-costruiti a piacimento: con l'avvento delle biotecnologie e della biologia sintetica, le strutture della civiltà non conoscono più confini e invadono attraverso il progetto una nicchia finora esclusiva del vivente.

**01** *Deep Learning Insole*, MIT & Puma, 2018. Plantare di nuova generazione che grazie alla presenza di microorganismi è in grado di misurare fenomeni biochimici e restituire un biofeedback personalizzato in tempo reale su benessere e stress.

**02** *Revolution or Evolution?*, team di San Francisco presso l'iGEM del 2004. Film contenente batteri geneticamente modificati e fotosensibili, che mostra la classica espressione del primo programma di esempio scritto in linguaggio "C".

**03** *Assemblage 001*, Faber Futures & Ginkgo Bioworks, 2017. Indumenti colorati con pigmenti derivanti da batteri *S.coelicolor*, ingegnerizzati per produrre specifici pigmenti e colorazioni, nonché pattern di crescita per una nuova tintura sostenibile.

**04** *Skin II*, Rosie Broadhead, 2019. Indumenti sportivi che integrano batteri in grado di attivarsi con il sudore, riducendo l'odore, migliorando il sistema immunitario e incoraggiando il rinnovamento delle cellule.

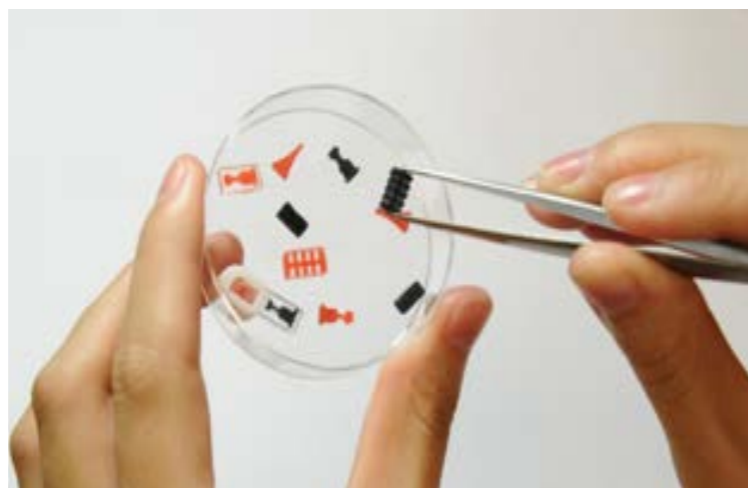
04 >



05 v



01 v



02 >

### Ibridazioni corporee

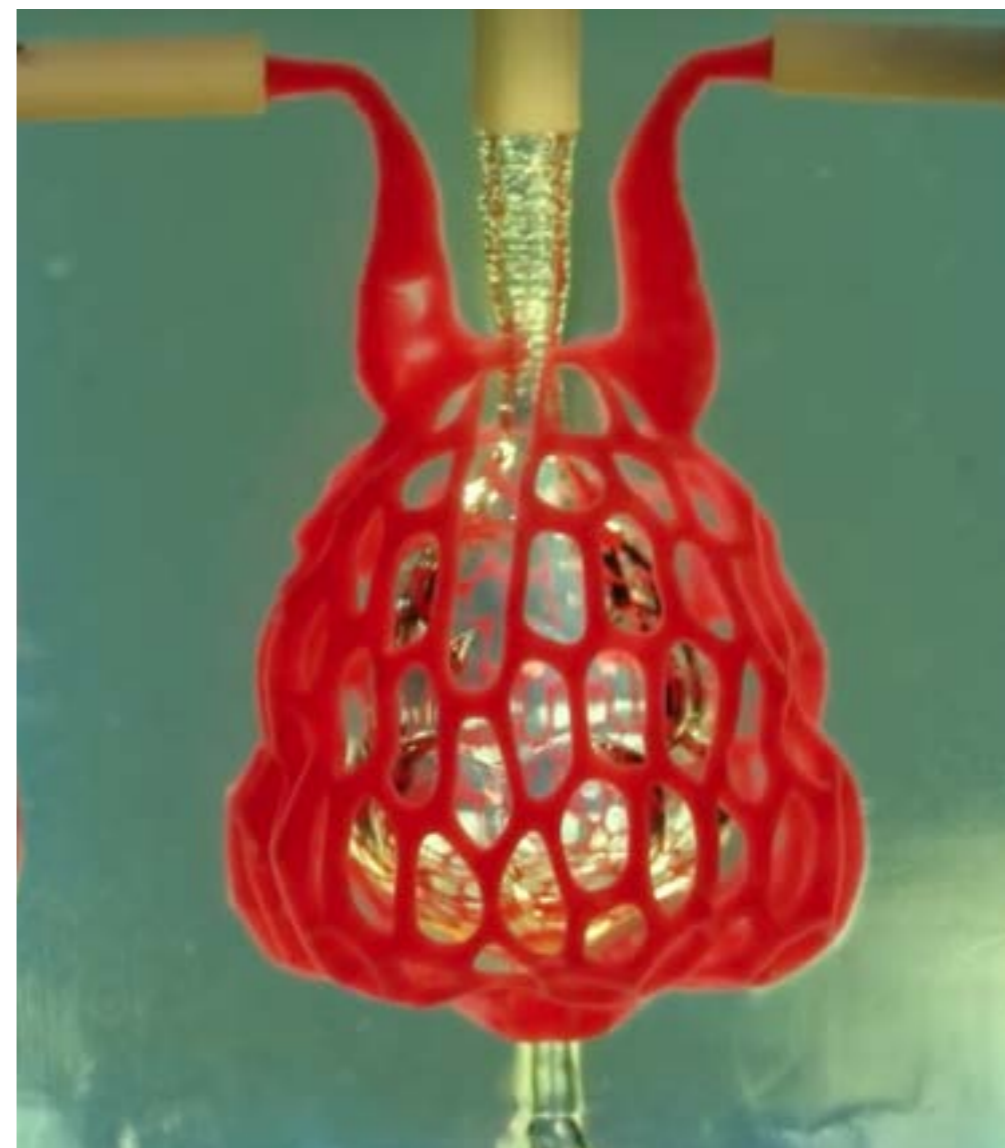
>

Nello scenario contemporaneo sono forse i prodotti biomedicali quelli che più spingono i progettisti sulle frontiere ibride dell'innovazione: i nuovi dispositivi crescono e si generano in maniera puntuale e personalizzata, colonizzano il corpo e la vita dei pazienti senza essere rigettati, creando flussi di continuità tra il nostro assetto biologico e le strutture dell'artificio capaci di ripararlo e potenziarlo.

03 >



04 v



< 05

01 *SmartLens, Google & Alcon, 2014.* Concept di *smart lens*, in fase di sviluppo, dotate di sensori e microchip in grado di monitorare costantemente il diabete e di correggere i difetti della vista da esso spesso derivanti.

02 *Customised Pills, National University of Singapore, 2016.* Pillole stampate in 3D capaci di combinare in un solo elemento diversi principi attivi e di programmarne il rilascio nell'organismo, dando la via ad una medicina più economica e personalizzata.

03 *Bioimplantable devices, Ellis Development Ltd, Pearsall's Ltd & Cooper Hewitt Design Museum, 2004.* Impianti customizzabili, strutturalmente biocompatibili grazie alla flessibilità della tessitura, realizzati con filamento biorecettivo e biodegradabile.

04 *Aneurisma, Saperi&co & dott. Vito Chiarella, 2020.* Modelli creati con scansioni a partire da specifici sistemi di TAC e stampati in 3D che riproducono fedelmente aneurismi di pazienti, utili ai chirurghi per pianificare le future operazioni.

05 *Engineered vasculature, Nervous system studio & Rice University, 2019.* Reti multivascolari per la circolazione dei fluidi, progettate con software algoritmici e stampate con hydrogels biocompatibili, in grado di mantenere in vita organi sintetici.

## References

- Antonelli, P. (2008). *Design and the Elastic Mind*. Museum of Modern Art.
- Antonelli, P. (2019). *Broken Nature. XXII Triennale di Milano*. Milano: Mondadori.
- Antonoli, M. & Vicari, A. (2015). Archeologia dell'eco-design. MDEssays. Retrieved from: [https://materialdesign.it/it/post-it/essays\\_17\\_16.htm](https://materialdesign.it/it/post-it/essays_17_16.htm)
- Arnold, C. (2017, January 4). The never-ending quest to rewrite the tree of life, *Nova Next*. Retrieved from: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/microbial-diversity/>
- Atkinson, P. (2006). Do it yourself: democracy and design. *Journal of design history*, 19(1), 1-10.
- Baumeister, D. (2013). *The Biomimicry Resource Handbook. A seed bank of best practices*. [CreateSpace Independent Publishing Platform]
- Baxter, S. & Wahl, D. C. (2008). The designer's Role in Facilitating Sustainable Solutions. *Design Issues*, 24(2), 73-83.
- Beni, G. (2004). From Swarm Intelligence to Swarm Robotics. *Lecture Notes in Computer Science*, 1(3342), 1-9
- Benjamin, D. (2011, March 30). Bio Fever. *Domus*. Retrieved from <https://www.domusweb.it/en/opinion/2011/03/30/bio-fever.html>
- Benjus, J. (1997). *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*. William Morrow & Co.
- Bistagnino, L. (2009). *Design sistemico. Progettare la sostenibilità produttiva e ambientale*. Slow Food.
- Bocchi, G. & Ceruti, M. (2007). *La sfida della complessità*. Mondadori.
- Carlson, H. R. (2011). *Biology Is Technology. The Promise, Peril, and New Business of Engineering Life*. Harvard University Press.
- Cepi, G. (2016). *Nutirsi per immagini*. LISt Lab.
- Choi, K., Medley, J. K., Cannistra, C., König, M., Stocking, K., Smith, L. & Suro, H. M. (2016, June 2). Tellurium: A Python Based Modeling and Reproducibility Platform for Systems Biology. *BioRxiv*. Retrieved from <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/054601v2.article-info>
- Colquhoun, A. (1969). Typology and Design Method. *Perspecta*, 12(1969), 71-74.
- Comte, A. (1985). *Discorso sullo spirito positivo* (A. Negri, Trans.). Laterza.
- Condell, C. (2019). Understand. In Lipps, A., McQuaid, M., Condell, C. & Bertrand, G. (Eds.), *Nature Collaborations in Design*. Cooper Hewitt Design Triennial.
- Correa, D. et al. (2015). 3D Printed Wood: Programming Hygroscopic Material Transformations. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 2(3), 106-116.
- Coutinho, B. C. et al. (2016). *The Network Behind the Cosmic Web*. arXiv:1604.03236 [astro-ph.CO]
- De Lorenzo, V. (2014). La Biologia Sintetica come un nuovo quadro interpretativo dei sistemi viventi. *Istituto Lombardo-Rendiconti di Scienze*, 148, 167-183. Retrieved from <http://www.ilasl.org/index.php/Scienze/article/view/196/199>
- De Rosnay, J. (1977). *Il Macroscopio. Verso una visione globale*. Dedalo Libri.
- Del Giudice, D. (2017). Erosion Swarm Behaviour. *Design di una body suit sportiva per mezzo di un Agents based system*. *MD Journal*, 3(1), 70-87.
- Dengler, R. (2017, December 1). The ink this 3D printer uses is alive. *Science*. Retrieved from <https://www.sciencemag.org/news/2017/12/ink-3d-printer-uses-alive-watch-it-action>
- DiBiase, D. et al. (2013). Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization. *Cartography and Geographic Information System*, 19(4), 201-214.
- Doerstelmann, M. et al., (2015). ICD/ITKE Research Pavilion 2014-15: Fibre Placement on a Pneumatic Body Based on a Water Spider Web. *Architectural Design*, 85(5), 60-65.
- Duro-Royo, J. et al. (2015). MetaMesh: A hierarchical computational model for design and fabrication of biomimetic armored surfaces. *Computer-Aided Design*, 60, 14-27
- Dunne, A. & Raby, F. (2007). *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. MIT Press.
- Englefield, J. (2022, July 28). La mostra Cambio di Formafantasma e Artek esplora il legame del design finlandese con la silvicoltura. Dezeen. Retrieved from: [https://www.dezeen.com/translate/google/2022/07/28/formafantasma-artek-exhibition-finnish-design-forestry-cambio/?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=it&\\_x\\_tr\\_hl=it](https://www.dezeen.com/translate/google/2022/07/28/formafantasma-artek-exhibition-finnish-design-forestry-cambio/?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=it&_x_tr_hl=it)
- Estèvez, A. & Navarro, D. (2017). Biomanufacturing the Future: Biodigital Architecture & Genetics. *Procedia Manufacturing*, 12, 7-16.
- Francè, R. H. (1920). *Die Pflanze als Erfinder*, Frank'sche Verlagshendl. Stoccarda.
- Ginsberg, A.D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A. & Endy, D. (2017). *Synthetic Aesthetics: Investigating Synthetic Biology's Design on Nature*. MIT Press.
- Grievink, H. J. (2018, November 1). What an artificial womb may look like in the future. *Next Nature Network*. Retrieved from: <https://nextnature.net/magazine/story/2018/artificial-womb-design>
- Grigoryan et al., (2019). Multivascular networks and functional intravascular topologies within biocompatible hydrogels. *Science*, 364(6439), 458-464
- Hobson, B. (2015, March 27). Amy Congdon's couture fashion integrates textile design and tissue engineering. *Dezeen*. Retrieved from <https://www.dezeen.com>
- Huh et al. (2010). Reconstituting Organ-Level Lung Functions on a Chip. *Science*, 328 (5986), 1662-1668.
- Ito, J. (2015). *Jochi Ito Keynote: why bio is the new digital*. [Video file]. Retrieved from <https://conferences.oreilly.com>
- Ito, J. (2016, January 12). Design and Science. *Journal of Design and Science*. Retrieved from <https://doi.org/10.21428/f4c68887>
- Jessel, H., Aharoni, L. & Bachelet, I. (2019). A modeling algorithm for exploring the architecture and construction of bird nest. *Scientific Reports*, 9 (14772).
- Kapsali, V. (2016). *Biomimetics for Designers. Applying Nature's Processes and Materials in the Real World*. Thames&Hudson.
- Kiesler, F. J. (1939). On Correalism and Biotechnique. A Definition and Test of a New Approach to Building Design. *Architectural Record*, 60(9).
- Kiesler, F. J. (1966). *Inside the Endless House*. Simon and Schuster
- Kelly, K. (1994). *Out of Control: The New Biology of Machine, Social System and the Economic Worlds*. Addison-Wesley.



- Kelly, K. (2010). *Quello che vuole la tecnologia* (G. Olivero, Trans.). Codice Editore.
- La Rocca, F. & Lucibello, S. (2015). *Innovazione e utopia nel design italiano*. Rdesignpress.
- Langella, C. (2007). *Hybrid desig. Progettare tra tecnologia e natura*. Franco Angeli.
- Langella, C. (2013, Maggio 30). La dissoluzione del confine tra biologico e sintetico. *Digicult*. Retrieved from: [http://digicult.it/it/news/blurry-edge-biological-synthetic/#\\_ftn1](http://digicult.it/it/news/blurry-edge-biological-synthetic/#_ftn1)
- Langella, C. (2019). *Design & Scienza*. ListLab.
- Lucibello, S., Ferrara, M., Langella, C., Cecchini, C., Carullo, R. (2018). Bio- Smart Materials: the binomial of the future. in Karwowski, W. & Ahrm, T. (Ed.), *Intelligent Human Systems Integration 2019* (pp. 745-750). Berlino: Springer.
- Maldonado, T. (2022). La speranza progettuale. Feltrinelli. (Original work published 1971)
- Manzini, E. (1991). *Artefatti: verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*. Edizioni Domus Academy.
- Manzini, E. & Jégou, E. (2003). *Quotidiano sostenibile. Scenari di vita urbana*. Edizione Ambiente.
- Mari, E. (1974). *Proposta per un'autoprogettazione*. Centro Duchamp.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W. (1972). *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Book.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2003). *Cradle to Cradle. Remaking the way we make things*. Farrar Straus and Giroux
- Moholy-Nagy, L. (1929). *Von Material zu Architektur*. Langen.
- Morby, A. (2016, April 1). Aniela Hoytink creates dress from mushroom mycelium. Dezeen. Retrieved from: <https://www.dezeen.com/2016/04/01/aniela-hoytink-neffa-dress-mushroom-mycelium-textile-materials-fashion/>
- Moretti, F. (2016). 3D Printing and the medical application: Lelio Leoncini's amazing creations using WASP 3D printers. Wasp Website. Retrieved from: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printing-and-the-medical-application-lelio-leoncinis-amazing-creations-using-wasp-3d-printers/>
- Morin, E. (2007). Le vie della complessità. In Bocchi, G. & Ceruti, M. (Eds.), *La sfida della complessità*. Mondadori.
- Munari, B. (1996). *Da cosa nasce cosa. Appunti per una metodologia progettuale*. Laterza.
- Myers, W. (2012). *Bio Design: Nature, Science, Creativity*. United Kingdom: Thames&Hudson.
- Natalini, A., Netti, L., Poli, A. & Toraldo di Francia, C. (1983). *Cultura materiale extraurbana*. Alinea.
- Oxman, N. (2016, January 17). *Towards a material ecology*. Essay retrieved from: World Economic Forum.
- Papanek, V. (1995). *The Green Imperative. Ecology and Ethics in Design and Architecture*. Thames & Hudson.
- Papanek, V. (2005). *Design for the Real World: Human ecology and Social Change*. Chicago review Press. (Original work published 1973)
- Parisi, S., Rognoli, V. & Sonneveld, M. (2017). Material Tinkering. An inspirational approach for experiential learning and envisioning in product design education. *The Design Journal*, 20(1), 1167-1184.
- Pellizzari, A. & Genovesi, E. (2017). *Neomateriali nell'economia circolare*. Edizioni Ambiente.
- Portoghesi, P. (1999). *Natura e Architettura*. Skira.
- Prigogine, I. & Stengers, I. (1981). *La nuova alleanza, Metamorfosi dellascienza*. Einaudi.
- Reilly, C. & Ingberg, D.E. (2017). Art Advancing Science: Filmmaking Leads to Molecular Insights at the Nanoscale. *ACS Nano*, 11(12).
- Reilly, C. (2018). The choreography of life. *Biochem (Lond)*, 40(2), 10-13.
- Rubenstein, M. et al. (2014). Kilobot: A low cost robot with scalable operations designer for collective behaviors. *Robotic and Autonomous Systems*, 62(7), 966-975
- Salvia, G., Rognoli, V. & Levi, M. (2009). *Il Progetto della Natura. Gli strumenti della biomimesi per il design*. Franco Angeli.
- Santulli, C. (2012). *Biomimetica: la lezione della Natura. Ecosostenibilità, design e cicli produttivi nel Terzo Millennio*. Ciesse.
- Schmitt, O. H. (1960). Where are we and where are we going? *Paper presented at Bionic Symposium. Living prototypes*. Dayton: US Air Force Office of Scientific Research (AFOSR).
- Schieber, G. et al. (2015). Integrated Design and Fabrication Strategies for Fibrous Structures. In: Thomsen, M., Tamke, M., Gengnagel, C., Faircloth, B., Scheurer, F. (eds) *Modelling Behaviour*. Springer.
- Small, H. A. (1947). *Form and Function. Remarks in Art, Design and Architecture*. University of California Press.
- Steadman, P. (1988). L'evoluzione del design. L'analisi biologica in architettura e nelle arti applicate (F. Cavalieri, Trans.). Liguori Editore.
- Stengers, I. (2005). *Cosmopolitiche*. Luca Sossella Editore.
- Sullivan, L. H. (1906). What is Architecture; cited in Twombly, R. & Menocal, N.G. (2000). *Luis Sullivan: The Poetry of Architecture*. Norton&Co.
- Sullivan (1892). *Ornament in Architecture. A system of architectural Ornament*. Wasmuth.
- Thackara, J. (2006). *In the Bubble. Designing in a Complex World*. MITPress.
- Tamborini, P. & Tartaro, G. (2010). Design Sostenibile. *Enciclopedia Treccani del XXI secolo*. Retrieved from: [https://www.treccani.it/enciclopedia/design-sostenibile\\_\(XXI-Secolo\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/design-sostenibile_(XXI-Secolo)/)
- Thompson, D. W. (1969-2016). Crescita e forma. La geometria della natura (J. T. Bonner, Trans.). Bollati Boringhieri.
- Traldi, L. (2016). E la parete iniziò a respirare. *La Repubblica*. Retrieved from <http://bit.ly/1NGkEBq>
- Treccani (2010). Bionica. *Dizionario di Medicina*. Retrieved from: [https://www.treccani.it/enciclopedia/bionica\\_\(Dizionario-di-Medicina\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/bionica_(Dizionario-di-Medicina)/)
- Tucker, E. (2015, November 4). MIT Media Lab's BioLogic material opens and closes in response to humidity. *Dezeen*. Retrieved from <https://www.dezeen.com/2015/11/04/>
- Vezzoli, C. (2005). Design per la sostenibilità: una disciplina (sempre più) articolata. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/255642605\\_Design\\_per\\_la\\_sostenibilita\\_una\\_disciplina\\_sempre\\_piu\\_articolata/citations](https://www.researchgate.net/publication/255642605_Design_per_la_sostenibilita_una_disciplina_sempre_piu_articolata/citations)
- Vezzoli, C., Ceschin, F. & Cortesi, S. (2009). Metodi e strumenti per il Life Cycle Design. Come progettare prodotti a basso impatto ambientale. Maggioli Editore.
- Wiener, N., Rosenblueth, A. & Bigelow, J. (1943). *Behaviour, Purpose and Teleology. Philosophy of Science*, 10(1943), 18-24.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and Machine*. MIT Press.
- Wilson, E.O. (1998). *Consilience: The Unity of Knowledge*. New York: Knopf.

## CAPITOLO 3 Innovare sulle interrelazioni

### ABSTRACT (INGLESE)

*The third chapter concludes the first part by explicitly investigating the relationship between design and new technological potential and how the latter leads the nature-artifice convergence beyond the mere possibility of creating hybrid artefacts, shifting our life, production and consumption models, as well as the ways of doing design and research towards a living paradigm, aligned with how nature works. In particular, the convergence of technological developments, access to a large amount of data and information, and the speed and scope at which changes occur place the discipline in an atypical position. On the one hand, it is free to move within an aesthetic-technological pluralism, to draw on diversified sectors and to adopt more methodologies, tools and processes, leading to the dissolution of the barriers between real and virtual, natural and artificial matter and thought. On the other hand, in the age of techno-science - which still stands as a "subject of history, which has nature as its background and man as its functionary" (Galimberti, 2019) - it is challenging but also necessary for the design identifying the qualitative and meaningful margins, leading him to undertake open, collective and complex project visions, deconstructing the dominant deterministic technological thought and rediscovering the needs of man and the environment in which he is immersed. The chapter, therefore, first explains how design approaches and methodologies change with an informational exchange possible today and underlying technological, cultural and epistemological phenomena (3.1 Physical-digital-biological). Subsequently, reference is made to the design objectives, which become more complex and holistic by the possibility of expanding one's field of action and the desire to intervene more directly on the interrelated issues of the contemporary world towards a new idea of sustainability and reciprocity ecosystem (3.2 Man-nature-culture). Finally, it illustrates how imagining and designing products changes, closer to nature, to its generative and performative modalities (3.3 Material-product-performance).*

### ABSTRACT

Il terzo capitolo conclude la prima parte andando ad indagare nello specifico il rapporto tra il design e le nuove potenzialità tecnologiche e come queste ultime portino la convergenza natura-artificio al di là della sola possibilità di realizzare artefatti ibridi; spostando i nostri modelli di vita, di produzione e consumo, nonché i modi di fare design e ricerca verso un paradigma vivente, allineato alle modalità con cui la natura funziona. In particolare, la convergenza degli sviluppi tecnologici, l'accesso ad una grande quantità di dati e informazioni, la velocità e la portata a cui avvengono i cambiamenti, pongono la disciplina in una posizione atipica. Da un lato, essa è libera di muoversi all'interno di un pluralismo estetico-tecnologico, di attingere a settori diversificati e di adottare più metodologie, strumenti e processi, portando al dissolversi delle barriere tra reale e virtuale, naturale e artificiale, materia e pensiero. Dall'altro, nell'era della tecno-scienza – che tuttora si pone come «soggetto della storia, che dispone della natura come suo sfondo e dell'uomo come suo funzionario» (Galimberti, 2019) – risulta difficile ma anche doveroso per il design individuare i margini qualitativi e di senso, portandolo ad intraprendere visioni di progetto aperte, collettive e complesse, decostruendo il pensiero tecnologico deterministico dominante e riscoprendo i bisogni dell'uomo e dell'ambiente in cui è immerso. Il capitolo dunque, spiega dapprima come cambiano gli approcci e le metodologie di design in relazione ad uno scambio informazionale ad oggi possibile e sotteso ai fenomeni tecnologici, culturali ed epistemologici (3.1 Fisico-digitale-biologico). Successivamente, si fa riferimento agli obiettivi del design che si fanno più complessi ed olistici in virtù della possibilità di ampliare il proprio campo di azione e della volontà di intervenire in maniera più diretta sulle interrelate questioni della contemporaneità, verso una nuova idea di sostenibilità e reciprocità ecosistemica (3.2 Uomo-natura-cultura). Infine, viene illustrato come cambia il modo di immaginare e progettare i prodotti, più affine alla natura, alle sue modalità generative e performative (3.3 Materiale-prodotto-performance).



## 3.1 Fisico-digitale-biologico

Come afferma Scwab (2016), da qualche anno siamo entrati in una quarta ondata rivoluzionaria, data non tanto dalle innovazioni tecnologiche, quanto dalle trasformazioni sistemiche e dai cambiamenti paradigmatici che la combinazione di queste ultime apportano nella società, nelle strutture dell'economia globale, nei modelli tradizionali di fare impresa e nelle nostre identità, verso un modello organicistico che ci costringe, ancora una volta, a riflettere sulla nostra esistenza umana e sulla nostra visione del mondo in relazione ad una maggiore consapevolezza per la biologia e l'ecosistema. In particolare, egli afferma, queste trasformazioni sono date dalla convergenza di fenomeni nelle sfere del fisico, del digitale e del biologico, che avvengono ad una velocità esponenziale mai conosciuta e con una portata ed intensità tali da influire a tutte le scale, da quella individuale a quella sistemica (3.1.1 Le dinamiche dell'interrelazione). Ciò è dovuto soprattutto ad una interazione sempre più fitta e ad un possibile scambio informativo tra queste dimensioni, che permettono il ripensamento dei nostri modelli di transizione su considerazioni evuzionistiche più vicine al funzionamento della natura e più attente alle dinamiche relazionali tra le parti piuttosto che alle singole parti (3.1.2 Scambi informativi). In un tale contesto, in cui tecnologia e società sono ormai fortemente interconnesse, anche la pratica del design si evolve secondo uno schema di libertà creativa, intraprendendo nuove forme di innovazione culturali, socio-tecniche e produttive, fondate su sinergie collaborative, affinamenti collettivi e logiche di processo aperte, finora prerogative della sola natura (3.1.3 Libertà creativa ed innovazione aperta).

1. Le specifiche tecnologie che interessano la Quarta rivoluzione industriale, nonché le loro interazioni, verranno approfondite nel capitolo IV con specifico riferimento alla Biorivoluzione oggi in corso.

### 3.1.1 Le dinamiche dell'interrelazione

Come le fabbriche a vapore nella Prima rivoluzione industriale, l'applicazione della scienza alla produzione di massa nella Seconda e l'inizio della digitalizzazione nella Terza; le tecnologie nella Quarta rivoluzione industriale, come l'intelligenza artificiale, l'editing del genoma, la realtà aumentata, la robotica e la stampa 3D [1], stan-

2. Il termine “wet” in inglese, che significa “bagnato, umido”, viene spesso usato per indicare la materia biologica, facendo riferimento all’umidità dei suoi tessuti. Ad esempio anche i laboratori preposti agli esperimenti biologici vengono chiamati wet labs.

no rapidamente cambiando il modo in cui gli esseri umani creano, scambiano e distribuiscono valore. In particolare, sottolinea Scwab (2016), ciò che rende diversa questa rivoluzione dalle altre, non sono tanto le innovazioni e le entusiasmanti capacità che rappresentano, quanto il cambiamento sistemico e l’impatto trasversale che esse comportano in molti settori e aspetti della nostra esistenza: la capacità di modificare gli elementi costitutivi della vita è ampliata dal sequenziamento genico a basso costo e da tecniche come il CRISPR; l’intelligenza artificiale sta aumentando i processi e le competenze in ogni settore; la neurotecnologia sta facendo passi da gigante nel modo in cui possiamo usare e influenzare il cervello come ultima frontiera della biologia umana; l’automazione sta sconvolgendo i paradigmi secolari di trasporto e produzione; mentre le tecnologie come il blockchain e i materiali intelligenti stanno ridefinendo e offuscando il confine tra il mondo digitale e quello fisico. Il risultato è una trasformazione sociale su scala globale che modifica il modo in cui creiamo, produciamo materialità, comunichiamo, apprendiamo, ci divertiamo e ci relazioniamo gli uni con gli altri, nonché il modo in cui comprendiamo noi stessi come esseri umani. Di fondo, sostiene Swab (2018), stiamo attraversando un periodo in cui tutti i processi sono informati da considerazioni organiche, in cui la cultura è divenuta “wet” [2], infusa da una nuova consapevolezza per la biologia e l’ecosistema. Infatti, egli afferma, la velocità e la vastità, nonché la portata e l’intensità con cui si sono susseguite le innovazioni almeno a partire dalla precedente Rivoluzione digitale, hanno portato al sovrapporsi di fenomeni di natura eterogenea, ad un’interconnessione sempre più fitta tra i diversi aspetti della realtà e ad un’esponenziale potenziale trasformativo, da aprire la strada ad una nuova Era biologica in cui la nostra condizione presenta proprietà non dissimili da quelle del mondo vivente: sistemi dinamici complessi, proprietà emergenti ed ibridismo non sono altro che la conseguenza di sovrapposizioni, eterogeneità, anacronismi e sincretismi generati dalla velocità dell’accadere e dalla simultaneità dei fenomeni che caratterizzano le nostre società degli ultimi decenni.

Danny Hillis (2016), per rendere chiara questa situazione che ci sfugge di mano, contrappone per paronomasia la precedente “Age of Enlightenment” con la nuova “Age of Entanglement”, ad indicare come l’uomo sia passato dallo strutturare la propria esistenza attorno alle proprie creazioni tecnologiche e istituzionali, dominando sulla natura, all’essere una “vittima” delle sue stesse creazioni,

che lo rendono parte integrante, co-dipendente e intrappolata in un «mondo nuovo e coraggioso, governato né dai misteri della natura né dalla logica della scienza, ma dalla magia del loro intreccio». In questo aggrovigliamento infatti, fenomeni e tecnologie si sovrappongono attraverso i domini del fisico, del digitale e del biologico, stabilendo flussi di informazioni, idee, energia e materia che non possiamo più controllare, ma che possiamo cogliere per informare e influenzare positivamente il mondo in cui viviamo.

Dunque, non si tratta solo di nuove possibilità biotecnologiche per manipolare e riprodurre la natura, oppure di sistemi di Intelligenza artificiale in grado di assumere comportamenti biologici, ma soprattutto dell’avvento di un paradigma vivente che modifica il nostro modo di vedere le cose e si diffonde nei diversi aspetti della nostra vita, della società e della stessa cultura del progetto. Stiamo attraversando quella che Kevin Kelly aveva prefigurato essere una civiltà di tipo tecno-biologico, in cui «ciò che è generato naturalmente e ciò che è artificialmente costruito manifestano caratteristiche analoghe e si integrano sempre più secondo la medesima legge di funzionamento» (1994). Come in un processo inverso, le sofisticate innovazioni tecnologiche ci riportano alla natura: i meccanismi del vivente cessano di essere semplici modelli teorici, ma si instaurano quali leggi di funzionamento applicate in maniera trasversale a quasi tutti i settori dell’attività umana.

In effetti, benché nel “secolo della fisica” in cui «abbiamo scisso l’atomo e trasformato il silicio in potere computazionale» (Isaacson, 1999), le tecnologie digitali non hanno fatto altro che amplificare gli effetti e le pratiche dell’età moderna, esse hanno anche gettato le basi per il cosiddetto “secolo della biologia” (Venter & Cohen, 2004) [3], in cui alle sfere del fisico e del digitale, viene integrata quella biologica. In primo luogo, perché le attuali potenzialità biotecnologiche e biosintetiche non sono altro che l’estensione del digitale alla natura, che tra l’altro ereditano da esso linguaggi e metodologie di matrice progettuale, avvicinando come mai prima d’ora la biologia al design (Rotondi, 2017). In secondo luogo, “sovrastutture” digitali ed informazionali, smaterializzando gli ambiti di intervento umano, hanno dato vita ad un suo potenziamento ed alla possibilità di amplificare le sue abilità trasformative della realtà, arrivando a produrre alla scala quantica di Madre Natura [4] e a mutare significativamente le strutture del pensiero e dell’operatività [5]. In un tale contesto, anche gli approcci e le metodologie del design cambiano integrando il pensiero sistemico con un insieme di discipline, sia

3. Per “secolo della fisica” si intende il XX secolo, che viene contrapposto da molti studiosi, tra cui Walter Isaacson, al XXI secolo “della biologia” o “della biotecnologia”. Nel 1999, sulla rivista “Time”, egli scrive: «Suona la campana dell’addio per il secolo della fisica, quello in cui abbiamo scisso l’atomo e trasformato il silicio in potere computazionale. È tempo di celebrare il secolo della biotecnologia».

4. Qui ci si riferisce sia a tecnologie che consentono di conferire alla materia artificiale le medesime qualità del vivente (ad es. progettazione generativa e design responsivo), sia alle contemporanee possibilità di progettare la materia viva come l’ambiente costruito (ad es. biologia sintetica e bio-design), dando vita ad artefatti con performance e processi generativi complessi e autoadattanti, o a vere e proprie “fabbriche biologiche” in cui organismi e micro-organismi vengono manipolati per trasformare bio-masse in bioprodotto.

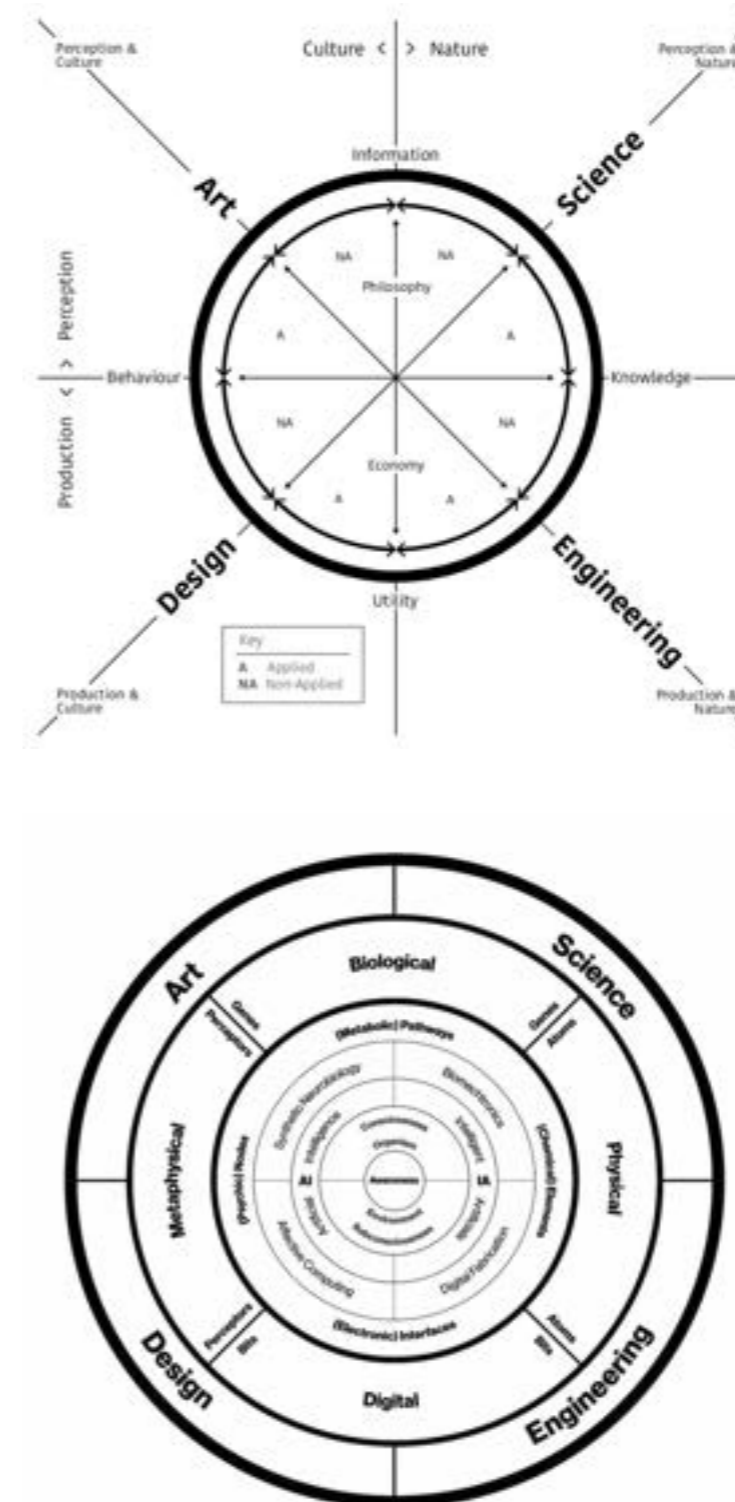
5. È interessante osservare come Tomàs Maldonado in “Disegno Industriale: un riesame” (1976), nel definire i “manufatti” quali prodotti del lavoro umano, fa riferimento sia a “prodotti strutturali”, configurazioni oggettuali per estendere il nostro corpo (come il martello per estendere la nostra mano, l’auto per estendere il nostro piede e il telefono cellulare per estendere il nostro orecchio e la nostra bocca), sia a “prodotti sovrastrutturali” come configurazioni astratte e

simboliche per estendere le nostre menti (il linguaggio, la scansione del tempo, la scrittura), entrambe fondamentali nella definizione della nostra cultura materiale. In questa definizione è insito dunque quanto il fenomeno del digitale abbia influito sulle nostre vite e sui modelli di visione della realtà, apportando mutazioni concettuali ed operative significative alle strutture della civiltà (società e cultura).

umanistiche che scientifiche, nonché ampliando il proprio raggio di intervento dalla micro-scala, analizzando e progettando come le cose funzionano a partire dai loro più profondi dettagli, alla macro-scala, cercando di comprendere e direzionare le relazioni e le interconnessioni da un punto di vista culturale, sociale e ambientale. La rinnovata attenzione al tema delle relazioni, che dunque si sostanziano non solo tra le discipline e tra i diversi attori umani, ma anche con altre entità (biologiche e artificiali), apre infatti al design nuove e interessanti opportunità di intraprendere progetti transcolari e transmediali, dallo studio di complesse dinamiche alla base del vivente al condizionamento dei comportamenti quotidiani della collettività, per un sistema interconnesso tra società, natura e tecnologia. Neri Oxman (2016), riprendendo la metafora dell'aggraviamento, che focalizza particolarmente sulle forme del pensiero e della conoscenza, spiega proprio attraverso la metafora biologica del Krebs's Cycle la possibilità di immaginare una possibile "Pangea intellettuale" mediata dalle nuove tecnologie. Mentre nelle scienze il Krebs's Cycle indica il ciclo metabolico degli organismi che vivono in ambienti ossigenati, il suo "Krebs Cycle of Creativity" sta per una nuova forma sinergica di pensiero e manifattura in cui differenti domini della conoscenza così come le relative unità di base - fisiche (atomi), digitali (bit) e biologiche (geni) - interagiscono tra loro e si nutrono a vicenda, tanto che i risultati dell'una sono le supposizioni dell'altra. Facendo riferimento alla creatività quale energia intellettuale del nostro secolo, il ciclo mette in relazione i quattro domini dell'arte, della scienza, dell'ingegneria e del design quali discipline ormai inscindibili l'una dall'altra, che combinando conoscenza teorica (o filosofica) con quella applicata (o economica); lo studio e la comprensione della natura con l'applicazione della stessa, possono guidarci verso una modalità più olistica, integrativa ed ecologica di comprendere ed esperire la realtà (Fig. 1).

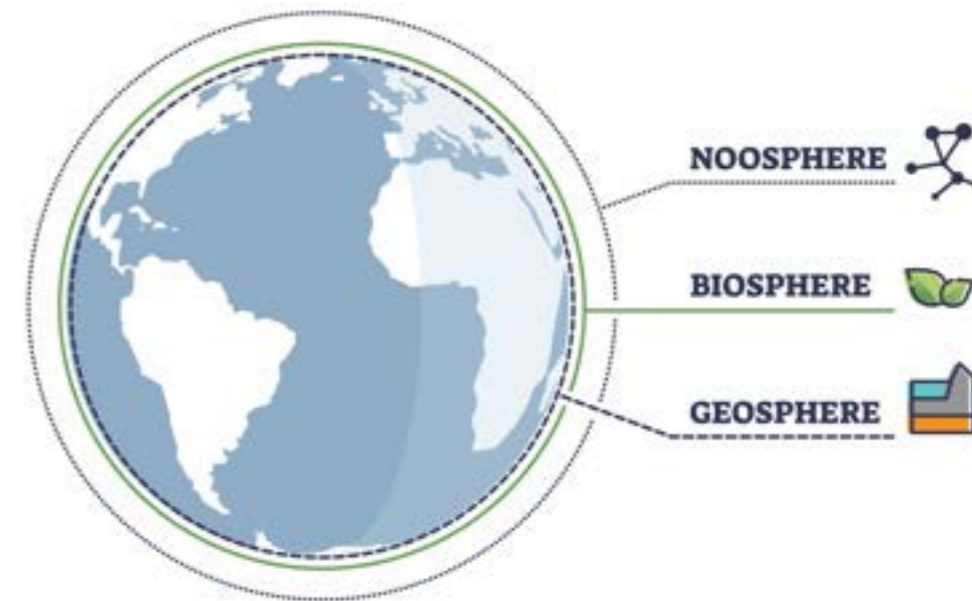
### 3.1.2 Scambi informazionali

Nella dimensione relazionale complessa appena descritta, un ruolo fondamentale è esercitato dalle informazioni, ossia quell'insieme di dati e sequenze codificate che permettono l'interazione tra le diverse dimensioni, tra le discipline e le entità ad esse appartenenti. Secondo Kevin Kelly (2010), un punto di vista focalizzato sulle informazioni e sulle loro interrelazioni permette di ridefinire il concetto di progresso in relazione a quello di evoluzione biologica e di



**FIG. 1**  
*Krebs Cycle of Creativity I (in alto); Krebs Cycle of Creativity III (in basso), Neri Oxman, 2016. Il grafico mette in relazione i domini dell'arte, della scienza, dell'ingegneria e del design quali forme della creatività che si ibridano e nutrono a vicenda. Nel primo caso, il focus è sulle discipline, passando da una conoscenza filosofica ad una economica (alto-basso) e dalla comprensione della natura ad una sua nuova creazione (destra-sinistra). Nel secondo caso, il focus è sull'interazione delle unità di base (geni, atomi, bits e percettori), relazionandosi di volta in volta con gli organismi e con l'ambiente (alto-basso); con intelligenze artificiali e artefatti intelligenti (sinistra-destra). Quest'ultimo grafico è ispirato della Bauhaus elaborato da Walter Gropius, sostituendo la parola centrale da "building" (costruire) a "awareness" (consapevolezza), suggerendo che il design non sarà più confinato al solo mondo costruito, ma sarà responsabile di una consapevolezza collettiva dell'intero Pianeta in cui siamo immersi.*

indirizzarlo nel modo giusto affinché la qualità della vita si sviluppi e si conservi. La nostra sfera artificiale e tecnologica evolve infatti verso la stessa complessità del vivente, che non può essere spiegato in termini di materiali e componenti, come il DNA, i tessuti o i muscoli, ma nell'organizzazione immateriale dell'energia e delle informazioni contenute nelle sue diverse forme. Se un organismo è "vivo" significa che ha avuto successo nel processo di auto-organizzazione delle informazioni, cioè che ha saputo progettarle in modo sempre più complesso e olistico (in interazione) con le sfere con cui viene in contatto, come l'habitat e il clima. Ad esempio, il regno animale si è evoluto dagli stessi geni di base (informazioni) e in 4 miliardi di anni li ha ricombinati in vari modi a seconda delle condizioni circostanti, generando una varietà di genotipi così grande che determina la diversità delle specie animali sulla terra (Maynard & Szathmary, 1997). Allo stesso modo, non si può confondere il concetto di progresso con il proliferare di novità e varianti, ma anche le grandi transizioni tecnologiche sono il passaggio da un livello organizzativo ad un altro più complesso. «Invece di catalogare le invenzioni importanti, come il ferro, l'energia a vapore o l'elettricità, in quest'ottica cataloghiamo il modo in cui le strutture informative sono rimodelate dalle nuove tecnologie» (Kelly, 2010, p. 83). Anche la tecnologia va liberata dal suo contenitore atomico e va vista come un flusso immateriale di informazioni ed idee frutto dell'attività del pensiero, dunque intrecciate ad una rete di «nozioni sequenziali, concetti di sostegno, assunti fondativi, effetti collaterali, conseguenze logiche, nonché una cascata di ulteriori possibilità» (Kelly, 2010, p. 80). Un esempio potrebbe essere la trasformazione degli alfabeti (stringhe di simboli non dissimili dal DNA) in un insieme di conoscenze altamente organizzato in libri, indici, biblioteche e così via (non dissimile da cellule e organismi) che, soprattutto con la diffusione della stampa, ha permesso di gestire in modo sempre più sofisticato il flusso di informazioni che gli uomini stavano generando. Con il metodo scientifico, che ha offerto un modo per estrarre le informazioni attendibili, verificarle e poi unirle a un corpo crescente di altri fatti verificati e interconnessi fra loro, si è aperta all'uomo l'opportunità di ristrutturare l'organizzazione della materia. Esso ha dato vita a nuovi materiali, nuovi processi, nuovi strumenti e nuove prospettive. Quando è stato applicato all'artigianato, abbiamo inventato la produzione in serie di parti intercambiabili, la catena di montaggio, nuove prestazioni e specializzazioni. «La direzione di questo ordine crescente nel *technium* procede lungo lo stesso percorso che segue



la vita. In entrambi gli ambiti l'addensamento delle interconnessioni a un dato livello organizzativo prepara il livello successivo. Ed è importante notare che le grandi transizioni avvenute nel *technium* iniziano allo stesso livello a cui si fermano le grandi transizioni in biologia: cioè quando le società dei primati danno origine al linguaggio» (Kelly, 2010, p.86). In altre parole, il linguaggio, ultima grande trasformazione avvenuta nel mondo biologico (anche le altre specie viventi hanno dei linguaggi) e prima grande organizzazione avvenuta nel mondo "costruito" (linguaggio orale e scritto dell'uomo), getta un ponte di continuità tra i due mondi e ad oggi, che siamo in grado di immettere linguaggio – dunque ordine e progettazione – anche nel più risibile degli oggetti, risulta consequenziale che l'evoluzione naturale fluisca in quella tecnologica rendendo il nostro artificio sempre più simil-biologico. Il più complesso (ma non ultimo) ordinamento informazionale è infatti in atto, esso prevede un flusso di dati totalmente pervasivo, tanto esteso da comprendere prodotti fabbricati, uomini e stessa natura, nonché distribuito su tutto il Pianeta attraverso un'unica rete.

Vladimir Vernadsky e Teilhard de Chardin danno a questo assetto organizzativo della conoscenza il nome di "noosfera" (2010) (Fig. 2), dal greco *nous*, mente e *sphaira*, sfera, ad indicare una vera e propria

FIG. 2  
Noosfera, Vernadsky & de Chardin,  
2010.

6. Edgar Morin (2008), parlando di *noosfera* come insieme della conoscenza umana organizzata in maniera complessa, fa riferimento a simboli e miti come quegli elementi che permettono all'uomo di interagire con la *noosfera* e con il mondo intero perché costituiscono lo schermo attraverso il quale l'uomo ricostruisce la realtà e scrive in essa un significato che viene assimilato dall'individuo nel momento stesso in cui ha esperienza del mondo. Egli scrive: «viviamo in un universo di segni, di simboli, messaggi, figurazioni, immagini, idee, che designano cose, stati di fatto, problemi, ma che proprio per questo sono i mediatori necessari nei rapporti degli uomini tra loro, nella società, con il mondo» (p.119)

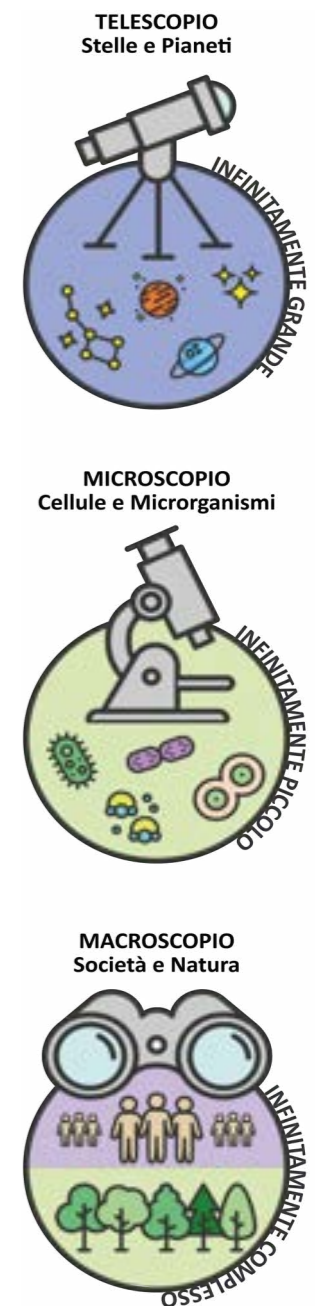
7. Otto Schmitt, già nel famoso intervento al Bionic Symposium del 1960, prevedeva che la gestione di complessi set di dati e della loro interazione avrebbe portato in futuro a nuovi sistemi integrati con la natura. Egli affermava: «We are dealing with adaptive systems, probabilistic systems and systems closely integrated with their environment».

FIG. 3  
Il Macroscopio, De Rosnay, 1978.  
«Il Macroscopio filtra i dettagli, amplifica i collegamenti, fa scaturire le similitudini [...]. Adoperiamolo, perciò, per guardare in maniera nuova alla natura, alla società e all'uomo, per tentare di estrarne nuove regole di educazione e di azione»

fase di trasformazione della Terra iniziata 10.000 anni fa ma che ora inizia a dare i primi frutti visibili: proprio come l'emergenza della vita ha fondamentalmente trasformato la geosfera sovrapponendo ad essa la biosfera, quest'ultima oggi continua a trasformarsi insieme al pensiero e alle attività umane. La *noosfera* infatti, comprende l'espansione dell'informazione apportata dalla rete, il concetto di intelligenza collettiva (Lévy, 1996), la cross-fertilizzazione tra le discipline, l'insieme dei miti e dei simboli [6], i progressi nelle scienze computazionali e nelle scienze omiche, l'Internet of Things (IoT), l'Internet of Everything (IoE) e tutti quei processi adattivi e probabilistici che, come previsto da Schmitt (1960) [7], uniscono uomo, artificio e ambiente in un unico ecosistema simbiotico.

Oggi dunque, tecnologie sempre più sofisticate sono in grado di scomporre la realtà nelle sue unità base – siano essi atomi, bits, geni, quanti o percettori – e di tradurre i set di dati da una dimensione all'altra, permettendo la loro interazione, lo sviluppo e l'accrescimento reciproco. Secondo De Rosnay (1978), da quando non solo abbiamo imparato a vedere la realtà come un insieme di dati ma abbiamo anche imparato a collezionarli, ci siamo dotati di un nuovo strumento di indagine, del tutto simbolico: il *macroscopio* (da *macro*, grande e *skopein*, osservare). Esso si configura come un insieme di metodi e tecniche, trasversali alle più svariate discipline e come simbolo di una nuova maniera di vedere, comprendere e agire; rivoluzionario come lo sono stati il microscopio e il telescopio (Fig. 3). Questi ultimi, strumenti fisici ottenuti dall'accoppiamento di lenti concave e convesse, hanno portato alle rivoluzioni scientifiche del Seicento e del Settecento, rendendo visibile l'estremamente grande – il telescopio – e l'estremamente piccolo – il microscopio –, nonché avviando l'uomo alla conquista dello spazio e ai vertiginosi progressi nella biologia e nella medicina. Il macroscopio dal canto suo, ci permette di vedere "l'infinitamente complesso" dei grandi sistemi che si trasformano mentre li osserviamo (la natura, la società e l'uomo), individuando relazioni e connessioni dove prima non vedevamo nulla. Esso infatti è destinato «a tutti coloro che tentano di capire il senso ed il posto della loro attività: dai sommi responsabili della politica, della scienza e dell'industria, ad ognuno di noi. [...] Non serve ad ingrandire o a vedere più lontano, ma ad osservare ciò che di volta in volta è troppo grande, troppo lento e troppo complesso per i nostri occhi. [...] Le parti si scambiano: non è più il biologo che scruta al microscopio una cellula vivente; è la cellula stessa che osserva al *macroscopio* l'organismo che la ospita» (De Rosnay, 1978,

p. 8). Così l'autore introduceva il suo approccio sistemico, fortemente influenzato dalla cibernetica, che riprende il modo in cui la natura processa l'energia, le informazioni e il tempo, per spiegare come una strategia correlativa può essere utile a «stimolare il pensiero inventivo, l'immaginazione, la capacità di riflessione, intuizione e sintesi» (p.13), fondamentali per affrontare la contemporanea complessità. Anche il design, grazie soprattutto alla pervasività del digitale che si è ormai infiltrato in ogni settore disciplinare e dell'attività umana, ha la possibilità di intraprendere percorsi di ricerca innovativi, operando attraverso un linguaggio trasversale e un approccio "macroscopico" che fonda la creatività su processi informazionali. Esso ha la possibilità di combinare un accostamento globale ai problemi e ai sistemi oggetti di studio o progettazione, con uno sguardo specifico al gioco delle interazioni tra i loro elementi, "informatizzando" quest'ultime per ottenere di volta in volta risultati più complessi e adatti alla mutevolezza del vivere contemporaneo. È il caso delle numerose nuove modalità di interazione tra designer e industria, oggetto e progetto, produttori e consumatori generate dalla digitalizzazione della produzione e dall'espansione della rete, non dissimili, tra l'altro, alle logiche biologiche. Ad esempio, nelle cosiddette formule D2C (*designer-to-consumer*) i progettisti hanno la possibilità di produrre indipendentemente dalle industrie, di recuperare un rapporto più simbiotico con il contesto o la comunità circostante, nonché di scambiare idee e input direttamente con i consumatori (Olivares, 2012). Quando entra in gioco anche l'Internet of Things (IoT), i produttori-designer possono inglobare nei prodotti elevate quantità di informazione e servizio, mentre i consumatori – in quanto attivi e connessi – restituiscono dati sui propri comportamenti, gusti, modalità di consumo, utili feedback per nuove scelte progettuali; proprio come accade nei meccanismi di retroazione biologici, in cui uno scambio informazionale continuo tra entità – o entità ed ambiente – garantisce la sopravvivenza. Ma se l'IoT si è occupato di consolidare la relazione tra digitale e mondo degli oggetti, nell'interazione tra bits e materia inorganica, in una prossima evoluzione il passaggio vede l'affermazione dell'Internet of Everything (IoE), dove mondo organico, dati e web convivono in un'unica dimensione interconnessa (Cisco, 2019). Nell'IoE infatti, non sono connessi solamente gli oggetti, ma anche persone, dati e processi; vengono raccolte informazioni dai nostri corpi (ad es. sensori che monitorano la nostra salute), dall'ambiente circostante (ad es. sensori che monitorano il clima), da entità artificiali (ad es. dall'attività dei mac-





**FIG. 4**  
*Crafting Ecosystems, Chiara Scarpitti, Francesco Dell'Aglio, Enza Migliore, 2021/2022. Progetto sperimentale che affronta criticamente il ruolo del design nell'era dell'informazione. Esso consiste in sofisticati algoritmi in grado di coniugare dati sull'ambiente e sull'attività umana, materialità e virtualità, al fine di restituire un'interfaccia interattiva che, come un ecosistema vivente, cambia al variare degli equilibri interconnessi e restituisce agli utilizzatori una visione chiara della condizione interrelata in cui siamo immersi.*

chinari) e naturali (ad es. dal genoma di piante e animali), per essere riprocesate e scambiate attraverso la rete; creare nuovi prodotti o ideare nuove strategie (Fig. 4-5).

Al di là della rete dunque, è la stessa materia fisica a cambiare di stato, ibridandosi con il digitale e con i sistemi naturali, aprendo in questo passaggio nuove possibilità di ricerca per il design, che tornano sull'importanza della tangibilità delle cose e le reinventano attraverso l'uso di sofisticate tecnologie. Ne sono esempio tutti quei progetti che, orientati da esigenze di sostenibilità (ambientale e sociale), prendono in prestito dati di contesto e sperimentano forme, materiali, dispositivi in grado di adattarsi a tali condizioni e di assumere particolari conformazioni performative: da prodotti personalizzati ai corpi degli utenti a materiali interattivi che si adattano alle condizioni meteorologiche, da intere facciate di edifici che sfruttano i parametri di luce o calore per ottimizzare gli ambienti interni a nuove estetiche volte a sensibilizzare la collettività mostrando la bellezza insita nell'irregolarità condizionata dei processi biologici. Dagli atomi, ai bits, ai geni, per poi tornare agli atomi dunque, i designer possono oggi contare sull'effettiva possibilità di scambiare informazioni con le altre discipline, con le altre entità e dimensioni della realtà, inglobando nuovi parametri come il flusso di energia o il tempo, nonché elaborando nuove forme di interazione e collegamento, tra ciascun individuo, città, pianta, animale, strumento, oggetto e clima, quale strumento strategico per un ecosistema integrato.

### 3.1.3 Libertà creativa ed innovazione aperta

Le mutate condizioni culturali e tecniche attraversate da flussi informazionali, non ibridano solamente gli artefatti, ma danno ai designer la possibilità di aumentare i loro gradi di libertà, portandoli ad agire al di fuori dei confini tradizionali della grande industria e ad inoltrarsi in ricerche e sperimentazioni più avanzate. Queste si traducono in intersezioni con approcci e saperi provenienti da altri ambiti e in azioni più ampie ed integrate che coinvolgono nel progetto anche l'intero processo generativo e produttivo degli artefatti, secondo una rivalutazione del processo del "fare" quale mezzo fondamentale per la cross-fertilizzazione dei saperi e la costruzione di dinamiche di impatto sull'innovazione di prodotto e di processo. I progettisti tornano a sperimentare con la materia e a manipolarla attraverso processi innovativi e tecniche di manifattura nuove, per-

sonalizzate e controllate, libere dal rigore della produzione classica, bensì progettuali e capaci di dialogare con macchine, software ed altri organismi. Ciò stimola anche la convergenza di saperi, tra produttore e consumatore, così come tra esperti e dilettanti, dando vita a pratiche di co-design e attività simbiotiche di scambio (*thinking, opensource, open innovation, open space technology, comunità creative, intelligenza collettiva, co-produzione bottom-up*) che hanno forse fornito la risposta più significativa dell'Era digitale. In questa prassi operativa, il luogo della produzione evolve da spazio estraneo al pensiero a luogo all'interno del quale avviene il suo consolidamento e in cui l'arte del "saper fare" costituisce il pretesto per la costituzione di nuove relazioni, sia tra mente e mano, sia tra materia e progetto, sia in un'ottica antigerarchica che vede la tecnica come mezzo per la costruzione di una rete orizzontale di rapporti umani (Sennett, 2008). In linea con questi mutamenti, negli spazi di ricerca più avanzati del design contemporaneo, è possibile vedere materiali innovativi, tecniche di fabbricazione avanzata, strumenti autocostituiti, *web communities* affiancarsi a processi riflessivi, metodi sperimentali e narrazioni transmediali, portando al ripensamento degli stessi modi di fare progetto, che evolvono verso visioni epistemiche e relazionali sempre più affini alla natura.

Come affermano Bocchi e Ceruti (2007) infatti, tutte quelle professioni che hanno a che fare con le organizzazioni umane – come il design – hanno subito negli ultimi decenni un processo di ridefinizione, innescato dalla crescente complessità dei sistemi umani ed alle loro dinamiche [8]), da un modo differente di osservarli e dallo sviluppo di nuove metafore che – come già accennato – vedono il passaggio da un *mondo come una macchina* al *mondo come un organismo vivente*. In particolare, la dicotomia osservatore-osservato crolla in vista di un'intrinseca relazionalità tra noi stessi e la realtà, portando alla ricerca di una nuova idea di progetto che non sia "programmatica" ma "strategica": essa non mira a predeterminare le varie fasi del suo sviluppo indipendentemente dalla molteplicità degli eventi e delle contingenze in cui esso prende corpo, ma che sia in grado di apprendere e modificarsi proprio sulla base di questi (Morin, 2007). Il passaggio invece dalle metafore della "macchina" e dell'"orologio" a quella dell'"organismo vivente", passando attraverso diversi tentativi di adattare le prime ai recenti esiti delle scienze biologiche (come l'interpretazione del DNA come una "centrale di controllo" o come un "grande programmatore" degli sviluppi del-

8. Secondo gli autori alcune delle più importanti scoperte nelle scienze naturali che hanno avvicinato sistemi umani a sistemi biologici sono state: 1) i processi di emergenza e gli "effetti soglia", che portano alla comparsa di proprietà globali non deducibili dalle proprietà delle singole parti; 2) i concetti di cambiamento qualitativo e di "equilibri punteggiati", dati dai rapidi mutamenti di regole e tendenze; 3) la sensibilità alle condizioni iniziali, come nel caso dell'"effetto farfalla", secondo il quale un singolo evento può essere decisivo per determinare lo stato futuro di un intero sistema.

**FIG. 5**  
*Dot One, Iona Inglesby, 2015. Il progetto converte dati provenienti dal DNA di ciascun utente in linguaggi grafici e pattern unici, successivamente riproposti in tessuti realizzati artigianalmente. Gli utenti vengono inoltre invitati a donare i dati alla scienza per ricerche di avanguardia.*



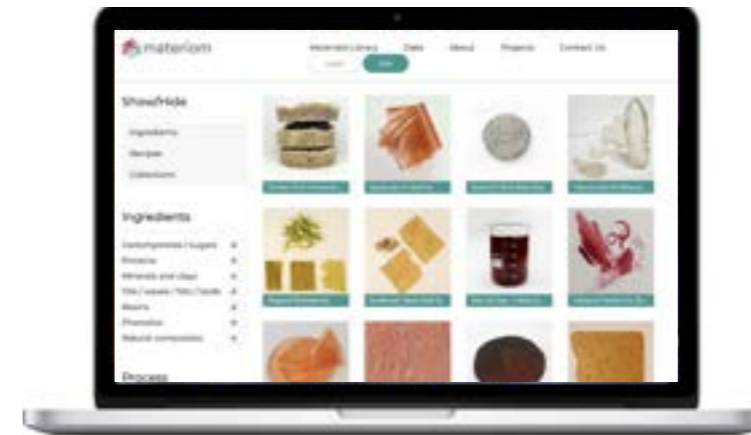




**FIG. 6**  
*Amber Waste is Bliss, Studio Agne Kucerenskaite, 2021. Esposizione presso la Dutch Design Week 2021 di nuovi materiali dati dal riutilizzo di ambra scartata nell'industria del gioiello. Un perfetto esempio di Material Tinkering, un approccio progettuale ai materiali adottato soprattutto nel design olandese e che incarna i valori di apertura, esperienzialità, collettività. Per tali ragioni, questi progetti vengono raccontati in tutte le loro fasi (materiali di partenza, esperimenti non riusciti, differenze possibili) mostrando anche come l'inaspettato può essere veicolo di innovazione.*

la cellula e degli organismi), ha portato alla rivalutazione di alcune proprietà complesse e apparentemente superflue come ad esempio quella della "ridondanza" e quella dell'"exaptation" (Ceruti, 1986). La prima si riferisce alla capacità dei sistemi biologici di sopravvivere anche ad eventi imprevedibili, grazie ad elementi o caratteristiche che apparentemente non hanno alcuna funzione, ma che divengono fondamentali in questi casi. Essa è stata delineata per la prima volta con la scoperta che il DNA nucleare non è finalizzato a obiettivi puntuali e di breve termine, ma che in parte costituisce una sorta di "riserva" per l'evoluzione futura. La seconda, è conseguenza della prima e si riferisce proprio alla capacità degli organismi di riutilizzare in maniera creativa quegli elementi ridondanti accumulati nel tempo, anche al di là delle funzioni originarie, per far fronte ad una necessità di adattamento sorta solamente in un secondo momento (Gould & Vrba, 1982). La strategia progettuale adottata dalla natura può dunque essere vista come un vero e proprio *bricolage*, che non azzera il tempo storico alla ricerca della struttura ottimale, ma riusa creativamente le strutture ereditate dal passato, che acquistano nuove significazioni e nuove funzioni, aprendo la strada a rinnovate linee di sviluppo ed evoluzione della specie (Bocchi & Ceruti, 2007). La questione delle discontinuità e delle transizioni di fase, diventa dunque centrale anche nel processo di design, che in linea con gli avanzamenti nella tecnologia e nelle scienze, si fa contestuale e aperto: *contestuale*, perché non mira più a sospingere l'innovazione verso un'unica traiettoria auspicata guidata da principi assoluti e rotture radicali, ma si rivolge alla molteplicità dei contesti e mira a definire il percorso sulle contingenze storiche; *aperto* perché diventa una sorta di bricolage continuo, transitorio e relativo perché riprogrammabile all'infinito, ricalcando la spontaneità dei processi biologici e la natura qualitativa del tempo.

Ne sono esempio i numerosi percorsi che il design intraprende nella contemporaneità, in relazione agli scenari del post-industriale e alle possibilità tecnologiche legate alla rete e al digitale, come il *thinking*, che Paola Antonelli (2011) definisce come «il filo rosso che ci permette di leggere attraverso la storia episodi capitali di creatività sopraffina, raggiunti attraverso progressivi affinamenti collettivi»; una definizione questa che ci porta a leggere un chiaro collegamento con le modalità progettuali biologiche finora descritte, date «dall'atto di 'accrocchiare' in modo produttivo, provare, riprovare, adattare e contemporaneamente condividere» (Fig. 6). Sincrasia dei termini *thinking*, pensare e *tinkering*, pasticciare o spe-



rimentare, il concetto attraversa le nascenti comunità creative, le forme di produzione *digital driven*, la coproduzione bottom-up, fai-da-te tradizionale e i paradigmi dell'*open source*, ponendosi come punto di partenza per un potenziamento digitale, fisico e sociale della conoscenza produttiva (Seely Brown, 2007). Esso combina le capacità dell'*hacking* di destrutturare un sistema preconstituito e di ristrutturarlo secondo nuove regole, con mutualismi e sinergie collaborative favorite dal paradigma *open source*, in cui l'attitudine alla condivisione e il moltiplicarsi dei canali di contaminazione sta cambiando anche il modo stesso di fare ricerca, accelerando i tempi con cui avvengono le innovazioni (Fig. 7). Entrambi i fenomeni, che hanno radici nel mondo della programmazione informatica, nascono nell'immaterialità dei dati, la cui facilità di replicazione, trasformazione, trasporto e condivisione ha favorito una poetica contemporanea del *ready-made* in cui la prassi creativa si basa su un libero ed esplicito riciclaggio di componenti pre-esistenti – sia che si tratti di prodotti digitali (*atomic design*), sia che si tratti di artefatti fisici (*open design*) – e che dunque abbassa le barriere del lavoro produttivo, stimola l'avvio di pratiche virtuose e democratizza l'accesso a prodotti tecnologici raffinati, aumentando allo stesso tempo la resilienza delle comunità creative (Malakucz, 2017). Nel mondo della produzione oggettiva in particolare, questo processo è stato facilitato dall'avvento della fabbricazione digitale, che permette di trasferire direttamente i dati da un computer ad una macchina utensile, agevolando innumerevoli modifiche, quindi una buo-

**FIG. 7**  
*(in alto) Materiom è una piattaforma che mira a favorire processi di open-innovation e di design collaborativo nel campo del design dei materiali. Essa infatti riporta materie prime, processi (artigianali, digitali, biotecnologici), dati scientifici, esperimenti e tutto ciò che può essere utile per nuovi progetti. Chiunque può caricare il proprio progetto o può partire da esperimenti di altri per contribuire ad un processo collettivo di innovazione e co-evoluzione, proprio come accade in natura. (https://materiom.org)*

na dose di *thinking*. Come metodo creativo poi esso può guidare anche progetti che non hanno nulla a che fare con il digitale, ma che fanno uso del riuso e del riciclo creativo di materiali, componenti e maestrie. Paola Antonelli (2011) ad esempio, cita la pasta come un perfetto esempio di *thinking*, poetico ed universale, costituito da un continuo processo collettivo di trasformazione, ma fa riferimento anche ai prodotti della Maker Faire Africa, in cui l'*hacking* è del tutto materico, oppure ai prodotti di Fernando e Humberto Campana realizzati a partire da elementi collezionati dalle storiche strade di San Paolo. Per fare un altro esempio, più vicino al digitale, possiamo citare tutte quelle sperimentazioni che fanno uso di "codici genetici" algoritmici per generare famiglie di oggetti piuttosto che prodotti singoli, variandone di volta in volta i parametri di contesto. Anche gli algoritmi stessi possono essere modificati in un secondo momento, dallo stesso designer o da altri, per migliorarne la resa finale, come accade già da tempo nell'informatica per lo sviluppo di *software open source*.

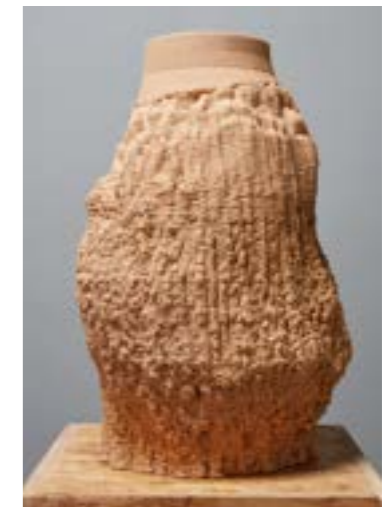
Proprio come in natura dunque, nulla viene prodotto *ex-novo*, né tantomeno *ex-nihilo*, ma tutto è modificabile e riprogrammabile all'infinito, adattabile alla fluidità dei contesti, dando vita ad una riproducibilità che non ripete sé stessa, anche a partire dalle medesime leggi di partenza, perché storicamente contestualizzata e spazialmente specifica. La transitorietà di fondo non è considerata un fattore negativo, ma componente strutturale per il rafforzamento dei sistemi collettivi, come accade per quelli biologici – dall'olobionte all'ecosistema –, perché presuppone apertura alle perturbazioni e disponibilità alla riconfigurazione delle relazioni. Allo stesso modo, il tempo non è più una semplice variabile del progetto, ma ne è parte costitutiva, esso apporta novità e nuove informazioni e nel tempo si determinano le scelte di sistema. A tal proposito, Sennett (2008) afferma che il ritorno ad una componente esperienziale del progetto permette di recuperare tempo prezioso per comprendere meglio l'oggetto e per riscoprirne le qualità, attraverso «il tattile, il relazionale e l'incompleto» (p.83), eventi dell'attività intellettuale che l'istantaneità e la velocità di produzione di oggetti completi – facilitata anche dallo stesso digitale – rendono difficili da raggiungere. Si tratta di indagare la ridondanza di questioni stratificate che le nuove potenzialità tecnologiche presuppongono e accogliere anche le imperfezioni e l'imprevisto che possono divenire veicolo di innovazione. Anche le nuove forme di produzione *digital driven* e *cloud-based*, per fare un altro esempio, stimolano la produzione *on-*

**FIG. 8**  
(al lato) *Adaptive Manufacturing*, Sander Wassink and Olivier van Herpt, 2014-2019. Questa ricerca esplora le modalità con cui è possibile ristabilire la nostra connessione con la produzione di oggetti, persa nel passaggio dall'artigianato alla contemporanea produzione industriale e alle tecnologie emergenti. Per fare ciò i due designer hanno sviluppato un algoritmo per integrare diverse informazioni esterne durante la modellazione di vasi ceramici, proprio come accade nella produzione artigianale. Il risultato sono elementi unici, stampati in 3D e in grado di narrare il processo produttivo fatto di interazioni (con uomo e con ambiente), imprevisti e imperfezioni. Questa è la medesima logica con cui la natura crea i suoi "artefatti".

*demand* e si avvicinano alle logiche biologiche, producendo quando serve, con quel che serve e con ciò di cui si dispone, annullando la produzione di sprechi e valorizzando l'uso di risorse locali e/o aziendali.

In un contesto di creatività libera e diffusa, facilitato dall'avvento del digitale ma che si estende alla realtà fisica e biologica, la cultura del design si configura quindi come un processo di riflessione continua, «aperto, produttivo e inventivo» (Prigogine & Stengers, 1981), avvicinando approcci e metodologie alle logiche stesse del vivente. L'aspirazione è far parte di un universo creativo indipendente dai condizionamenti della grande industria, focalizzandosi invece su strategie correlative e sui flussi di informazioni, conoscenza, energia e materia da una dimensione all'altra.

Anche nel Biodesign ad esempio, definito come «un approccio al design emergente, spesso radicale, che attinge a principi biologici e incorpora l'uso di materiali vivi nelle strutture, negli oggetti e negli strumenti» (Myers, 2012, p.168), il processo progettuale si fa esperienziale, inventivo e aperto, assecondando i tempi e le poeticità della materia vivente. I progettisti sperimentano i processi di crescita biologica; osservano le variabili contingenti che influenzano e modellano le materialità risultanti; creano strumenti ad hoc per la crescita controllata degli organismi; "pasticciano" con strumenti di fabbricazione digitale, sostanze organiche e con i propri stessi corpi, per far emergere pian piano le interrelazioni che sussistono e da esse, nuove modalità produttive. In linea con i fenomeni dell'*open source* e dell'*hacking*, esplose oggi a livello globale una nuova pratica, quella della DIYBiology – la biologia fai-da-te – che vede i progettisti "dilettarsi" nello scomporre e ricomporre la materia biologica, nell'hackerarne i processi di crescita, ma anche i codici genetici, gli strumenti produttivi e gli ambienti di sviluppo, contando su una rete di microbiologi, ingegneri, nanotecnologi e neuroscienziati più permeabile alla collaborazione e all'innovazione aperta. Ma soprattutto, attraverso queste sperimentazioni contribuiscono al ripensamento della cultura del progetto in una logica diversa, più affine alla natura e alle sue modalità generative, portando anche a nuove forme di consapevolezza per la biologia, l'ecosistema e gli stessi avanzamenti della scienza. L'apertura delle ricerche e i flussi informativi non avvicinano solamente design e scienza, ma anche scienza e collettività, mentre il design si fa catalizzatore di una nuova sensibilità nei confronti del vivente, promuovendo vie proattive di sostenibilità e reciprocità ecosistemica.



## 3.2 Uomo-natura-cultura

Frammentatasi la filiera dell'industria tradizionale come riferimento monologico del design, la cultura del progetto si rivolge oggi ad una miriade di possibilità, rinnovandosi continuamente attraverso l'apporto di conoscenze eterogenee e l'analisi di nuove istanze. Mettendo a frutto capacità di coniugare diversi saperi, sperimentazione e pensiero creativo, realtà e ricerca radicale, il design si pone come interprete della realtà, in grado non solo di realizzare oggetti, ma anche di catalizzare nuove visioni e processi divergenti. In particolare, ciò che emerge oggi è un uso critico delle tecnologie, che porta i progettisti ad interrogarsi circa il senso del sistema complessivo che produce gli oggetti, piuttosto che sulla produzione dell'oggetto d'uso in sé stesso (Carmagnola, 2009). A seguito infatti di una prima fase di scompiglio sociale, dato soprattutto dall'avvento e dalla proliferazione di tecnologie digitali e dell'informazione, i designer si pongono in ascolto dei cambiamenti materiali che sono avvenuti e che hanno influenzato la cultura, riportando l'uomo e le sue dinamiche relazionali al centro dei processi trasformativi (3.2.1 La condizione post-digitale). Avvalendosi di una maggiore indipendenza creativa e produttiva, i designer mirano a progettare visioni entro le quali il progetto possa assumere senso e capacità trasformativa in relazione a bisogni e tematiche emergenti (come un'inesorabile crisi ambientale), oltre ciò che il contesto tecnologico e fattuale configura come nostro presente e futuro (3.2.2 Attivismo e consumo intellettuale). Si delinea così un contesto altamente sperimentale che – ormai conscio del complesso intreccio di relazioni tra uomo, natura e cultura – mira a ri-significare la nostra esperienza nel mondo per tentativi in forma di oggetti, materiali, servizi, eventi espositivi, spesso transitori e punti evolutivi di una società in divenire (3.2.3 Progettualità dialettica e innovazione preventiva).

### 3.2.1 La condizione post-digitale

Già alla fine del Novecento, Nicholas Negroponte annunciava la fine del digitale come tecnologia rivoluzionaria (1998), perché, come

l'aria e l'acqua potabile, l'essere digitale sarebbe stato notato solamente per la sua assenza piuttosto che per la sua presenza. La rivoluzione digitale si sarebbe esaurita rapidamente in banalizzazioni e processi di a-significazione, portando con sé l'eredità di problematiche profonde e globali. Difatti, nel momento in cui realtà fisica ed informazione digitale si sono fuse, il digitale è divenuto naturale tanto quanto le nostre vite, andando ad influenzare i nostri comportamenti, le nostre abitudini, a modificare effettivamente la nostra vita fisica e intellettuale insieme all'ecosistema, portando oggi ad un nuovo paradigma post-digitale focalizzato «più sull'essere umani che sull'essere digitali» (Mann & Picard, 1995). Come spiega David M. Berry (2013), ci serve un nuovo termine che ci permetta di rappresentare il digitale integrato all'ambiente circostante e alla nostra esperienza di vita poiché «capire se qualcosa è digitale o meno non sarà più vista come questione essenziale. O meglio, la questione riguardo se una cosa è o non è "digitale" sarà sempre più insensata dato che tutte le forme di media diventano esse stesse mediate, prodotte, accessibili, distribuite o consumate attraverso i dispositivi digitali e le tecnologie». Il termine "post" non sta dunque ad indicare, come ovvio, la fine del digitale, ma come la sua prosecuzione con altri mezzi: esso «non va inteso nello stesso senso del postmodernismo e della post-storia, ma piuttosto nel senso del post-punk (una continuazione della cultura punk in modi che sono in qualche modo ancora punk, ma anche oltre il punk); del post-comunismo (la realtà socio-politica ancora in corso nei paesi dell'ex blocco orientale); del post-femminismo (un proseguimento critico e rivisto del femminismo); del post-colonialismo; e in misura minore, del post-apocalittico (una parola in cui l'apocalisse non è finita, ma è progressione continua partendo da un punto di rottura [...]) In tal senso, la condizione post-digitale è una condizione post-apocalittica: uno stato in cui ci troviamo dopo lo sconvolgimento iniziale causato dalla computazione e dalla rete digitale globale della comunicazione, dalle infrastrutture tecniche, dai mercati e dalle geopolitiche» (Cramer, 2014, p.13). Una condizione dunque, in cui l'oggetto che ha provocato tale sconvolgimento è ancora fortemente presente, ma continua a mutarsi nel tempo, liberandoci di fatto dall'idea che il digitale trasforma semplicemente ogni cosa in una dimensione virtuale e permettendoci di tornare a guardare più concretamente e in maniera sensibile i cambiamenti materiali che sono avvenuti e che hanno influenzato la cultura (Pold, 2014). Franco Berardi in "Arte e media. Formazione, ricerca e produzione" (2010, p.60), parla di un

vero e proprio ibridismo dato soprattutto dalla velocità e dalla simultaneità con cui avvengono i fenomeni, che portano ad una reale congiunzione tra processi analogico-biologici e digitali, tanto da risultare quasi impossibile il contributo di ciascuno nella significazione delle cose: «La congiunzione è divenire altro. Nella connessione al contrario ogni elemento permane distinto, e interagisce solo funzionalmente. Congiungendosi le singolarità si modificano, divengono altra cosa da quel che erano prima del loro congiungimento permettendo l'emergere di un significato che non esisteva prima. [...] Il fattore trainante della mutazione è l'intersezione dell'elettronico nell'organico, la proliferazione di congegni artificiali nell'universo organico, nel corpo, nella comunicazione, nella società. L'effetto è la trasformazione del rapporto tra coscienza e sensibilità, la progressiva desensibilizzazione dello scambio di segni».

Oggi dunque, ci si riferisce al post-digitale soprattutto in riferimento ad un pensiero critico contrapposto alla pervasività del digitale, che nelle arti e nel design si sostanzia nella volontà di dare senso e significato all'uso delle potenzialità tecniche, rivalutando la componente umanistica e contaminando, il più delle volte, vecchi e nuovi media. A tal proposito, Bolognini spiega (2008, p. 10): «L'arte neotecnologica viene spesso identificata con l'hi-tech. La mia convinzione è che invece i lavori veramente innovativi non siano quelli che utilizzano le tecnologie più sofisticate ma, al contrario, quelli che si basano su un'elaborazione povera e sullo svuotamento del mezzo, vale a dire sulla sua attivazione a vuoto, sulla riduzione all'essenza, sul funzionamento ai minimi termini [...]. Un altro luogo comune ha indicato per lungo tempo la virtualità come uno degli elementi qualificanti dell'arte neotecnologica, fino a farne quasi un sinonimo. Anche questo può essere fuorviante. In alcuni casi quest'arte è tutto meno che "virtuale": ci sono lavori in cui viene messo al centro il "dispositivo" e questa è la premessa per lo sviluppo di un'arte effettuale che sposta la ricerca sul piano della "realtà" e del suo "funzionamento"». Si tratta dunque di superare tecnicismi sterili, che giudicano la valenza di un artefatto solamente sulla base della loro "digitalità", o più in generale sull'utilizzo di tecnologie avanzate, ma di riavvicinare la sperimentazione progettuale ad una dimensione antropologica e di senso, che utilizzi la tecnologia come un mezzo quasi invisibile per disvelare nuove visioni di progetto aperte, collettive, intelligenti, capaci di sperimentare nuove relazioni umane con i contesti e i sistemi di cui fa parte a partire dal progetto di design. A tal proposito, Mel Alexenberg descrive il post-digitale come «l'umanizzazione



FIG. 9  
*Gravity Stool, Jòlan Van der Wiel, 2012. Il progettista ha costruito una "magnet machine" che genera un campo magnetico attorno all'oggetto al fine di esplorare le leggi della fisica e della gravità, nonché come queste possano contribuire alla caratterizzazione del progetto.*

delle tecnologie digitali attraverso l'interazione tra sistemi digitali, biologici, culturali e spirituali, tra cyberspazio e spazio reale, tra media incorporati e realtà ibridata nella comunicazione sociale e fisica, tra sperimentazioni *high tech* e *high touch*, tra esperienze comunicative, visive, tattili, uditive e cinestetiche, tra realtà virtuale e realtà aumentata, tra rivolte e globalizzazione, tra etno-grafia e comunità narrativa, tra le capacità *peer-to-peer* date dal web e gli *artworks* che fanno uso di media alternativi, attraverso la partecipazione, l'interazione e la collaborazione in cui il ruolo dell'artista viene ridefinito» (2011, p.11). Ed ecco allora che la ri-significazione del digitale estende il suo campo di intervento anche ad altri avanzamenti tecnologici, come le bio e nanotecnologie, e recupera altre materialità, come i nostri stessi corpi, ponendosi come fine ultimo l'indagine critica del disordinato mondo presente, verso nuove visioni e scenari futuri, riportando l'uomo e le sue dinamiche relazionali al centro dei processi trasformativi: come ci fa notare di nuovo Bolognini (2008), le tecnologie introducono nella sperimentazione progettuale alcune "questioni forti", come la stessa natura dei nuovi media, la bioetica, il coinvolgimento del pubblico o dell'intelligenza artificiale nei processi creativi, la democrazia elettronica, strumenti essenziali per l'interpretazione non dell'arte ma del mondo, e che fanno perciò del progetto la vera avanguardia del presente. È dunque all'interno dell'esperienza effettuale del *producer* e non nella costruzione teorica del critico che avviene la riflessione [9], portando i progettisti ad un ritorno alla materia, non intesa però nel senso tradizionale, quanto piuttosto come sostanza delle relazioni [10], che può essere dunque manipolata, reinventata, scissa e ricomposta, cambiando il gioco delle variabili e delle interazioni. In "Postdigital Artisans. Craftsmanship with a New Aesthetic in Fashion, Art, Design and Architecture" (2015) ad esempio, Jonatan Openshaw descrive numerosi progetti post-digitali strutturandoli in categorie attraverso le quali può avvenire l'interazione – come le forze, i corpi, le superfici, le particelle, le strutture, la materia – e mettendone in luce la variabilità di supporti e media che essi utilizzano: sperimentazioni materiche che utilizzano le forze naturali (come gravità e magnetismo) per indagare le possibilità che abbiamo di co-creare oggetti con la natura (Jòlan Van der Wiel, 2012. "Gravity Stool" – Fig. 9); esplorazioni di temi digitali attraverso processi fisici, traducendo il lavoro delle macchine in mezzi fisici di espressione, dalla danza alla fotografia (Eno Henze, 2011. "Timelapse" – Fig. 10); illusioni ottiche che incoraggiano i visitatori a mettere in discussione moda-

9. Secondo Bolognini questo passaggio è fondamentale, perché mentre i critici si rivolgono alla metafora stessa dell'arte, le sperimentazioni date dalle nuove possibilità tecnologiche si rivolgono direttamente al reale.  
10. Sul concetto di "materialità", centrale alla tesi, ci dedicheremo con più precisione nel prossimo capitolo



FIG. 10  
*Timelapse, Eno Henze, 2011. L'artista crea ambienti multimediali su larga scala in grado di tradurre – con software computazionali – i movimenti esteticamente armoniosi dell'uomo in restituzioni grafiche utilizzando diversi effetti e strumenti. Il fine è l'indagine estetica a cavallo tra uomo e macchina.*



**FIG. 10**  
*Persistent Illusions, Troika, 2014.*  
Le immagini sono catturate da un esperimento che sfrutta luce e specchi per mostrare come a seconda del punto dal quale si guarda, la risposta è completamente differente. Esse fanno parte di una mostra più ampia che mira a contestare le dicotomie del razionalismo e ad aprire a nuovi modi di concepire la realtà e la tecnologia, annullando le barriere tra uomo e natura.

lità precostituite di capire il mondo (Troika, 2014. “Persistent Illusions” – Fig. 11); tutti progetti “olistici”, che vedono il designer operare all’interno di quei sottilissimi confini tra il visibile e l’invisibile, la materia e il pensiero, tecnologie emergenti e nuova manualità, in un’ottica di ibridismo anacronistico e transmediale, tra passato-presente-futuro, uomo-natura-cultura.

Con la condizione post-digitale dunque, nelle prassi operative del design «tecniche di prototipazione e scanner 3D, macchine a controllo numerico e altre tipologie di software si mescolano a tutta una serie di materiali inconsueti, modalità costruttive, strumenti e macchinari, invadendo ogni settore disciplinare, dall’arte alla moda, dall’architettura all’ingegneria, dalle scienze naturali alla medicina [...] [con] lo scopo di rendere l’oggetto portavoce innanzitutto di un contenuto di pensiero» (Scarpitti, 2020, p.80). Ciò costituisce un’importante occasione per il design di recuperare un rapporto più diretto con le tecnologie e di inserirsi come componente critica all’interno dei cambiamenti in atto, che non è semplice speculazione, ma prefigurazione di scenari possibili – se si cambia il modo di vedere le cose – e desiderabili, configurandosi perciò come spazio di reale possibilità di cambiamento. Ad esempio, nel Biodesign come abbiamo già avuto modo di discutere, una delle vie più percorse è quella che vede la sperimentazione progettuale tradursi nella volontà di individuare nuove interazioni tra l’uomo e i suoi processi di fabbricazione attraverso l’esplorazione delle effettive possibilità che la manipolazione del mondo organico ci dà, cercando di comprenderne tanto le sue potenzialità tecniche, tanto quelle simboliche ed estetiche. Il risultato sono prodotti in grado di innescare un cambiamento, che possono puntare ad una maggiore sensibilizzazione delle coscienze o ad un’effettiva concretizzazione “dal basso” di processi industriali non tradizionali, ma che comunque accrescono la responsabilità del design nell’attivare dialoghi e cambi di prospettiva in un’ottica più attiva ed olistica.

### 3.2.2 Attivismo e consumo intellettuale

Nella condizione post-digitale, diventiamo tutti più consapevoli di quanto le tecnologie siano in grado di influire sulla nostra umanità, a partire dai nostri corpi fino ad arrivare all’organizzazione della nostra società e alla fisicità dell’ambiente che ci circonda. Gli obiettivi del design quindi si fanno più complessi ed olistici, anche in virtù della possibilità di ampliare il proprio campo di azione e della

volontà di intervenire in maniera più diretta sulle interrelate questioni della contemporaneità. Paola Antonelli afferma che l’ansia e il cambiamento che caratterizzano i nostri tempi stanno portando progressivamente a cambiare la “mappa del design” (2009), la quale mostra un massiccio spostamento della professione dal “fare cose” al proporre modelli, alla visualizzazione della complessità e alla costruzione di scenari: le capacità di sintesi del design – in grado di coniugare la produzione di oggetti alle istanze economiche, politiche ed ecologiche della contemporaneità –, sono visibili non solo nelle semplici dualità del passato (obiettivi e mezzi, forma e funzione, bisogni e desideri, interesse individuale e collettivo), ma anche in scenari più complessi e fluidi che combinano ad esempio biologia, tecnologia digitale, politica dell’identità ed etica; oppure produzione (post)industriale, sostenibilità e comunicazione. A questa visione del design si riferisce anche Alice Rawsthorn quando sostiene che, in contrasto con quanto sosteneva Vico Magistretti nel secolo scorso «le idee da sole non contano», oggi sono proprio quest’ultime ad assumere un’importanza critica e fondamentale, mentre è il risultato fisico a contare sempre di meno (Lunghi, 2018). L’attività progettuale abbandona pian piano il suo appellativo di “industriale” per divenire uno strumento utile ad affrontare questioni critiche, problemi sociali, politici, culturali e ambientali; fino addirittura ad assumere ruoli proattivi e attivisti, che sfruttano le possibilità date da strumenti ormai basilari (come i processi digitali, internet, i social media, il *crowdfunding* e il *crowdsourcing*) per perseguire i propri fini (Rawsthorn, 2018). Fini spesso comunicativi, dimostrativi, cognitivi, che tengono a cuore la complessità delle odierne questioni e la fluidità con cui cambia il contesto tecnologico ed economico che ci circonda; nonché pragmatici, per fornire risposte concrete alla gestione della complessità e rendere attraente e auspicabile a tutti una visione costruttiva e rigenerativa del futuro. Ovviamente, sottolinea Rawsthorn (2018), cercare usi positivi per le nuove tecnologie è sempre stato uno dei ruoli chiave del design, ma oggi ciò diventa sempre più importante dal momento che l’apparato tecnologico avanza a ritmi e scale senza precedenti, mentre il sistema industriale tradizionale entra in crisi, portando i progettisti a cercare nuove strade significative e di senso, secondo una particolare capacità “attitudinale” che l’autrice identifica nella personalità di Lazlo Moholy-Nagy, al cui pensiero dedica la sua ultima pubblicazione. Proprio come l’artista ungherese, pioniere degli allora nuovi media del cinema e della fotografia – di cui ne indaga l’impatto sulla cul-



**FIG. 11**  
*Come per il progetto nell’immagine precedente, anche Lazlo Moholy-Nagy affrontava già negli anni Trenta il rapporto tra spettatore, luci, materiali, evidenziando attraverso effetti ottici e esperienze su misura come la nostra cultura visiva ci influenza e ci modifica nella vita quotidiana. Nell’immagine, “Construction AL6” (1933–34), tra i numerosi lavori a cavallo tra ricerca e sperimentazione (olio e incisione su alluminio).*

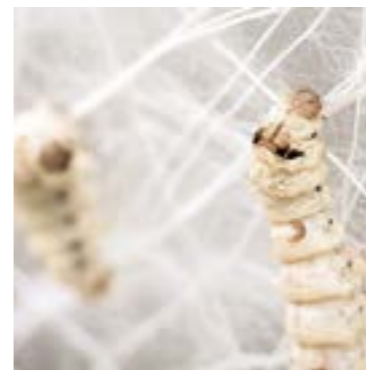
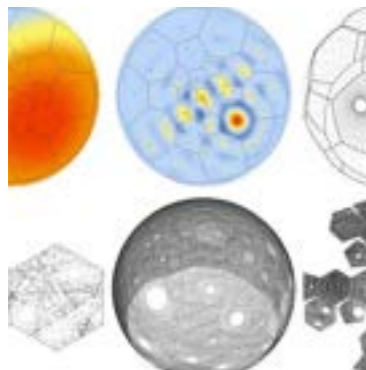
tura visiva e su ogni altro aspetto della vita quotidiana –, molti altri progettisti cercano oggi di avventurarsi nelle tortuose ma accessibili vie del post-digital mettendo in campo ingegno e intraprendenza, nonché usando la tecnologia come vessillo per un cambiamento attivo (Fig. 12). Tra i progettisti elencati troviamo ad esempio: Irma Boom, che con le sue sperimentazioni sfida le convenzioni legate alla grafica tradizionale e ai contenuti dell'editoria, sia nella struttura fisica sia in quella concettuale; Studio Formafantasma, designer un po' alchimisti del terzo millennio che – come visto – svolgono indagini sperimentali sui materiali ed esplorano temi attuali come il rapporto tra tradizione e cultura locale, con approcci critici alla sostenibilità e guardando agli oggetti finali come canali culturali; Hella Jongerius, che adotta un approccio particolare nella ricerca sui colori, sui materiali e sulle texture, esaltando il processo che li produce e rivelando il potenziale della contaminazione tra high tech e low tech; i laboratori Talking Hands a Treviso (fondati dal graphic designer italiano Fabrizio Urettini) che esplorano le potenzialità del digitale e del crowdfunding per far fronte attivamente alla crisi sui rifugiati, intraprendendo attività di co-progettazione e di produzione artigianale che combinano diverse tecniche e culture; Arthur Zang, che mette in luce le potenzialità dell'Internet of Things (IoT) per dare vita ad una telemedicina a basso costo per le aree più povere del Pianeta.

Avvalendosi dunque di una maggiore indipendenza creativa e produttiva, i designer mirano a progettare visioni entro le quali il progetto possa assumere senso e capacità trasformativa in relazione a bisogni e tematiche emergenti, generando un ecosistema di sperimentazione e pluralismo che, il più delle volte, va oltre l'oggetto finito, per metterne in luce l'intero processo costitutivo, i luoghi e gli attori coinvolti in esso. All'effettiva concretizzazione del prodotto infatti, si affianca con pari dignità tutto l'universo relazionale che gli ruota attorno, gli scenari di vita che intende comunicare, le istanze socio-ambientali che si appresta ad affrontare, al fine di rendere l'oggetto portavoce di una visione culturale e critica più ampia. Ciò è diretta conseguenza di un paradigma post-digitale che, portatore di un'estetica relazionale che investe tutte le forme di arte, influenza fortemente anche la cultura del progetto. A tal proposito, Roberto Cuoghi afferma che «l'*habitat* della comunicazione contemporaneo, unitamente al poderoso procedere di una quotidianità tecnologicamente aumentata, appare come una grande matrice plastica, in grado di accogliere e potenziare tutte le istanze creative che si trovano

nelle condizioni di partecipare a questo processo autogenerativo di "scultura" sociale [...]. La questione assume un'evidenza tattile laddove possiamo osservare eventi [...] che fondano la loro struttura su sistemi di interazione avanzati. Là, dove l'agire del fruitore si fonde in un fenomeno emergente non più separabile, e in un divenire quasi "alchemico"» (2010, p.87). In altri termini, il paradigma post-digitale «ci induce a pensare all'innovazione come evento ed al processo progettuale come una *performance* valutabile solo nella sua globalità e non semplicemente per il suo output» (La Rocca & Lucibello, 2015). Come osserva Fulvio Carmagnola (2009), oggi il design tende a privilegiare l'aspetto critico, sia nella fruizione che nella progettazione, interrogandosi sul senso dell'intero sistema che produce gli oggetti piuttosto che sulla produzione dell'oggetto d'uso in sé: esso si prende carico «delle forme dell'esperienza individuale o collettiva – sia attraverso prodotti fisici che attraverso 'eventi culturali'» (p. 105). Mel Alexenberg (2011) parla di "arte dialogica", ossia di un tipo di sperimentazione artistica che ha ragion d'essere solamente in relazione ad un dialogo, un'interazione tra le persone e tra persone e ambiente – naturale, artificiale, virtuale –, configurando l'opera come un divenire non completamente controllabile al pari di un sistema organico in crescita. Facendo riferimento a David Harvey (1991) e alla sua digressione sulle differenze tra arte moderna e post-moderna, l'artista infatti sottolinea che mentre nel modernismo l'opera è in forma congiuntiva e chiusa – dunque gli osservatori sono passivi rispetto ad un prodotto finito –, nel post-modernismo e ancor più nel post-digitale, l'arte si presenta come un processo, una *performance* e un *happening* che, come primo effetto, porta alla decostruzione del potere dell'autore e dell'imposizione di un unico significato o narrazione artistica e, come conseguenza, alla riconsiderazione dell'apparato gerarchico dell'arte come forma collaborativa che l'artista controlla solo in parte: «Gli artisti della nostra era postdigitale stanno creando nuove forme d'arte che enfatizzano la nostra essenziale interconnessione piuttosto che la separazione, forme che evocano un sentimento di appartenenza ad un tutto più grande piuttosto che esprimere il sé isolato e alienato» (Alexenberg, 2001, p.71). Tale evoluzione dell'oggetto d'arte, sempre più teso al valore e alle diversità dei singoli individui, porta il design a svincolarsi da un'industria standardizzata e uguale per tutti, verso altre interpretazioni più inclusive che vedono i fruitori come elemento attivo in un modello orizzontale di scambio, attraverso il quale i progettisti cercano forme di dialogo per instillare nuovi



FIG. 12  
Terracotta, Talia Mukmel, 2011.  
Collezione di contenitori realizzati in sabbia e farina cotte ad alte temperature in forni comuni. Questo progetto prende ispirazione dalle tecniche utilizzate nel deserto dove le persone utilizzano la materia immediatamente disponibile per produrre oggetti quotidiani, proprio come accade in natura. Ciascun elemento varia a seconda del processo e dei materiali utilizzati, incarnando l'intero universo generativo di cui è parte.



**FIG. 12**  
(Tutte le figure) *Silk Pavillion*, Neri Oxman and the Mediated Matter Group, 2013. L'installazione è stata caratterizzata da una cupola di 3 metri di diametro, costruita in tre settimane impiegando 6.500 bachi da seta. È uno dei primi esempi di integrazione tra sperimentazione materica, fabbricazione digitale e biologia. Come in una sorta di performance, una grande rete tessuta digitalmente e adattata all'ambiente (luce e calore) con strumenti computazionali, è stata allestita all'ingresso dell'MIT di Boston, mentre i bachi da seta "riempivano i buchi" nelle settimane successive. Se inizialmente, una tale processualità ibrida ha suscitato molto stupore e qualche incomprensione, ha ben presto stimolato altri designer ad attivarsi e a sperimentare nuove tecniche di manifattura aperte, inventive e ibride, aprendo di fatto la strada a nuove contaminazioni uomo-natura-artificio.

11. Il progetto è stato presentato per la prima volta nel 2007 dal designer stesso in una casa di epoca vittoriana a South Kensington a Londra, ma è stato esposto anche in molte mostre successive a Dusseldorf, Milano, San Francisco ed altre città.

comportamenti, smuovere le coscienze e costruire nuove realtà comunitarie, favorendo una produzione indipendente e differenziata. Una visione che si amplifica con l'introduzione di nuovi criteri nella produzione del tutto affini al mondo dell'arte come la piccola serie, il pezzo unico, l'adozione di materiali e tecniche ibride, la narrazione della ricerca e la componente intellettuale. Ne sono esempio le numerose iniziative da parte di designer che collaborano con gallerie, collezionisti e fiere per dare vita ad eventi o *happening*, oppure per mettere in mostra attraverso un prodotto l'intero universo di componenti emotive, concettuali e filosofiche che si vogliono comunicare: dalle performance pubbliche di Martino Gamper – tra cui il famoso progetto "100 sedie in 100 giorni" (2007 [11]) – che sceglie le gallerie d'arte come palcoscenico e laboratorio per i suoi esperimenti al fine di mettere in mostra l'insieme delle trasformazioni dietro i suoi oggetti, alle fiere del "Collectible" che superano le barriere tra arte e design mettendo in mostra il contemporaneo design da collezione fatto di piccole produzioni, ricercatezza formale, sofisticatezza di pensiero e valenza culturale; dai padiglioni di Neri Oxman – *Silk Pavillion* (2013) (Fig. 12), *Aguahoja* (2019), *Totem* (2020) – che invitano ad un nuovo modo di approcciarci alla natura e di co-produrre con essa, ai prodotti autarchici, austeri ed autoprodotti esposti da Beppe Finessi alla VII Triennale di Milano (2014), che nella loro unicità narrano un nuovo modo di porsi in rapporto agli oggetti, frutto di sperimentali forme di produzione dal basso che rivalutano le tradizioni locali e i valori culturali in ottica contemporanea e anticonvenzionale. Tale "agilità", che per Paola Antonelli (2009) deriva dalla capacità di intraprendere sperimentazioni sofisticate con spese contenute e in grado di coinvolgere un'ampia quantità di collaboratori in maniera indipendente, è riscontrabile anche in tutti quei progetti di "social innovation" (Manzini, 2015) che puntano a nuovi modelli di creatività e ad azioni collettive per far fronte a sfide complesse ed interessi comuni, come i già citati esempi di eco-innovazione (2.2.2 Bioispirazione per l'eco-innovazione) che puntano sul ridisegno dei comportamenti per co-progettare un futuro più sostenibile.

È in questa prospettiva che il design assume una valenza "attivista", perché va al di là della soddisfazione di bisogni utilitaristici, verso la volontà di coinvolgere i fruitori in riflessioni profonde e per l'assolvimento di esigenze sofisticate. Il design diventa il risultato di decisioni politiche e non esclusivamente il frutto della creatività di un designer. Al prodotto industriale, ottimizzato per usi e produ-

zioni specifiche, vengono sostituiti oggetti a forte valenza narrativa, che integrano etica e responsabilità socio-ambientale, che educano i consumatori a nuovi valori, che raccontano l'intero processo generativo e di ricerca quale filosofia sottesa al design di uno specifico artefatto. Le forme di consumo dunque diventano molteplici e non più limitate al solo soddisfacimento di bisogni utilitaristici e/o espressivi, ma volte a creare un dialogo tra il fruitore e il pensiero del progettista sul mondo e su un futuro per esso desiderabile.

### 3.2.3 Progettualità dialettica ed innovazione preventiva

Il consolidamento della disciplina del progetto all'interno di operazioni più ampie e complesse è da ricercarsi in una sofisticazione della società contemporanea e nella consapevolezza che, per affrontare le sfide sistemiche del presente, abbiamo la necessità di rivisitare le nostre categorie del pensiero, sia da un punto di vista storico e filosofico, sia da un punto di vista sociologico e progettuale. Se infatti le nuove tecnologie mettono in luce un'interconnessione sempre più fitta tra le dimensioni della realtà, trasformazioni globali e sistemiche rendono sempre più urgente una revisione epistemologica del contesto in cui viviamo, che generi una riforma del pensiero in grado di trasformare in senso ecologico la nostra attitudine progettuale. In particolare, come afferma Edgar Morin, il dialogo tra più culture, come quella umanistica e scientifica, ma anche tra i diversi attori della società globale, risulta oggi fondamentale oltre che possibile: «è divenuto possibile non solo il dialogo fra le due culture, ma lo stesso superamento della loro grave rottura, che è condizione indispensabile per produrre un sapere che sia all'altezza della sfida del nostro tempo. La vera cultura di cui abbiamo bisogno è una cultura della complementarità, e non più della disgiunzione, una cultura della dialogica tra *homo prosaicus* e *homo poeticus*, tra *homo faber* e *homo ludens*, tra *homo oeconomicus* e *homo imaginarius*» (Massarenti, 2012). In un mondo altamente complesso, è essenziale infatti per Morin (2011) far emergere la consapevolezza del nostro "destino planetario", illuminando il caos degli eventi, le loro interazioni e le loro retroazioni – in cui si mescolano e interferiscono processi economici, politici, sociali, ambientali, mitologici e religiosi – che tessono il nostro destino. In tal senso, anche la disciplina del design dovrà assumere una nuova responsabilità e farsi carico della sua capacità di influire sui comportamenti delle persone per educare all'"era planetaria", affinché ciascun individuo o comunità si possa

12. Per cittadinanza terrestre si intende la presa di coscienza da parte di individui, comunità, imprese, decisori politici ecc. di essere parte integrante del sistema Terra che dunque include anche la biosfera e tutti gli esseri viventi che ne fanno parte. Questo concetto è stato ripreso da molti studiosi in tutte le discipline, come Latour (2018; 2022) e Manzini (2020; 2021). Latour in particolare, pone l'accento sul concetto di società affermando che non ha più senso parlare di "impatto sociale" se non allarghiamo il significato di questa parola a tutto il terrestre, secondo una visione geopolitica della natura in cui le istanze sociali ed ecologiche risultano fortemente interconnesse (2000).



fare carico della condizione di cittadinanza “terrestre” [12]. Per fare ciò dovrà fare la sua parte nel delineare un cammino antropologico che affronti problemi oggi ignorati dalla politica tradizionale – o che comunque con i convenzionali percorsi di tipo top-down non sono in grado di raggiungere la coscienza di ognuno: «Un cammino antropologico delineabile solo nella consapevolezza che non ci potranno essere progressi unicamente e neppure principalmente garantiti da leggi della storia, né da strutture sociali o politiche; che ogni riforma sociale sarà indissociabile da una riforma di civiltà, da una riforma di vita, da una riforma di pensiero, da una riforma spirituale» (Ceruti, 2007).

Inoltre, i progressi tecnologici non ci avvicinano solamente ad un paradigma di manifattura vivente; ma ci portano anche ad una comprensione più profonda della biologia e dei suoi equilibri, tanto da rivalutare la sfera naturale come parte integrante della nostra vita e del futuro dell'umanità. Come afferma Arne Naess (1973), vi è una relazionalità intrinseca tra l'uomo e la natura, e se vogliamo recuperare equilibrio e sostenibilità, dobbiamo sviluppare una visione completa o totale del mondo e delle cose, che vada oltre motivazioni superficiali ed essenzialmente antropocentriche come l'inquinamento, la distruzione della biodiversità o lo sfruttamento delle risorse, in cui alla natura viene conferito un significato solamente strumentale in termini di uso e abuso da parte dell'essere umano. Dunque, anche il design, se vuole consentire futuri preferibili, dovrà porsi come interprete non solo degli avanzamenti tecnologici, ma soprattutto di questa nuova visione simbiotica dell'Universo e stimolare attraverso scenari e concept di prodotto, nuovi modelli culturali e forme di pensiero in grado di innescare un cambiamento sistemico nel nostro modo di esperire il mondo. Per fare ciò necessita di un coinvolgimento interdisciplinare, di un confronto tra chi immagina il futuro e chi lo implementa, tra chi studia la realtà e chi la plasma e trovare uno o più elementi di sostenibilità che diano spessore al progetto e valore all'innovazione. Sono molte le occasioni in cui i designer hanno agito come proponenti di attività interdisciplinari di indagine della realtà, mettendo in mostra le capacità di envisioning della disciplina come strategia di trasformazione e un modo per creare valore verso un futuro più sostenibile. In “Vision of the Future” (1996) ad esempio, i designer della Philips sotto la guida dell'allora CDO Stefano Marzano, hanno realizzato una serie di workshop multidisciplinari, con il fine di stimolare una discussione tra esperti (in sociologia, futurologia, trend analysis, ecc.) e con

i potenziali utilizzatori, riguardo quelli che, in vista delle emergenti tecnologie digitali e dei trend socio-culturali del momento, sarebbero stati i prodotti e i servizi da offrire alla collettività nei decenni a venire e come questi avrebbero potuto migliorare la qualità della vita quotidiana. I risultati della ricerca – pubblicati nell'omonimo libro e messi in mostra presso il Philips Competence Centre (Eindhoven) – sono ancora oggi di sorprendente attualità e non solo perchè molti scenari sono effettivamente divenuti realtà, ma anche perchè mostrano come il design possa stimolare nuovi linguaggi, atteggiamenti e modalità d'uso e consumo, nonché rendere tutti più consapevoli nell'uso etico delle tecnologie (Philips design, 1996). Un altro esempio di successo, è “Quotidiano Sostenibile” (2002-2003) un progetto risultante anch'esso in una pubblicazione e in una mostra, in cui gli autori Ezio Manzini e François Jégou hanno svolto 15 workshop progettuali in 10 diversi paesi del mondo, al fine di delineare scenari di vita quotidiana in una società sostenibile futura, innovata non tanto attraverso l'uso di nuove tecnologie, piuttosto attraverso il ripensamento dei paradigmi economici e culturali dominanti in forme d'innovazione sociali, sistemiche e collaborative (Manzini & Jégou, 2003). Anche in questo caso, a distanza di anni, i risultati conservano una componente innovativa sorprendente, tanto da ricalcare molte delle strategie e politiche di intervento incentivate oggi a livello internazionale (Sustainable Development Goals (SDG), Agenda 2030 ONU).

Oggi, che l'attuale prospettiva ecologica apre al riconoscimento di una differenza co-esistenziale tra uomo e natura, ed invita a trovare nuove forme di convivenza con le altre specie in una prospettiva di interdipendenza e connessione, le due designer Alexandra Daisy Ginsberg e Natsai Chieza (2018), si chiedono proprio come le crescenti capacità di collaborare con le altre specie attraverso le biotecnologie e la biologia sintetica possano favorire queste strade. Nel progetto, chiamato “Other Biological Futures” esse interrogano scienziati, sociologi, altri designer, artisti, filosofi per capire quali possano essere gli altri futuri biologici che possiamo immaginare, che vadano al di là del desiderio radicato nello sfidare i paradigmi industriali esistenti attraverso la biologia (Fig. 13). Infatti, sottolineano le autrici, ciò che rimane irrisolto è lo spazio in cui operano queste alternative, dominato da un sistema capitalistico che richiede una crescita continua; da un modo essenzialmente antropocentrico di affrontare la questione ecologica e da un sistema scientifico-fattuale che limita la nostra immaginazione a cosa possiamo

FIG. 13

*Grasshopper Garium, Josh Evans & Chido Govera, 2014. Tra i progetti citati in “Other Biological Futures” vi è la collaborazione tra il fondatore di “Nordic Food Lab” e il fondatore di “The Future of Hope”. Essi esplorano come gli insetti vengono allevati, processati e mangiati nelle diverse culture del mondo per trarne nuove ricette ed interrogarsi sul futuro allevamento intensivo di insetti che, sradicandoli dai loro contesti, potrebbe portare a conseguenze negative. Il loro lavoro, che si intitola “Decolonising edibility”, è tuttavia una proposta culturale affrontando le credenze radicate che soprattutto nelle civiltà occidentali non permette alla collettività di aprirsi al consumo di insetti.*



fare con la tecnologia senza contemplare il perché dovremmo farlo. Inoltre, produrre utilizzando sistemi biologici, significa creare altre forme di vita autonome, imprevedibili e mutevoli. Ciò necessita di una revisione, soprattutto se fatto ancora una volta per proteggere noi stessi con la tecnologia e non in ottica sistemica, ecologica ed equa nei confronti di tutta la biologia. Il rischio infatti, è quello di ritrovarci in futuro con le stesse problematiche ambientali e sociali di oggi, se non peggiori, andando ad influire sulla (finora) naturale evoluzione del nostro pianeta. Al fine di comprendere come possiamo cambiare modo di pensare prima ancora di rincorrere le nuove tecnologie, le Ginsberg e Chieza (2018) hanno quindi realizzato una serie di interviste a figure interdisciplinari che negli ultimi anni hanno portato avanti progetti critici sui risvolti positivi e negativi delle biotecnologie, per poi raccogliere i diversi punti di vista nel quarto volume del *Journal of Design and Science* (interamente curato da loro). Dunque, il cambiamento a cui stiamo assistendo non è solamente caratterizzato da complessità e trasformazioni sistemiche, ma anche da una velocità a cui i tempi di adattamento dell'uomo non riescono a stare dietro. Questa accelerazione crea un senso di disorientamento, da rendere faticoso per tutti capire la direzione in cui vanno le cose, inibendo a volte l'intraprendenza di nuove azioni. Ciò è una diretta conseguenza dell'emergenza che caratterizza il nostro Pianeta, in cui l'alterazione delle relazioni tra le parti sta portando ad serie di mutamenti a cascata di cui oggi stiamo percependo le prime conseguenze. È necessario dunque ripensare gli strumenti di indagine della realtà sulla base di modelli anticipanti piuttosto che reattivi. Per tali ragioni stanno acquisendo sempre più importanza approcci rivolti al futuro come lo *strategic foresight*, che sulla base di futuri possibili, plausibili e preferibili, ha l'obiettivo di pianificare azioni e decisioni condivise verso futuri desiderabili. Dal punto di vista progettuale, emerge un discorso culturale che mira a "chiarirsi le idee" sulla base di pratiche riflessive e sperimentali. Emerge cioè una progettualità dialettica, in cui si osa fare e imparare dalle esperienze maturate, in una dinamica di ascolto e apprendimento reciproco del contesto e di tutte le questioni con cui si è in relazione. Come afferma Latour (2009), il design non può più oggi nascondersi dietro le cosiddette "materie di fatto" (soluzioni discrete e racchiuse nelle leggi del mercato o della natura), ma dovrà rendere esplicita e dovrà poter visualizzare la natura conflittuale delle "materie in questione", prevedendone le tracce delle controversie e dei molti e contraddittori portatori di interesse che emergono con esse, siano essi umani, biologici o artificiali.

### 3.3 Materiale-prodotto-performance

Le mutate condizioni culturali e tecniche non influenzano solamente gli approcci di design, ma anche il modo stesso di concepire, immaginare e progettare gli artefatti. La democratizzazione di tecnologie sempre più sofisticate e l'uso indipendente delle stesse da parte dei designer, hanno infatti modificato le modalità di visualizzazione e manipolazione dei concept progettuali, la loro concretizzazione, i rapporti tra design e le altre discipline, nonché i linguaggi sottesi alle possibilità tecniche, estetiche e simboliche di trasformazione della materia. Ciò è dovuto soprattutto ad una evoluzione della cultura tecnologica in prospettiva digitale e informazionale che ha portato il design a ripensare processi, strumenti e materiali secondo una logica diversa, più affine alla natura e alle sue modalità generative. Le origini di tali forme di pensiero possono essere individuate nella cibernetica, quale euristica nata ed evolutasi proprio in relazione alle complesse trame e interrelazioni tra sistemi (sia biologici che artificiali) e che ha dato vita ad un'epistemologia ecologica trasversale alle diverse discipline, siano esse scientifiche, umanistiche o progettuali (3.3.1 Pensare "ecologicamente"). Dallo specifico punto di vista del progetto, la possibilità di trasferire alle strutture dell'artificiale l'abilità di rapportarsi in modo sistemico ed adattivo all'ambiente o alle situazioni in cui si inseriscono, porta all'emergere di soluzioni ottimizzate di volta in volta al mutare delle condizioni culturali e delle necessità performative di una società in divenire (3.3.2 Paradigmi condizionali). Tale processo evolve fino ai giorni nostri, in cui nuove potenzialità tecnologiche permettono di estendere i principi computazionali e biologici alla materia stessa – che diventa intrinsecamente sensitiva, attiva e programmabile –, avvicinando come mai prima d'ora oggetti ed organismi (3.3.3 Sintesi materiche ed innovazione organica).

#### 3.3.1 Pensare "ecologicamente"

Nel 1985 Jean Gebser – filosofo, linguista e poeta tedesco del Novecento – proponeva cinque diverse strutture di coscienza: arcaica,

magico-vitale, mitica, mentale, razionale e integrale. La struttura mitica dà risalto alla prospettiva mitologica, la struttura mentale-razionale alla prospettiva logica, mentre la struttura integrale alla prospettiva ecologica. Quest'ultima in particolare, deriva dalla biologia e manifesta un'«urgenza di tentativi di scoprire un modo universale di osservare le cose e di superare la divisione interna dell'uomo contemporaneo che, a causa del suo orientamento razionale unilaterale, pensa solo per dualismi» (Gebser, 1985, come citato in Keckeis, 2013, p.2). La prospettiva ecologica si concentra sulle interazioni tra lo spazio ed il tempo, onora molteplici punti di vista e il modo in cui le parti interagiscono tra loro in una struttura integrale. I progressi nelle scienze a partire dagli inizi del Novecento, hanno infatti messo in crisi le convinzioni della prospettiva logica, modificando il nostro rapporto con la natura, il modo di avvicinarci alla sua osservazione e i modelli di interpretazione della sua complessità, introducendo dei concetti rivelatisi successivamente fondamentali sia da un punto di vista scientifico che culturale, come l'impossibilità di prevedere i fenomeni nella loro interezza; la necessità di focalizzare l'attenzione sull'interazione tra le parti piuttosto che sulle singole parti; l'inscindibile correlazione tra l'osservatore e il fenomeno osservato, di cui egli è spettatore e parte integrante; oppure l'introduzione di nuove qualità "evoluzionistiche" – dunque legate al tempo – come auto-organizzazione, autopoiesi, ridondanza e negherontropia.

Ad esempio, la "teoria della relatività" affianca alle tre dimensioni spaziali una quarta dimensione temporale, che formano un'unica dimensione spazio-temporale continua, portando a considerare gli oggetti – e gli eventi – non più secondo l'unica linea del tempo e da un unico punto di vista, ma attraverso molteplici chiavi interpretative che dipendono dall'osservatore immerso in una propria – e variabile – dimensione spazio-temporale. Tali teorie vengono rafforzate qualche anno dopo dal "principio di indeterminazione", secondo il quale è impossibile determinare universalmente e contemporaneamente più dimensioni della realtà infinitesimale, in quanto la misurazione dell'una rende non accurata la misurazione dell'altra. L'osservazione della realtà a scale infinitamente piccole, porta a scorgere una complessità relazionale presente a tutti i livelli e nasce il concetto di "quanto" in riferimento a particelle elementari, relazionate e indivisibili da un campo di forze. Non è più possibile quindi separare le parti dal tutto e il tutto dalle parti, ma ciascuno di loro può essere spiegato solamente attraverso l'universo di relazio-

ni che lo contraddistingue.

Si viene creando dunque un paradigma ecologico che porta a definire anche un diverso rapporto tra tecnologia e ambiente, nonché tra uomo e natura: «Le persone ecologiche interagiscono con la natura, le persone logiche invece agiscono sulla natura, mentre le persone mitologiche sono sopraffatte da essa, accettando passivamente le decisioni della natura. Le persone ecologiche interagiscono dialogando con l'ambiente» (Alexenberg, 2011, come citato in Dammarco, 2016, p.22).

Tuttavia, è soprattutto con la "teoria generale dei sistemi" (Von Bertalanffy, 1937) e con l'avvento della cibernetica (Wiener, 1948) che il nuovo paradigma inizia a diffondersi trasversalmente alle diverse discipline, aprendo la strada ai grandi temi della complessità e alla reinterpretazione delle nuove condizioni socio-tecniche che hanno influito sulla cultura tecnologica e, conseguentemente, sul progetto. In particolare, comincia ad emergere sempre di più il concetto di sistema dinamico aperto [14] e della sua complessa auto-organizzazione, che viene progressivamente applicato all'osservazione dei sistemi biologici, alla traduzione delle loro strategie alle strutture dell'artificio e all'interpretazione del mondo e dei complessi fenomeni ambientali e sociali che lo caratterizzano. «Il cammino del pensiero [sistemico] è, di volta in volta, analitico e sintetico, attento ai particolari e inglobante. Esso poggia sulla realtà dei fatti e sulla perfezione dei particolari. Ma ricerca, parallelamente, i fattori di integrazione, elementi catalitici dell'invenzione e dell'immaginazione. Nel momento stesso in cui si scoprono le unità più semplici della vita e della materia, si tenta, grazie alle celebri metafore dell'orologio, della macchina, dell'organismo, di comprendere meglio le loro interazioni» (De Rosnay, 1977). L'approccio sistemico infatti, nato principalmente come approccio interdisciplinare che riunisce biologia, teoria dell'informazione, fisica e chimica, si oppone al metodo analitico e si propone di descrivere la "complessità organizzata" al fine di facilitare l'organizzazione delle conoscenze e rendere l'azione più efficace, sia che si tratti di cellule, sia che si tratti di economia, prodotti ed ecologia. In tal senso, il contributo della cibernetica è stato fondamentale per gettare un ponte di continuità tra la natura e l'artificio per comprendere la complessità della realtà e per affrontarla, secondo un movimento di andata e ritorno (tipico dell'approccio sistemico) dalla macchina all'organismo, dall'organismo alla macchina, passando per l'impresa, la società e l'ecosistema.

È curioso notare come il termine "cibernetica", inaugurato per

14. Un sistema può essere definito come un insieme di elementi in relazione dinamica organizzati in vista di uno scopo. Un sistema poi è definito "aperto" quando è in relazione permanente con il suo ambiente, con il quale scambia energia, materia e informazioni. È invece "dinamico" perché nel tempo cambia la sua organizzazione, adattandosi a livelli di equilibrio sempre più complessi, di volta in volta "minati" dal mutamento delle condizioni esterne ed interne. I sistemi sono strutturati gerarchicamente, costituiti da più livelli: il livello superiore fornisce una vista d'insieme, mentre i livelli inferiori rivelano una moltitudine di parti interagenti. Questa natura gerarchica comporta diversi livelli di complessità e il fatto che ai livelli superiori compaiono proprietà dette "emergenti" perché non sono date dalla somma delle singole parti, ma dalla loro casuale, reciproca e interdipendente relazione.

15. Benché Bateson con la sua “ecologia delle idee” sia l’esponente principale, vi sono stati molti filosofi, antropologi e sociologi che hanno fatto riferimento alla cibernetica nelle loro teorie. Ad esempio Heinz von Foerster, Margaret Mead e Hans Lukas Teuber hanno portato avanti dal 1949 al 1953 diverse conferenze dal titolo “Cybernetics, Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems”, dove venivano affrontate proprio le possibili applicazioni della cibernetica alla società.

la prima volta da Norbert Wiener (1948) con la pubblicazione di “Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine”, deriva dalla parola greca *kubernetes*, che significa “pilota” o “timone”, ad indicare l’arte di gestire e condurre dei sistemi altamente complessi (Guillaumaud, 1965). Couffignal (1963), volendo dare una definizione più filosofica, la definisce proprio come «l’arte di assicurare l’efficacia dell’azione» (p.23). In effetti, le sue scoperte cominciano ad essere applicate negli anni non solo al campo ingegneristico (con la realizzazione di macchine “intelligenti”), ma anche all’antropologia (Bateson, 1972 [15]), all’economia (Morgenstern, 1949), alla neurofisiologia (McCulloch & Pitts, 1943; 1947), alla dinamica industriale (Forrester, 1961) apportando nuovi strumenti alla strategia aziendale, ai sistemi urbani (Forrester, 1964), all’ecologia e ai limiti dello sviluppo (Forrester, 1971; Meadows et al., 1972). Ancora oggi «La cibernetica, nei suoi sviluppi metodologici ed operativi nei campi della robotica, dell’intelligenza artificiale, della biologia dei sistemi, delle nano-biotecnologie, delle scienze cognitive ed epistemologiche, rappresenta un campo di riferimento fondamentale per l’affermazione di una cultura tecnologica che ricerca nuovi metodi di progetto per affrontare le sfide poste da problemi ambientali [e socio-culturali] sempre più complessi» (Perriccioli, 2020, p.89).

Negli anni infatti, la ricerca di forme e modalità innovative di definire il rapporto tra ambiente e tecnologia alla luce del nuovo paradigma ecologico, ha prodotto un lento ma profondo processo di avanzamento della cultura tecnologica in una prospettiva digitale e informazionale che ha consentito l’individuazione di nuove condizioni socio-tecniche, fondate sul dialogo tra progetto e logiche cibernetiche. Come afferma Jochi Ito (2016), il movimento ciberneticò è stato, in molti modi, un modello a cui si sono ispirate molte pratiche di progettazione odierne, in particolare quelle che si ispirano alle scienze e alle ingegnerie per operare concretizzazioni di senso e significato a partire dalle innovazioni tecnologiche. Nato in un momento di convergenza tecnologica e di emergenza di strumenti abilitanti lo scambio informazionale (proprio come sta accadendo oggi), esso deve infatti i suoi progressi soprattutto ad una sinergia tra numerose discipline, sia di stampo scientifico che umanistico; mentre la sua successiva frammentazione ci è d’esempio per capire come ormai, in un mondo complesso, non possiamo più ragionare per settori specifici del sapere. In particolare, sottolinea Ito (2016), ai fini del progetto e di un ripensamento del nostro modo di pen-

sare e lavorare, non è tanto di interesse la cosiddetta “cibernetica di primo ordine”, sviluppatasi soprattutto nel dominio degli ingegneri con l’obiettivo di studiare i meccanismi di regolazione (i cicli di feedback) negli organismi e nelle macchine al fine di progettare sistemi complessi in grado di imparare dall’esperienza (feedback informazionali) e su di essa adattare la condotta futura; ma la “cibernetica di secondo ordine”, ovvero quella che riguardava i sistemi complessi auto-adattivi che non potevano essere controllati del tutto, ma che inglobavano in sé concetti come irreversibilità, aleatorietà, dinamicità ed entropia. Ad esempio, gli studi di Prigogine (2014) sulla termodinamica dei processi irreversibili hanno portato alla luce le “strutture dissipative”, sistemi aperti lontani dal loro stato di equilibrio e che dunque iniziano a percepire le variazioni dall’esterno e a cambiare con esse, passando da uno stato organizzativo all’altro attraverso fasi imprevedibili di instabilità, evolvendo verso stadi di complessità più elevati: è ciò che accade anche nel mondo reale, da lui definito fluttuante, rumoroso e caotico. In particolare, ciò che si deve alla cibernetica di secondo ordine è che l’uomo viene inserito all’interno dei sistemi studiati non solo come osservatore, ma anche come partecipante. Ad esempio essa studia l’ecosistema, che è qualcosa in cui viviamo come partecipanti, che non possiamo controllare e che si adatta alle nostre stesse azioni. «Introducendo deliberatamente il soggetto nel mondo degli oggetti [la cibernetica di secondo ordine] accetta un universo percepito e vissuto in entrambi i suoi aspetti: soggettivo ed oggettivo» (De Rosnay, 1977), rivalutando non solo in questo modo la componente soggettiva – creativa ed umanistica –, ma rendendo i partecipanti responsabili di ciò a cui prestano attenzione o di ciò che progettano [16]. «Anche il design si è evoluto dalla progettazione degli oggetti, sia fisici che immateriali, al design di sistemi, al design di sistemi adattivi complessi. Questa evoluzione sta spostando il ruolo dei designer; che non sono più i pianificatori centrali, ma piuttosto i partecipanti all’interno dei sistemi in cui esistono. Questo è un cambiamento fondamentale, che richiede un nuovo insieme di valori» (Ito, 2016). Come afferma Bateson (1977), si tratta di creare nuovi parametri capaci di instaurare tra organismo e ambiente una relazione basata sulla flessibilità dei modelli di azione che definiscono il comportamento degli organismi tra loro e con l’ecosistema che abitano. È proprio la relazione fra l’uomo e l’ambiente in cui vive – l’organismo-nel-suo-ambiente – che diviene centrale nella riflessione di Bateson che dalla cibernetica riprende soprattutto il “principio di autocorrezione”,

16. Anche il pensiero post-antropocentrico e l’idea di interconnessione radicale che ci rende parte dell’ecosistema, nonché elemento attivo carico di responsabilità nei confronti di tale sistema, deriva dalla cibernetica di secondo ordine e dal lavoro di molti teorici ad essa affini come Gregory Bateson (e la sua “ecologia delle idee”) o Isabelle Stengers (e la sua prospettiva cosmopolitica del pensiero ecologico). Infatti, l’ecosistema comincia ad essere visto come un qualcosa in cui viviamo non solo come osservatori ma anche come partecipanti, che non possiamo controllare e si adatta alle nostre azioni e che dunque, nel nostro agire in essa non possiamo utilizzare la sola conoscenza scientifica.



FIG. 14  
*Progressive Architecture*, "Performance Design" issue, agosto 1967, cover by Richard C. Lewis. Come nota Hensel (2013), questo numero si focalizzava su «analisi sistemica, ingegneria sistemica e ricerca operativa» nonché sulla «modellazione matematica per l'ottimizzazione e l'efficienza».

ovvero la capacità di mantenere contemporaneamente la stabilità e la possibilità di cambiamento, di modificare la propria organizzazione in risposta agli stimoli provenienti dall'ambiente e mantenendo costante la struttura.

La svolta paradigmatica introdotta dalle ricerche cibernetiche, ha consentito dunque il superamento della dicotomia cartesiana tra macchina e organismo, evidenziando sempre più l'importanza delle interconnessioni tra organismi e organismi con l'ambiente, ponendo altresì l'accento sul contesto e sulla necessità che ogni programma di modificazione parta dalla valutazione delle relazioni del sistema con l'esistente. Tale svolta comporta il passaggio da una "conoscenza manipolatrice" ad una "conoscenza complessa" (Morin, 1993) che mira ad accrescere le relazioni tra ambiti e discipline differenti per la comprensione dei fenomeni generativi fondamentali, non solo per cogliere la complessità dei processi naturali, ma soprattutto per trasferirne le logiche in processi che sappiano rapportarsi in modo sistemico e adattivo all'ambiente in cui si inseriscono. Ciò favorito dall'attuale cultura tecnologica digitale e dalle numerose applicazioni ibride tra la natura e l'artificio (si pensi alla biologia sintetica e all'intelligenza artificiale per esempio), che presentano un carattere olistico ed informativo portando le modalità di immaginazione e generazione degli artefatti ad evolvere dalla giustapposizione di elementi differenti che entrano in relazione tra loro ad una totalità "ecologica" che si costituisce costantemente attraverso lo scambio tra "sistemi aperti" ed ambiente, permettendo di recuperare il rapporto tra necessità umane, tecnologie e contesti.

### 3.3.2 Paradigmi condizionali

L'approccio sistemico e le logiche cibernetiche combinate con le effettive possibilità di scambiare informazioni ed interazioni tra le diverse dimensioni della realtà (fisico-digitale-biologico) e tra i diversi attori dell'ecosistema (uomo-natura-artificio), portano il progetto a porsi come interfaccia tra natura e artificio, oggetti e contesti, riscoprendo il valore dei processi di crescita, sviluppo ed evoluzione presenti in natura basati sull'interazione tra le parti (materiale, forma, struttura) e tra di esse e l'ambiente, risultando in concretizzazioni "aperte", "intelligenti" e "specifiche". È così infatti che vengono definite oggi molte delle applicazioni di *performance-based design*, derivante dalla *performance-based architecture* ed evolutosi soprattutto grazie al digitale e al design generativo, in cui forma e comporta-

mento dei prodotti non sono solamente concettuali, ma sono basati su un paradigma condizionale (Antonelli & Burkhardt, 2020) (Fig. 14). Come afferma Michael Hensel (2013) descrivendo la storia della *performance-based architecture* (nata nel 1960), adattabilità e flessibilità sono le parole chiave di questo approccio, che partiva dagli avanzamenti tecnologici e scientifici (guerra fredda e corsa allo spazio prima, cibernetica dopo) per realizzare strutture in grado di adattarsi e soddisfare i costanti cambiamenti culturali nella società del dopoguerra. In pratica, la *performance-based architecture* – egli afferma – non è informata solamente dalla funzionalità o dalla sintesi formale, ma contempla gli edifici come dei sistemi complessi, spostando il focus "da ciò che l'edificio è a ciò che l'edificio fa". Esso si focalizza sull'analisi dei sistemi, sulla loro ingegnerizzazione e sulla ricerca operativa, nonché sulla modellazione matematica al fine di raggiungere ottimizzazione ed efficienza. In "The Architecture Machine: Toward a More Human Environment" Nicholas Negroponte (1970) sottolinea tre concetti-chiave – generazione, valutazione, adattamento – e si focalizza sulla crescente partnership tra uomo e macchina facilitata dalla tecnologia, immaginando un futuro in cui architettura e design abbracciano queste collaborazioni al punto tale che non sarà più possibile distinguere il contributo di ciascuno dei collaboratori: «Il nostro interesse è [...] di stimolare un'intelligenza artificiale che simuli un design per la qualità della vita e che consenta una serie completa di metodi di auto-miglioramento. Stiamo parlando di una simbiosi che è una convivenza di due specie intelligenti» (p.7). Successivamente, con la cultura digitale e con la fabbricazione digitale il focus dell'architettura performativa evolve, dall'ottimizzazione basata sul meccanismo a quella basata sull'algoritmo – non solo a livello funzionale, strutturale e sistemico, ma anche espressivo. Inizia una nuova era di "digital normal" durante la quale strumenti innovativi per la creatività e il processamento portano alla proliferazione di nuovi linguaggi formali in tutti i settori – arte, letteratura, cultura popolare, architettura e design (Fig. 15). Nasce l'architettura generativa, in cui (come previsto da Negroponte) l'architetto e il computer contribuiscono e refiniscono il progetto in egual misura e in maniera controllata, manipolando i tre componenti principali del *performance-based design*: il modello geometrico, il processo valutativo e l'interazione del designer (Oxman, 2008).

Il progetto dell'interazione non si esaurisce tuttavia nella soluzione tecnologica delle interfacce uomo-macchina, ma riporta in primo



FIG. 15  
Rappresentazione schematica della sequenza di DNA di Biozentrum, Peter Eisenman e Jaquelin T. Robertson, 1987. I due architetti collaborarono con il Biology Center della J.W. Goethe University di Francoforte, Germania ed utilizzarono il processo di stampa elettrostatica. La rappresentazione è stata inclusa nel 2013 nella sessione "Archeology of the Digital" presso il Canadian Centre for Architecture di Montreal, a sottolineare come l'ispirazione biologica ha facilitato una digitalizzazione dell'architettura e lo sviluppo di innovativi paradigmi condizionali.



**FIG. 16**  
*Voxel Bio-welding; Jammed Bio-welding, David Benjamin (The Living), 2019. Studi su mattoni ottenuti da micelio per ottenere saldature naturali a prova di edificio. Il progettista esplora i risultati possibili crescendo micelio in diverse forme, tecniche di assemblaggio e ambienti di coltura.*

piano la centralità dei contesti fisici e della riconfigurazione del rapporto dell'uomo con lo spazio attraverso algoritmi computazionali, assumendo i contorni di una sfida culturale nei confronti della complessità sociale ed ambientale che punta alla creazione di nuovi ecosistemi. «Il progetto nell'era digitale trasla la propria ontologia da una dimensione oggettiva e chiusa in orizzonti prescrittivi verso una dimensione organica e generativa coerente con un approccio ecologico in cui artefatti e natura costituiscono un unico biotopo, un sistema biologico co-evolutivo in cui [...] è il progetto stesso a porsi come interfaccia tra tecnologia ed ambiente, riscoprendo il valore dei processi generativi della forma presenti in natura basati sull'interrelazione tra materiale, forma, struttura e ambiente attraverso lo sviluppo di processi digitali integrali di tipo computazionale» (Perriccioli, 2021, p.91). Ne sono esempio i processi morfogenetici che permettono di integrare vincoli di produzione, logiche di montaggio e caratteristiche dei materiali nella definizione di un sistema costruttivo e di combinarli poi con approcci computazionali di comprensione del comportamento del sistema, utilizzando questa comprensione per elaborare strategie di risposta del sistema alle condizioni ambientali e alle forze esterne (Menges, 2011). Ne è esempio il lavoro di Neri Oxman, che abbraccia un'attitudine reciproca tra computer e designer, ma la porta verso un nuovo organicismo, in cui l'algoritmo è uno *starter* per "crescere" edifici in maniera "architeturalmente" controllata. In pratica, le architetture da lei progettate non sono più viste come macchine, ma come organismi e - come nella sua descrizione del processo creativo da geometrico a metabolico - il processo generativo cambia da puramente parametrico ad organico. L'interazione cioè non è tra l'architetto e il computer, ma tra l'architetto e la natura, mentre il computer è lo strumento che permette l'interdipendenza tra le due componenti e la realizzazione di un design più affine alla stessa natura. Quest'ultima infatti, ottimizza le strutture per una molteplicità di funzioni a tutte le scale (carico strutturale, vincoli spaziali, performance ambientale); una molteplicità che a sua volta porta a specificità, vale a dire all'abilità della struttura o dello stesso materiale di rispondere e adattarsi alle specifiche condizioni all'intorno, che a loro volta possono fluire e mutare nel tempo.

Proprio quando il campo del design generativo o parametrico ha raggiunto un punto di stasi e di omogeneità espressiva e formale, Oxman ha introdotto un nuovo ingrediente, la biologia, rinvigorendo l'ambito e diversificando la sue produzioni. Come molti altri ar-

chitetti (David Benjamin, Skylar Tibbits, Jenny Sabin, ecc.) Oxman opera nella convinzione che non è necessario controllare tutto il processo di evoluzione della forma, ma possiamo lasciare libera la natura di fare il suo corso, anche se sotto specifici parametri che ne distillano il processo o ne integrano l'espressività formale, producendo estetiche nuove (Fig. 16).

Il progetto dunque, avvalendosi di avanzate tecnologie, approcci sistemici, processi digitali e organismi viventi, si colloca in una posizione intermedia tra scienza e natura, non caratterizzandosi più come un agente dominante di trasformazione dell'ambiente, ma come un mediatore tra sistemi, naturali ed artificiali, secondo un principio guida dell'interazione multidimensionale tra uomini, macchine e natura in tutte le sue forme (Fig. 17). Anche Oxman afferma che: «Diversamente da quanto accaduto nelle Rivoluzioni Industriali precedenti, ecologicamente agnostiche, il nuovo approccio lega strettamente gli oggetti di design all'ambiente naturale» (Oxman, 2013, p.x). Dunque, con Oxman e altri designer contemporanei affini, il performance-based design si è trasformato dal meccanismo, all'algoritmo, all'organismo, libero dalle forme omogenee del modernismo, ma anche dai materiali e dalle tecniche convenzionali. Le tecnologie digitali hanno permesso ai progettisti di avvicinarsi alla natura e alle sue impressionanti articolazioni, promettendo un futuro in cui gli antagonismi del modernismo (come l'omogeneità democratica e accessibile contrapposta alla specificità costosa ed elitaria) diverranno obsolete, permettendo ad esempio alla specificità di divenire accessibile, rispondendo a differenti richieste e condizioni attraverso lo stesso design basato sugli algoritmi e adattabile, addirittura utilizzando un solo materiale (Antonelli & Burkhardt, 2020).

I meccanismi stessi del vivente cessano di essere modello meramente teorico e si traducono in veri e propri processi produttivi, che applicati sempre più in maniera trasversale a quasi tutti settori di attività dell'uomo, portano alla concretizzazione di entità antropiche, che possiamo definire "viventi", perché per esserlo ne hanno tutte le caratteristiche: sono in grado a livello genotipico, di contenere e manipolare informazioni e a livello fenotipico, di assumere dei veri e propri comportamenti complessi e processi informativi adatti a "sopravvivere" in un determinato ambiente, relazionando gli strumenti di cui sono geneticamente dotati con le condizioni e le perturbazioni provenienti dal mondo esterno (Schrödinger 1995). Ed è qui che la contiguità tra la natura e la tecnologia può rivelarsi



**FIG. 17**  
*Hy-Fi Bricks, David Benjamin (The Living), 2014. Progetto vincitore dello Young Architects Program, prevedeva l'ideazione di una struttura estiva temporanea realizzata con mattoni a base di bucce di mais e micelio. La forma e la disposizione dei mattoni è configurata in modo da massimizzare la ventilazione naturale e la luce dal contesto circostante. Alla fine dell'estate la struttura è stata utilizzata per il compostaggio.*

un potente strumento. Infatti, se è vero che con le tecnologie di cui oggi disponiamo riusciamo a creare artefatti di per sé viventi come organismi, è altrettanto vero che non sempre di essi ne cogliamo il medesimo successo. Vale a dire che i sistemi artificiali come gli organismi sono in grado di contenere e manipolare informazioni, ma non sempre sono dotati della medesima intima intelligenza della Natura. Tornando a Schrödinger (1995) infatti, egli conclude la definizione precisando che un vero organismo è “vivente” se ha avuto successo nel processo di auto-organizzazione delle informazioni, ossia nella loro strutturazione in maniera sempre più complessa e olistica rispetto all'intero sistema in cui è inserito e in modo da ottenere una risposta comportamentale coerente al contesto in cui si presenta.

### 3.3.3 Sintesi materiche ed innovazione organica

Neil Gershenfeld (2006), direttore del MIT Center for Bits and Atoms, afferma che ad oggi stiamo assistendo al reale passaggio dal 2D al 3D, dalla programmazione dei bit a quella degli atomi, avvicinandoci alla fine della curva di Moore, dunque al punto massimo dell'evoluzione digitale, in cui ci sarà proprio la fusione del digitale con la materia ed infine con la natura. I progressi nella computazione e nelle tecnologie digitali, la loro estensione alla materia (sia essa biologica o fisica), combinati con le modalità di pensiero stimulate dalla cibernetica e dalla teoria dei sistemi, portano i progettisti ad interfacciarsi con delle vere e proprie “materialità” ibride in grado crescere, interagire e trasformarsi in continuità con l'ambiente esterno, nonché di assumere qualità biologiche complesse. Ciò porta a nuovi modi di progettare e immaginare i prodotti. In particolare, le interazioni e le integrazioni tra sfera fisica, digitale e biologica hanno portato ad una vera e propria rivoluzione materiale, che supera i confini tra materiale-prodotto-performance ed estende i principi computazionali e biologici alla materia stessa.

In primo luogo, la connessione tra sfera digitale e sfera fisica (materiale) si traduce in materialità esteticamente e funzionalmente “aumentate”, in cui le qualità viventi e intelligenti sono date dalle proprietà intrinseche della materia stessa (Tibbits, 2017). Infatti, oltre agli oggetti dotati di intelligenza artificiale, i materiali stessi possono essere informati e riscritti da strutture computazionali (ad es. *cognitive computing*, *next-generation computer visualization*) e procedure digitali (ad es. tecniche di fabbricazione digitale, rappre-



sentazioni materiali digitali, metodi algoritmici di generazione di forme), in grado di lavorare su più scale (ad es. micro-fabbricazione 3D), risultando in sistemi ibridi, monomateriali ma eterogenei, capaci di reagire, adattarsi ed elaborare dati come quelli naturali. Negli ultimi anni sono state elaborate molte definizioni di materiali funzionali, dagli Smart Materials in grado di percepire e rispondere a stimoli esterni attraverso cambiamenti reversibili (Ritter, 2006), agli Augmented Materials, in grado di adattarsi all'ambiente attraverso una costante interazione grazie a una rete di sensori e attuatori miniaturizzati perfettamente integrati nella materia (Razzaque, Dobson & Delaney, 2013). I nuovi materiali però sono diversi, e non sono dati dalla stratificazione di layer computazionali e layer di supporto, ma a partire dalle proprietà che il materiale ha a livello molecolare, viene strutturato, informato e formato in modo tale da diventare intrinsecamente performativo, sensibile, reattivo e programmabile. E supponiamo di aggiungere le attuali possibilità di manipolare ogni tipo di sistema materiale e multimateriale in ogni forma e dimensione che desideriamo, le opportunità si moltiplicano e i confini tra il prodotto finale, la sua materialità e il suo comportamento svaniscono definitivamente, avvicinando come mai prima d'ora la natura e l'artificio. I sistemi naturali partono da una tavolozza relativamente piccola di componenti molecolari e costruiscono una vasta gamma di materiali funzionali, la cui “intelligenza” non deriva semplicemente dalla capacità di percepire e rispondere agli stimoli, ma di comportarsi in modo efficiente in un contesto o situazione specifica (Schrödinger 1995), proprio come nel caso di prodotti progettati attraverso l'approccio parametrico e realizzati con tecniche di manifattura additiva. Come in natura infatti, un processo guidato dal codice (“codice genetico”) modella le logiche evolutive della morfogenesi dei prodotti in funzione di flussi informativi, parametri, relazioni e algoritmi, mentre processi di “crescita” additiva ne consentono la realizzazione (Langella & Santulli, 2017). In “Kinematics Project” (2013) ad esempio, lo studio di design Nervous System realizza alcuni abiti completamente stampati in 3D, combinando una logica costruttiva fatta di tasselli di varia grandezza, connessi da alcune cerniere e che vengono generati attraverso un algoritmo, sia sulla base dell'adattabilità dell'abito al corpo dell'utente e ai suoi movimenti (attraverso misurazioni e scansioni); sia per ridurre tempo e spazio di stampa attraverso una strategia di simulazione che permette di stampare i prodotti finali ripiegati su se stessi, come fossero delle matasse, ma che una volta distesi sono pronti e non ri-

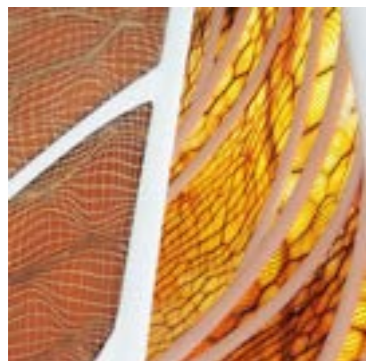


FIG. 18  
(al lato e in alto) Kinematics project,  
Nervous System, 2013.

chiedono ulteriori processi di rifinitura (Fig. 18). Quindi, usano un solo materiale (il nylon), per creare un singolo prodotto (l'indumento) che, attraverso un software di progettazione e simulazione basato su algoritmi, viene informato per essere specifico per il corpo di un utente, per le sue preferenze di movimento (specificità) e per essere "cresciuto" nel minor spazio possibile (efficienza). Un altro esempio, più complesso che agisce in entrambe le dimensioni (fisica e digitale) e a più scale (nano, meso, macro), è il progetto "Aguahoja" di Neri Oxman e del Mediated Matter Group all'MIT (2018), in cui il team di ricerca introduce la "Water-Based Digital Fabrication", una piattaforma di fabbricazione digitale basata sull'acqua. Infatti, essi convertono abbondanti biopolimeri (cellulosa, chitosano, pectina) in materiali sostenibili ad alte prestazioni che diventano stampabili solo una volta miscelati con acqua (Fig. 19). A livello fisico, hanno analizzato le proprietà meccaniche multiscala, quelle reologiche e quelle ottiche, nonché le diverse velocità di degradazione dei biopolimeri, che variano anche a seconda della quantità di acqua; a livello digitale, hanno sperimentato una raccolta di strumenti e tecnologie hardware, software e wetware per alterare e controllare le proprietà delle sostanze con modelli e strutture computazionali, come trasparenza, forza e modalità di decomposizione. Il risultato finale è stato un padiglione, interamente stampato in 3D e biodegradabile, dall'acqua all'acqua come in natura.

Da questi esempi si evince chiaramente come sta cambiando la prassi progettuale e il modo di immaginare i prodotti: i progettisti iniziano a interfacciarsi con un nuovo linguaggio, quello dei sistemi materici. Non si tratta di prodotti esteticamente gradevoli, pensati e poi progettati partendo dall'esplorazione fisica e intuitiva del materiale o dall'assemblaggio di parti con funzioni distinte, ma sono il risultato di un nuovo processo creativo, dato da un dialogo tra il progettista e un sistema capace di decisioni autonome e di adattamento funzionale a determinate condizioni. Ha luogo un confronto permanente tra informazione e materializzazione, dove la programmazione digitale influenza il materiale e i parametri specifici del materiale influenzano i modelli digitali. I progettisti possono così contare su una nuova forma di mediazione digitale tra materia "reale" e informazione "virtuale", portando a nuovi impulsi e contesti formali e funzionali (Johns 2014).

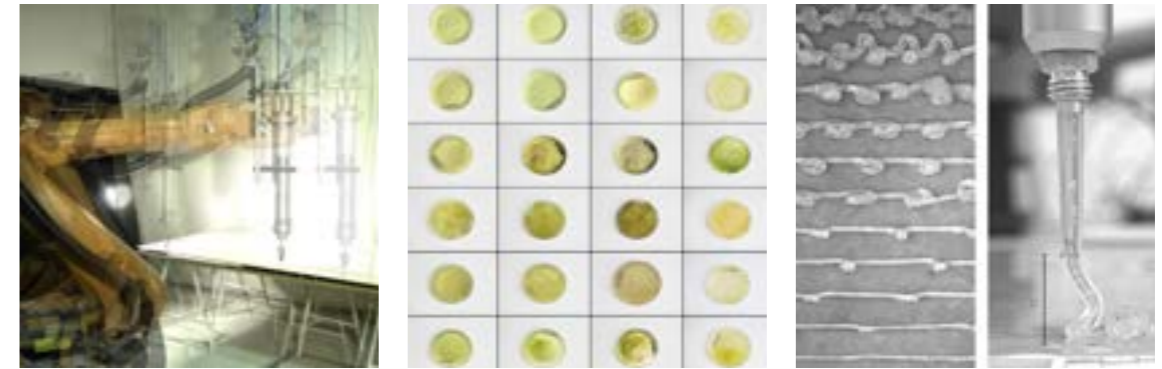
Inoltre, gli sviluppi nelle contemporanee bioscienze, come la biologia molecolare, la genetica o la biologia sintetica, estendono le proprietà del mondo digitale alla natura stessa, che diventa com-



prendibile nei minimi dettagli, programmabile e manipolabile. Ciò apre la possibilità futura di utilizzare la materia biologica e gli organismi come interfacce interattive (biosensori e bioattuatori) al posto di quelle sintetiche. Allo stesso tempo, i processi biologici e biomeccanici attraverso i quali la natura funziona, possono essere trasferiti ai prodotti dal materiale stesso (come crescita, riparazione, mutazione, replicazione, biodegradabilità) e possono ispirare comportamenti intelligenti. La sfera biologica entra in contatto con quelle precedenti del digitale e del fisico, portando la rivoluzione materiale a fare un passo avanti e di conseguenza la pratica del design a esplorare ulteriori vie di innovazione. In questo caso non è il digitale a dare le qualità viventi, ma è la materia stessa a portarle nel sistema materiale, con conseguenti vantaggi dal punto di vista della sostenibilità ambientale, ma anche con nuovi aspetti da comprendere e gestire. Infatti, il comportamento degli organismi viventi è complesso e porta nel sistema una nuova variabile: una quarta dimensione temporale (4D). Diventando vivo, questo tipo di sistema materiale cresce, si evolve, varia, adattandosi alle mutevoli condizioni (biotiche e abiotiche, interne ed esterne) ed estendendo nel tempo tutti i comportamenti intelligenti che abbiamo elencato prima. Da un lato, questo può essere rilevante per progettare materialità interattive più complesse e durature, scambiando informazioni e cicli di feedback con altre entità e con l'ambiente. Esempi sono i materiali autorigeneranti come il "Bioconcrete", sviluppato dallo scienziato Jank Hinkers e dal suo team presso la TU Delft University (2011), un cemento sviluppato dallo scienziato Jank Hinkers e dal suo team presso la TU Delft University (2011), che utilizza batteri alcalifili (capaci di produrre calcite) per riparare le crepe che nel tempo possono generarsi nel calcestruzzo, generando un materiale auto-riparante ed estremamente resiliente che può durare (si stima) fino a 50-100 anni più dei suoi simili, con enormi vantaggi ambientali e di sicurezza. Dall'altro, emerge una forte componente di imprevedibilità che – oltre a mettere in luce numerose questioni etiche alle quali dobbiamo rispondere – rende la programmabilità di queste nuove entità dipendenti dalla nostra capacità di stabilire con esse un rapporto sinergico, dato da uno scambio informativo da noi al sistema e viceversa. Anche in questo caso dunque, è necessario un dialogo tra il progettista e il sistema, questa volta con un'entità non solo autonoma e in grado di adattarsi a condizioni specifiche, ma anche meno prevedibile e che agisce in tempi più lenti. Naturalmente, le strutture digitali possono aiutare i progettisti



FIG. 19  
(al lato e in alto) Aguahoja Project,  
Neri Oxman & Mediated Matter  
Group (MIT), 2018.



a prevenire e controllare tali processi complessi, ad esempio, con simulazioni o con l'ingegnerizzazione di scaffold, "impalcature" in materiale biorecettivo in grado di accogliere e orientare la crescita biologica.

In ogni caso, l'ingresso del vivente nei processi creativi e produttivi offre all'immaginazione dei progettisti nuovi scenari e modalità di sperimentazione di collaborazioni sinergiche tra dimensione fisica, digitale e biologica, alimentando una rinnovata cultura more-than-human. Se le mediazioni tra le tre dimensioni saranno ben gestite infatti, potranno nascere idee e progetti prefigurativi, che anticipano un futuro realmente sostenibile in cui uomo, natura e artificio possono cooperare e ibridarsi per accrescere l'Ecosistema di cui fanno parte. Ad esempio, il professor Marcos Cruz e il suo team della Bartlett School of Architecture (Regno Unito) hanno sviluppato una tecnica di bioprinting per l'immobilizzazione di microalghe stampata su larga scala (Malik et al. 2019). Essi combinano l'esplorazione fisica dell'idrogel a base di alginato per perfezionarne le condizioni di stampa, l'esplorazione digitale del modello di crescita delle alghe e dei parametri della stampante, la comprensione biologica delle capacità di sopravvivenza delle alghe e la loro capacità di assorbimento dell'umidità e dell'anidride carbonica (Fig. 20). Da questa ricerca nascono molti scenari innovativi e sostenibili: immaginano un futuro in cui ramificazioni di alghe ricopriranno intere facciate di edifici, isolandoli dalle temperature esterne, guidando l'acqua piovana, purificando l'aria delle città e stabilendo nuove estetiche. Partendo da sperimentazioni simili, nel progetto "Alcyon" (2018) del gruppo di ricerca Materiability in collaborazione con Audi, i progettisti immaginano una consolle centrale per le auto del futuro, sulla quale possono crescere alcuni licheni utilizzati come bioindicatori della qualità dell'aria interna. Sempre di Materiability è anche il progetto "Responsive Manifolds" (2016), realizzato in collaborazione con l'Institute for Advanced Architecture of Catalonia. Questo progetto sviluppa muri ecocompatibili a partire da colate di argilla e batteri non nocivi che agiscono come elementi reattivi. Grazie alle possibilità computazionali e di elaborazione dei Big Data, nonché alla modellazione algoritmica di geometrie complesse e specifiche qualità superficiali (texture, rugosità, porosità), il team progetta un sistema materiale in grado di ospitare, controllare e manipolare la crescita batterica. Questi esempi fortemente interdisciplinari e orientati al futuro sono una frazione degli scenari che si aprono al design in quella che definiremo Bio-Augmented Materiality.

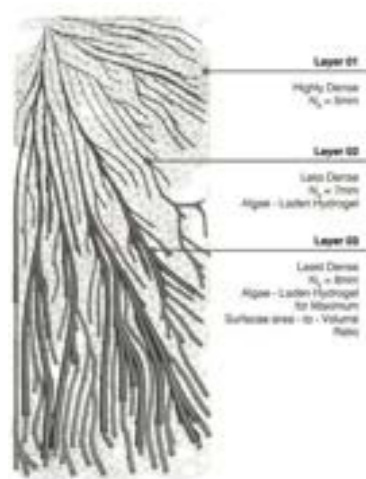


FIG. 20  
(al lato e in alto) Robotic Extrusion of Algae-Laden Hydrogels for Large-Scale Applications (Malik et al., 2019), Bartlett School of Architecture.



## Progettare la transizione verso Gaia

### Esperimento 3

Il terzo capitolo si focalizza sul rapporto tra design e nuove tecnologie, indagando come ciò stia portando ad una mutazione degli approcci e degli obiettivi del design, nonché delle modalità immaginative e generative degli artefatti. L'obiettivo è quello di concludere il capitolo evidenziando come la convergenza natura-artificio stia avvenendo da più punti di vista, esterni ed interni alla stessa disciplina e alle sue modalità operative. In particolare, ci si focalizza sulla portata ed intensità dei cambiamenti che lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha portato, modificando radicalmente il nostro modo di rapportarci alle tecnologie e generando sovrapposizioni, sincretismi, ibridazioni, che rendono difficile comprendere appieno i fenomeni ed individuare la direzione verso la quale stiamo evolvendo.

A tal proposito, viene presentata la ricerca di Reon Brand (2019) sui Futuri Co-Emergenti, attraverso il racconto del secondo step del percorso Biovision "Biovision of the Future 2. Design challenge for a sustainable and desirable

life" (Fig. 1) e la descrizione di stimoli e risultati derivanti dalla lecture a due voci portata avanti da Reon Brand e Stefano Marzano. In particolare ci si focalizza sulla co-emergenza e co-esistenza di questi flussi, di come essi stiano trasformando il nostro mondo e formando nuove narrative, di come in realtà siano guidati da forme di pensiero piuttosto che da specifici fenomeni tecnologici. Infine, come è stato anche per la lecture, l'attenzione maggiore verterà sul quarto flusso, quello di "Gaia", ovvero delle direzioni future post-antropocentriche. Verranno descritti gli assunti teorico-filosofici a cui fa riferimento; i driver sociali, economici e tecnologici ad essa relativi; nonché le modalità in cui il design può intervenire per facilitare l'orientamento dei cambiamenti futuri verso tali direzioni desiderabili.

In particolare, il nuovo modello dei "Co-emerging futures" ha l'obiettivo di mappare i flussi chiave del cambiamento in atto che stanno trasformando il nostro mondo. Con il declino della leadership e della governance

globale infatti, visioni del mondo divergenti stanno emergendo, le quali stanno formando narrative, investimenti e cooperazioni verso direzioni differenti del futuro. In particolare, il "Paradigma della conoscenza" ha portato ai cosiddetti "canali di bias" (in psicologia il "confirmation bias" è un fenomeno cognitivo per il quale le persone tendono a muoversi in un ambito delimitato dalle loro convinzioni acquisite) che, attraverso la rete e i social network, forniscono alle persone informazioni e critiche sociali basate sulla loro visione del mondo, sulle loro preferenze, facilitandone la canalizzazione in modalità di pensiero diverse. Ciascuna di queste "memes" può essere poi ricondotta ad una specifica "guiding philosophy", ovvero a filosofie di pensiero da cui derivano le idee e le credenze radicate nei nostri modi di pensare e che ci influenzano nell'interpretare la realtà e le informazioni. Reon Brand individua quattro filosofie principali: **PRE-MODERNISM**, che fa riferimento alle credenze (occidentali) pre-moderne,

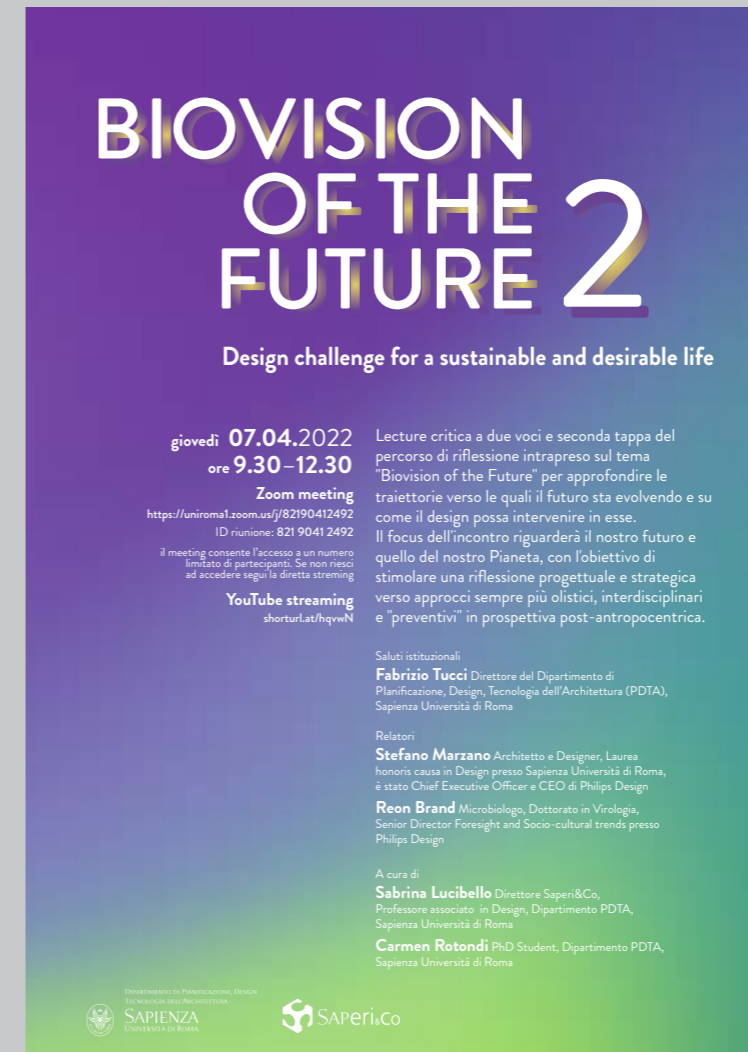


Fig. 1 – Flyer dell'evento

secondo le quali divinità e spiriti possono determinare il nostro futuro nell'aldilà; **MODERNISM**, che fa riferimento alla visione deterministica e utopica guidata dal progresso,

radicata nella scienza newtoniana e nata durante l'Illuminismo; **POST-MODERNISM** caratterizzata da relativismo e accettazione di verità multiple, in cui si afferma la "post-truth society"

(Dennett, 2018), dove qualsiasi opinione viene considerata come equamente valida; **RELATIONISM** che segue quella post-moderna e che invita ad essere riflessivi e aumentare la consapevolezza, la conoscenza e l'intuizione sulle relazioni tra i fenomeni in sistemi dinamici aperti e complessi. Quest'ultima corrente di pensiero è influenzata da diverse filosofie, come la "Object-Oriented Ontology" (Harman, 2018); dai progressi scientifici, come la teoria della relatività e la meccanica quantistica o l'"Ipotesi Gaia" (Lovelock, 1995) che nasce da studi scientifici nello Spazio. Nel Relazionismo la natura della realtà non è vista negli stessi building blocks, ma nelle relazioni dinamiche che essi hanno gli uni con gli altri, invitando ad assumere una visione olistica dei fenomeni. A partire da questa analisi "a ritroso", Reon Brand definisce dunque quattro traiettorie parallele o "Co-emerging futures" date dalle differenti correnti di pensiero che co-esistono e che vengono influenzate dalle filosofie passate e presenti. Egli poi colloca queste traiettorie all'interno del "Transformation Paradigm", che segue lo "Knowledge Paradigm" (quello dell'economia della conoscenza) e che si caratterizza come un modello socio-economico dell'ultimo decennio, nel quale il valore di business è rappresentato

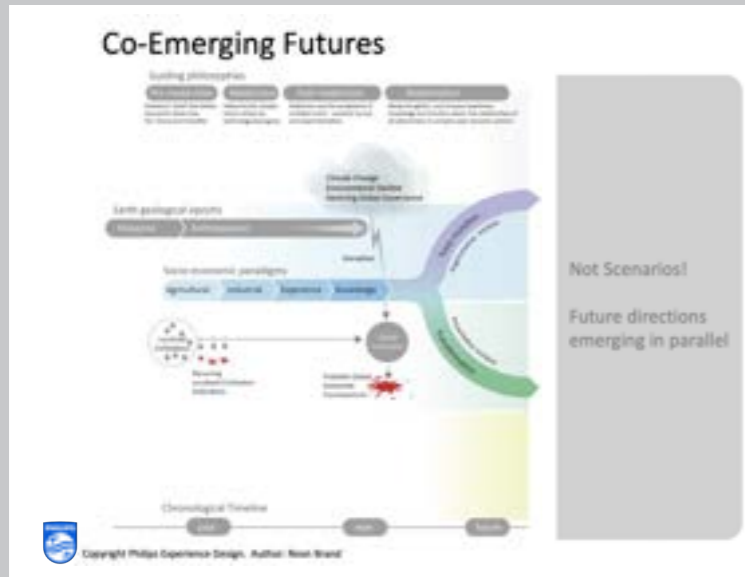


Fig.2 – Co-emerging futures, Mayor Pathways. Guidate dal relazionalismo, le due traiettorie emergenti nel Paradigma Trasformativo – amplificate dalla crisi climatica – si suddividono in due strade, a seconda che si segua una mentalità accrescitiva (Transmutation) o preventiva (Transformation). In entrambi i casi, vi è una consapevolezza maggiore dell'interrelazione tra i fenomeni e della dinamicità che caratterizza il sistema complesso in cui viviamo.

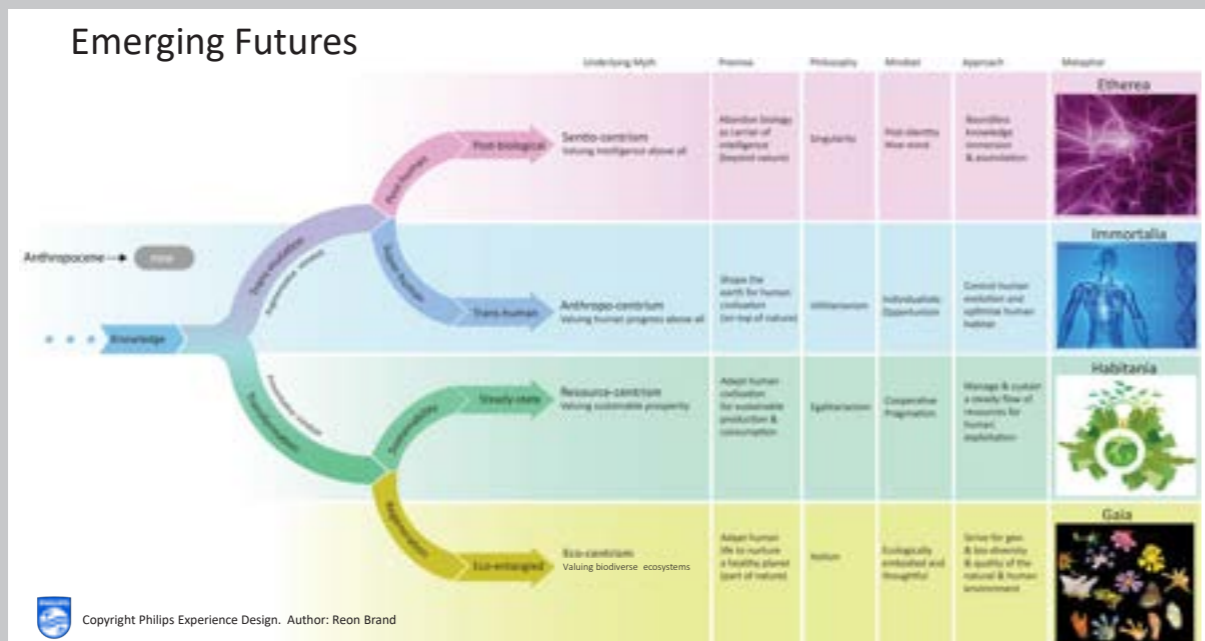


Fig.2 – Co-emerging futures. Le traiettorie coesistono nell'era dell'Antropocene.

dalla capacità di un'azienda di contribuire al superamento delle sfide globali (sociali e ambientali) attraverso la partnership con altri stakeholder e condividendone il valore creato.

Tornando alle traiettorie co-emergenti, Brand le suddivide dapprima in due macro-traiettorie distinte che, a loro volta, danno vita ad altre due strade. In particolare, le macro-traiettorie sono (Fig. 2): **TRASMUTATION DIRECTION**, seguita da persone con mentalità accrescitiva; **TRANSFORMATION DIRECTION** seguita da coloro che hanno mentalità preventiva.

Nella **TRASMUTATION DIRECTION**, gli uomini aspirano a modellare la loro stessa evoluzione e ad aumentare loro stessi e l'ambiente costruito a seconda dei propri bisogni. A sua volta essa è suddivisa quindi in (Fig. 3): **IMMORTALIA**, che si riferisce sostanzialmente al Transumanesimo e che vede l'uomo co-evolvere con le tecnologie a discapito di tutto il resto, permettendo il superamento dei suoi limiti fisici e corporei, fino a raggiungere l'immortalità; **ETHEREA**, che è invece la metafora del "Sentio-centrismo" o dei futuri "post-biologici", secondo i quali l'uomo si libererà del suo corpo e continuerà a vivere con la sua mente nell'"etere cosmico",

ossia in uno spazio virtuale, in consonanza con una più generale intelligenza collettiva e globale.

Nella **TRANSFORMATION DIRECTION** invece, vi è la convinzione che attraverso un'azione umana coordinata, la cooperazione e il cambiamento sistemico, gli uomini possano prevenire l'apocalisse del cambiamento climatico e del collasso dell'ecosistema. Essa è a sua volta suddivisa in: **HABITANIA**, in cui l'uomo mira a perseguire la sostenibilità creando uno stato stabile in cui l'uso di risorse non rinnovabili non supera determinati limiti. Questa è una visione che ragiona per input-output, causa-effetto e che quindi persegue un ideale di equilibrio, ma che è statico e come non cambia, non cresce. **GAIA**, dove invece l'uomo vede tutta la vita sul pianeta come un singolo sistema eco-aggrovigliato e persegue un futuro di rigenerazione di ecosistemi vibranti ed in salute. Si tratta dunque di una visione dinamica, che permette crescita e richiede sinergia tra uomo e ambiente.

In particolare, la visione di **GAIA** deriva da una visione post-antropocentrica, in cui l'intero ecosistema è visto come un grande aggrovigliamento di relazioni tra uomo, tecnosfera e ambiente geofisico. L'uomo quindi non è

visto al di sopra dell'ecosistema, né come sua vittima, ma come parte attiva e interconnessa che dovrebbe dunque contribuire al modellamento e all'autoregolazione dell'equilibrio dinamico del Pianeta e delle condizioni necessarie allo sviluppo della vita (Lovelock, 1972). Anche il concetto di sostenibilità cambia di conseguenza: essa non viene più vista come la riduzione dell'impatto umano sul Pianeta o come la sua abilità di conservare le risorse, ma come la capacità umana di stabilire nuove forme di cooperazione e integrazione con la natura, beneficiando da essa, ma allo stesso tempo assicurandoci che anch'essa tragga beneficio dalla nostra interazione. Ciò presuppone una riconnessione con la natura in tutti i sensi, a partire da un livello individuale fino ad arrivare agli interi ecosistemi dell'attività umana. A livello individuale, ognuno di noi dovrebbe assumere una mentalità inclusiva (post-antropocentrica, post-utilitaristica e post-materialistica), agire con più generosità e ristabilire una connessione emozionale e spirituale più profonda con la biosfera che ci circonda. A livello più generale di attività umana, dovremmo riformulare i nostri sistemi di vita, agendo con cura e orientando lo sviluppo tecnologico e socio-economico verso modelli rigenerativi in grado di



Fig.3 – Anche scienza e medicina diventano consapevoli della nostra condizione interrelata.

riallinearsi al funzionamento stesso degli ecosistemi naturali.

In particolare, Reon Brand evidenzia come anche i progressi nella scienza e nella medicina stiano facilitando la transizione verso Gaia, attraverso ricerche che ci mettono in relazione con tutto l'Universo e con l'alterità che lo caratterizza. Ne sono esempio gli studi che mostrano come un microbioma in salute sia essenziale per la salute umana (Wang et al., 2017). Ad esempio, è stato scoperto come il nervo vago connette una buona parte del nostro cervello all'intestino, attraverso

al quale riesce a comunicare direttamente con il microbioma (Underwood, 2018). Disequilibri nel microbioma così possono portare a malattie neuronali come Alzheimer o comunque a depressione, leucemia, autismo infantile ecc. Dunque per essere in salute, secondo le recenti ricerche, bisogna prima di tutto mangiare bene – il che significa consumare cibi non processati –, esporsi all'ambiente, usare e muovere il nostro corpo e stabilire un equilibrio tra igiene ed esposizione. Anche un'igiene troppo eccessiva può infatti portare all'annientamento dei micro-organismi che costituiscono

il nostro micro-bioma, portando al crollo del nostro sistema immunitario. Dunque, appare chiaro anche alla scienza, quanto una visione olistica sia fondamentale se vogliamo agire in favore di noi stessi e dell'ambiente che ci ospita (come nel caso della "medicina olistica"). Reon Brand fa molti altri esempi: chiama in causa le onde di Schuman, pulsazioni a frequenze molto basse emesse dalla terra che regolerebbero i nostri cicli circadiani; i limiti della sostenibilità definiti dal ricercatore svedese Johan Rockström, le ricerche sulle comunicazioni interspecie e

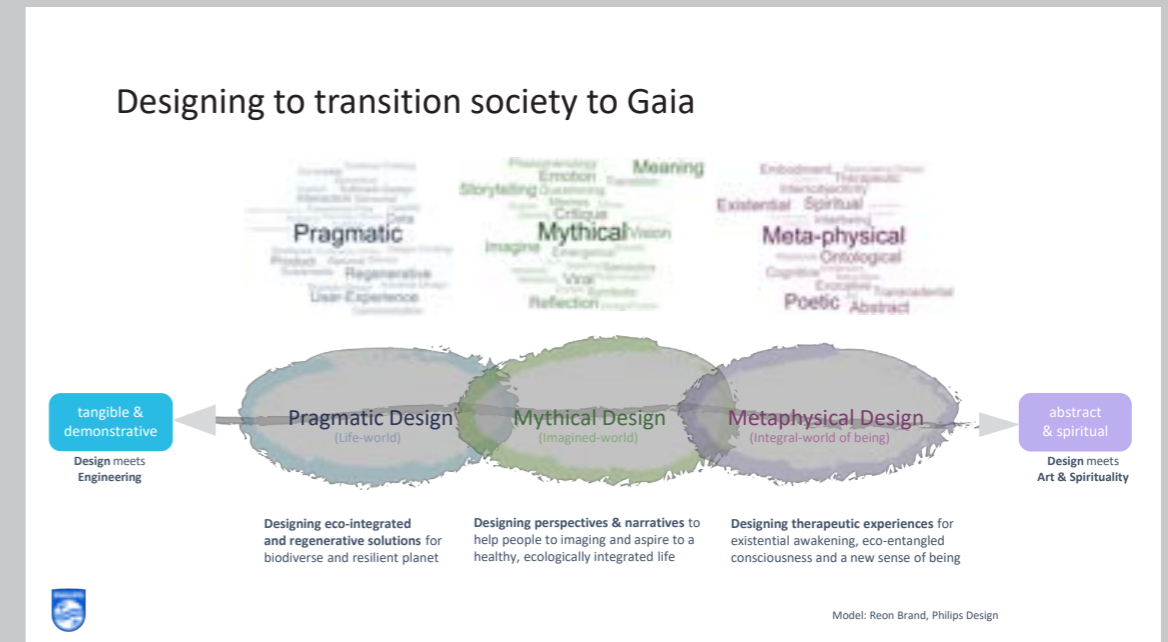


Fig.3 – Le strade per il design per una transizione sostenibile verso Gaia.

sulle facoltà umane di olfatto che abbiamo finora sottovalutato. Gaia si configura così come la mentalità più adatta a superare la precaria situazione dell'Antropocene, in cui l'attività dell'uomo è arrivata ad influire persino sulla geologia del Pianeta.

Per favorire dunque la transizione verso questo modo di pensare e vedere, secondo Reon Brand il design può agire su diverse strade (FIG. 4): **PRAGMATIC DESIGN (life-world)**, più vicino alle ingegnerie, dunque tangibile e dimostrativo nonché meno profondo. Esso mira a progettare soluzioni rigenerative

e eco-integrate per un Pianeta resiliente e biodiversificato. **MYTHICAL DESIGN (imagined-word)**, a metà via, in cui il design restituisce delle prospettive e delle narrative al fine di aiutare le persone ad immaginare e ad aspirare ad una vita salutare, e ecologicamente integrata **METAPHYSICAL DESIGN (integral-world of being)**, più vicino alle arti e alla spiritualità, dunque più profondo e astratto (anche se comunque tangibile se restituito in un prodotto), che mira a progettare "esperienze terapeutiche" per un risveglio esistenziale, per una nuova consapevolezza eco-aggregata e

per un nuovo senso dell'essere.

L'obiettivo è sempre quello di ritrovare una ri-connessione con la natura, riparando quei legami che abbiamo fin troppo reciso.



QRcode - Registrazione integrale del roundtable *Biovision of the Future2. Design challenge for a sustainable and desirable future*

## GALLERIA Verso Un'Ecologia Materiale



Nella nuova era di «alchimie biologiche, architetture informative e pratiche produttive» (Oxman, 2016), il design recupera un rapporto più profondo con le tecnologie, che diventano strumento per l'indagine critica di nuove forme di co-esistenza tra natura e artificio. In particolare, la terza galleria focalizza l'attenzione sul ritorno da parte del design alla materia e alla volontà di reinventarla attraverso l'uso di tecnologie produttive ibride e postdigitali. Nuove necessità, stimulate soprattutto dalla crisi ambientale e dalla consapevolezza che l'attività umana è in grado di influire sulla stessa fisicità del Pianeta, riportano in primo piano l'importanza del rapporto tra uomo e realtà tangibile, inerte o vivente, mentre tecnologie digitali e informazioni virtuali sono in grado di mediare questo rapporto sempre più a fondo. Il processo e il materiale diventano oggetto di ricerca, investimento e passione da parte dei designer, che reinventano anche strumenti, approcci e contesti in relazione ad essi. Per esprimere chiaramente questa tendenza, la galleria si sviluppa su alcuni principi della Material Ecology, una linea di ricerca portata avanti da più di dieci anni da Neri Oxman e dal suo Mediated Matter Group presso l'MIT di Boston e che cerca di integrare «design computazionale, fabbricazione digitale, biologia sintetica – l'ambiente e il materiale stesso, come dimensioni inseparabili e armoniche del progetto» per catalizzare «il passaggio da un design che chiede nutrimento alla natura ad un design che fa da Madre alla Natura» (Oxman, 2016).

*I principi e le relative definizioni sono tratte dai "Nine Commandments for a Material Ecology" definiti da Neri Oxman (Antonelli & Burckhardt, 2020).*



01 >

### Growth over Assembly

>  
«Nature grows things. We will be able to create objects that will respond to their users, adapt to their environment and even grow over time after they have been printed». Questo principio sposta idealmente la produzione di design da una linea di assemblaggio al *wet lab*, con un'attenzione rivolta ai processi trasformativi della materia e all'introduzione di nuovi parametri e valori, come tempo, cura, ambiente, rigore, imprevedibilità.

02 >



01 *Algae Geographies*, Studio Klarenbeek & Atelier Luma, 2019. Filamento per la stampa 3D prodotto a partire dalle alghe. Queste ultime vengono cresciute all'interno di specifici bioreattori e poi vengono processate per trasformarle in bioplastica.

02 *Synthetic Apiary*, Neri Oxman & The Mediated Matter Group (MIT), 2016-in corso. Alveari co-fabbricati dall'uomo e dalle api millifere. La struttura è stampata in 3D con cera e feromoni che guidano le api nell'accrescere le strutture in specifiche direzioni.

03 *Suzanne Lee, Biocouture*, 2012. Indumenti realizzati in nanocellulosa batterica, prodotta a partire dalla fermentazione di batteri e lieviti. 04 *Emma Van Der Leest*, 2019. Estrazione della nanocellulosa dal liquido di coltura.

05 *Urban Reef*, Pierre Oskam & Max Latour, 2021. Complesse geometrie stampate in 3D e realizzate con una miscela porosa di ceramica, scarti di caffè e spore di micelio. Interagendo con l'umidità dell'ambiente circostante, queste strutture sono in grado di accogliere la crescita di funghi e piante che ricoprono la superficie, la rafforzano e creano nuovi ecosistemi nelle città.

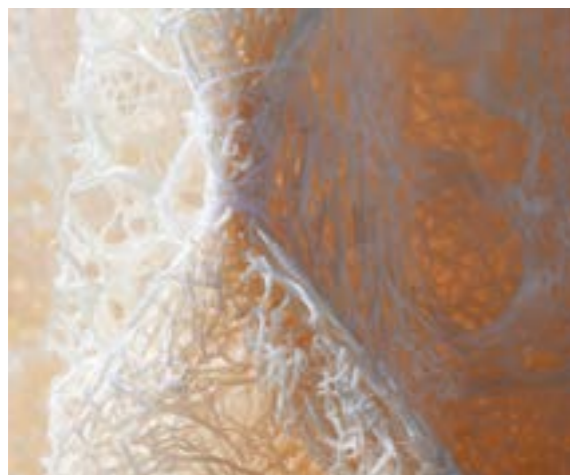
03 >



04 ^

05 >





< 01



< 02

### System over Object

>

«The product – be it a product, a wearable device, or a building – is considered part of a system of interrelations between natural and designed environments including interactions between the entity and the human body as well as the entity and its environment». La progettazione si fa più olistica e non si focalizza più solamente sul prodotto finito, ma sull'intero universo di relazioni che ruotano attorno ad esso, sia in fase di progettazione e produzione, sia in quella di consumo.

**01 02** *Probiotic Architectural Pavillion, The Living, 2021.* Padiglione realizzato con materiali organici e biorecettivi (a base di micelio) con proprietà microbiche per promuovere colonie di microorganismi utili alla salute umana.

**03** *Mind in the Machine: Psyche in the Age of Mechanical production, Ani Liu, 2017.* Il progetto indaga l'impatto della produzione tessile sulla manodopera: quando l'operaia è stressata, le sue onde cerebrali vengono registrate e la maglia diventa più ristretta.

**04** *Glass, Neri Oxman & Mediated Matter Group (MIT), 2015.* Sviluppo di una stampante 3D per il vetro. La luce ambientale diventa un parametro che, riflessa dalle morfologie computazionali, crea effetti innovativi e programmati.

**04** *Crystalized Chair, Tokujin Yoshioka, 2012.* Sistema DIY per riprodurre il fenomeno naturale della cristallizzazione.

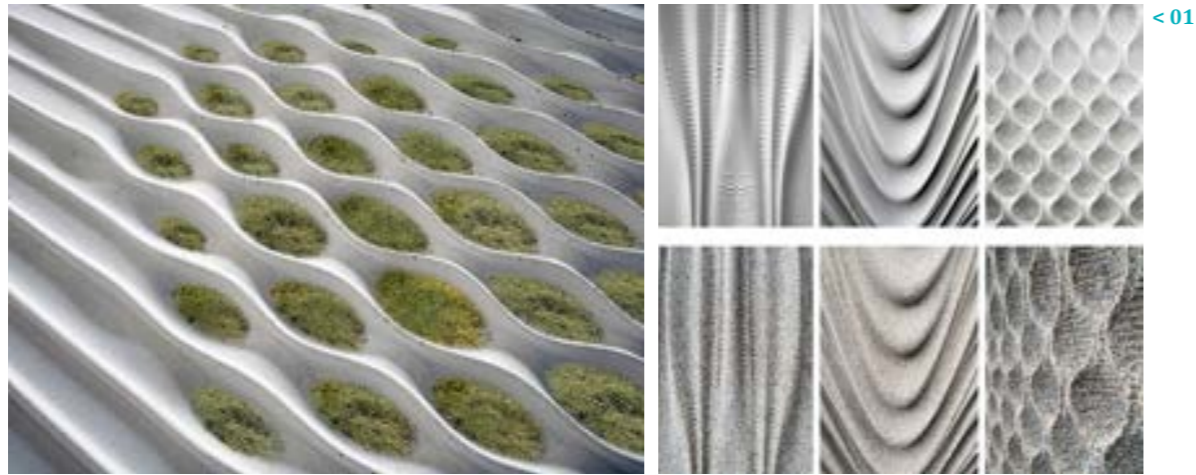
03 >



< 04

05 v





< 01



### Integration over Segregation

>  
«Human skin utilizes more or less constant material constituents for both barrier and filtering function. [In an ideal object] functions are integrated into a single material system that can at any point respond and adapt to its environment». Il nuovo linguaggio dei sistemi materici permette di articolare dinamicamente un materiale a seconda delle funzioni richieste, trasformando i progettisti da produttori di forme ad ideatori di comportamenti.

< 02

03 >



04 v

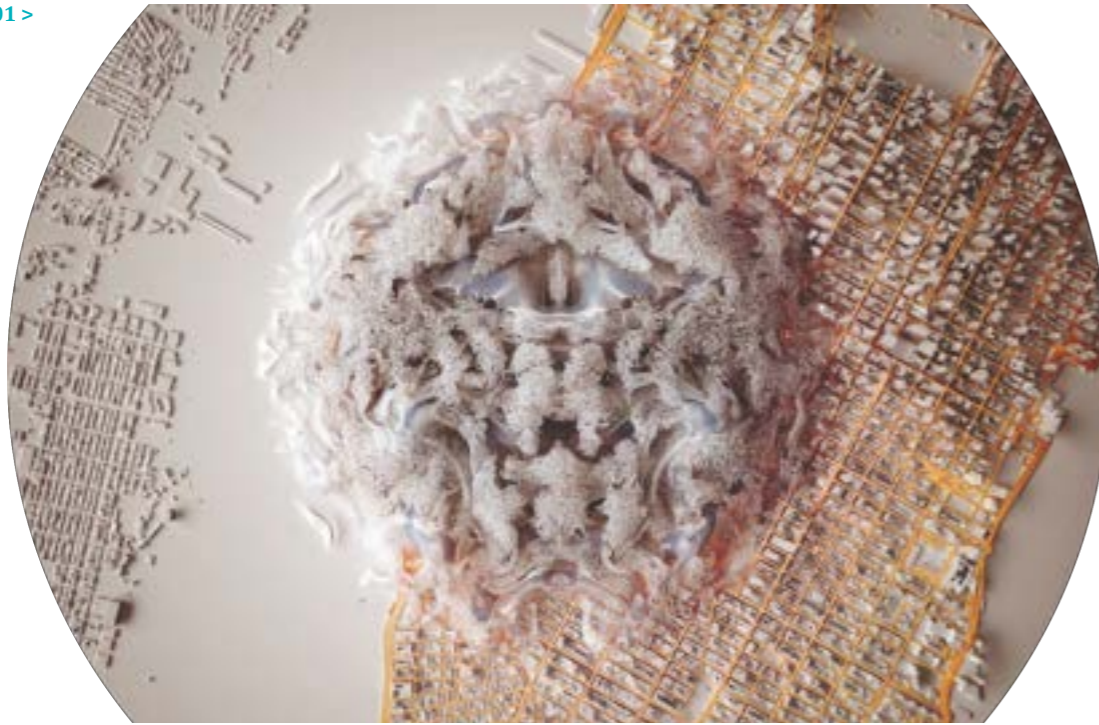


05 >

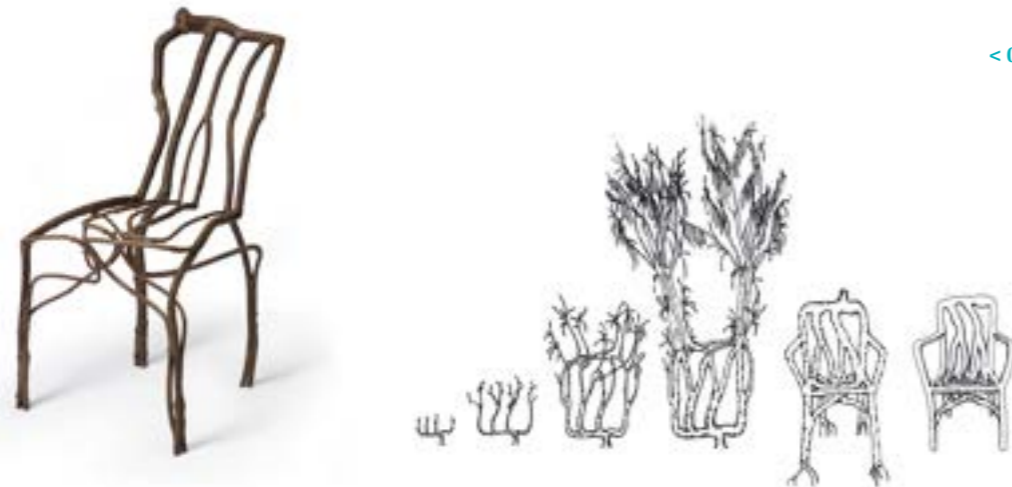


- 01** *Bioreceptive Concrete Panels*, Marcos Cruz & Richard Beckett, 2015-in corso. Superfici biorecettive realizzate in compositi cementizi. La variazione della porosità e della geometria (micro e macro) guida la crescita della materia vivente sul pannello.
- 02** *Monocoque*, Neri Oxman, 2007. Sperimentazioni di stampa 3D multimateriale che variano proprietà della materia (morbida-rigida) e geometria (tassellazione voronoi) per creare singoli componenti con proprietà variabili (resistenza, flessibilità, ecc.).
- 03** *Evolving Echinoids*, Rotondi Carmen & Eugenia Maria Canepone, 2022. Sperimentazioni di stampa 3d su tessuto elastico: la variabilità della geometria delle parti rigide stampate (ispirate alla struttura degli echinoidi) influisce sulla morfologia finale.
- 04** *Programmable Knitting*, Jane Scott, 2015. Tessuti programmabili che rispondono alle condizioni di umidità ambientale cambiando forma. Ciò è possibile grazie alla trama variabile, in grado di restringersi o distendersi lungo direzioni specifiche.
- 04** *Bio-Processing*, David Benjamin & Fernan Federici, 2011. Sperimentazioni computazionali sui pattern di crescita dello *xilema* e sulla sua variabilità strutturale per applicazioni nell'architettura e nel design, a struttura variabile e funzionalità gradiente.

01 >



< 02



03 ^

**01** *Man-Nahāta*, Neri Oxman, 2022. Focalizzandosi su Manhattan, il progetto esplora la crescita computazionale su scale materiali e urbane per delineare varie azioni che permetteranno alla città di auto-organizzarsi in un fiorente ecosistema futuro.

**02** *Growing Furniture*, Gavin Munro, 2005. Elementi di arredo prodotti da un vero e proprio processo di coltivazione che consiste nel far crescere piante rampicanti attorno a stampi che ne danno la forma, rivoluzionando il concetto stesso di industria.

**03** *Bio.Tech Hut*, EcologicStudio, 2017. Installazione di *cybergardening* che mostra i processi trasformativi della materia, l'energia e il tempo che essi richiedono, coinvolgendo la collettività a contribuire per un nuovo modello di città collaborativa e interspecie.

**04** *Maunsell Fort\_Bridging Towers*, Barbara Imhof & Petra Gruber, 2013-2015. Nuovi concept architettonici ispirati alla crescita tridimensionale dello *slime mold* e che mirano a costruire un tessuto connettivo tra le unità abitative; artificio e natura.

03 >



### Technology over Typology

>  
«Moving away from the taxonomic classification commonly found in buildings and urban places, topology – the way in which constituent parts are interrelated or arranged – is the driving force behind the design process, promoting condition-based programming as the approach for organizing spaces and making places». Le tecnologie di piattaforma sono il mezzo per posizionare il metodo scientifico e l'innovazione tecnologica come nucleo della pratica architettonica e progettuale, rivisitando tipologie consumate dal tempo.

04 >







01 >

02 >



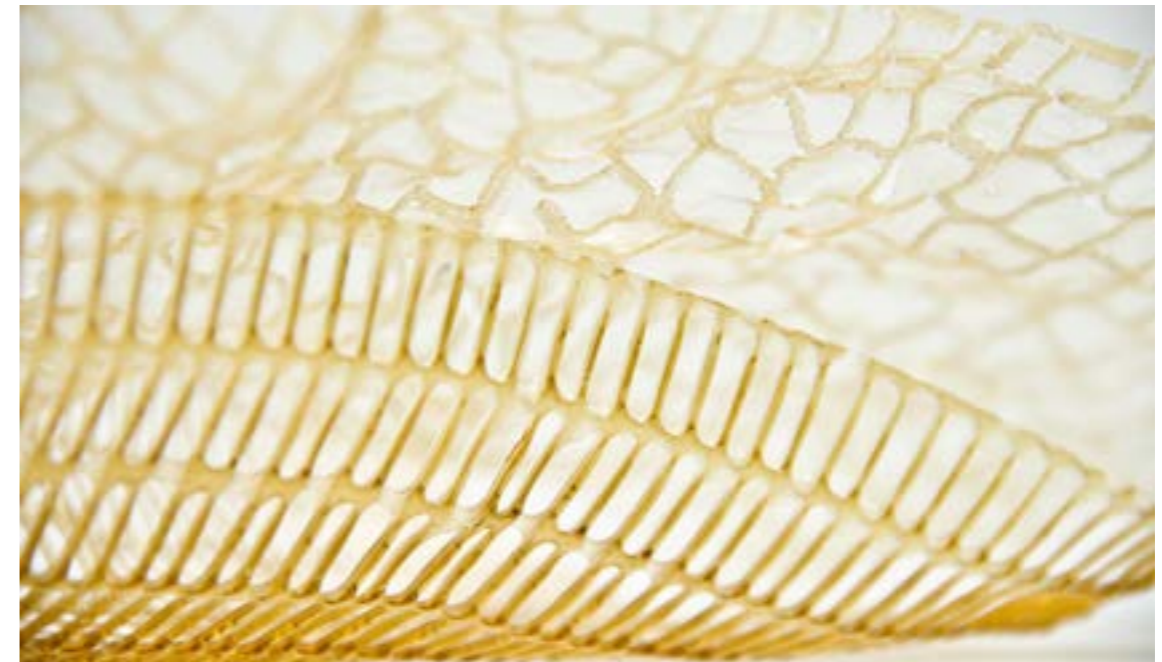
### Decay over Disposal

>  
«The Practice implements design workflows in which matter is synthesized by an ecosystem, implemented in human ecosystem, and consumed by the same ecosystem upon obsolescence [...] designed decay is the process by which matter is programmed to rejoin an ecosystem's resource cycle and fuel new growth». Attraverso la sperimentazione di nuovi materiali e processi, il design può contribuire al sistema della vita, al suo equilibrio dinamico e rigenerazione.

03 >



04 v



01 *Clothing Decay*, Martin Margiela, 1997. Collezione di vestiti sottoposti a deterioramento con batteri e lieviti. Oltre a dimostrarne la degradabilità, il fashion designer ne mostra gli effetti estetici derivanti.

02 *F-abric*, Freitag Lab, 2014. Tessuto compostabile, realizzato in fibre naturali e programmato per degradarsi in qualche mese.

03 *Algae T-shirt*, Volleback, 2019. Maglia realizzata completamente in polpa di cellulosa e alghe, in grado di degradarsi in una compostiera in tre mesi, restituendo alla terra ricchi nutrienti.

04 *Water-Based Digital Fabrication*, Neri Oxman & The Mediated Matter Group, 2018. Nuova piattaforma tecnologica per la stampa 3D di biopolimeri naturali come chitina, pectina, cellulosa ecc., per la produzione di sistemi materici a proprietà gradiente attraverso un diverso uso di acqua. Tra le proprietà dei biopolimeri naturali è quella di degradarsi completamente.

## References

- Alexenberg, M. (2011). *The Future of Art in a Postdigital Age*. Bristol Intel-lect Ltd.
- Antonelli, P. (2009, June 3). A New Map for Design. *SEED Magazine*, 2(22).
- Antonelli, P. & Burckhardt, B. (2020). *The Neri Oxman Material Ecology catalogue*. Museum of Modern Art.
- Bateson, G. (1977). *Verso un'ecologia della mente*. Adelphi. (Original version published 1972).
- Berry, D. M. (2013, October 18). Post-digital humanities. *Stunlaw*. Retrieved from: <http://stunlaw.blogspot.com/2013/10/post-digital-humanities.html>
- Bocchi, G. & Ceruti, M. (2007). *La sfida della complessità*. Mondadori.
- Bolognini, M. (2008). *Postdigitale*. Carocci.
- Bridgman, P. (1927). *The Logic of Modern Physics*. MacMillan Company.
- Carmagnola, F. (2009). *Design. La fabbrica del desiderio*. Lupetti.
- Ceruti, M. (1986). *Il vincolo e la possibilità*. Feltrinelli.
- Cisco (2019). *Internet of Everything*. Retrieved from: [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/business-insights/docs/ioe-value-index-faq.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/business-insights/docs/ioe-value-index-faq.pdf)
- Couffignal, L. (1963). *La Cybernétique*. Presses Universitaires de France Cramer, F. (2014). What is Post-Digital?, *APRJA*, 3(1), 11-24.
- Cuoghi, E. (2010). In A. Balzola (Ed.), *Arte e media. Formazione, ricerca produzione*. Scalpendi.
- Dammarco, G. (2016). Post-digitale ed ibridazione. *PostDigitalTribe*. Retrieved from: <http://www.postdigitaltribe.org/dt/wp-content/uploads/2017/05/A-1.pdf>
- De Rosnay, J. (1977). *Il Macroscopio. Verso una visione globale*. Dedalo Libri.
- Finessi, B (2014). *Autarchia, Austerità, Autoproduzione. Il design italiano oltre le crisi*. Corraini.
- Franco Berardi (2021). *E: la congiunzione*. Produzioni Nero.
- Gershenfeld, N. (2006, October 30). Unleash your creativity in a FabLab. *TED Talk* [Video]. Retrieved from: [https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiL8t nMzLr9AhX1R\\_EDHTafBugQwqsBegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ted.com%2Ftalks%2Fneil\\_gershenfeld\\_unleash\\_your\\_creativity\\_in\\_a\\_fab\\_lab&usg=AOvVaw0fhu\\_skWXClGmx0Cdc9f9](https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiL8t nMzLr9AhX1R_EDHTafBugQwqsBegQICRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ted.com%2Ftalks%2Fneil_gershenfeld_unleash_your_creativity_in_a_fab_lab&usg=AOvVaw0fhu_skWXClGmx0Cdc9f9)
- Ginsberg & Chieza (2018). Editorial: Other biological futures. *Journal of Design and Science*, 4(1).
- Goud, S. J. & Vrba, E.S. (2008). *Exaptation. Il bricolage dell'evoluzione* (T. Pievani Trans.). Bollati Boringheri.
- Guillaumaud, J. (1965). *Cybernétique et Materialisme dialectique*. Editions sociales.
- Harvey, D. (1991). *The Condition of Postmodernity: An Enquiry into the Origins of Cultural Change*. Wiley-Blackwell.
- Hensel, M. (2013). *Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design and the Built Environment*. John Wiley & Sons Inc
- Hillis, D. (2016, February 23). The Enlightenment is Dead, Long Live the Entanglement. *Journal of Design and Science*. Retrieved from: <https://jods.mitpress.mit.edu/pub/enlightenment-to-entanglement/release/1>
- Isaacson, W. (1999, March 22). The Biotech Century. *Time*. Retrieved from <http://content.time.com/time/world/article/0,8599,2054292,00.html>
- Johns, R. L. (2014). Augmented Materiality: Modelling with Material In- determinacy. In: Gramazio, F., Koheler, M. and Langenberg, S. (Eds.) *Fabricate*. GtA Verlag, pp. 216–223.
- Kelly, K. (1994). *Out of Control: The New Biology of Machine, Social System and the Economic Worlds*. Addison-Wesley.
- Kelly, K. (2010). *Quello che vuole la tecnologia* (G. Olivero, Trans.). Codice.
- Keckeis, J. (2013). *In memoriam Jean Gebser*. Retrieved from: [http://www.jean-gebser-gesellschaft.ch/Dokumente/in\\_memoriam.pdf](http://www.jean-gebser-gesellschaft.ch/Dokumente/in_memoriam.pdf)
- La Rocca, F. & Lucibello, S. (2015). *Innovazione e utopia nel design italiano*. Rdesignpress.
- Langella, C. & Santulli, C. (2017). Processi di crescita biologica e Design Parametrico. *MD Journal*, 3, pp. 14–27.
- Latour, B. (2009). A cautious Prometheus? A few steps toward a philosophy of design. In J. Glynne, F. Hackney & V. Minton (Eds.), *Networks of Design. Proceedings of the 2008 Annual International Conference of the Design History Society* (pp. 2-10). Universal-Publishers.
- Levy, P. (1996). *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*. Feltrinelli.
- Lunghi, C. (2018, April 6). Questo è un momento fantastico per essere uno studente di design. E Alice Rawsthorn sa il perchè. *Elle Decor*. Retrieved from: <https://www.elledecor.com/it/people/a20536612/alice-rawsthorn-intervista-salone-del-mobile-2018-design/>
- Malakucz, V. (2019). Design e Ready Made nell'era digitale. *DIID*, 62/63, 35-43.
- Malik, S., et al. (2019). Robotic Extrusion of Algae-Laden Hydrogels for LargeScale Applications. *Global Challenges*, 4.
- Maynard Smith, J. & Szathmary, E. (1997). *The Major Transitions in Evolution*. Oxford University Press.
- Mann, S., & Picard, R. W. (1995). On being 'undigital' with digital cameras: extending dynamic range by combining differently exposed pictures. In *Proceedings of Information Systems & Technology (IS&T)*, 442-448.
- Manzini, E. & Jégou, E. (2003). *Quotidiano sostenibile. Scenari di vita urbana*. Edizione Ambiente.
- Massarenti, A. (2012, April 15). Per un umanesimo planetario. *Il sole 24 ore*. [https://st.ilsole24ore.com/art/cultura/2012-04-15/umanesimo-planetario-081540\\_PRN.shtml](https://st.ilsole24ore.com/art/cultura/2012-04-15/umanesimo-planetario-081540_PRN.shtml)
- Mazini, E. (2015). *Design when Everybody Designs: An introduction to Design for Social Innovation*. MITPress.
- Menges, A. (2011). Sistemi semplici – Capacità complesse. Processi integrativi di morfogenesi computazionale in architettura. *Techné*, 2, 16-20.
- Morin, E. (2007). Le vie della complessità. In Bocchi, G. & Ceruti, M. (Eds.), *La sfida della complessità*. Mondadori.
- Morin, E. (2011). *La via. Per l'avvenire dell'umanità* (S. Lazzari, Trans.). Cortina Raffaello.
- Myers, W. (2012). *Bio Design: Nature, Science, Creativity*. Thames&Hudson
- Naess, A. (1973). The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movements. *Inquiry*, 16, 95-100.
- Negroponte, N. (1973). *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*. MITPress.
- Negroponte, N. (1998, December 1). Beyond Digital. *Wired*. Retrieved from: <https://www.wired.com/1998/12/>

negroponte-55/

Olivares, J. (2012, December 17). Generazione D2C *Domus*. Retrieved from: <https://www.domusweb.it/it/design/2012/12/17/generazione-d2c.html>

Openshaw, J. (2015). Postdigital Artisans. *Craftsmanship with a New Aesthetic in Fashion, Art, Design and Architecture*. Frame Pub.

Oxman, R. (2008). Performance-Based Design: Current Practices and Research Issues. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 3-4.

Oxman, N. (2016, January 13). Age of Entanglement. *Journal of Design and Science*. Retrieved from <https://doi.org/10.21428/7e0583ad>

Perriccioli, M. (2020). L'alleanza tra ecologia e cibernetica per una nuova scienza del progetto. *Technè*, 21, 88-93.

Philips design (1996). *Vision of the Future. Let's make things better*. Philips Design

Pold, S., Rieck S., Rowson, R. & Wohlfeil, N. (2014). *Hybrid Bookwork: Empire Soft-Skinned Space*. List Discussion.

Prigogine, I. & Stengers, I. (1981). *La nuova alleanza, Metamorfosi della scienza*. Einaudi.

Prigogine, I. (2014). *La fine delle certezze. Il tempo, il caos e le leggi della natura* (s. Libero, Trans.). Bollati Boringhieri.

Razzaque, M.A., Dobson, S. and Delaney, K. (2013). Augmented Materials: Spatially Embodied Sensor Networks. *International Journal of Communication Networks and Distributed Systems*, 11, pp. 453-447.

Rawsthorn, A. (2018). *Design as an Attitude*. Jrp Ringier Kunstverlag Ag

Ritter, A. (2006). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Birkhäuser.

Rotondi, C. (2019). Biovisioni del Futuro. Tra sparizione dei confini e bio-intelligenza. *DIID*, 62/63, 119-125.

Scarpitti, C. (2020). *Oggetti Pensiero. Storie di design, organismi e nature postdigitali*. Lettera Ventidue.

Schrödinger, E. (1995). *Che cos'è la vita* (M. Ageno, Trans.). Adelphi.

Schwab, K. (2016). *La quarta rivoluzione industriale* (ADAPT, Trans.). Milano: Franco Angeli.

Scwab, K. (2018, May 25). The Fourth Industrial Revolution. *Encyclopaedia Britannica*. Retrieved from <https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>

Sennett, R. (2008). *L'uomo artigiano*. Feltrinelli.

Tibbits, S. (2017). *Active Matter*. Cambridge: The MIT Press.

Venter, C. & Cohen, D. (2004). The Century of Biology. *New Perspective Quarterly*, 21 (4), 73-77. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5842.2004.00701.x>

Vernadsky, V. & de Chardin, T. (2010). *Noosphere: Vladimir Vernadsky, Teilhard de Chardin, Theory of Mind, Biosphere, Earth's Atmosphere, Sphere*. Betascript Publishing

Schmitt, O. H. (1960). Where are we and where are we going? *Paper presented at Bionic Symposium. Living prototypes*. Dayton: US Air Force Office of Scientific Research (AFOSR).

Wiener, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and Machine*. MIT Press.



FIG. Raycounting, Neri Oxman, 2007. Materializzazioni della luce.

## CAPITOLO 4 FOCUS: La Biorivoluzione

### ABSTRACT (INGLESE)

*The fourth chapter aims to conclude the first part by describing the technological macro-trends that are prefiguring the Biorevolution scenario today. Suppose we have described the nature-artifice convergence and how this influences the design culture on several fronts. In that case, leaving the pure design sphere and carrying out more in-depth considerations on the technologies repeatedly mentioned in the previous chapters is also necessary. Indeed, in the age of techno-science, the political-cultural role of imagining technological futures is held by the sciences and engineers who develop frontier technologies, which, in turn, direct changes in the economy, production and research. Being fully aware of the technological drivers that characterize our times means being aware of current and future global transitions impacting organizations and society towards proactive rather than reactive approaches. The chapter will therefore present the technological macro-trends that are leading to the Bio Revolution through a careful collection of considerations already carried out by essential organizations and newspapers dealing with emerging technologies, including the McKinsey Global Institute, the World Economic Forum, the Singularity University and the Scientific American Journal, extrapolating a shared vision (4.1 Technological macro-trends of the Biorevolution). We will then discuss the transformative potential of the technologies described, how they will influence the systems currently in force, our lives and physical contexts, and the application sectors towards which the greatest hopes are directed (4.2 The transformative potential of the Biorevolution). Finally, «new biological capabilities carry profound and unique risks that require serious and ongoing debate, prevention and risk mitigation» (McKinsey, 2020, p. vii). The major one is given by the fact that biological systems are self-sufficient, self-replicating and interconnected, with potentially cascading and long-lasting effects on entire ecosystems or species; but privacy issues relating to new forms of biological data are not excluded; the difficult cooperation as a result of competitive and commercial incentives; or complications arising from differing jurisdictional or cultural values (4.3 Unique Risks, Debate and Mitigation).*

### ABSTRACT

Il quarto capitolo di approfondimento ha lo scopo di concludere la prima parte con la descrizione dei macro-trend tecnologici che stanno prefigurando oggi lo scenario della Biorivoluzione. Se finora infatti abbiamo descritto la convergenza natura-artificio e come questa stia influenzando la cultura del progetto su più fronti, risulta doveroso anche uscire dall'ambito prettamente progettuale e svolgere delle considerazioni più approfondite sulle tecnologie più volte citate nei capitoli precedenti. Nell'era della tecno-scienza infatti, il ruolo politico-culturale di immaginare futuri tecnologici è detenuto dalle scienze e dalle ingegnerie che sviluppano tecnologie di frontiera e che, a loro volta, direzionano i cambiamenti nell'economia, nella produzione e nella ricerca. Essere a piena conoscenza dei driver tecnologici che caratterizzano il nostro tempo, significa avere consapevolezza delle transizioni in atto e future, del loro impatto sulle organizzazioni e sulla società a livello globale, verso approcci proattivi piuttosto che reattivi.

Il capitolo dunque presenterà i macro-trend tecnologici che stanno portando alla Bio Rivoluzione, attraverso un'attenta raccolta di considerazioni già svolte da importanti organizzazioni e testate giornalistiche che si occupano di tecnologie emergenti, tra cui il McKinsey Global Institute, il World Economic Forum, la Singularity University e lo Scientific American Journal, estrapolandone una visione condivisa (4.1 Macro-trend tecnologici della Biorivoluzione). Discuteremo successivamente sulle potenzialità trasformative delle tecnologie descritte, su come esse influenzeranno i sistemi attualmente vigenti, le nostre vite e i contesti fisici, nonché i settori applicativi verso i quali vertono le maggiori speranze (4.2 Le potenzialità trasformative della Biorivoluzione). Infine, «le nuove capacità biologiche comportano rischi profondi e unici che richiedono un dibattito serio e continuo, prevenzione e mitigazione dei rischi» (McKinsey, 2020, p. vii). Il maggiore è dato dal fatto che i sistemi biologici sono autosufficienti, autoreplicanti e interconnessi, con effetti potenzialmente a cascata e di lunga durata su interi ecosistemi o specie; ma non sono esclusi problemi di privacy relativi alle nuove forme di dati biologici; la difficile cooperazione a seguito di incentivi competitivi e commerciali; oppure le complicazioni dovute dalla diversità di valori giurisdizionali o culturali (4.3 Rischi unici, dibattito e mitigazione).

## 4.1 Macro-trend tecnologici della Biorivoluzione

«Inizi la giornata con una colazione pre-allenamento a base di uova sintetiche e pancetta coltivata in laboratorio, una dieta su misura per le tue esigenze genetiche. Ti vesti con una tuta biosintetica realizzata con fibre che possono autoripararsi. Guidi in palestra in un'auto che utilizza biocarburanti prodotti da microbi ingegnerizzati utilizzando la biologia sintetica. Dopo un allenamento, applichi una crema viso anti-tumori su misura per la predisposizione genetica della tua pelle. Al lavoro, indossi una cuffia audio che misura i livelli di stress dalle onde cerebrali e suggerisce modi per alleviarli in tempo reale. Questo è un giorno non così lontano nella vita della Bio Rivoluzione ora in corso. [...] ciò che fino a poco tempo fa poteva essere letto come una pagina di un romanzo di fantascienza, ora sta diventando realtà» (Chui, Evers & Zheng, 2020, p.1).

Così il McKinsey Global Institute (una delle più importanti multinazionali di consulenza strategica al mondo) presenta la Bio Rivoluzione quale prossima ondata di avanzamenti tecnologici che, alimentata dalle scoperte nelle scienze biologiche e dalla confluenza di progressi esponenziali nell'analisi dei dati, nella digitalizzazione e nell'automazione, modificherà radicalmente il modo di produrre le cose, di curarci, di nutrirci, i modelli di business e le catene del valore (2020a).

Nel prossimo decennio inoltre, secondo il futurista e imprenditore (fautore del transumanesimo) Peter Diamandis, assisteremo ad un'accelerazione senza precedenti, sperimentando più progressi tecnologici rispetto agli ultimi cento anni messi insieme e assistendo ad un'amplificazione di queste trasformazioni data la loro natura sistemica (2020). La gestione di questa transizione inizia quindi dalla consapevolezza dei cambiamenti in corso e futuri, del loro impatto sulle organizzazioni e sulla società a livello globale, verso approcci proattivi piuttosto che reattivi.

Tuttavia, come ben sappiamo, l'innovazione è un complesso processo sociale le cui dinamiche non devono essere date per scontate. Nell'analizzare le innovazioni tecnologiche che hanno il potere di cambiare il mondo, è importante prestare attenzione a come ga-

rantire che queste continuino ad essere realizzate e utilizzate nel miglior modo possibile (Scwab, 2016). Ciò è particolarmente rilevante nel momento in cui si parla di manipolare, modificare e riprogettare la biologia. La sua natura autosufficiente, autoreplicante e interconnessa, ci invita ad un dibattito serio e sostenuto sui rischi e sulle questioni etiche, andando ad influire sulla (finora) naturale evoluzione del nostro Pianeta (Ginsberg & Chieza, 2018).

È importante dunque elaborare una panoramica dei trend tecnologici che alimentano la Bio Rivoluzione, su come essi influenzano l'economia, la produzione e la ricerca, ma anche sui rischi e sulle incertezze sociali e normative su cui riflettere. Ciò attraverso un'attenta raccolta di considerazioni già svolte da importanti organizzazioni e testate giornalistiche che si occupano di tecnologie emergenti, tra cui il McKinsey Global Institute, il World Economic Forum, la Singularity University e lo Scientific America Journal, estrapolandone una visione condivisa. L'impostazione segue quella definita da Klaus Swab nel delineare la Quarta Rivoluzione Industriale, suddividendo le trasformazioni nei tre domini del fisico, del digitale e del biologico, quali dimensioni strettamente interrelate e i cui progressi vanno a mutuo vantaggio delle diverse innovazioni tecnologiche (2016). In particolare, per ciascun dominio verranno definiti alcuni macro-trend, a loro volta caratterizzati da specifiche tecnologie. Alla fine, ci focalizzeremo sulla Bio Rivoluzione, sulla sua portata e il ritmo di crescita previsto nei prossimi decenni, sui settori maggiormente influenzati, nonché sui vantaggi – che potrebbero essere molto significativi – e sulle conseguenze – disastrose, se non gestite correttamente.

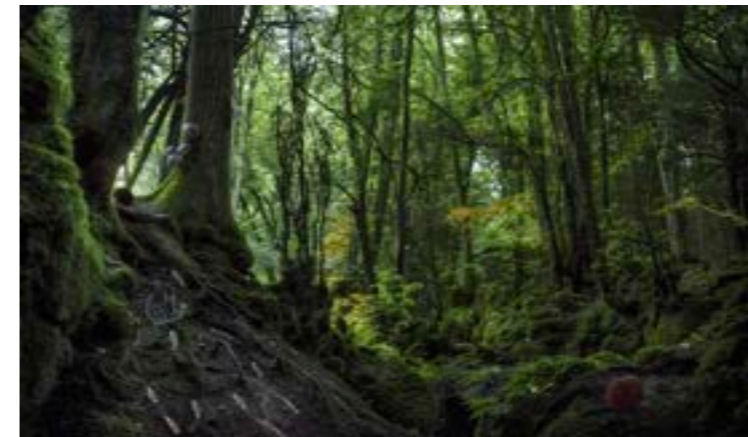


FIG. 1

*Designing for the Sixth Extinction (2013). Mentre gli ambientalisti lottano per proteggere le specie "naturali" e per invertire gli effetti dell'Antropocene, i biologi sintetici sono impegnati a progettare nuovi organismi a "beneficio dell'umanità". L'artista e designer Alessandra Daisy Ginsberg, parte da questo presupposto ed immagina come potrebbe essere un potenziale futuro biosintetico in cui organismi sintetici possono invece contribuire a "rinselvaticare" la natura a seguito della sesta estinzione di massa.*

In particolare, il XXI secolo è da molti definito come il “secolo della biotecnologia”, ad indicare come le tecnologie di manipolazione del vivente avrebbero visto il sorpasso su fisica e chimica (Isaacson, 1999; Dyson, 2007; New Directions, 2010). Tuttavia, come dimostreremo in seguito, la moderna biotecnologia è oggi totalmente dipendente dai computer e dalle tecnologie dell’informazione, frutti dell’era della fisica e del digitale. L’espressione “secolo della biotecnologia” può essere dunque vista più come una dichiarazione di intento progettuale oltre che come una previsione di uno sviluppo tecnologico emergente (Gruskin, 2020): l’affermazione implica un progetto scientifico per l’intera civiltà, progetto destinato sia al mondo progettato dall’uomo e di conseguenza – per necessità – anche al mondo naturale, verso un’ecologia bi-materica (Oxman, 2016). Per tali ragioni, risulta più appropriato parlare di “Bio Rivoluzione” piuttosto che di “Rivoluzione Biotecnologica”, in cui sono le interrelazioni tra le tre dimensioni della nostra realtà (fisica, digitale e biologica) e tra i macro-agenti dell’ecosistema (natura, uomo, artificio) ad evolvere verso un inevitabile modello biologico. Comprendere quindi gli attuali sviluppi tecnologici, come essi interagiscono tra loro e si nutrono a vicenda, risulta fondamentale per assumere consapevolezza della complessità a cui ci troviamo di fronte e della necessità di ri-progettare i nostri modelli di vita in prospettiva naturocentrica piuttosto che antropocentrica.

#### SFERA FISICA

**Macro-trend 1 – A.I.fication:** Il primo macro-trend, degno di nota per la sua pervasività, è sicuramente quello dell’“A.I.fication”, vale a dire la tendenza che porterà il mondo ad essere popolato da artefatti tecnologici (materiali e immateriali) complessi, capaci di espletare veri e propri comportamenti più che prestazioni e di potenziare – ma allo stesso tempo sostituire l’uomo – nell’intelligere e nell’interagire con il mondo. L’uso dell’Intelligenza Artificiale (IA) è già oggi molto diffuso e sta velocemente cambiando le nostre vite. L’Automatic Speech Recognition (ASP) ad esempio, un sistema di IA in grado di riconoscere il linguaggio orale umano e successivamente di elaborarlo e tramutarlo in azione con il Natural Language Understanding, è alla base dei diffusi chatbot e assistenti virtuali. I sistemi NLP (Natural Language Processing) in grado di elaborare le lingue umane in testi scritti, sono alla base di correttori ortografici e sistemi di traduzione automatici o addirittura di “generatori di

linguaggio”, come il sistema GPT-3 dell’azienda OpenAI (2020), in grado di scrivere articoli e saggi in totale autonomia. La Computer Vision invece, tenta di riprodurre la visione umana e a partire da immagini singole o in sequenza (video) è in grado di riconoscere oggetti, persone o animali, nonché di estrarre informazioni utili per la loro elaborazione a livelli sempre più alti di astrazione e comprensione. Ne sono esempio i sistemi di riconoscimento facciale o di smart surveillance in grado di tracciare i valori biometrici, oppure i sistemi di monitoraggio dei prodotti o degli asset industriali in ottica di manutenzione predittiva, intervenendo in anticipo su possibili guasti o malfunzionamenti. Si aggiungono a questa lista veicoli autonomi, robot adattivi, forme di apprendimento automatico e di accesso automatizzato alle informazioni che permettono a macchine e computer “intelligenti” di programmare e ricercare soluzioni ottimali autonomamente (Osservatorio Digital Innovation, 2022). Oggi tuttavia, l’aumento esponenziale della capacità di elaborazione dei dispositivi (approfondito nel macro-trend “Next-generation computing” – sfera digitale) e di analisi in real-time di enormi quantità di dati e di qualsiasi forma, ha permesso a questa disciplina di estendere il suo impatto e le sue potenzialità, moltiplicandone gli ambiti applicativi e modificando radicalmente le interazioni uomo-macchina. Quest’ultime nel futuro, diventeranno sempre più sfumate, fluide e personalizzate, poiché i sistemi di IA impareranno ad adattarsi alle personalità e agli obiettivi individuali (AI100, 2021) potenziando il livello successivo di automazione, sia per i consumatori che per i produttori. L’uso dell’IA consentirà nuove applicazioni (come cicli di sviluppo più rapidi e informazioni dettagliate sui clienti) ma eliminerà il fabbisogno di manodopera per attività ripetitive (come archiviazione, preparazione dei documenti, indicizzazione); aumenterà la produzione e ridurrà i costi operativi (grazie ad interazioni più efficienti con le macchine), mentre supporterà la portata globale di servizi e talenti altamente specializzati (ad es. la telemedicina).

Inoltre, la combinazione di algoritmi di riconoscimento vocale, testo o immagine, con sensori sempre più miniaturizzati e performanti o con l’interconnessione tra dispositivi (IoT – Internet of Things), creeranno nel prossimo futuro quello che molti esperti di tecnologia chiamano “Intelligenza ambientale” (AmI or Ambient Intelligence) in cui i dispositivi di cui facciamo uso occuperanno uno spazio sempre maggiore nel nostro ecosistema personale, ascoltandoci, anticipando i nostri bisogni e fornendo supporto laddove necessario,

anche se non espressamente richiesto. Questo concetto, che in un certo senso è estensione alla sfera fisica di quello che già accade nel digitale (web e social network), in cui i contenuti vengono filtrati da breadcrumbs e bias cognitivi, immagina un futuro in cui gli ambienti cambiano le proprie caratteristiche con la nostra semplice presenza e in base ai nostri desideri, attingendo anche alle informazioni personali raccolte in remoto e processate dall'Intelligenza Artificiale (CORDIS, 2006). La tecnologia ambientale non sarà semplicemente in grado di rispondere a comandi vocali o tattili, ma sarà sensibile ai nostri movimenti, sguardo, postura, linguaggio del corpo, biometria del calore e sfumature del nostro tono di voce (Cobb et al., 2021), naturalizzando la nostra esperienza dell'ambiente e gestendo la nostra vita con più controllo, con vantaggi anche dal punto di vista ambientale (Palumbo, 2021).

Infine, la tecnologia alla base dei progressi più visibili nell'Intelligenza Artificiale è il Machine Learning (apprendimento automatico), in particolare il Deep Learning e l'"apprendimento per rinforzo" basato su dati e risorse informatiche su larga scala (AI100, 2021). Applicando il Deep Learning, non avremo "semplicemente" delle macchine in grado di risolvere autonomamente compiti specifici, ma sistemi capaci di comportarsi in maniera del tutto autonoma a prescindere dal contesto e dal compito che gli viene assegnato, classificando autonomamente i dati e strutturandoli gerarchicamente, nonché migliorando le proprie prestazioni con l'apprendimento continuo (esattamente come farebbe una mente umana). Con il Deep Learning dunque, l'IA sarà in grado di sviluppare una coscienza autonoma e un'intelligenza generale per assolvere a compiti più ambiziosi, come ad esempio lo sviluppo di modelli generativi e simulazioni di prossima generazione per il miglioramento dei processi e della ricerca. Sistemi predittivi basati su Deep Learning sono utili ad esempio nella ricerca farmaceutica, andando a prevenire come la struttura di una molecola si sviluppa nello spazio tridimensionale, rilevante per comprendere in che modo questa si legherà alla proteina bersaglio (Zewe, 2021). La Generative AI è in grado di produrre dati sintetici e di supportare le capacità e le attività creative dell'essere umano, trasformando i processi e gli output dell'industria multimediale, della sanità, del mondo dell'arte e del design (Gartner, 2022). Nella bioinformatica, il Deep Learning è utilizzato per descrivere dal punto di vista numerico e statistico determinati fenomeni biologici come le sequenze di geni, la composizione e la struttura delle proteine, i processi biochimici nelle cellule: l'algo-

ritmo DeepVariant ad esempio, traduce le informazioni genomiche in rappresentazioni simili a immagini (poi analizzate proprio come immagini) che riducono drasticamente i margini di errore e nel futuro potrebbero assolvere a diversi compiti come aiutare i ricercatori a stratificare i tipi di malattie, capire le sottopopolazioni patologiche, trovare trattamenti e abbinarli ai pazienti in base ai test clinici e alla terapia.

Dunque, le potenzialità dell'Intelligenza Artificiale sono molte e promettono di trasformare in meglio la nostra vita e l'ambiente costruito, con conseguenti benefici per l'intero ecosistema data la natura olistica delle applicazioni. Tuttavia a tanti benefici, corrispondono altrettante conseguenze indesiderate difficili da gestire. Privacy, identità, sicurezza, fiducia, e divario digitale sono aree che potrebbero essere messe a rischio dall'IA. Basti pensare ai deepfake (dati sintetici capaci di emulare in maniera estremamente credibile immagini e audio che in realtà non esistono) spesso sovrapposti a video ed immagini originali, creando contenuti falsi e in grado di minare la dignità stessa di una persona.

**Macro-trend 2 - Advanced Robotics:** Grazie agli avanzamenti nell'Intelligenza Artificiale e nell'interazione uomo-macchina, ai progressi nelle reti e nelle telecomunicazioni (macro-trend Future Connectivity - sfera digitale), allo sviluppo di nuovi materiali e all'elettronica di ultima generazione, la Robotica è oggi una scienza in forte espansione, capace di declinarsi in applicazioni trasversali a quasi tutti i settori dell'attività umana. I Robot, che possiamo generalizzare in sistemi cyber-fisici in grado di eseguire automaticamente e autonomamente funzioni più o meno complesse, oggi assumono diverse dimensioni (dai grandi bracci robotici per l'industria, ai micro e nano robot per la diagnostica e la prevenzione) e diverse consistenze (hard e soft robotics); sono in grado di interagire con l'uomo (cobot) e tra di loro (cloud robotics e swarm robotics); possono migliorarsi da soli (robotica adattiva) o addirittura auto-assemblarsi (come nel caso delle strutture dispiegabili).

Inoltre, l'ingegneria robotica (segmento dell'ingegneria meccatronica che si occupa di progettazione, costruzione e implementazione dei robot e dei loro sistemi di controllo) non è più "limitata" alla creazione di robot dai molteplici utilizzi (industriali, medico-chirurgici, educativi, assistenziali, ludici) ma estende il suo intervento all'automazione di macchine industriali, alla messa a punto di particolari dispositivi elettrodomestici e di componentistica per autoveicoli.

Uno dei settori in cui la robotica diventa sempre più influente, è ad esempio quello dell'agricoltura di precisione o smart agriculture, in cui droni, robot mobili e trattori autonomi promettono a questo settore di raggiungere un mercato di 22 miliardi di dollari entro il 2025 (rispetto ai 13,8 odierni), affrontando anche sfide importanti come la sostenibilità ambientale e il crescente fabbisogno mondiale di cibo (Signorelli, 2020). Protagonista indiscusso è il drone agricolo, che in futuro diventerà sempre più accessibile e dotato di avanzate tecnologie: sensori termici, software di analisi dei big data, image analytics, ecc. Queste permetteranno la raccolta di informazioni e immagini di ogni singola area o diversa tipologia di coltura presente nei campi che, inviate ad un'unità centrale di Intelligenza Artificiale, ne restituiscono l'analisi sullo stato di salute delle coltivazioni, l'ottimizzazione del consumo delle risorse (es. acqua), l'individuazione di segnali di stress o di malattie, o la pianificazione delle attività per una maggiore resa. Ad esempio, il progetto europeo 'Swarm Robotics for Agricultural Applications' (SAGA), coordinato dall'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istc-Cnr), sta testando sciami di droni in grado di individuare agenti e piante infestati attraverso la visione artificiale e di rilasciare piccole quantità di pesticidi solo nell'area interessata. Muovendosi a terra invece, l'estirpatore di erbacce prodotto dalla Carbon Robotics cerca di limitare l'uso di diserbanti (dannosi per i consumatori e per il terreno) incenerendo con un laser ogni filo d'erba fuori posto. Nelle serre o nei grandi impianti al chiuso, la start-up Iron Ox si è specializzata nell'utilizzo di bracci robotici per la raccolta di lattuga in vasche idroponiche, che grazie all'IA sono anche capaci di rilevare attacchi parassitari e malattie prima che prendano piede. Il risultato è la possibilità di coltivare lattuga in mezzo ettaro di terreno (quando in genere ne sono richiesti 12). La start-up statunitense Dropcopter sta sperimentando nuovi droni per impollinare le piante, in grado di individuare i fiori e agire proprio come uno sciame di api (Moriarty, 2018), mentre il sistema dell'italiana Blue Tentacles riceve dai robot dati su umidità, temperatura, clima, previsioni meteorologiche e satellitari per aiutare gli agricoltori a migliorare la loro irrigazione, risparmiando acqua ed energia (Jain, 2019).

Nel futuro inoltre i robot avranno un'interazione sempre più integrata con e nel nostro corpo. Il connubio robotica-neuroscienze ad esempio, permetterà lo sviluppo di esoscheletri (o wearable robot) morbidi, indossabili come capi di abbigliamento e in grado di inter-

pretare le intenzioni di movimento di chi le utilizza, aiutando pazienti in carrozzina a "camminare di nuovo" (Cheng et al., 2020). Nella robotica industriale, le architetture robotiche indossabili consentiranno ai lavoratori di sollevare e trasportare grosse quantità di materiali senza rischi per l'apparato scheletrico, mentre nella Robotic Assisted Surgery, sonde endoscopiche di nuova generazione ispirate alle piante rampicanti, saranno morbide e capaci di penetrare i delicati organi umani per assistere un intervento chirurgico o un esame endoscopico (Cozzi, 2021). Nell'ambito biomedico, in particolare nel drug delivery, sciami di micro-robot programmabili e in grado di riconfigurarsi dalla loro interazione, colonizzeranno e interagiranno con l'ambiente interno del nostro corpo.

Una delle problematiche che ancora limitano la diffusione di micro (e nano) robot è l'impossibilità di programmare il comportamento collettivo degli sciami attraverso algoritmi data la loro dimensione eccessivamente piccola. L'interazione tra le parti del gruppo e la "riconfigurazione" del movimento interno è infatti fondamentale per permettere al collettivo di svolgere compiti diversificati e sempre più complessi in ambienti differenti. Risolto dunque il problema della comunicazione interna passando per altre vie, come l'interazione chimica o fisica (campi magnetici ed ambiente fluido), sciami di micro-robot vedranno una diffusione senza precedenti e colonizzeranno non solo il nostro corpo (Meloni, 2021), ma anche ad esempio mari e fiumi per ripulirli da agenti inquinanti (Gardi et al., 2022) (Fig.1).

**Macro-trend 3 - Next-level process automation and virtualization:** Entro il 2025, oltre 50 miliardi di dispositivi saranno connessi all'IIoT, le installazioni annuali di robot aumenteranno fino a circa 600.000 unità entro il 2022, oltre il 70% dei produttori utilizzerà regolarmente i digital twins entro il 2022 e circa il 10% dei processi di produzione odierni saranno sostituiti con manifattura additiva entro il 2030. Il 50% delle attività lavorative odierne potrebbe essere automatizzato nei prossimi decenni, stimolando potenti cambiamenti nel futuro del lavoro, dei costi del lavoro e delle politiche pubbliche (McKinsey, 2020b).

La combinazione di robotica avanzata, IoT applicato all'industria (Industrial Internet of Things - IIoT), digital twins, stampa 3D e 4D, porteranno nei prossimi decenni ad una crescente automazione e virtualizzazione dei processi, snellendo le attività di routine, migliorando l'efficienza operativa e accelerando il time to market.



**FIG. 1**  
*Carterpillar (2016). Soft robot sviluppato da un lavoro congiunto dell'Università di Varsavia, del LENS Institute di Firenze e dell'Università di Cambridge, che proprio come un bruco, è in grado di camminare su un pendio, infilarsi in una fessura e spingere oggetti pesanti fino a dieci volte la sua massa.*



Ciò accadrà in primo luogo quando i robot diventeranno sempre più intelligenti e capaci. Come anticipato infatti, interazioni uomo-macchina e machine-to-machine sempre più forti, stanno trasformando la robotica e dunque anche quella industriale. I robot collaborativi, detti anche cobot o co-robot, saranno in grado di interagire con gli operatori e di supportarli in operazioni di monitoraggio, simulazione e analisi dei dati, previsione e diagnostica, grazie all'utilizzo dell'IA. I robot adattivi o "self-learning" invece, sfruttano l'Intelligenza Artificiale per elaborare i dati raccolti attraverso i sensori e per prendere autonomamente decisioni complesse sul da farsi. Se connessi tra loro con l'IoT poi, possono imparare scambiando le informazioni e analizzare una più ampia base di dati (accesso anche alle informazioni da remoto attraverso il cloud), simulando scenari per l'ottimizzazione dell'intero processo produttivo e implementando nuovi modelli collaborativi. Nonostante queste innovazioni stiano cambiando radicalmente il mercato del lavoro, con la riduzione delle mansioni impiegatizie e la richiesta di nuove competenze sociali, emotive e tecnologiche (McKinsey, 2020b), permetteranno a molti settori di emergere e migliorare l'efficienza dei propri processi produttivi. È il caso ad esempio dell'industria biotecnologica o di quella farmaceutica, in cui i robot non solo garantiscono una precisione e una manualità più accurate, ma migliorano i tempi di ciclo (con vantaggio per la qualità dei prodotti), permettono di diversificare la linea produttiva (con produzione di più varianti risparmiando spazio e risorse) e monitorano costantemente le operazioni evitando i guasti che potrebbero inquinare i prodotti o diffondere agenti patogeni negli ambienti di lavoro (Rockwell Automation, 2015).

I digital twins, "gemelli digitali" di un'entità fisica (vivente o non vivente, persona, impianto, sistema complesso) attivi nello spazio virtuale e connessi con la parte fisica per l'intero ciclo di vita, permettono di svolgere simulazioni in real time, manutenzioni a distanza e lo sviluppo di prodotti attraverso visualizzazioni di prototipi ottimizzati. All'incrocio tra lo scambio di dati tramite IoT e la progettazione assistita (CAD), i digital twins modificheranno radicalmente nel futuro la gestione di tutti i processi, non solo negli impianti di produzione, ma anche nelle città, nella progettazione dei artefatti, nella ricerca e nella medicina. Il vantaggio è soprattutto quello di poter elaborare modelli predittivi di un sistema che, replicando in tutto e per tutto il funzionamento reale, ne permettono la verifica di tutte le possibili alternative prima di operare un cambiamento, oppure l'ottimizzazione e la personalizzazione in fase di progetto.

Questo sistema del tipo "what-if", può essere molto utile ad esempio nello sviluppo di nuovi farmaci. L'Università di Linköping in Svezia, sta sviluppando un nuovo metodo di sviluppo dei farmaci combinando organi in vitro (che riproducono fisicamente un organo su piccola scala) e digital twins (Linköping University, 2022). Collegando un modello ma tematico (algoritmo) dell'organo in questione con i dati provenienti dal micro-sistema fisico, possono testare l'efficienza di un farmaco e personalizzarlo per il singolo cliente (gli organi in vitro contengono cellule del cliente asportate con semplice biopsia) prima di produrlo. Gli stessi ricercatori stanno già sviluppando modelli matematici per l'intero corpo umano, così da generare in un futuro app e strumenti per la salute "in cui tutti possono guardare il proprio gemello digitale e utilizzare il modello per capire come dovrebbero agire (ad esempio, riguardo al mangiare o all'esercizio fisico) su base giornaliera, o per ricordare loro perché dovrebbero prendere il loro medicinale" (Leifler, 2022). Un altro esempio, a scale più ampie, sono gli "urban digital twins" che trasformeranno le città e la loro gestione, ma saranno anche utili all'informatizzazione e all'educazione di chi la vive (es. alfabetizzazione spaziale e competenze geo-digitali). È il caso del comune della città di Carson (Nevada) che ha creato un digital twin per simulare l'approvvigionamento idrico futuro in base al consumo medio di acqua, alla disponibilità e al risparmio sui costi operativi, aumentando al contempo la consapevolezza della situazione per ottenere un elevato livello di prontezza operativa.

A rivoluzionare infine i processi del futuro, sarà la manifattura additiva, permettendo di "crescere" oggetti fisici informatizzati dal digitale e manipolando pressoché tutti i materiali strato per strato. Benché finora abbia avuto una crescita "lenta" e abbia visto applicazioni limitate alla prototipazione industriale e all'ambito accademico, il graduale superamento dei vincoli in termini di dimensioni, costi e velocità di esecuzione, porterà questa tecnologia ad ampliare il suo raggio d'azione e a dimostrare a molti settori i suoi vantaggi. In primo luogo, la stampa 3D sta ridefinendo la produzione: offre la possibilità di produrre prodotti più complessi e ottimizzati senza aumentare i costi; riduce le catene del valore; apre a modelli di business, configurazioni di filiera e reti di distribuzione più flessibili, azzerando a monte la necessità di competenze specifiche e permettendo a valle la personalizzazione dei prodotti; riduce lo spreco di materiale (lavorazione senza sfridi) ed elimina la necessità di assemblaggio di parti (Stratasys, 2016). Tuttavia, la pervasività di questa tecnologia



**FIG. 2**  
*Hydrophytes (2018). In questo progetto la designer neozelandese Nicole Hone sperimenta le potenzialità della stampa 4D combinando resine rigide e flessibili. Il risultato sono piante acquatiche del futuro, in grado di reagire ai movimenti dell'acqua e performare comportamenti intelligenti utili a diversi scopi.*

inizia nel momento in cui la gamma di materiali processabili supera le sole plastiche standard diventando pressoché infinita. A partire dalle resine (che oggi possono essere trasparenti, opache, rigide, flessibili, biocompatibili, solubili), fino alle paste conduttive per la stampa di circuiti elettrici o ai “bioinchiostri” (idrogel contenenti cellule) per la biostampa di organi artificiali, questi materiali possono anche essere combinati tra loro (stampa multimateriale) a creare un unico pezzo dalle proprietà variabili. L'elenco si estende oggi ai biopolimeri, alle paste edibili e agli smart materials. Questi ultimi, danno vita alla stampa 4D, a cui si aggiunge una quarta dimensione temporale data dalla capacità dei materiali intelligenti di cambiare proprietà all'azione di stimoli esterni, come la temperatura, l'umidità, il pH, il campo elettrico o magnetico. Il risultato sono strutture, spesso multimateriale, in grado di espletare nel tempo dei comportamenti reattivi e intelligenti senza il necessario utilizzo di energia elettrica, ma sulla base delle proprietà intrinseche del materiale (Tibbits, 2017). Le applicazioni presenti e future sono svariate e permetteranno di personalizzare in un unico processo anche l'evoluzione stessa nel tempo di “sistemi materici” interattivi (Fig. 2). Per risparmiare spazio durante il trasporto, nascono elementi di arredo in grado di aprirsi al sole (Self Assembly Lab, 2015) o la pasta che cambia forma quando cotta (Tangible Media Group, 2017); nella biomedicina si sperimentano materiali organici capaci di adattarsi al contatto il il sangue per cicatrizzare un'emorragia interna (Javaid & Haleem, 2020), mentre la stampa di tessuti programmabili rivoluzionano diversi campi, dall'architettura (con facciate responsive), all'aerospazio (foldable structures programmate per aprirsi solo quando sono su suolo lunare), al fashion con indumenti in grado di interagire con nostro corpo (Heleem et al., 2021).

L'applicazione di bracci robotici alla manifattura additiva, apre poi il campo alla stampa 5D, che non allude ad una quinta dimensione, piuttosto alla possibilità di sfruttare 5 assi (5 libertà) di movimento per produrre oggetti più complessi, oppure per stampare direttamente su superfici irregolari come potrebbe essere il nostro corpo. Infine, la manifattura additiva porterà nel futuro a realizzare prodotti e componenti in loco, con conseguenti vantaggi di costo e di sostenibilità ambientale, permettendo di ridurre drasticamente le operazioni di distribuzione e di utilizzare materiali locali. Ad esempio, nei paesi in via di sviluppo, dove le infrastrutture limitate rendono difficile la spedizione di materiali, la stampa 3D fa un balzo in avanti impiegando materiali di provenienza locale: argilla, sabbia,

fibre locali per stampare grandi strutture, eliminando circa il 95% del materiale che richiede il trasporto in un cantiere (DiChristina & Meyerson, 2021). Lo dimostra TECLA, prototipo sperimentale di abitazione stampata in 3D a partire da terra locale, il quale potrebbe fornire robusti rifugi sostenibili in regioni remote, dove le esigenze abitative potrebbero essere un punto di svolta per questi paesi (Fig. 3).

**Macro-trend 4 – Next-Generation Materials:** Le innovazioni nelle scienze dei materiali sono al centro del quarto macro-trend poiché i materiali di nuova generazione, come grafene e materiali 2D, nanoparticelle di bisolfuro di molibdeno, nanomateriali e un'ampia gamma di materiali intelligenti, reattivi e leggeri, consentono nuove funzionalità e prestazioni migliorate in diversi settori. Mentre molti di loro sono ancora in fase di ricerca, altri si stanno avvicinando al loro potenziale commerciale, grazie soprattutto ai progressi nelle nanotecnologie che garantiscono un funzionamento più a lungo termine delle interfacce. Le nanoparticelle di bisolfuro di molibdeno ad esempio, sono già utilizzate nell'elettronica flessibile, mentre il grafene ha contribuito a promuovere una rinascita nei semiconduttori 2D. Le scienze computazionali dei materiali (computational-materials science) poi, combinano la potenza di calcolo con i metodi di apprendimento automatico (machine learning) e li applicano a problemi e opportunità relative ai materiali.

Nuovi materiali intelligenti vengono così creati a partire dalla nanoscala e le loro proprietà programmate per rispondere a stimoli esterni, sfruttando ad esempio termo, elettro e fotocromismo; piezoelettricità; memoria di forma; autorigenerazione e attributi di cambiamento di fase. Il tutto consentendo alle strutture di produzione additiva di evolversi oltre i tradizionali polimeri termoplastici, verso materiali con maggiore flessibilità, personalizzazione e funzionalità.

Esemplificativo, è lo sconfinato campo dei polimeri ad uso tessile, oggi protagonista di una nuova generazione di materiali, i cosiddetti “smart textiles” o tessuti elettronici (“e-textiles”), che grazie ai progressi sopracitati, sono in grado di performare come dispositivi elettronici, interagendo con l'ambiente circostante e raccogliendo informazioni in real-time sullo stato di salute e sull'inquinamento ambientale (Trovato, 2018). Alcuni di questi tessuti possono essere anche di origine organica, dunque biocompatibili, come nel caso della seta piezoelettrica, sperimentata in ambito biomedico



**FIG. 3**  
*TECLA (2021). Prototipo sperimentale di casa stampata in 3D progettata dall'architetto Mario Cucinella e realizzata in collaborazione con l'azienda WASP. Queste abitazioni vengono stampate in 3d, attraverso bracci robotici di grandi dimensioni e simili a delle gru, a partire dalla terra estratta sul posto e miscelata con leganti organici direttamente durante la fase di stampa.*



**FIG. 4**  
*Photosynthetic Coating (2021). Post Carbon Lab, una start-up inglese di Biodesign, ha creato un rivestimento fotosintetico per tessuti a base di cianobatteri. Ciò consentirà in futuro la produzione di indumenti interattivi, in grado di purificare l'aria da CO2 attraverso l'uso quotidiano e di instaurare comportamenti di cura da parte dell'utente che dovrà assumere una serie di accorgimenti per mantenere le alghe in vita.*

per sensori impiantabili o strumenti di raccolta di energia per alimentare in-vivo dispositivi a bassa potenza (Karan et al., 2018). Le interfacce inoltre possono essere anche di origine chimica, come nel caso di molecole coloranti in grado di fornire variazioni cromatiche in funzione di opportuni stimoli esterni per la rilevazione ottica di diversi parametri, come la concentrazione di sostanze chimiche nell'ambiente o il pH di una specifica soluzione (Libertino et al., 2018). Quest'ultimo ad esempio, può essere rilevante in campo biomedico o biotecnologico, per il monitoraggio dei livelli di inquinamento e per test medici a partire dal pH del sudore, come abiti programmabili in grado di comunicarci in real-time lo stato di salute del nostro corpo (Gorjanc et al., 2018). Oppure, si inizia a parlare di interfacce biologiche, come inchiostri bio-attivi a base di sostanze bio-derivate (Silver, 2020), batteri ingegnerizzati e microorganismi fotosintetici, che camminano sui tessuti "mangiando" gli odori, purificando l'aria e avvertendoci dello stato di inquinamento dell'ambiente circostante (Eco-age, 2020) (Fig. 4).

Molto si sta facendo anche in termini di sostenibilità ambientale, rendendo i materiali di prossima generazione fondamentali per le economie sostenibili di domani. Le aziende dei settori edile, automobilistico, dell'imballaggio e del manifatturiero ad esempio, stanno integrando materiali sostenibili e fonti di energia rinnovabile nei loro processi, migliorando i cicli di vita anche con l'uso del vivente. Ecovative ad esempio, è una nuova start-up che produce packaging biodegradabili cresciuti dal micelio dei funghi; Ginkgo Bioworks tinge i suoi tessuti con un pigmento prodotto da batteri geneticamente modificati; Bolt Threads produce seta di ragno nutrendo con lo zucchero lieviti ingegnerizzati; BioMason produce elementi strutturali in cemento grazie all'uso di batteri alcalofili, in grado di fondere la sabbia a temperatura ambiente (con considerevole risparmio di energia e di CO<sub>2</sub> emessa) per creare strutture resistenti e durevoli al pari di quelle convenzionali.

I nanomateriali, dal canto loro, rendono possibile una migliore sicurezza automobilistica e aerodinamica, modi migliori di produrre chip e trasmettitori, uno stoccaggio di energia più efficiente. Quasi tutte queste potenziali applicazioni riducono anche gli sprechi e consentono ulteriormente un'economia circolare, ad esempio riducendo il peso delle parti prodotte (es. settore aerospaziale) aumentando al contempo i livelli di sicurezza e affidabilità. Applied Graphene Materials ad esempio, è un'azienda che utilizza particelle di grafene per migliorare le proprietà dei compositi, come vernici antiruggine

o attrezzature sportive. NAWA Technologies è una società francese che allineando nanotubi di carbonio è riuscita ad ottenere batterie con tre volte il magazzino e dieci volte la potenza di batterie convenzionali. Nel 2021, un consorzio di 9 aziende italiane, ha dato vita alla prima filiera nazionale per il riciclo e il recupero delle batterie al litio, possibile solo grazie all'uso delle nanotecnologie che migliorano la sostenibilità dei processi di riciclo e permettono un recupero quasi totale dei materiali coinvolti nel down-cycling, come litio, nichel, cobalto, ecc. (Baneschi & Doveri, 2021).

La progettazione e la scoperta dei nuovi materiali dunque, occupano un posto critico nell'economia del 21° secolo, con un ampio potenziale di impatto che abbraccia i settori del trasporto, della salute, della microelettronica e delle energie rinnovabili. Permettendo un'efficienza significativamente maggiore in molte aree applicative non ancora toccate possono cambiare l'economia di settori, prodotti e servizi, nonché riconfigurare le aziende al loro interno.

#### SFERA DIGITALE

**Macro-trend 5 – Next-Generation Computing:** L'informatica di nuova generazione potrebbe trovare le risposte ai problemi che affliggono la scienza e la società da anni, sbloccando capacità senza precedenti sia per le aziende che per la ricerca. Molte delle innovazioni descritte finora sono infatti oggi possibili grazie ai progressi raggiunti in questo ambito, sia nei sistemi hardware che software, i quali diventano sempre più sofisticati, flessibili ed economici.

Uno degli aspetti principali dell'informatica di nuova generazione, è sicuramente il calcolo quantistico (o quantum computing), in cui i calcolatori sfruttano le leggi della fisica e della meccanica quantistica, quella che studia le particelle subatomiche (elettroni, neutrini, fotoni). La loro unità fondamentale è il bit quantistico o qubit, legato allo stato in cui si trova una particella o un atomo e le cui peculiarità permettono di svolgere i calcoli in modo molto più veloce. Per esempio, questa tecnologia è stata utilizzata per la ricerca di soluzioni contro il Covid-19, permettendo di individuare vaccini e trattamenti in due mesi anziché due anni (Licata, 2022). I primi computer quantistici escono oggi dai laboratori ed entrano nel mondo del business, come il "Q System One" di IBM (2019), ma probabilmente i prossimi servizi di quantum computing saranno cloud-based, quindi di fornitura as-a-service, mentre non vedremo computer quantistici "mobili o personali entro questo decennio" (McKinsey, 2021). In

ogni caso, l'accesso a questa tecnologia sarà possibile già nel breve termine, permettendo ad esempio sofisticate simulazioni a livello molecolare, che riducono significativamente l'esperienza empirica e i test necessari per una vasta gamma di applicazioni dall'ingegneria dei materiali alla ricerca chimica, dai farmaci on-demand alla biologia sintetica.

Un altro aspetto degno di nota è il calcolo neuromorfico (neuro-morphic computing), che ispirandosi in tutto e per tutto al cervello umano, mira ugualmente a ridurre i tempi di elaborazione dei dati, la necessità di dispositivi ingombranti ed edifici dedicati, oppure l'apporto di potenza (mentre gli attuali supercomputer necessitano di potenza in megawatt, il cervello umano consuma circa 20 watt). Esso basa il funzionamento sulle reti neurali artificiali (in particolare su quelle profonde, alla base del già citato Deep Learning), algoritmi di apprendimento automatico ispirati a loro volta, sia nel funzionamento che nella struttura, alle reti neurali biologiche. Combinato dunque con la computazione quantistica, il calcolo neuromorfico porta all'Intelligenza Artificiale quantistica, accelerando l'apprendimento automatico per una ricerca più efficiente di set di dati quantistici non strutturati. Ciò ridurrà i tempi di messa in strada di veicoli autonomi e permetterà attività di monitoraggio molto più complesse, come nel caso delle previsioni meteo o dei cambiamenti climatici "sottili" (quelli minimi di cui oggi è difficile tenere conto). Considerando i dati immensi necessari per comprendere il movimento e la velocità del vento, le temperature dell'acqua e altri fattori, per esempio, si potrà studiare con più precisione l'avvento degli uragani in diverse aree geografiche, permettendo quindi di intervenire preventivamente (Balaguru et al., 2018). Le reti neurali sostituiranno anche i programmatori nei cosiddetti "Software 2.0", utilizzando l'apprendimento automatico per sviluppare nuovi software. Oltre a velocizzare processi ormai dipendenti dall'AI (come i veicoli automatici) questa tendenza fornirà anche alle organizzazioni un modo molto più semplice, iterativo e intuitivo per personalizzare il codice esistente e automatizzare le attività di programmazione banali attraverso approcci low-code e no-code.

Anche dal lato hardware, sono molti gli avanzamenti tecnologici, anche a supporto delle nuove forme di computazione. Nascono ad esempio gli ASICs o "Application Specific Integrated Circuits", vale a dire circuiti integrati creati appositamente per una applicazione, con miglioramenti in termini di prestazioni. È il caso di "Nervana" di Intel, circuito ASICs per l'esecuzione di algoritmi di apprendi-

mento profondo (Deep Learning) in grado di gestire le reti neurali artificiali che mettono a dura prova le CPU tradizionali. Sempre Intel, ha mostrato al pubblico "Loihi2", un chip neuromorfico ad auto-apprendimento di seconda generazione, che imita il funzionamento del cervello umano imparando il corretto comportamento sulla base di iterazioni con l'ambiente circostante. Loihi2, con il suo milione di neuroni, è destinato alla ricerca e può avere potenziali applicazioni nel riconoscimento olfattivo (Intel, 2020a), oppure in pelli neuromorfiche capaci di rilevare il tatto più di 1.000 volte più velocemente del sistema nervoso sensoriale umano e identificare la forma, la consistenza e la durezza degli oggetti 10 volte più velocemente di un battito di ciglia (Intel, 2020b).

A mettere in comunicazione in maniera sempre più integrata mondo fisico e menti artificiali sono poi una serie di sensori ultrasensibili che sfruttano processi quantistici. Oltre ad essere sempre più piccoli ed economici, essi raggiungono livelli estremi di precisione sfruttando la natura quantistica della materia, utilizzando ad esempio la differenza tra elettroni in diversi stati energetici come unità di base. Ciò permette a questi sensori di raggiungere performance molto più elevate e di rilevare anche variazioni molto piccole, come minuscoli cambiamenti nel movimento o minuscole differenze nei campi gravitazionali, elettrici e magnetici. Per questo motivo, future applicazioni prevedono la possibilità per i veicoli di "vedere" dietro gli angoli, sistemi di navigazione subacquea, sistemi di allerta precoce per attività vulcanica e terremoti e scanner portatili che monitorano l'attività cerebrale di una persona durante la vita quotidiana (DiChristina & Meyerson, 2021). Breathonix ad esempio, ha commercializzato per la prima volta un sensore in grado di campionare gli oltre 800 composti del respiro umano e di analizzarli con un algoritmo in un minuto, diagnosticando da una semplice soffiata una serie di malattie, tra cui il Covid-19 (Park, 2021).

**Macro-trend 6 - The future of connectivity:** La connettività superveloce, possibile soprattutto grazie alle reti cellulari a banda larga di quinta generazione (5G) e la maggiore capacità di rete, che permette all'Internet of Things (IoT) di connettere più dispositivi ed elaborare un'enorme quantità di dati (Big Data), guideranno ampi cambiamenti soprattutto nel panorama aziendale, portando ad un aumento del PIL globale da 1,2 a 2 trilioni di dollari entro il 2030 (McKinsey, 2020b). In particolare, la connettività del futuro supporterà la creazione di nuovi servizi e modelli di business, esperienze

cliente di nuova generazione, l'ulteriore personalizzazione delle offerte in real-time e la digitalizzazione della produzione, con conseguente controllo wireless di veicoli, macchine, robot e persone. Nel campo dell'automotive ad esempio, essa favorirà lo sviluppo e la gestione della guida autonoma, ma anche servizi predittivi e di intelligenza aumentata che, monitorando le condizioni di ciascun sistema-auto, potranno avvertire il proprietario di programmare le riparazioni prima che si verifichi un guasto, migliorando durata e durabilità di un veicolo. Nello sport, il 66% degli operatori di rete più grandi al mondo hanno in programma di sfruttare il 5G per introdurre realtà virtuale e aumentata negli eventi sportivi, cambiando per sempre la "Sport Fan Experience" (Granato, 2020). L'AT&T Stadium di Arlington (Texas) ad esempio, dal 2019 ha implementato con l'uso del 5G e di sensori IoT una serie di esperienze che i fruitori possono godere da schermi interattivi in loco oppure dal proprio cellulare, come l'aggiornamento in tempo reale sullo stato emotivo e fisico dei giocatori, dati e analisi sul sentimento della folla e replay in realtà aumentata in HD e a 360°.

Con il recente avvento poi di innumerevoli satelliti a basso costo in orbita terrestre, in grado di acquisire dati a livello globale e scaricarli in strutture centrali per l'elaborazione, l'IoT consentirà livelli senza precedenti di comprensione globale, comprendendo regioni in via di sviluppo precedentemente inaccessibili prive della tradizionale infrastruttura Internet. Ciò consentirà di registrare e segnalare informazioni vitali su tempo, condizioni del suolo, livelli di umidità, salute delle colture, attività sociali e innumerevoli altri preziosi set di dati. Ad esempio, nel 2017 la Breakthrough Starshot, un'iniziativa co-sviluppata da Stephen Hawking, ha inviato in orbita dispositivi poco più grandi di un francobollo, chiamati "Sprites", che inviando dati sulla Terra potrebbero essere utilizzati per studiare in remoto l'atmosfera e il campo magnetico terrestre, o addirittura altri pianeti (Intini, 2017). Inoltre, cloud computing e edge computing aiutano oggi le aziende a spostare ulteriormente la potenza di elaborazione verso i margini delle loro reti, consentendo loro di raggiungere dispositivi "data-hungry" con una latenza molto inferiore e con un numero maggiore di località - ancora più remote - accelerando i processi decisionali con analisi avanzate on-demand. Questo trend aiuterà le aziende ad aumentare la loro velocità e agilità, ridurre la complessità, risparmiare sui costi e rafforzare le loro difese di sicurezza informatica (cybersecurity).

La crescente potenza di calcolo dei dispositivi edge, che possono es-

sere considerati come i dispositivi che raccolgono ed inviano dati ad un elaboratore e che possono essere connessi al cloud, consentirà un maggiore sfruttamento dell'IA e una considerevole riduzione dei tempi. Ad esempio, grazie ad un sistema di immagazzinamento dati basato sul cloud, l'Università di Stanford ha ottenuto una diagnosi basata su mappatura del genoma umano nel tempo record di 5 ore e 2 minuti (Armitage, 2022).

Infine, un'altra frontiera nella connettività del futuro è rappresentata dalla possibilità di tenere in carica i dispositivi IoT attraverso lo storage di energia da segnali wireless, considerando soprattutto la durata limitata delle batterie. Con il 5G e grazie ai nuovi materiali 2-D, minuscoli oscillatori spintronici all'interno dei sensori IoT possono "raccolgere" energia da tali segnali, in una modalità simile a quella utilizzata dai caselli autostradali, alimentati da segnali radio emessi quando i conducenti passano attraverso di essi (Sharma, 2021).

**Macro-trend 7 - Amplified experience** and digital presence: Ad oggi lo sviluppo del graphic-based computing, che comprende immersive & spatial computing, realtà virtuale ed aumentata, ma in generale tutte quelle applicazioni che utilizzano GUI (Graphical User Interface), cambierà molti degli standard tecnologici, convenzioni e modelli di business, coinvolgendo anche molti settori finora "aumentati" solamente dalla fantascienza. Favorito, dal lato hardware, dallo sviluppo di sofisticate GPU (Graphic Processing Unit) e di sensori sempre più miniaturizzati e performanti, esso porterà secondo molti esperti ad un vero e proprio cambio generazionale (Alaghband & Ball, 2022). Le nuove generazioni di prodotti, persone, servizi, imprese, abbandoneranno la realtà fisica e popoleranno nuovi mondi virtuali e interconnessi: il Metaverso. Questo termine, coniato da Neal Stephenson nel libro di fantascienza cyberpunk "Snow Crash" (1992), descrive molto bene questa sorta di nuova realtà virtuale condivisa tramite internet, dove si attraversano le tre dimensioni con il proprio avatar, svolgendo gran parte delle funzioni di vita attuali (si compra, ci si veste, si lavora, si viaggia, si interagisce, ecc.). Il Metaverso è abilitato da molte tecnologie, come la realtà aumentata (o AR - Augmented Reality, che sovrappone allo spazio fisico elementi multimediali che lo arricchiscono di informazioni) e la realtà virtuale (o VR - Virtual Reality, che crea una realtà simulata, digitale e non reale, che fa provare all'utente esperienze totalmente immersive), le ICT (Information and Communication Technologies), l'In-

telligenza Artificiale e la blockchain; mentre si può accedere ad esso con semplici smartphone o tablet, head-mounted display (HDM) o internet “indossabile” (dagli smartwatch fino alle t-shirt e ai tatuaggi intelligenti). Tuttavia, è più una combinazione di queste tecnologie, verso una progressiva convergenza delle nostre vite fisiche e digitali, in cui quella digitale (che abbiamo vissuto con smartphone o computer) raggiunge ed invade quella fisica.

Ad esempio, lo spatial computing, basato sul concetto di “gemello digitale” che abbiamo già affrontato, fa tutto ciò che fanno le app di realtà virtuale e aumentata – digitalizza oggetti che si connettono tramite il cloud, consente a sensori e attuatori di reagire tra loro, rappresenta digitalmente il mondo reale –, ma combina queste capacità con la mappatura spaziale ad alta fedeltà per consentire a un computer “coordinatore” di tracciare e controllare i movimenti e le interazioni degli oggetti mentre una persona naviga nel mondo digitale o fisico.

Con gli ologrammi, proiezioni tridimensionali di entità virtuali, i digital twins invaderanno la nostra realtà fisica e saranno manipolabili, modificabili e visibili a 360° proprio come oggetti reali (Fig. 5). Uno studio condotto sugli ologrammi nel 2021 dai ricercatori del Massachusetts Institute of Technology (MIT) ha provato come, grazie a una nuova tecnica di deep learning denominata “olografia tensoriale”, è possibile generare un video olografico in modo istantaneo, aprendo la possibilità di produrre ologrammi mobili e interattivi (Shi et al., 2021). Un team di ricercatori dell’Università di Glasgow ha invece messo a punto una nuova tecnologia in grado di integrare un’immagine con la sensazione tattile (attraverso getti di aria) che potrà ad esempio permetterci di stringerci la mano in videocall alla fine di una riunione, o di toccare forme virtuali in maniera piuttosto realistica come una palla con cui giocare (Christou et al., 2021). Dunque, se finora gli ologrammi sono stati solo il frutto di avanzate ricerche, nel futuro potrebbero divenire realtà ed influenzare la nostre funzioni di vita. Potremmo alzarci la mattina e far provare abiti all’ologramma del nostro avatar prima di indossare il prescelto, oppure progettare e ottimizzare i nuovi prodotti toccandoli con mano, fino situazioni più distopiche, alcune già accadute, come matrimoni con gli ologrammi (Valerio, 2022).

Ad alimentare il Metaverso sono anche le nostre presenze digitali sui social network che si evolveranno fino al punto in cui gestire una presenza virtuale – come ora quella fisica – diventerà la prassi al pari di decisioni in merito a come presentarsi in un determina-

to contesto sociale attraverso parole, gesti e un certo tipo di abbigliamento. Ad esempio, molti brand luxury del settore moda, come Gucci o Ralph Lauren stanno già sperimentando le potenzialità del metaverso, verso un nuovo paradigma di moda digitale, estensione dei filtri usati su social media come Instagram e Snapchat. Ralph Lauren ha aperto il suo primo negozio di abbigliamento digitale e lo ha fatto nel mondo online di Roblox e ora sta collaborando con l’app di social network sudcoreana Zepeto per creare una collezione moda virtuale in cui gli utenti possono vestire i propri avatar con prodotti esclusivi o “skin” che alterano l’aspetto (Repko, 2022). La designer Amber Slooten, co-fondatrice della casa di moda digitale “The Fabricant”, rivela una visione di fashion industry più inclusiva e meritocratica grazie al metaverso (Fig. 6). In particolare, ha creato un tool in cui chiunque – a prescindere da età, estrazione sociale o altro – può ideare la propria linea di moda digitale e venderla (Crok, 2021).

Tuttavia, il metaverso non stravolgerà solamente il mondo della moda o del retail in generale, ma anche il mondo della ricerca, quello progettuale e la stessa produzione industriale. Ad esempio, indossando cuffie per realtà aumentata o visualizzando un’immagine olografica proiettata che mostra non solo le istruzioni per la riparazione ma anche una mappa spaziale dei componenti della macchina, i lavoratori possono essere guidati per ripararla nel modo più efficiente possibile, riducendo i tempi e i relativi costi (Lathan & Ling, 2020). Nell’approfondimento sui digital twins abbiamo già visto come la medicina “in silico”, ovvero la sperimentazione di farmaci e trattamenti su organi o sistemi corporei virtuali per prevedere come una persona reale risponderà alle terapie, stia diventando sempre più esperienziale con app e immagini dal quale le persone possono testare cure o diete sul proprio avatar (Leifler, 2022). Dalla collaborazione tra Microsoft e il Professor Gregory (Avicenne University, Francia) prende piede la “chirurgia olografica” che grazie a tecnologie di realtà mista, rendono le operazioni chirurgiche più immersive, abilitando nuovi scenari di collaborazione e visualizzazione delle informazioni, o migliorando la precisione degli interventi (Gregory et al., 2018). L’ampio settore dell’EdTech, vale a dire delle tecnologie educative, è in forte crescita grazie anche al graphic-based computing e permetterà in futuro di imparare sempre e ovunque attraverso il gioco. La start-up di robotica virtuale Robotify ad esempio, ha creato una piattaforma di simulazione che rende la robotica accessibile a tutti, con l’obiettivo è guidare gli studenti a



**FIG. 5**  
*Roncalli Circus (2021). Il Circo Roncalli sarà il primo a sostituire gli animali con gli ologrammi. Data la possibilità di realizzare ologrammi in movimento, questo circo è in grado di esibire performance all'altezza delle precedenti, ma con animali virtuali. In futuro, probabilmente potremo anche toccarli.*



**FIG. 6**  
*Puma X The Fabricant (2021). La casa di moda digitale The Fabricant apre uno store digitale per vendere capi di abbigliamento digitale del colosso dello sportswear Puma. Questi indumenti potranno essere indossati dai nostri avatar nel Metaverso.*

produrre idee originali e far crescere la loro capacità di creatività, pensiero critico, collaborazione e risoluzione dei problemi. Oppure, Immersive VR Education offre un apprendimento basato sulla realtà virtuale fornendo un metodo di insegnamento coinvolgente che consente agli studenti di interagire con concetti o situazioni che non potrebbero essere vissute, come trovarsi a bordo del Titanic mentre colpisce l'iceberg o essere in missione nello spazio.

**Macro-trend 8 – Cyber defense:** La sicurezza informatica o cybersecurity è quel complesso di azioni attuate in abito informatico per garantire la protezione di dati e sistemi. In un ambiente sempre più connesso essa è decisiva per l'integrità di utenti, aziende e Stati, dunque per l'evoluzione stessa del digitale. Infatti, a moltiplicarsi è la cosiddetta "superficie esposta", cioè l'insieme di tutto ciò che è attaccabile: smartphone, reti, assistenti digitali e auto connesse. Secondo McKinsey, solo nel 2019, oltre 8,5 miliardi di record di dati sono stati compromessi da attacchi informatici (2020b). Con il Covid-19, l'aumento delle persone in smart working, ha portato il 47% degli individui ad essere vittime di phishing mentre lavoravano da casa (Deloitte, 2020), mentre gli ospedali sono diventati vulnerabili, subendo solo in Italia 10 attacchi negli ultimi 5 mesi del 2021 (Cerbeyra, 2022).

In primo luogo ciò è dovuto alla natura ambivalente della connettività diffusa. Il cloud, la "nuvola informatica" che permette di trasferire dati e servizi in un ambiente riservato ma condivisibile, può essere vantaggioso per imprese e utenti in termini di efficienza e costi, ma facilita gli attacchi informatici, essendo accessibile da diversi punti e dispositivi. Allo stesso modo, gli oggetti connessi all'IoT moltiplicano, comprendendo non solo smartphone e pc, ma anche frigoriferi, forni, TV e smart speaker, che sono il centro direzionale del nostro ufficio o della nostra casa, ma che possono "ascoltare" la nostra vita privata e mettere a rischio la nostra privacy. In secondo luogo, si va verso la nascita sempre più frequente di gruppi hacker organizzati, indipendenti o addirittura sostenuti da Stati, tanto da parlare di "cyber-guerra". Mentre la guerra tradizionale viene "rumorosamente" condotta nella realtà fisica dove spazio e tempo coincidono, la cyber-guerra agisce silenziosa nello spazio digitale, in cui il rapporto spazio-temporale è decisamente più fluido. In altre parole, un attacco informatico può essere programmato anni prima per attivarsi al solo verificarsi di determinate condizioni e da attori che agiscono a migliaia di chilometri di distanza. Inoltre, chi viene

attaccato, può divenire inconsapevolmente fonte di infezione, diffondendo l'attacco come un agente patogeno (non a caso si chiamano "virus" informatici).

Le elevate capacità di calcolo e il passaggio alla crittografia quantistica poi, rendono le offensive informatiche sempre più evolute e in grado di violare con facilità gli algoritmi di sicurezza crittografica attuale. Continuano a colpire i singoli utenti perché più semplice attaccarli, ma per ritorni maggiori si concentrano su Stati, imprese e organizzazioni con rischi spesso di portata globale. Motivo per il quale la cybersecurity assumerà importanza sempre maggiore nel panorama tecnologico e sta evolvendo non solo nelle metodologie, ma anche nella forma. Essa diventerà "preventiva" se non "predittiva" e sarà sempre più un grado di leggere i segnali che anticipano un attacco, grazie soprattutto all'uso di Intelligenza Artificiale. Sarà più giusto quindi parlare di "cyber defense" o "cybersecurity 2.0", il cui obiettivo è proprio la prevenzione, il rilevamento e la fornitura di risposte tempestive ad attacchi o minacce in modo che nessuna infrastruttura o informazione venga manomessa. L'Unione Europea ad esempio, si è resa conto dell'estrema necessità di attuare strategie di cyber defence e sta preparando il progetto "Demand Pooling for the Cyber Defense Training and Exercise support by the private Sector" (DePoCyTE). Esso migliora l'accesso degli Stati membri ai corsi di cyber defense e promuove una cultura europea comune della difesa informatica. Educare le aziende, ma anche i singoli utenti a comprendere i rischi e ad adottare semplici accorgimenti che limitino i rischi (password efficaci, condivisione accorta di dati, capacità di riconoscere i trabocchetti utilizzati per carpire informazioni riservate) è difatti fondamentale per il futuro (European Defence Agency, 2018).

Un ampio campo della cybersicurezza, che mira a proteggere soprattutto i soggetti del circuito finanziario, sono le "trust architecture", strutture informatiche che verificano l'affidabilità dei dispositivi durante una transazione attraverso reti, API (interfacce di programmazione per la creazione di software applicativi) e applicazioni. Esempi sono le tecnologie di contabilità distribuita (Distributed Ledger Technologies – DLTs), tra cui le Blockchain, e gli approcci Zero-Trust per prevenire la violazione dei dati. Esse facilitano la fiducia tra le entità commerciali e gli individui permettendo di condurre affari senza la necessità di intermediari, sia nel settore privato che pubblico, riducendo i costi e le spese operative. Nel futuro, queste architetture saranno sempre più importanti e diffuse, grazie anche



**FIG. 7**  
*Photo Manipulations (2021). Il crypto artist americano Yung Jack ha avuto successo sul Metaverso, vendendo ritratti di celebrità realizzati sovrapponendo le comuni Emoji. Certificati da NFT questi ritratti vengono venduti per decine di migliaia di dollari.*

all'aumento esponenziale dell'e-commerce (con il Covid nel 2019 abbiamo sperimentato un incremento dell'e-commerce del 75% in 3 mesi, pari a 10 anni di crescita) e alla progressiva sparizione del contante, verso approcci innovativi al modo in cui individui e istituzioni/aziende interagiscono e collaborano tra loro.

Ad esempio, la blockchain è sistema di controllo decentralizzato (distributed ledger), utilizzato come protocollo di sicurezza grazie al quale una rete di computer verifica collettivamente una transazione prima della notifica e dell'approvazione. Programmabile, affidabile (crittograficamente) e decentralizzato (permette a chiunque di verificarne la regolarità), il blockchain crea un contesto di fiducia reciproca tra individui che non si conoscono e che possono dunque collaborare senza passare attraverso un'autorità centrale (referente). Questa tecnologia può essere utilizzata per registrare le transazioni finanziarie (nel caso di criptovalute come i Bitcoin) ma anche per archiviare documenti in sicurezza (come nel caso delle identità digitali) o per gestire obbligazioni. Nel futuro invece sono molte le applicazioni promettenti di questa tecnologia, che vanno dall'industria discografica alla compravendita di auto; dalla gestione degli eventi sportivi alle gift card, fino ai registri distribuiti e ai testamenti di eredità (Bellini, 2022\_consultare per 27 possibili campi applicativi). Ad esempio, oggi sentiamo parlare sempre più spesso di NFT (Non-Fungible Token), un "gettone digitale" che – a differenza dei Bitcoin e di altre monete virtuali – non può essere né replicato, né sostituito, mentre può essere acquistato avvalendosi di una blockchain per certificare un prodotto digitale creato su internet. L'NFT dunque è una sorta di diritto d'autore digitale, univoco e non replicabile, mentre la blockchain è il registro digitale su cui lo andiamo a collezionare in sicurezza. Ebbene, al giorno d'oggi questi token hanno dato vita alla Crypto Art, insieme in crescita di opere e oggetti digitali, certificati e venduti all'asta anche a centinaia di migliaia o milioni di euro (Fig. 7).

### SFERA BIOLOGICA

**Macro-trend 9 – Biosystems and Synthetic Biology:** La confluenza di scoperte nelle scienze biologiche, insieme ai progressi nell'informatica, nell'analisi dei dati e nell'intelligenza artificiale (IA) ha dato vita ad un'ondata di innovazione nella sfera biologica, che pervaderà nel prossimo futuro molti aspetti della nostra vita, dal modo di curarci a quello di produrre la nostra realtà materiale.

L'intensità di questa rivoluzione, è identificabile con la possibilità crescente di accedere al corredo base di ogni forma di vita, ovvero alle informazioni contenute nei geni che ci permettono di codificare e decodificare la biologia.

Un emblematico passo in questo senso, è rappresentato dalle tecniche di sequenziamento di frammenti di DNA o dell'intero genoma di un organismo che, restituendo l'esatto ordine (o sequenza) dei nucleotidi che costituiscono l'acido nucleico, sono in grado di restituirci le informazioni genetiche ereditarie alla base dello sviluppo di tutti gli organismi viventi. Ciò ha dato vita ad avanzamenti senza precedenti sia nello studio dei sistemi biologici che nella loro manipolazione (e creazione), aprendo alle scienze omiche e alle tecnologie molecolari nuovi campi applicativi e possibilità di intervento più efficaci e tempestive.

In particolare, in futuro, progettare o modificare una cellula vivente potrebbe divenire un'attività estremamente facile da gestire, economica ed accessibile anche al di fuori dei laboratori, portando da un lato ad un aumento esponenziale delle applicazioni, dall'altro a rischi conseguenti, come modificazioni genetiche inaspettate o organismi in grado di impattare negativamente su interi ecosistemi. A facilitare questo processo è il metodo di editing genomico CRISPR-Cas9, una tecnologia versatile ed economica che grazie a "forbici genetiche" (l'enzima Cas) spezza parti di DNA, le elimina o le sostituisce con altre sequenze, per creare sistemi biologici nuovi o modificare quelli esistenti (Jinek et al., 2012). Così, ogni tipo di cellula vegetale, animale, inclusa quella umana, può essere modificata geneticamente e la correzione può avvenire in uno o più punti specifici del genoma. L'efficienza e la facilità d'uso di questo metodo, non permette solamente di creare organismi geneticamente modificati (OGM) in cui una parte di DNA danneggiato o mal funzionante viene eliminato o sostituito con DNA già esistente, ma apre nuove frontiere nel campo della Biologia Sintetica (o Synbio) – espansione ed evoluzione delle biotecnologie – con la quale si approda al territorio della creazione. Il suo scopo, è riscrivere le forme della vita copiandole da quelle esistenti, per esempio sintetizzando la copia del DNA di un batterio; o creare sistemi biologici nuovi, trasferendo copie di DNA da un microorganismo ad un altro. Il risultato, sono oggetti biologici completamente nuovi, con comportamenti e metabolismi radicalmente differenti rispetto all'organismo di partenza e in grado di performare compiti specifici in tempi più brevi.

I progressi tecnologici nella modifica e nella sintesi del DNA, com-



binati con altri avanzamenti come lo screening su scala nanometrica, l'applicazione della trascrizione in vitro (in provetta) e i formati di evoluzione continua senza cellule in silico (al computer, grazie all'IA), porteranno dunque nei prossimi anni ad un uso pervasivo della biologia in molti settori, con un impatto previsto tra i 2 e i 4 trilioni di dollari entro il 2030-2040 (McKinsey, 2020a). Le applicazioni includono terapie cellulari, geniche e su RNA per trattare o addirittura prevenire alcune malattie, modelli predittivi per lo sviluppo di farmaci o vaccini, oppure trattamenti anti-invecchiamento per prolungare la durata della vita. Ad esempio, alcuni ricercatori dell'Accademia Cinese delle Scienze (Università di Pechino) hanno individuato alcuni fattori genetici ed epigenetici che potrebbero essere responsabili della senescenza umana e hanno cominciato a sviluppare una terapia genica in grado di attaccarli, quindi di garantire una "durata della salute" più lunga, curando anche disturbi acuti e cronici associati all'invecchiamento – cancro, diabete di tipo 2, demenza e malattie cardiache – (Wang et al., 2021). Altre applicazioni riguardano ad esempio l'agricoltura di precisione o l'allevamento selettivo, in cui l'uso di marcatori molecolari o genetici permettono la selezione di specie animali e vegetali ai fini di un maggior rendimento della produzione con un minor dispendio di risorse. Le colture possono essere modificate geneticamente per produrre raccolti più elevati ed essere più resistenti al calore o alla siccità, caratteristiche che stanno diventando ancora più importanti alla luce del cambiamento climatico. Alcuni microrganismi, come batteri, lieviti e microbi, possono essere geneticamente modificati per produrre materiali, prodotti chimici ed energia ambientalmente sostenibili. Ad esempio, la start up giapponese Spiber, produce (come molte) seta di ragno a partire da batteri ingegnerizzati (con il trasferimento del DNA del ragno, opportunamente modificato, in essi); oppure Puma, nella sua collezione "Design to Fade" tinge tessuti e scarpe con un pigmento viola derivante da batteri naturali che crescono sulla pelle del tritone alpino (una salamandra, a cui sono state ispirate poi le texture) e nutriti con una sostanza geneticamente modificata. La designer Jen Keane, invece, ha messo a punto un processo di "tessitura microbica" manipolando il processo di crescita del batterio *K. rhaeticus* – che si trova comunemente nel the kombucha – creando un nuovo materiale più forte dell'acciaio e più resistente del kevlar. Successivamente, in collaborazione con il biologo sintetico Marcus Walzer, hanno sviluppato un batterio auto-tingente, capace cioè di produrre cellulosa e melanina, dando vita a "This is GMO"

(Fig.8), la prima tomaia di sneakers "coltivata", tessuta e tinta da un solo organismo geneticamente modificato, compostabile al 100% e totalmente priva di materiali sintetici o coloranti (Neira, 2020). Un settore in forte crescita è anche quello dei biocarburanti, che possono essere prodotti ad esempio tramite fermentazione di scarti organici grazie all'azione di microbi e lieviti migliorati, oppure di batteri geneticamente modificati, come l'*Escherichia Coli* (Shen et al., 2011).

Infine, i progressi nell'ingegneria tissutale e nella medicina rigenerativa, rendono sempre più possibile manipolare e ricreare non solo le singole cellule, ma anche interi biosistemi. Infatti, una più approfondita comprensione delle complesse organizzazioni cellulari e dei meccanismi di interazione tra le diverse cellule, nonché la possibilità di riprodurli, aprono a nuove ricerche di frontiera, con lo scopo ad esempio di riprodurre organi e tessuti umani, tessuti vegetali o carne coltivata in vitro. Protagonista di questo campo di ricerca è la biostampa, un processo che consente di generare strati di cellule preservando il funzionamento delle stesse. In particolare, il metodo più semplice (e più utilizzato) utilizza delle impalcature o "scaffold", disegnate tramite CAD (Computer Aided Design) e stampate in 3D in materiale organico capace di supportare la crescita cellulare di una specie vivente. Il metodo più complesso, necessario ad esempio nel caso di organi formati da più tipi di cellule, la biostampa assume una configurazione più simile a quella di una comune stampa 2D inkjet, in cui idrogel contenenti le diverse cellule vengono distribuiti in maniera controllata da testine multiple. L'applicazione della materia vivente poi, può avvenire in due modi: direttamente, con l'uso di "bioinchiostri" già contenenti cellule in una matrice (in genere idrogel); oppure successivamente, con l'aggiunta di cellule e del relativo nutrimento sullo scaffold, che può essere biodegradabile – quindi sostituibile nella totalità dalla materia biologica – o permanente. Le applicazioni sono molte e prevedono un futuro roseo soprattutto nei settori della medicina rigenerativa e dello sviluppo di farmaci, ma anche in quello del cibo o nella produzione di "sistemi materici" intelligenti, potenziati da interfacce biologiche. Ad esempio, un'interessante collaborazione tra 3D System (pioniere nella stampa 3D) e United Therapeutics Corporation, ha dato vita ad una tecnica ad alta risoluzione di stampa 3D con idrogel, in grado di stampare scaffold polmonari vascolarizzati e a grandezza naturale, che permette alle cellule – aggiunte con successiva perfusione cellulare – di posizionarsi in specifiche architetture e di crescere in

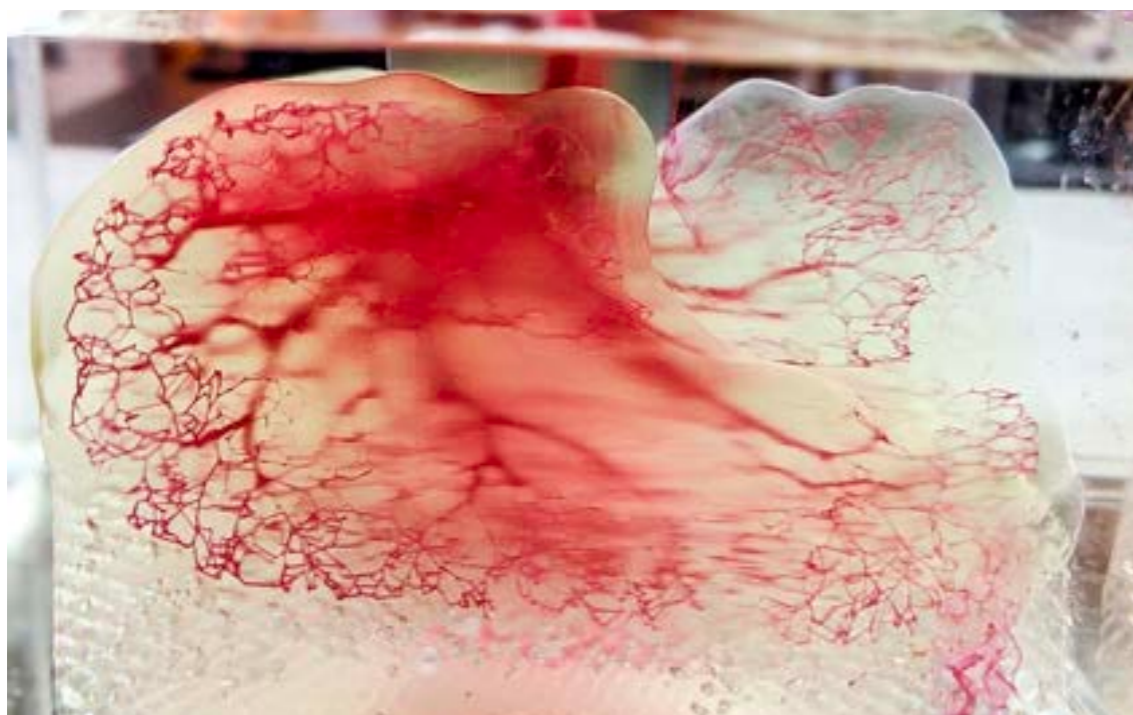


FIG. 8

*This is GMO (2020). Realizzata dalla designer Jen Keane e dal biologo sintetico Marcus Walzer, è la prima tomaia di sneakers "coltivate", tessuta e tinta da un solo organismo geneticamente modificato, compostabile al 100% e totalmente priva di materiali sintetici o coloranti (Neira, 2020), a prima tomaia di sneakers "coltivate", tessuta e tinta da un solo organismo geneticamente modificato, compostabile al 100% e totalmente priva di materiali sintetici o coloranti.*

FIG. 9

*Lung Biofabrication (2021). Immagine dello scaffold polmonare realizzato da 3D System e United Therapeutics Corporation. Come possiamo vedere, la risoluzione di stampa è senza precedenti, permettendo di stampare nel dettaglio ogni singolo capillare.*

maniera controllata, grazie anche ad una matrice nutritiva eterogenea (Moretti, 2021) (Fig. 9). Sul versante del foodtech, la start up Novameat sta perfezionando un processo per produrre carne blu, stampata in 3D e contenente ingredienti di tutti e cinque i regni animali, immaginando un futuro in cui questa tecnologia possa far fronte all'inquinamento generato dagli allevamenti intensivi (De Lorenzo, 2022), mentre i ricercatori dell'ETH di Zurigo sviluppano "FLIK" ("Functional Living Ink") che permetterà in futuro a qualsiasi persona di produrre oggetti o "microfabbriche" potenziati da batteri. Questo bioinchiostro, composto da acido ialuronico, molecole di zucchero a catena lunga e silice pirogenica, funge da scaffold e da ambiente ideale per la crescita di diversi tipi di batteri, che possono ad esempio scomporre fenolo con applicazioni in filtri industriali, o produrre nanocellulosa di elevata purezza per rigenerare tessuti o curare le ferite direttamente su paziente (Dengler, 2017).

**Macro-trend 10 - Biological Data:** La quantità crescente di dati biologici, tra cui la composizione genetica e la composizione del microbioma, sono destinate a trasformare e, in molti casi, ad approfondire le relazioni tra i clienti, i prodotti che utilizzano e le aziende che li realizzano, verso una maggiore personalizzazione di prodotti e servizi di precisione. McKinsey ad esempio, dimostra che sebbene la maggior parte del clamore intorno alle tecnologie biologiche riguarda quelle di manipolazione del vivente, come CRISPR-Cas9, l'applicazione delle intuizioni derivanti dall'analisi dei dati biologici rappresenta oltre il 50% del potenziale economico nei prossimi dieci anni (2020a). Già oggi le aziende stanno pianificando come monetizzare gli exabyte (un miliardo di gigabyte) di dati genetici raccolti ogni anno, ma soprattutto come i dati biologici - al pari di quelli digitali - possano favorire lo sviluppo di prodotti e servizi su misura. Nascono quindi numerose imprese e strutture che offrono servizi privati di genomica personalizzata, come ad esempio Personal Genomics, società spin-off dell'Università di Verona, che offre ai pazienti affetti da malattie rare non diagnosticate la possibilità di analizzare l'intero genoma ed individuare possibili cause della patologia. Oppure, cresce il numero di aziende come MyHeritage DNA (Fig.10), che utilizzano test genetici del consumatore per fornire informazioni sugli antenati e sulle sue origini etniche a partire da un semplice prelievo di saliva. Nutrinx, è invece un test basato sulla nutrigenetica che è in grado di rilevare la predisposizione genetica alle intolleranze, restituirci un piano alimentare personalizzato per prevenire il rischio di alcune patologie o di infortuni nel caso di sportivi, fino a test specifici per i neonati per un'alimentazione atta

ad evitare specifiche sintomatologie durante lo svezzamento. Le crescenti banche dati biologiche offrono anche nuove opportunità per prodotti e servizi di precisione in settori come l'agricoltura e la medicina. Con una comprensione emergente del ruolo del microbioma, l'agricoltura di precisione è destinata a guidare soluzioni agricole innovative che migliorano l'efficienza operativa e la produzione economica. Ad esempio, Trace Genomics può interpretare gli indicatori di rischio per la salute e le malattie delle colture profilando il microbioma del suolo. Queste informazioni possono aiutare i coltivatori a scegliere sementi, nutrienti e altri input su misura, aggiungendole al kit di strumenti per l'agricoltura di precisione che include anche l'imaging satellitare e l'analisi geospaziale. La medicina di precisione, vale a dire la medicina personalizzata sul paziente o mirata ad alcune malattie, tiene conto delle differenze individuali in termini di genetica, microbioma, stile di vita, ambiente ecc., rendendo dunque l'individuazione delle caratteristiche specifiche del singolo soggetto molto utile per individuare i trattamenti più idonei e terapie specifiche, soprattutto per la cura delle patologie oggi ancora difficilmente curabili, delle quali non è sempre immediata l'individuazione del marcatore bersaglio (sequenze di DNA) da colpire con il farmaco. Ad esempio, un team multidisciplinare guidato dalla NASA, ha realizzato un dispositivo delle dimensioni di una chiavetta USB (in genere conosciuti come "organ-on-chip") e contenente cellule umane in una matrice 3D, per testare come queste rispondono a determinati farmaci, a cambiamenti genetici e alla gravità, simulando il livello di stress a cui è sottoposto un astronauta durante un volo spaziale (NASA, 2018).

Oltre a diversificare l'offerta di potenziali servizi a consumatori privati, le banche di dati biologici stanno già proliferando nel mercato B2B (business-to-business) e porteranno nel prossimo futuro ad accelerare il ritmo e la varietà delle scoperte scientifiche, essendo molte piattaforme fondate su principi di condivisione e modelli collaborativi caratteristici dei loro predecessori digitali (crowdsourcing, crowdfunding, ecc.). Ad esempio, molte aziende biotecnologiche, per far fronte agli ancora lunghi tempi di sviluppo dei loro prodotti, ampliano l'accessibilità e l'uso delle proprie piattaforme ad altre aziende, inclusi potenziali concorrenti, al fine di creare sempre più prodotti e a velocità crescente. È il caso di Ginkgo Bioworks, che ha recentemente annunciato il Ferment Consortium, una piattaforma per creare partnership strategiche e lanciare società spin-off, le quali avranno la possibilità di accedere alla piattaforma Ginkgo di

estrazione del genoma per la programmazione cellulare (con conseguente condivisione dei dati prodotti) (Ginkgo Bioworks, 2019). Infine, parlando di "Biological Data", degni di nota sono anche tutti quei dispositivi che ci permettono di risalire alle informazioni relative ad esempio al nostro corpo e che stanno diventando sempre più miniaturizzati e biocompatibili, tanto da essere indossati o ingeriti. Questi dispositivi, usando sensori di tipo chimico o biochimico, sono in grado di rilevare informazioni mediche critiche in un paziente (medicina digitale), oppure essere usati per il biomonitoraggio. Ne sono esempio tutti quei dispositivi che svolgono la funzione dei biomarcatori, in maniera continua e in real-time e che diventano wireless, ossia in grado di inviare dati su una piattaforma che ne consente il monitoraggio, anche da remoto (Phan, 2021). Una ricerca della Technical University of Munich ha sviluppato un modo per rendere i tatuaggi biomarcatori di glucosio, albumina e pH (Fig.11). L'idea è quella di fondere insieme la tradizione millenaria di tatuarsi con l'utilità di avere sempre sotto controllo determinati parametri biologici il cui monitoraggio è essenziale per alcune patologie, come il diabete. Per fare ciò hanno sviluppato un particolare inchiostro che reagisce con le variazioni del liquido extracellulare e che cambia colore a seconda delle concentrazioni delle diverse molecole (Yetisen et al., 2019). Proteus Biomedical e Novartis, due aziende che operano nel settore della medicina digitale e della farmacologia, hanno sviluppato invece un dispositivo digitale, biodegradabile e ingeribile che trasmette informazioni al telefono cellulare in merito a come il corpo sta reagendo al trattamento medico (Debal, 2011). Le "Smart Dust", una tecnologia avanzata a tal punto da creare dispositivi wireless della dimensione di un granello di sabbia, saranno in grado nel futuro di irrompere nella nostra quotidianità e di raccogliere dati a diversi scopi: per monitorare le colture; per interventi senza chirurgia; per individuare inquinanti organici, parassiti e patogeni.

**Macro-trend 11 – Biocomputing and Biomachine interfaces:** Le interfacce tra sistemi biologici e computer sono un ambito ancora poco esplorato, ma che permetterà nel futuro non solo di accelerare ricerca e sviluppo, affrontando così la sfida della produttività, ma anche di potenziale la biologia attraverso l'informatica e viceversa. In primo luogo, la comprensione sempre più profonda della struttura e del funzionamento del sistema nervoso degli organismi viventi e la possibilità di misurare segnali neurali con più accuratezza,



**FIG. 10**  
*MyHeritageDNA (2020). Questa azienda permette di scoprire le proprie origini e il proprio albero genealogico con un semplice prelievo di saliva. Basta comprare il kit e rispedirlo all'azienda per qualche settimana per scoprire come in realtà le diverse razze confluiscono in noi, come possiamo avere antenati sparsi in tutto il mondo, o per trovare parenti lontani con attività di matching che la piattaforma stessa offre.*



**FIG. 11**  
*DermaAbyss (2017). Anche l'MIT in collaborazione con l'Harvard Medical School ha testato la possibilità di realizzare tatuaggi biomarcatori per diabete e glicemia. Hanno creato anche un codice grafico specifico per permettere una facile interpretazione.*

porterà al perfezionamento di neuroprotesi di precisione, che ripristineranno alcune funzioni sensoriali o consentiranno al cervello di controllare il movimento fisico. L'impianto cocleare ad esempio (detto anche "orecchio bionico") è una neuroprotesi che permette di ripristinare l'udito e che ora è ampiamente utilizzata nel mondo, ma le neuroprotesi del futuro saranno più miniaturizzate, integrate con il nostro corpo e in connessione con la nostra mente, oltre che svolgere funzioni di gran lunga più complesse. Chip di memoria che permettono di ricordare perfettamente tutto ciò che si legge, interfacce Internet impiantate nel cervello che traducono i pensieri in ricerche online, chip retinici che permettono di vedere perfettamente al buio, impianti cocleari che consentono di ascoltare qualsiasi conversazione in un ambiente rumoroso e così via, sono una realtà poi non così lontana. Ad esempio, il neurochirurgo Itzhak Fried e i suoi colleghi dell'Università della California hanno dimostrato come con una neuroprotesi in grado di stimolare l'ippocampo, regione cerebrale deputata alla costruzione della memoria a lungo termine, sia possibile memorizzare informazioni "in eterno" (Suthana et al., 2022). Per superare i problemi di natura meccanica e biologica relativi alla necessità di impiantare un dispositivo nel cervello, un team di ricerca dell'Università della California sta sviluppando un'interfaccia cerebrale wireless, una sorta di "polvere neurale" data da migliaia di microsensori biologicamente neutrali e dell'ordine del decimo di millimetro, che converte segnali elettrici in ultrasuoni che possono essere letti al di fuori del cervello (Petrey, 2017). Uno delle sfide più importanti nelle biomachine interfaces, è tuttavia interpretare le informazioni complesse derivanti da 100 miliardi di minuscole cellule nervose che compongono il cervello. A tal proposito sono molti gli studi su dispositivi in grado di decodificare i segnali neurali e di controllare dispositivi robotici con il pensiero. È il caso di BrainGate, un'interfaccia cervello-computer che renderà possibile riabilitare pazienti paralizzati o gestire quotidianamente le tecnologie con il diretto controllo della mente umana. Infine, tra gli studi più promettenti in questi senso è l'optogenetica, derivante dal connubio tra ottica e biologia molecolare: questa tecnica usa la luce per attivare o inibire neuroni che, essendo geneticamente ingegnerizzati, riescono a rispondere in modo preciso ed efficace alla luce. Ciò porterà ad impianti più piccoli, più intelligenti, più solidi ed efficienti, impiegati non solo per scopi riabilitativi, ma anche per migliorare la memoria, la concentrazione mentale, persino l'umore (Marcus & Koch, 2014). Ad esempio, un programma in corso alla

Defense Advanced Research Project Agency (DARPA) del Pentagono per lo sviluppo di nuove tecnologie per uso militare, sta già sostenendo un progetto per impianti cerebrali in grado di ottenere "supersoldati" dalle capacità amplificate (TheAtlantic, 2018). Dal canto suo, Neuralink () presenta una strategia promettente per consentire interfacce cloud-cervello umano, chiamata appunto, basata su nanometrici robot neurali e che permetterà all'umanità di potenziarsi sinergicamente come un collettivo (Martins et al., 2019).

Nel verso contrario, sta emergendo invece il campo del Biocomputing, in cui è la biologia che potenzia l'informatica. In particolare, i computer biologici utilizzeranno cellule e molecole cellulari (DNA, RNA e proteine) per eseguire processi computazionali, come la memorizzazione o il recupero ed elaborazione dei dati. Lo sviluppo dei biocomputer poi, è strettamente interrelato all'espansione della nanobiotecnologia, una nuova scienza che studia il funzionamento dei processi intracellulari e delle reti di cellule in condizioni specifiche, per trasformarli in modelli computazionali. Ad esempio, studi recenti hanno constatato che la densità di archiviazione del DNA è circa un milione di volte quella dell'archiviazione su disco rigido: tecnicamente, un chilogrammo di DNA grezzo potrebbe memorizzare la totalità dei dati digitali del mondo (Service, 2017). La nanobiotecnologia è poi strettamente interrelata con la biologia sintetica, dal momento che i biocomputer non saranno altro che cellule ri-progettate per reagire a determinati input, percorrendo una strada ben definita (algoritmo) e restituire un output in termini di risposta cellulare osservabile. Ad esempio, un team guidato dal biofisico Sangram Bagh, ha realizzato un biocomputer a partire dall'ingegnerizzazione del batterio E.coli che, muovendosi su una rete microscopica (l'algoritmo), decodifica il problema di interesse e ne ha analizzato le risposte (percorso effettuati e posizioni finali), dunque le soluzioni al problema, per sondare il principio del calcolo distribuito tra cellule (Roberts, 2021). Le applicazioni finora esplorate sono naturalmente relative soprattutto alla medicina e alla farmacologia. Ad esempio, nella medicina personalizzata, il biocomputing suggerisce il potenziale di creare nanobot che pattugliano il nostro corpo per mantenere sempre il giusto livello di salute, a discapito anche dell'invecchiamento e di uno stile di vita sbagliato (Chatterjee & Dewangan, 2017). Nella sostituzione di componenti informatiche invece, i biocomputer potrebbero sostituire le porte logiche, circuiti semplici alla base di tutto l'hardware digitale, che da segnali input producono output in base ad algoritmi specifici e logici (Chatterjee

& Dewangan, 2017). Tuttavia, il Biocomputing è un campo nascente, talmente giovane che ancora non riusciamo a capire quale sarà la direzione verso cui andranno gli sviluppi, ma già è possibile immaginare quanto siano rilevanti le relative questioni etiche.

**Macro-trend 12 – Future of clean technologies:** I progressi raggiunti nelle scienze biologiche e biotecnologiche hanno molte potenziali applicazioni utili ad affrontare il cambiamento climatico e la degradazione dell'ecosistema naturale che ci circonda. Agli avanzamenti descritti finora, molti dei quali agiscono in favore dell'ambiente – basti pensare ai materiali bio-derivati o all'agricoltura di precisione – si aggiungono ad esempio tecnologie di biosequestro, che utilizzano processi biologici per catturare le emissioni di carbonio dall'atmosfera, oppure tecnologie di biorisanamento, che utilizzano il metabolismo microbico di determinati microrganismi per biodegradare o detossificare sostanze inquinanti. In particolare, una maggiore consapevolezza a livello globale e l'impellenza di misure contenitive che limitino l'impatto umano sul Pianeta, hanno messo in atto negli ultimi anni sforzi collettivi, multi-stakeholder e multi-disciplinari, che promettono lo sviluppo di ulteriori tecnologie pro-ambiente e la scalabilità a livello industriale di quelle nascenti (DiChristina & Meyerson, 2021).

Anche in questo caso, l'ingegneria genetica e la biologia di sintesi svolgono un ruolo fondamentale, affiancando la chimica verde nello sviluppo di processi trasformativi "puliti", a bassa emissione di carbonio o carbon-free, imitando spesso meccanismi che avvengono in natura. Ad esempio, un team guidato dall'Università di Oxford cerca di far fronte alle centinaia di milioni di tonnellate di fertilizzante azotato utilizzato in agricoltura e fortemente inquinante, cercando di replicare nei cereali il meccanismo con il quale alcuni legumi catturano azoto dal sole "fissandolo" a se stesse sotto forma di ammoniaca (Haskett et al., 2022). In particolare, ingegnerizzando i batteri del suolo che colonizzano le radici dei cereali, stanno cercando di emulare la comunicazione molecolare simbiotica tra legumi e batteri per creare noduli radicali, le fabbriche di fertilizzanti naturali. Molti laboratori stanno invece lavorando allo sviluppo della "chimica alimentata dal sole" in cui fotocatalizzatori ibridi, sensibili alla luce visibile, rompono il legame carbonio-ossigeno nell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e trasformano quest'ultima in diversi materiali: cibo, medicinali, detersivi, biocarburante e tessuti (Martinez, 2020). Così ad esempio, le start-up alimentari Air Protein e Solar

Foods producono proteine commestibili a partire da CO<sub>2</sub> processata rispettivamente da microbi e batteri del suolo; i little black carbon dress di Zara e LanzaTech catturano CO<sub>2</sub> dalle acciaierie e la convertono in etanolo attraverso la fermentazione microbica (Little black carbon-capture dress, 2022); e così via. Alla lista si aggiungono i progressi relativi all'idrogeno "verde" (cioè prodotto senza emissioni di anidride carbonica e altri sottoprodotti), biocarburanti, biopesticidi, smart grid (reti "intelligenti" che ottimizzano la distribuzione dell'energia elettrica), trasporto e aviazione elettrica.

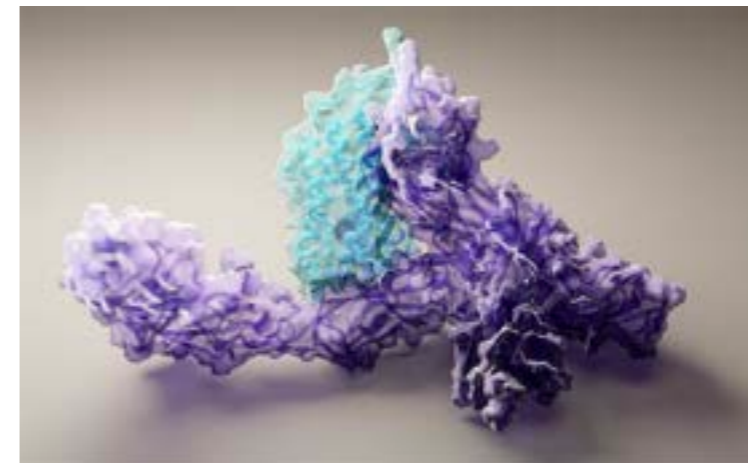
Negli ultimi anni poi, una rinnovata attenzione è stata rivolta ad alcuni organismi viventi i cui processi metabolici, che ne alimentano la vita, sono stati maggiormente compresi e rivalutati per sviluppare processi produttivi più ecologici, monitorare l'ambiente e facilitarne la rigenerazione. Ne sono esempio gli organismi fotosintetici come alghe e cianobatteri; i funghi e la loro simbiosi (i licheni). Quest'ultimi ad esempio, sono da tempo utilizzati per il biomonitoraggio, sia perchè i cambiamenti ambientali possono influire sul loro ciclo vitale piuttosto velocemente (dunque la loro presenza o assenza è già un indicatore); sia perchè funzionano come bioaccumulatori di diverse sostanze inquinanti che possono poi essere analizzate; sia perchè sono presenti in quasi tutti gli habitat del nostro Pianeta, anche in quelli poco vivibili. Ciò è rilevante se consideriamo che il particolato atmosferico è stato identificato come uno dei nove rischi per la sostenibilità ambientale, particolarmente insidioso perchè non siamo ancora in grado di conoscerne gli effetti a lungo termine (Persson et al., 2022). Tuttavia, le numerose lacune nella conoscenza di come funzionano i licheni, di come intercettano e accumulano le sostanze, ha dato vita oggi ad una serie di ricerche che, avvalendosi anche di modelli in vitro sotto condizioni controllate e/o forzate, ne determinano i meccanismi e come sfruttarli al meglio (CORDIS, 2016). Le alghe dal canto loro, possono essere utili a diversi scopi, dalla produzione economica e "green" di cibo, medicinali, biocarburanti e biomateriali; al biorisanamento (di aria e acqua); al biomonitoraggio; alla realizzazione di biobatterie e pannelli biofotovoltaici (Fig.12). Negli ultimi ad esempio, sono stati fatti importanti progressi nello sviluppo dei fotobioreattori per la produzione e coltivazione della biomassa microalgale tramite la cattura e l'utilizzo della CO<sub>2</sub>. Processi combinati con la biomassa microalgale permettono la produzione di bioprodotto e biocarburanti, che hanno tra i tanti vantaggi quello di ridurre drasticamente le emissioni di CO<sub>2</sub>, quindi di ridurre l'inquinamento (Murena et al., 2019). Benché

ci siano ancora delle sfide da superare, come un'efficienza maggiore in spazi minori (con conseguente risparmio di acqua), i fotobioreattori stanno cogliendo l'attenzione di molti ricercatori e progettisti, portando ad ipotizzare future facciate di edifici completamente ricoperte di alghe (es. Arup Building) o colture fai-da-te indoor per l'autoproduzione di alghe come cibo, altamente proteico e ricco di vitamine (es. Coral). Uno studio pubblicato dal Weizmann Institute of Science e dall'Hebrew University di Gerusalemme, ha riscontrato, ad esempio, come una diatomea (alga unicellulare) chiamata *Emiliania huxley* assuma un ruolo fondamentale nella formazione delle nuvole, suscitando un crescente interesse per nuove strategie di georingegneria: quando muore infatti, il suo esoscheletro in carbonato di calcio viene spruzzato nell'aria e favorisce la condensa sulla sua superficie (Perkins, 2018). Le alghe quindi possono svolgere una serie di funzioni, utili all'uomo e alla natura: nel futuro saranno probabilmente nostra fonte energetica e di sostentamento, purificatori di aria, rigeneratori di rifiuti, produttori di ossigeno, medicinali e altri materiali. Per questo motivo, stanno nascendo numerosi studi sui "Bioregenerative Life-Support Systems", ad esempio a base di cianobatteri, ovvero ecosistemi in scala che permetterebbero la sopravvivenza dell'uomo su Marte (Verseux et al., 2021), o negli abissi marini (Hendrickx, 2007), o come prototipo di unità abitative future completamente autonome e ecosostenibili.



**FIG. 12**  
*Printable BPV: Electrogenesis wall-paper (2017). La designer inglese Marin Sawa, in collaborazione con un team di scienziati presso l'Imperial College di Londra, ha prodotto un prototipo di biobatteria e pannello biofotovoltaico insieme, grazie alla stampa a getto di inchiostro di cianobatteri (in grado di produrre energia grazie a fotopigmenti, come la clorofilla) e pigmento conduttivo, disposti e stampati secondo pattern modellati digitalmente.*

## 4.2 Le potenzialità trasformative della Biorivoluzione



**FIG. 13**  
*AlphaFold Mania (2020). Software di intelligenza artificiale sviluppato dall'azienda inglese DeepMind, in grado di predire la struttura tridimensionale di alcune proteine, facilitando di gran lunga la comprensione dei loro meccanismi di azione e la loro eventuale modifica. Nel 2021, l'azienda ha anche reso disponibile a tutta la comunità scientifica l'algoritmo AlphaFold assieme alle predizioni delle strutture 3D di quasi tutti i componenti del proteoma umano e di 20 altri organismi, per un totale di 380.000 proteine (Jumper, 2021). Si tratta di una conquista epocale per le Scienze della Vita, al pari del sequenziamento del genoma umano vent'anni fa, tanto da portare alla cosiddetta "AlphaFold Mania" (Callaway, 2022), ossia alla corsa da parte di innumerevoli scienziati all'uso di questo software per identificare nuove proteine, modificarne di esistenti o per "hakerare" lo stesso software che, a partire da una funzione di partenza che si vuole raggiungere, può produrre più versioni di una stessa proteina che siano stabili e che assolvano al compito (Anishchenko et al., 2021).*

Come si può evincere dalla ricerca estensiva delle tecnologie oggi emergenti, la Bio Rivoluzione non è data solamente dai recenti sviluppi nelle scienze biologiche e nelle biotecnologie, ma da una confluenza di progressi nell'informatica, nell'automazione, nell'intelligenza artificiale e nelle nanotecnologie. In particolare, essa promette un impatto significativo sulle economie e sulle nostre vite influenzando i settori della salute, dell'agricoltura, dei beni di consumo, dell'energia e dei materiali. Secondo McKinsey, fino al 60% degli input fisici per l'economia globale potrebbe essere prodotto biologicamente nei prossimi anni: circa un terzo di questi input sono materiali biologici (legno o animali allevati per il cibo) e i restanti due terzi non sono biologici (plastica e combustibili) ma potrebbero essere potenzialmente prodotti o sostituiti utilizzando la biologia (2020a). In particolare, riassumiamo di seguito in quattro punti le potenzialità principali della Bio Rivoluzione.

**Processi più veloci, automatizzati, sicuri ed economici:** Le tecnologie di manipolazione del vivente diventano sempre più sofisticate, accessibili ed economiche. Basti pensare alla mappatura del

genoma o al metodo CRISPR-Cas9 che con pochi dollari e un lasso di tempo ampiamente gestibile, permettono di analizzare e addirittura riprogettare la biologia. Inoltre, l'avvento di tecnologie al di fuori della sfera biologica, permettono di migliorare ulteriormente sia le tecniche in silico (al computer), sia quelle in vitro (in provetta), portando a risultati più efficaci e puntuali (basti pensare alle soluzioni patient-specific). Ciò riduce significativamente anche l'esperienza empirica e i test necessari per una vasta gamma di applicazioni, superando definitivamente l'approccio trial-and-error. Esempi, sono le simulazioni complesse a livello molecolare, favorite dalle elevate capacità di calcolo e dall'IA (Fig.13) e i progressi nella microfluidica, che rivoluzionando la meccanica dei fluidi, permette di riprodurre in vitro le condizioni ambientali e il passaggio di flussi corporei che avvengono in vivo.

**Nuovi materiali con un plus qualitativo:** La possibilità di riprodurre processi biologici in maniera controllata e in strutture dedicate, ha permesso di produrre negli ultimi anni innumerevoli materiali bio-derivati, chiamati anche "growing materials" o "living materials" proprio per distinguerli da quelli derivanti da riciclo di materiale organico, come molti materiali circolari. In particolare, la possibilità di produrre alcuni processi a costi molto bassi (basti pensare alla fermentazione) ha dato via ad una serie di applicazioni che promettono nel prossimo futuro un mondo più sostenibile ed allineato ai cicli biologici. Negli ultimi anni poi, lo sviluppo tecnologico ha permesso di riprodurre anche alcuni comportamenti intelligenti ed interattivi della biologia, ampliando questo fiorente campo agli "active materials" in grado di performare specifici comportamenti grazie ad interfacce biologiche (Fig. 14).

**Fabbisogno energetico ed alimentare più sostenibile:** Una fitta combinazione di tecnologie biologiche e digitali permettono di rendere i processi alla base del nostro sostentamento, come l'agricoltura, l'allevamento, la produzione di energia e carburante, più sostenibile. A partire dalle tecniche di monitoraggio (biologico e digitale) fino ad arrivare all'agricoltura di precisione, al biorisanamento, al biosequestro e alla produzione di cibo in vitro, possiamo sperare nel prossimo futuro di alleviare l'impronta antropica, verso modelli rigenerativi in grado anche di nutrire la natura.

**Personalizzazione level-up:** Se con il digitale e con la manipolazio-

ne dei dati abbiamo già sperimentato forme di personalizzazione dei prodotti e di applicazioni *context-specific*, con l'emergere della mappatura del genoma le banche dati si arricchiscono di informazioni genetiche in grado di adattare in maniera ancora più puntuale servizi, prodotti e sistemi alle esigenze nostre e del Pianeta. Ne sono esempio la medicina di precisione, quella rigenerativa, i servizi basati su informazioni genetiche e le neuroprotesi.

**Augmentation – potenziare l'uomo e la natura:** Riassuntivo dei precedenti punti, quest'ultimo fa riferimento a come la convergenza di tecnologie fisiche, digitali e biologiche permetteranno nel prossimo futuro di potenziare noi stessi, ma anche la natura. Ciò dipenderà soprattutto dalla nostra capacità di progettare sistemi di vita allineati al funzionamento stesso del vivente. In altre parole, dipenderà dalla nostra capacità di instaurare comportamenti sinergici e forme di cooperazione con la natura e l'artificio che ci circondano, verso un'integrazione ecologica sempre più fitta.



**FIG. 14**  
Adidas Futurecraft Biofabric (2017). Queste sneakers, ancora in fase di prototipo, sono realizzate con un materiale che simula la tela dei ragni. Normalmente le scarpe sono robuste e resistenti, ci puoi correre, camminare e bagnarle ma, una volta dismesse, basta far entrare in azione un enzima che le polverizza: una volta diventate obsolete, infatti, le Futurecraft Biofabric possono essere degradate lasciando intatta solo la suola (riciclabile).

## Tech Trends in Sapienza

Esperimento 4

Il quarto capitolo analizza la Biorivoluzione da un punto di vista tecnologico e i trend più importanti che la caratterizzano. In particolare, attraverso l'analisi dei principali avanzamenti nelle sfere del fisico, del digitale e del biologico – ed una loro combinazione –, il capitolo mostra come le tecnologie stiano evolvendo verso un paradigma di funzionamento biologico.

A supporto dell'estensiva ricerca sui trend tecnologici, viene presentato in questo "Esperimento" la terza tappa del percorso "Biovision", caratterizzata da un'attività interdisciplinare di confronto sui trend della ricerca, sia avanzata che tradizionale, considerando come univertà target Sapienza. L'attività è stata organizzata come una giornata di studi dal titolo "Biovision of the Future. Tech Trends & Sapienza Research" e sono stati coinvolti gli studenti di dottorato, partecipanti dell'intero percorso di ricerca, e sette professori universitari, ciascuno afferente ad un diverso dipartimento (Fig. 1) che hanno raccontato lo stato dell'arte delle proprie ricerche e le prospettive future di medio-lungo termine. Di seguito descriveremo molto brevemente gli interventi dei

relatori, ponendo l'accento sull'interdisciplinarietà che ha caratterizzato l'evento e su come queste occasioni possano essere di grande stimolo non solo per la cultura del progetto, ma anche per una fertilizzazione reciproca di tutti i partecipanti. Il primo intervento è stato presentato dalla prof.ssa Alessandra Battisti, docente in Tecnologia dell'Architettura presso il Dipartimento PDTA di Sapienza. Le sue ricerche si focalizzano sulla mitigazione e l'adattamento delle città ai cambiamenti climatici, i quali non trasformano semplicemente le città in isole di calore, ma si ripercuotono sulla sostenibilità sociale e sul benessere delle persone. Nel progetto "Amor" da lei coordinato, la ricerca si è focalizzata sulla raccolta di dati attraverso "planet walking" (camminate outdoor) per capire quanto il cambiamento climatico influisce sulle persone: un'attività che viene svolta dagli stessi ricercatori attraverso centraline fisse portatili e fai-da-te di raccolta di dati climatici. Il risultato è una mappatura della città che, attraverso software computazionale, restituisce per ciascun punto registrato la percentuale di comfort o di stress a cui sono soggetti i cittadini anche

in base alla loro età, a come sono vestiti, ai loro movimenti, ecc. Queste mappature permettono di capire come la conformazione delle aree urbane (dall'ampiezza delle strade, all'altezza degli edifici, alla quantità di verde, ecc.) influiscono sulle condizioni climatiche della città e su come quindi possono essere migliorate. I software e le attrezzature possono essere anche essere utilizzate in ambienti indoor per simili scopi. A seguito di un'estensiva fase di studio dei dati, il progetto ha avuto come risultato finale la progettazione di pareti verdi e responsive per la rigenerazione urbana. Il secondo intervento è stato presentato dalla prof.ssa Annamaria Gisario del Dipartimento DIMA di Sapienza e si è focalizzato sull'utilizzo della tecnologia laser nell'industria del manufacturing, in particolare per la saldatura di bioplastiche sostenibili (in genere di difficile lavorazione o con rischio di risultati poco precisi). L'intervento ha posto dunque un focus particolare sulle contemporanee bioplastiche ad oggi maggiormente utilizzate nell'industria e sui loro processi di lavorabilità. Il terzo intervento è stato presentato dal prof. Alessandro



FIG. 1 Flyer dell'evento.

De Luca, docente in Automatica presso in Dipartimento DIAG di Sapienza. Il suo intervento si è focalizzato sulla collaborazione uomo-robot in ambito industriale ed oltre, presentandone dapprima uno stato dell'arte estensivo con numerosi esempi di robot – ad oggi ormai di ciascun tipo – e successivamente qualche esempio specifico dalle sue ricerche e risultati. Queste ultime si focalizzano sulla connessione intelligente di percezione ed azione nei robot e nelle macchine a controllo numerico allo scopo principale di tutelare gli operatori che lavorano a contatto con i robot. Questi ultimi, progettati da lui e dal suo team, sono infatti dotati di un'ottimale sistema di percezione della realtà fisica e conseguente controllo del movimento. L'importanza strategica di queste linee di ricerca risiede soprattutto in ipotesi future distopiche che vedono robot incontrollati, progettati in modo non approfondito abbastanza da ledere la sicurezza delle persone. Inoltre, vi sono più modalità in cui le strutture robotiche possono scambiare forza con il corpo umano, per esempio in tutti gli esoscheletri (HR interaction) sia per scopi riabilitativi che di augmentation delle capacità di un



operatore umano.

Il quarto intervento è stato presentato dalla prof.ssa Silvia Di Angelantonio del Dipartimento di Fisiologia e Farmacologia e si è focalizzato sulla tecnica della biostampa applicata al settore farmacologico. Le sue ricerche si focalizzano sullo sviluppo di strutture ad alto contenuto tecnologico per la generazione di colture neuronali di nuova generazione: una combinazione di organoidi del cervello auto-assemblanti e strutture biostampate (Fig. 2).

Il quinto intervento è stato presentato dalla prof.ssa Luisa Avitabile, docente in Filosofia del Diritto del Dipartimento di Scienze Giuridiche della Sapienza. Il suo intervento è stato molto articolato, a partire dalle nozioni di diritto, soggetto, io e individualità, fino al diritto applicato alla rete e all'intelligenza artificiale.

Il sesto intervento è stato presentato dal prof. Reverberi del Dipartimento di Biologia Ambientale di Sapienza e le cui ricerche si focalizzano sullo studio di funghi patogeni per le colture alimentari e sui conseguenti metodi di *bioremediation*. Uno dei suoi studi (successivamente ripreso da uno dei gruppi del workshop Biovision) si è focalizzato anche su una specie di fungo non nociva, il *Trametes Versicolor*, ma che può essere utilizzata per ottenere principi attivi per la cosmetica, l'industria alimentare (ad esempio per la produzione di pane meno soggetto a muffa) e la farmaceutica.



FIG. 2 Colture neuronali prodotte con il supporto della biostampa. Prof.ssa Silvia Di Angelantonio

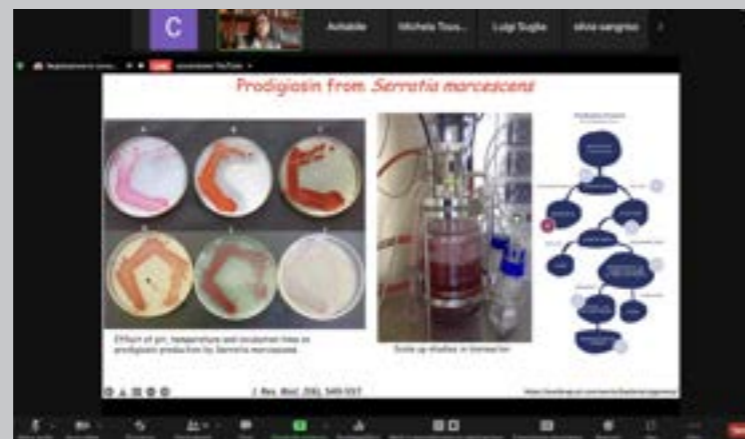


FIG. 2 Prodigiosina, un pigmento cromogenico che varia colore al variare dell'acidità (pH) della soluzione. Prof.ssa Teresa Rinaldi

Il *Trametes Versicolor* può anche essere utilizzato come biorimediazione. Infine, il settimo intervento è stato presentato dalla prof.ssa Teresa Rinaldi del Dipartimento di Biologia e Biotecnologie di Sapienza, un vero e proprio viaggio alla scoperta dei batteri e

dei pigmenti da essi prodotti come strategia futura per produzioni più sostenibili, ma anche per artefatti futuri bio-attivi e bio-intelligenti. I pigmenti, definibili come "metaboliti secondari", ovvero composti chimici prodotti dal metabolismo, sono infatti utilizzati dai batteri (e non solo)

come meccanismi di difesa contro alcuni aspetti specifici degli ambienti in cui sono inseriti per garantire crescita e sviluppo della specie, per cui ne derivano molte proprietà applicabili anche al progetto di nuovi artefatti, come: protezione dai raggi UV (melanina e carotenoidi); idrofobia (indigosina); resistenza ai microbi (actinorhodin); resistenza ai funghi (Prodigiosina); cromogenia (violacein) e così via. I batteri cromogenici ad esempio, permettono di estrarre diverse *nuance* di colore variando l'acidità (pH) dell'ambiente (Fig. 3); i batteri antiossidanti (come i carotenoidi) vengono aggiunti ai cibi per debellare molecole dannose per i nostri corpi; i batteri antimicrobici o antimicotici possono essere utilizzati per tingere tessuti "asettici". Alcuni pigmenti possono poi essere fluorescenti, come nel caso della pioverdina prodotta dal batterio *Pseudomonas Aeruginosa* (Fig. 6), e vengono utilizzati nella biologia molecolare per osservazioni al microscopio a fluorescenza di specifiche molecole. Interessante è stata anche la parentesi sui batteri utilizzati per la biomineralizzazione e la produzione di carbonato di calcio. Un team di ricerca da lei guidato, utilizzano ad esempio questi batteri per la protezione del patrimonio culturale.

FIG. 6 Fluorescenza della pioverdina prodotta da *Pseudomonas Aeruginosa*. Prof.ssa Teresa Rinaldi



FIG. 4 Pareti verdi e responsive per la rigenerazione urbana. Prof.ssa Alessandra Battisti



FIG. 5 Collaborazione uomo-macchina ottimizzata per il controllo della reattività di robot ad elementi fisici. Prof. Alessandro De Luca.



La registrazione integrale è disponibile al link.



FIG. *Electric Life*, Teresa van Dongen, 2018

## References

- AI100 (2021). *Gathering Strength, Gathering Storms: the One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100) 2021 Study Panel Report*. New York: AI100.
- Alaghband, M. (Producer) & Ball, M. (Presenter). (2022, March 29). *The promise and peril of the metaverse*. [Podcast]. New York: McKinsey's Technology Council. Retrieved May 8, 2022, from <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-promise-and-peril-of-the-metaverse?cid=podcast-emi-alt-mip-mck&hdpid=801aeb11-2f31-47ef-b609-0373462211d9&hctky=13509886&hlkid=2724f6dc759f4657ae3fa6aae53b2835>
- Armitage, H. (2022, January 12). Fastest DNA sequencing technique helps undiagnosed patients find answers in mere hours. *Stanford Medicine News*. Retrieved from <https://med.stanford.edu/news/all-news/2022/01/dna-sequencing-technique.html>
- Balaguru, K., Foltz, G.R., Leung, L.R., Hagos, S.M. & Judi, D.R. (2018). On the Use of Ocean Dynamic Temperature for Hurricane Intensity Forecasting. *Weather and Forecasting* 33(2), 411-418.
- Baneschi, I. & Doveri, M. (2022, May 7). Le acque nel reame del ghiaccio: scienza alle Isole Svalbard. *Rinnovabili*. Retrieved from <https://www.rinnovabili.it/ambiente/cambiamenti-climatici/acque-ghiaccio-scienza-isole-svalbard/>
- Bellini, M. (2019, March 27). Blockchain: i benefici concreti e le applicazioni più promettenti per 27 settori. *Blockchain4Innovation*. Retrieved from <https://www.blockchain4innovation.it/iot/blockchain-benefici-concreti-le-applicazioni-piu-promettenti-27-settori/>
- Cerbeyra (2022, January 13). *Cyber Security nella Sanità Italiana : i Recenti Attacchi alle Strutture Sanitarie*. Message posted on <https://blog.cerbeyra.com/cyber-security/cyber-security-nella-sanita-attacchi-recenti-alle-strutture-sanitarie/>
- Chatterjee, J. M. & Dewangan, S. (2017). Bio Computers. Trends & Applications. *International Journal of Advance Computational Engineering and Networking*, 5(11), 28-32.
- Cheng, G., Ehrlich, S. K., Lebedev, M. & Nicoletis, M.A. (2020). Neuroengineering challenges of fusing robotics and neuroscience. *Science Robotics*, 4(49).
- Christou, A., Chirila, R. & Dahiya, R. (2021). Pseudo-Hologram with Aerohaptic Feedback for Interactive Volumetric Displays. *Advanced Intelligent Systems*, 4(2).
- Cobb, J., Cockerill, M. & Weightman, C. (2021). *The Future of Ambient Technology: The view from Map*. Londra: Map Project Office.
- CORDIS (2006). *I potenziali pericoli dell'intelligenza artificiale*. Retrieved May 5, 2022, from <https://cordis.europa.eu/article/id/25981-the-potential-dangers-of-ambient-intelligence/it>
- CORDIS (2016, March 31). *I licheni per monitorare l'inquinamento atmosferico*. Message posted on <https://cordis.europa.eu/article/id/190820-lichens-as-monitors-of-air-pollution/it>
- Cozzi, P. (2021, April 16). Il futuro della robotica: gli indirizzi e le applicazioni che marcheranno il suo futuro. *Tech4Future*. Retrieved from <https://tech4future.info/robotica-evoluzione-applicazioni-futuro/#1-il-problem-solving-perno-del-futuro-della-robotica-educativa->

- Crook, L. (2021). Amber Slooten reveals her vision for a more inclusive fashion industry in a live Dezeen 15 interview. *Dezeen*. Retrieved from <https://www.dezeen.com/2021/11/03/dezeen-15-interview-amber-slooten-the-fabricant-talk/>
- De Lorenzo, D. (2022, February 27). E se in futuro mangiassimo carne blu?. *Wired*. retrieved from <https://www.wired.it/article/carne-blu-novameat/>
- Deloitte (2020, March 22). *Impact of COVID-19 on Cybersecurity*. Message posted on <https://www2.deloitte.com/ch/en/pages/risk/articles/impact-covid-cybersecurity.html>
- Dengler, R. (2017, December 1). The ink this 3D printer uses is alive. Watch it in action. *Science*. Retrieved from <https://www.science.org/content/article/ink-3d-printer-uses-alive-watch-it-action>
- Dhebar, A. (2011, December 1). Intelligent Medicine: The Novartis-Proteus Alliance. *Harvard Business publishing*. Retrieved from <https://hbsp.harvard.edu/product/BAB696-PDF-ENG>
- Diamandis, P. (2020, January 10). 20 Technology Metatrends that will Define the Next Decade. *Singularity Hub*. Retrieved from <https://singularityhub.com/2020/01/10/20-tech-metatrends-to-look-out-for-in-the-2020s/>
- DiChristina, M. & Meyerson, B. (2021, November 16). These are the top 10 emerging technologies of 2021. *World Economic Forum*. Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2021/11/these-are-the-top-10-emerging-technologies-of-2021/>
- Eco-Age (2020, August 19). The Slow Fashion Start-Up Using Photosynthesis to Create Climate Positive Clothing. *Sustainability Stories*. Retrieved from <https://eco-age.com/resources/slow-fashion-start-using-photosynthesis-create-climate-positive-clothing/>
- European Defence Agency (2018). *Cyber Defence*. Ixelles: European Defence Agency.
- Gabriele, P. (2021, May 24). Le microalghe e i fotobioreattori: il futuro legato alla cattura della CO2. *Authorea*. retrieved from [https://www.authorea.com/users/391711/articles/506924-le-microalghe-e-i-fotobioreattori-il-futuro-legato-alla-cattura-della-co2#Murena\\_2019](https://www.authorea.com/users/391711/articles/506924-le-microalghe-e-i-fotobioreattori-il-futuro-legato-alla-cattura-della-co2#Murena_2019)
- Gardi, G., Ceron, S., Wang, W., Petersen, K. & Sitti, M. (2022). Microrobot collectives with reconfigurable morphologies, behaviors, and functions. *Nature Communications*, 13, 22239.
- Gartner (2022). *Gartner Top Strategic Technology Trends for 2022*. Stamford: Gartner.
- Ginkgo Bioworks (2019, October 10). *Ginkgo Bioworks Announces the Ferment Consortium, a \$350 Million Investment Vehicle to Disrupt Established Markets with New Synthetic Biology Companies*. Message posted on <https://www.pr-newswire.com/news-releases/ginkgo-bioworks-announces-the-ferment-consortium-a-350-million-investment-vehicle-to-disrupt-established-markets-with-new-synthetic-biology-companies-300936381.html>
- Ginsberg, A. D. & Chieza N. A. (2018). Other Biological Futures. *Journal of Design and Science*, 4(1), 1-15.
- Gladman, A. S., Matsumoto, E. A., Nuzzo, R. G., Mahadevan, L. & Lewis, J. A. (2016). Biomimetic 4D printing. *Nature Materials*, 15, 413-418.
- Gojanc, M., Gerl, A. & Kert, M. (2022). Screen Printing of pH-Responsive Dye to Textile. *Polymers*, 14, 447.
- Granato, G. (2020, March 12). *Fan Experience e 5G: come cambia lo sport*. Message posted on <https://www.gabrielegranato.it/fan-experience-5g-cambia-lo-sport/>
- Gregory, T. M., Gregory, J., Sledge, J., Allard, R. & Mir, O. (2018). Surgery guided by mixed reality: presentation of a proof of concept. *Acta orthopaedica*, 89(5), 480-483.
- Gruskin, D. (2020). Designs for Life in the "Century of Biotechnology". *DIID\_Disegno Industriale, Industrial Design*, 69, 12-16.
- Haleem, H., Javaid, M., Singh, R. P. & Suman R. (2021). Significant roles of 4D printing using smart materials in the field of manufacturing. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(4), 301-311.
- Haskett, T. L., Paramasivan, P., Mendes, M. & Poole, P. (2022). Engineered plant control of associative nitrogen fixation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119 (16).
- Hendickx, L. & Mergeay, M. (2007). From the deep sea to the stars: human life support through minimal communities. *Current Opinion in Microbiology*, 10 (3), 231-237.
- Intel (2020a, March 16). How a Computer Chip Can Smell without a Nose. *Intel Newsroom*. Retrieved from <https://newsroom.intel.com/news/how-computer-chip-smell-without-nose/#gs.00bvqq>
- Intel (2020b, July 15). Singapore Researchers Look to Intel Neuromorphic Computing to Help Enable Robots That 'Feel'. *Intel Newsroom*. Retrieved from <https://newsroom.intel.com/news/singapore-researchers-neuromorphic-computing-robots-feel/#gs.00bwie>
- Intini, E. (2017, July 29). Spazio: il microsatellite per voli interstellari. *Focus*. Retrieved from <https://www.focus.it/scienza/spazio/il-microsatellite-per-voli-interstellari>
- Jain, I. (2019, April 10). Smart Farms? How AI Can Solve Water Wastage. *Earth.Org*. Retrieved from <https://earth.org/smart-farms-how-ai-can-solve-water-wastage-%EF%BB%BF/>
- Javaid, M. & Haleem, A. (2020). Significant advancements of 4D printing in the field of orthopaedics. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 11(4), S485-S490.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A. & Charpentier, E. (2012). A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337 (6096), 816-821.
- Karan, S. K., Maiti, S., Kwon, O., Paria, S., Maitra, A., Kumar, S., Yunseok, K., Kim, J. K. & Khatuaa, B. B. (2018). Nature driven spider silk as high energy conversion efficient bio-piezoelectric nanogenerator. *Nano Energy*, 49, 655-666.
- Kelly, K. (1994). *Out of Control: The New Biology of Machine, Social System and the Economic Worlds*. Melbourne: Addison-Wesley.
- Lathan, C. E. & Ling, G. (2020, November 10). Spatial Computing Could Be the Next Big Thing. Beyond virtual and augmented reality. *Scientific American*. Retrieved from <https://www.scientificamerican.com/article/spatial-computing-could-be-the-next-big-thing/>
- Leifler, K. S. (2022, March 17). Digital twins will help us understand how the body works. *Linköping University*. Retrieved from [https://liu.se.translate.goog/en/news-item/digitala-tvillingar-for-att-forsta-hur-kroppen-fungerar?\\_x\\_tr\\_sl=auto&\\_x\\_tr\\_tl=it&\\_x\\_tr\\_hl=it&\\_x\\_tr\\_pto=op](https://liu.se.translate.goog/en/news-item/digitala-tvillingar-for-att-forsta-hur-kroppen-fungerar?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=it&_x_tr_hl=it&_x_tr_pto=op)
- Libertino, S., Plutino, M. R. & Rosace, G. (2018). Design and development of wearable sensing nanomaterials for smart textile. *AIP Conference Proceedings*, 1990, 1-8.
- Licata, P. (2022, February 15). Il computer quantistico arriva nel business. Ecco cos'è, come funziona e quali sono le prime applicazioni commerciali. *Digital4Executive*. Retrieved from <https://www.digital4.biz/executive/innovation-management/computer-quantistico-quantum-computing/>
- Linköping University (2022). *Knowledge Driven Drug Development*. Retrieved May 5, 2022, from <https://liu.se/en/research/knowledge-driven-drug-development>
- PLittle black carbon-capture dress (2022). *Nature Biotechnology*, 40(7).
- Marcus, G. & Koch, C. (2014, March 14). The Future of Brain Implants. *The Wall Street Journal*. Retrieved from <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304914904579435592981780528>
- Martinez, J. G. (2020, November 10). Sun-Powered Chemistry Can Turn Carbon Dioxide into Common Materials. *Scientific American*. Retrieved from <https://www.scientificamerican.com/article/sun-powered-chemistry-can-turn-carbon-dioxide-into-common-materials/>
- Martins, N. R. B., Angelica, A., Chakravarthy, K., Svidinenko, Y., Boehm, F.J. et al. (2019). Human Brain/Cloud Interface. *Frontiers in Neuroscience*, 13.

McKinsey Global Institute (2020a). *The Biorevolution. Innovation transforming economies, societies and our lives*. New York: McKinsey Global Institute.

McKinsey Global Institute (2020b). *The top trends in tech*. New York: McKinsey Global Institute.

McKinsey Global Institute (2021). *Quantum computing: an emerging ecosystem and industry use cases*. New York: McKinsey Global Institute.

Meloni, D. (2021, November 10). Microrobot che somministrano farmaci ispirati alle stelle marine. *TechTrends*. Retrieved from <https://tech.icrewplay.com>

Moretti, I. (2021, April 1). Una svolta nella biostampa, grazie a 3D Systems e United Therapeutics. *TechneLab*. Retrieved from <https://www.tecnelab.it/approfondimenti/storie/una-svolta-nella-biostampa-grazie-a-3d-systems-e-united-therapeutics>

Moriarty, (2018, June 6). Drone used to pollinate Central New York apple orchard. *Siracuse*. Retrieved from [https://www.syracuse.com/business-news/2018/06/drone\\_used\\_to\\_pollinate\\_central\\_new\\_york\\_apple\\_orchard.html](https://www.syracuse.com/business-news/2018/06/drone_used_to_pollinate_central_new_york_apple_orchard.html)

Murena, A., Borea, L., Zarra, T., Boguniewicz-Zablocka, J., Belgiorno, V. & Naddeo, V. (2020). WaterEnergy Nexus: Evaluation of the Environmental Impact on the National and International Scenarios. In: Naddeo, V., Balakrishnan, M., Choo, KH. (eds) *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*. Berlin: Springer International Publishing.

NASA (2018, November 8). *Small Tissue Chips in Space a Big Leap Forward for Research*. Message posted on <https://www.nasa.gov/tissue-chips>

Neira, J. (2020, November 11). Jen Keane employs microbial weaving in 'this is grown' shoe. *Designboom*. Retrieved from <https://www.designboom.com/technology/jen-keane-this-is-grown-microbial-grown-shoe-11-11-2020/>

Osservatorio Digital Innovation (2022). *Intelligenza Artificiale: l'anno della svolta*. Osservatorio Digital Innovation.

Oxman, N. (2016b, January 17). *Towards a material ecology*. Essay retrieved from: World Economic Forum

Palumbo, J. (2021, April 28). Are we ready for our smart home devices to become truly "smart"? *CNN style*. Retrieved from <https://edition.cnn.com/style/article/future-smart-home-ambient-technology/index.html>

Park, A. (2021, May 24). Breathonix's 60-second COVID-19 breathalyzer test receives provisional green light in Singapore. *Fierce Biotech*. Retrieved from <https://www.fiercebiotech.com/medtech/breathonix-s-covid-19-breathalyzer-test-receives-provisional-authorization-singapore>

Perkins, S. (2018, August 15). This alga may be seeding the world's skies with clouds. *Science*. Retrieved from <https://www.science.org/content/article/alga-may-be-seeding-world-s-skies-clouds>

Persson, L., Carney Almroth B. M., Collins, C. D., Cornell, S., De Witt, C. A., Diamond, M. L. et al. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science and Technology*, 56(3), 1510-1521.

Petrey, M. (2017, September 28). Dust in the Machine. *Cal Alumni Association*. Retrieved from <https://alumni.berkeley.edu/california-magazine/fall-2017-bugged/dust-machine>

Repko, M. (2022, January 17). EO says metaverse is way to tap into younger generation of shoppers. *CNBC*. Retrieved from <https://www.cnbc.com/2022/01/17/ralph-lauren-ceo-says-metaverse-is-way-to-tap-into-younger-shoppers.html>

Roberts, D. (2021, November 9). An E. coli biocomputer solves a maze by sharing the work. *MIT Technology Review*. Retrieved from <https://translate.google.com/website?sl=auto&tl=it&hl=it&u=https://www.technologyreview.com/2021/11/09/1039107/e-coli-maze-solving-biocomputer/&anno=2>

Rockwell Automation (2015). *Growing success in biotechnology. How a smart, connected facility cultivates innovation that improves output*. Milwaukee: Rockwell Automation.

Schwab, K. (2016). *La quarta rivoluzione industriale* (ADAPT, Trans.). Milano: Franco Angeli.

Self Assembly Lab (2015). *Programmable Table* [Video]. Retrieved from <https://vimeo.com/125163289>

Service, R. (2017, March 2). DNA could store all of the world's data in one room. *Science*. Retrieved from <https://www.science.org/content/article/dna-could-store-all-worlds-data-one-room>

Sharma, R., Mishra, R., Ngo, T., Guo, X. Y., Fukami, S., Sato, H., Ohno, S. & Yang, H. (2021). Electrically connected spin-torque oscillators array for 2.4 GHz WiFi band transmission and energy harvesting. *Nature Communications*, 12(1).

Shen, C. R., Lan, E. I., Dekishima, Y., Baez, A., Cho, K. M. & Liao, J. C. (2011). High titer anaerobic 1-butanol synthesis in *Escherichia coli* enabled by driving forces. *Applied and Environmental Microbiology*

Shi, L., Beichen, L., Changil, K., Kellnhofer, P. & Matusik, W. (2021). Pseudo-Hologram with AeroHaptic Feedback for Interactive Volumetric Displays. *Nature*, 591, 234-239.

Signorelli, A. D. (2020, July 7). Come sarà il futuro dell'agricoltura. Droni, robot, trattori autonomi, sensori e big data: coltivare i campi sta diventando un lavoro hi-tech. *Wired*. Retrieved from <https://www.wired.it/attualita/tech/2020/07/29/futuro-agricoltura/>

Silver, M. (2020, June 5). New smart fabrics with bioactive inks monitor body and environment by changing color. *TuftsNow*. Retrieved from <https://now.tufts.edu/2020/06/05/new-smart-fabrics-bioactive-inks-monitor-body-and-environment-changing-color>

Suthana, N., Haneef, Z., Stern, J., Mukamel, R., Behnke, E., Knowlton, B. & Fried, I. (2022). Memory Enhancement and Deep-Brain Stimulation of the Entorhinal Area. *The New England Journal of Medicine*, 366, 502-510.

Tangible Media Group (2017). *Transformative Appetite* [Video]. Retrieved from <https://vimeo.com/199408741>

Trovato, V. (2018). *Smart-Textiles classificazione e approcci di sviluppo*. Milano: Regione Lombardia.

Valerio, C. (2022). Il matrimonio tra il signor Kondo e Hatsune Miku, l'uomo che ha sposato un ologramma. *La Repubblica*. Retrieved from [https://www.repubblica.it/cronaca/2022/04/27/news/il\\_matrimonio\\_tra\\_il\\_signor\\_kondo\\_e\\_hatsune\\_miku\\_luomo\\_che\\_ha\\_sposato\\_un\\_ologramma-347181956/](https://www.repubblica.it/cronaca/2022/04/27/news/il_matrimonio_tra_il_signor_kondo_e_hatsune_miku_luomo_che_ha_sposato_un_ologramma-347181956/)

Verseux, C., Heinicke, C., Ramalho, T.P., Determann, J., Duckhorn, M., Smagin, M. & Avila, M. (2021). *Frontiers Microbiology*, 12.

Wang, W., Zhang, Y., Sun, S., Li, W., Song, M. et al. (2021). A genome-wide CRISPR-based screen identifies KAT7 as a driver of cellular senescence. *Science Translational Medicine*, 13(575).

Yetisen, A. K., Moreddu, R., Seifi, S., Jiang, N., Vega, K. et al. (2019). Dermal Tattoo Biosensors for Colorimetric Metabolite Detection. *Angewandte Chemie*, 58(31), 10506-10513.

Zewe, A. (2021, December 6). Taking some of the guesswork out of drug discovery. *MIT News*. Retrieved from <https://news.mit.edu/2021/model-predicts-3d-molecule-drugs-1206>

FIG. p 250. *Electric Life*, Teresa van Dongen, 2018. Batteri come fonte di energia e luce.

PARTE 2

# Materialità Bio-Aumentata

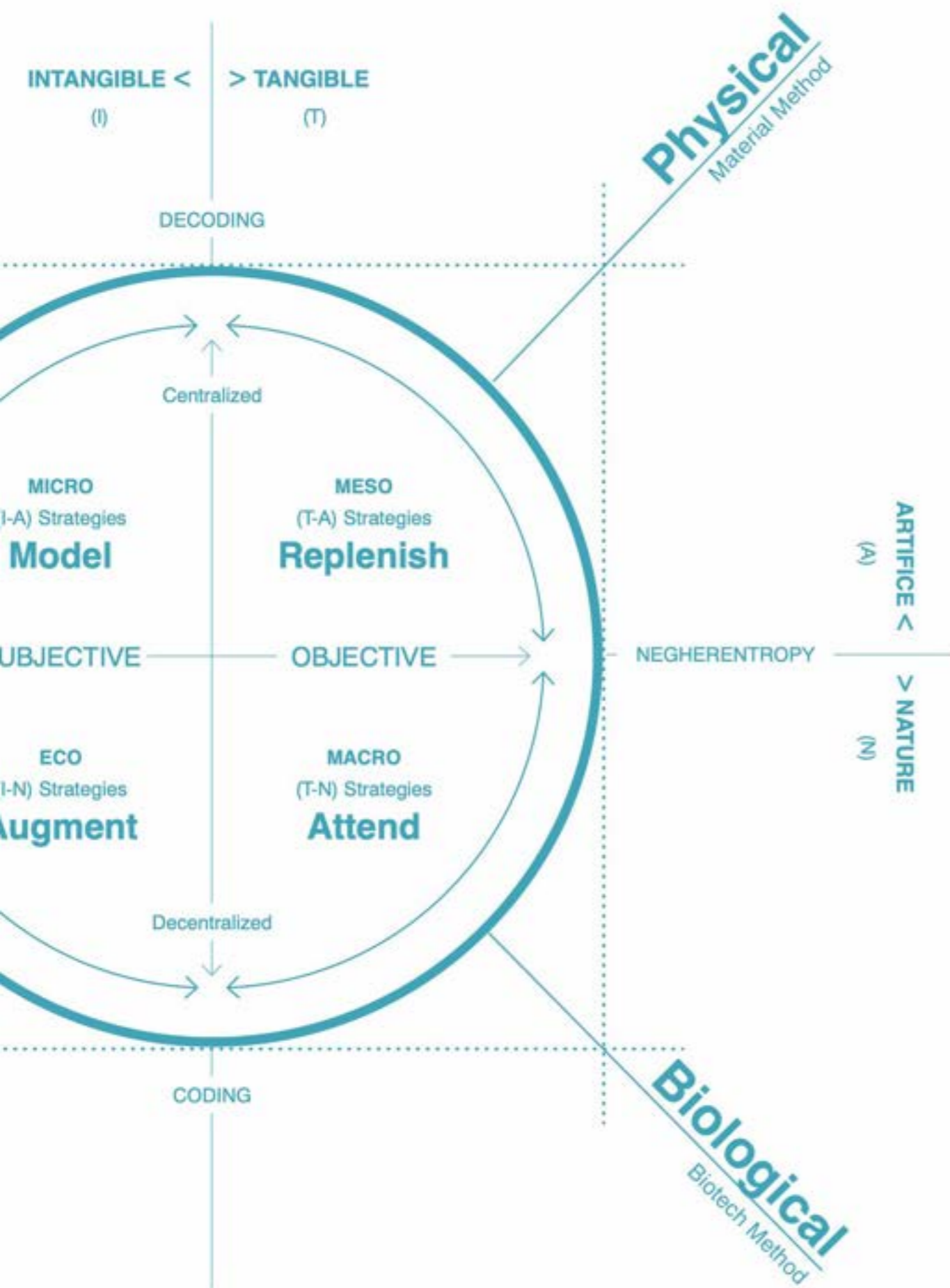
## CAPITOLO 5 "Bio-Aumentare" il Pianeta

### ABSTRACT (INGLESE)

*The fifth chapter takes up the discussion undertaken in the third chapter on the renewed relational aesthetics and processes and tries to put them into a system through the concept of "Bio-Augmented Materiality", focusing on how they can be catalysts for new ways to post- - anthropocentric. The deconstruction of the dominant deterministic thought makes it possible to move away from the accretive development logic anchored in the industry; technology push innovation, market pull strategies, official science, facilitating experimental approaches and practices aimed at alternative, possible and desirable futures of co-evolution between man and nature, technology and ecology. In particular, the alignment of creative and design methods with the poetics of nature allows us to reflect on the critical use of the technologies we have today and on the practical possibilities of design to direct our models of life, production and consumption towards biological-like growth and development strategies. The concept, therefore, acts as a visualization and navigation tool between the overlapping and competing ideas in which we are immersed, addressing the issue of sustainability from multiple points of view and showcasing the conflicting nature of the "matters in question" with which we design. It applies strategic reflection - understood as a critical investigation of the relationships between the variables (intrinsic and extrinsic, positive and negative) linked to the system - at all levels, from design to design for nature, defining for new production techniques strategic decisions that they act now for preferable futures. For these reasons, we also want to give this concept some adjectives, such as a set of methodologies and vectors of strategic actions which, inspired by how nature deals with processes of growth and development, should characterize the practice of design with and for nature shortly. To explain this idea well, we will start with a critical discussion of the concept of "Augmentation", which is closely related to the philology of human evolution and which is now extended to the entire ecosystem in which we are inserted (5.1 The concept of "Augmentation"). Subsequently, we will focus on the concept of "Materiality", understood not as physical matter but as the substance of material relationships and their different conception and manipulation by designers, thanks also to the new technological possibilities we have today (5.2 The concept of "Materiality"). Finally, the adjectives that characterize the innovation space identified will be defined, such as design approaches and processes that in some way encourage a new experiential and rhizomatic mode of action, as well as relational and multilayered ways of thinking (5.3 "Bio-Augmented Materiality": towards a proactive).*

### ABSTRACT

Riprendendo il discorso intrapreso nel terzo capitolo sulle rinnovate processualità ed estetiche relazionali, il quinto capitolo cerca di metterle a sistema attraverso il concetto di "Bio-Augmented Materiality", focalizzando l'attenzione su come esse possano essere catalizzatrici di nuove vie all'innovazione post-anthropocentrica. La decostruzione del pensiero deterministico dominante permette infatti di allontanarsi dalle logiche di sviluppo accrescitive ancorate alla grande industria, all'innovazione *technology push*, alle strategie *market pull*, alla scienza ufficiale, facilitando approcci e pratiche sperimentali volte a futuri alternativi, possibili e desiderabili di co-evoluzione tra uomo e natura, tecnologia ed ecologia. In particolare, l'allineamento delle modalità creative e progettuali alle poetiche della natura, permette di operare una riflessione sull'uso critico delle tecnologie di cui oggi disponiamo e sulle effettive possibilità del design di orientare i nostri modelli di vita, di produzione e consumo verso strategie di crescita e sviluppo simil-biologiche. Il concetto dunque, si pone come strumento di visualizzazione e navigazione tra le idee sovrapposte e concorrenti in cui siamo immersi, affrontando il tema della sostenibilità da più punti di vista e mettendo in mostra la natura conflittuale delle "materie in questione" con cui progettiamo. Esso applica la riflessione strategica - intesa come indagine critica delle relazioni tra le variabili (intrinseche ed estrinseche, positive e negative) legate al sistema - a tutti i livelli, dal progetto al progetto per la natura, definendo per le nuove tecniche produttive decisioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili. Per tali ragioni, si vogliono dare a questo concetto anche alcuni aggettivi quale compagine di metodologie e vettori di azioni strategiche che, ispirandosi a come la natura affronta processi di crescita e sviluppo, dovrebbero caratterizzare la pratica del design *con e per* la natura nel prossimo futuro. Per spiegare questa idea si partirà da una discussione critica del concetto di "Augmentation", strettamente interrelato alla filologia dell'evoluzione umana e che ora è esteso all'intero ecosistema in cui siamo inseriti (5.1 Il concetto di "Augmentation"). Successivamente ci si focalizzerà sul concetto di "Materialità" intesa non come materia fisica, ma come la sostanza delle relazioni materiali e una loro diversa concezione e manipolazione da parte dei designer, grazie anche alle nuove possibilità tecnologiche di cui oggi disponiamo (5.2 Il concetto di "Materiality"). Infine, verranno definiti gli aggettivi che caratterizzano lo spazio di innovazione individuato quali approcci e processi progettuali che incentivano in qualche modo una nuova modalità di azione esperienziale e rizomatica, nonché modalità di pensiero relazionali e multistrato (5.3 "Bio-Augmented Materiality": verso una progettualità proattiva).



## 5.1 Il concetto di "Augmentation"

Il primo paragrafo si addentra in una discussione critica del concetto di "Augmentation", inteso nell'accezione inglese di "potenziamento", "accrescimento", "miglioramento" di un qualcosa rispetto ad una condizione precedente. Questo concetto infatti è strettamente interrelato alla storia dell'uomo, alla sua relazione con la realtà fisica e naturale, ed individua nel design il suo strumento principale. Da sempre l'uomo ha cercato di manipolare la realtà circostante attraverso tecnologie sempre più sofisticate, per migliorare ed ottimizzare le condizioni della propria esistenza, per potenziare i corpi e le menti, per accrescere il proprio sistema artificiale rendendolo sempre più simile alla natura e alle sue abilità performative. In particolare, alla luce della duplice convergenza – tecnologica e culturale – tra natura e artificio, il concetto di "Augmentation" assume oggi diverse forme, relative soprattutto ai diversi modi con cui ci riferiamo alla nozione di umano (5.1.1 Transumanesimo, Postumanesimo e Nuovo Materialismo). Ciò influisce fortemente sulla pratica progettuale, in un momento in cui le condizioni al contorno ci invitano a ripensare i nostri modi di agire e immaginare i futuri – futuri in cui uomo, forze naturali e potenzialità tecnologiche sono reciprocamente investiti non solo per sopravvivere, ma per crescere (5.1.2 Decostruire per crescere). Ed ecco allora che il concetto di "Augmentation" non viene più identificato in termini di crescita quantitativa e discreta, ma qualitativa e dinamica, proprio come accade in natura, invitandoci a ripensare il nostro futuro e l'evoluzione su scala planetaria degli eventi in maniera allineata ai criteri biologici alla base della vita e dei suoi sviluppi (5.1.3 Crescere per prosperare).

### 5.1.1 Transumanesimo, Postumanesimo e Nuovo Materialismo

Il rapporto tra uomo e natura è sempre stato guidato dall'Augmentation. Koert Van Mensvoort (2010) nel descrivere la sua idea di Next Nature, un'implosione delle categorie di natura e cultura, fa proprio riferimento al continuo lavoro dell'uomo che, per evolvere e migliorare se stesso e le sue condizioni di vita, ha dalla notte dei

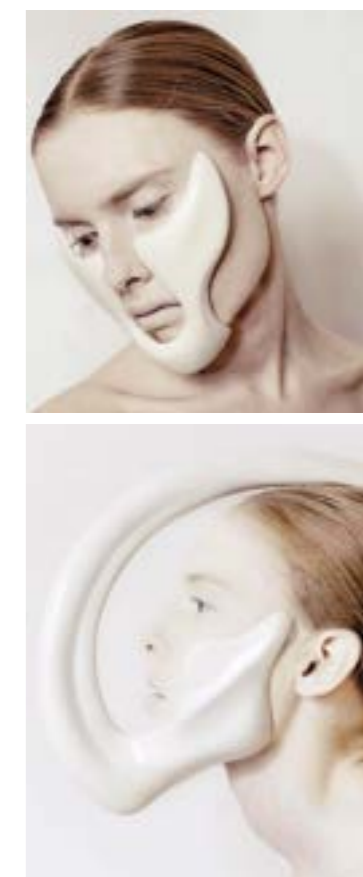


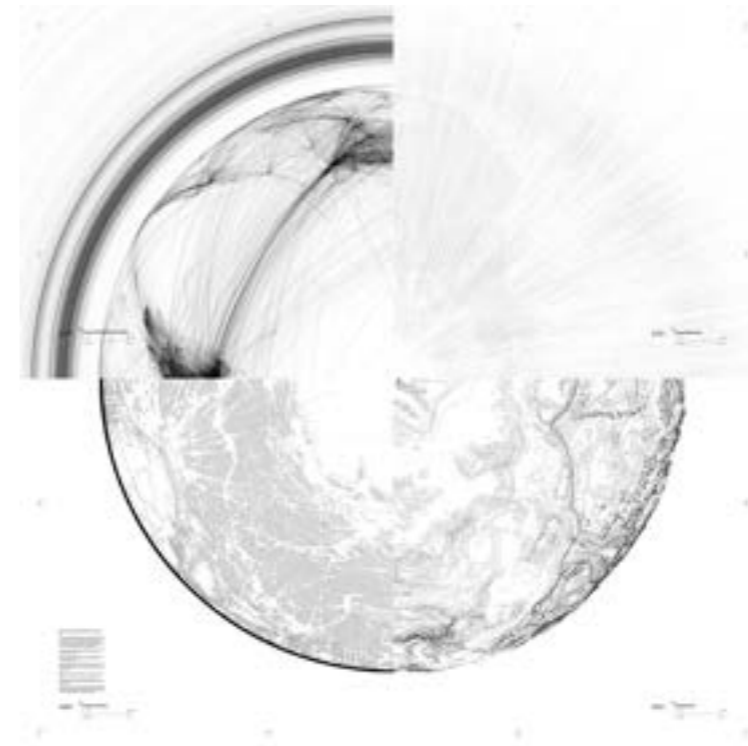
FIG. 1  
*Animal: The Other Side of Evolution*, Ana Rajcevic, 2012. Il progetto speculativo, vincitore del London College of Fashion MA Design Award, esplora le frontiere della co-evoluzione umana con il regno animale.

tempi modificato, riprocessato e combinato tutto ciò che lo circondava di naturalmente disponibile – dai nostri corpi, alle altre forme viventi, all'intera geologia del pianeta. Dai primi agricoltori che incrociavano specie di grano differenti per migliorarne la resistenza ai parassiti e all'invecchiamento, fino agli industriali che hanno estratto carbone dal sottosuolo per alimentare i loro impianti; dal perfezionamento dell'aspetto dei frutti dato da secoli di coltivazione e selezione alle contemporanee modifiche genetiche, passando per giardini accuratamente progettati, animali addomesticati, corpi espansi, l'uomo si è circondato di un'"ipernatura" dove i confini tra il "dato" e il "costruito" vengono dissolti a favore di un ambiente favorevole al nostro accrescimento (van Mensvoort & Grievink, 2010).

In un tale processo, il design inteso come tecnica ed ingegno, ha da sempre esercitato un ruolo di primo piano. Nella mostra "Are We Human? The Design of the Species: 2 Seconds, 2 Days, 2 Years, 200 Years, 200.000 Years" (2016), tenutasi in occasione della III Biennale di Istanbul, i due curatori Beatriz Colomina e Mark Wigley mettono in luce la stretta relazione tra design e l'evoluzione umana nella natura, mostrando ad esempio, come tutto possa iniziare da un'orma di migliaia di anni fa, traccia lasciata da una scarpa, dunque da un artefatto prodotto dall'uomo piuttosto che dall'uomo stesso. In particolare, essi affermano che parlare di design significa parlare del progetto umano sul mondo e delle visioni che di volta in volta hanno guidato la sua azione trasformativa, ciò ancor di più «in un'epoca in cui tutto è progettato, dai nostri look individuali e dalle identità online accuratamente realizzati, alle galassie circostanti di dispositivi personali, nuovi materiali, interfacce, reti, sistemi, infrastrutture, dati, sostanze chimiche, organismi e codici genetici» (Colomina & Wigley, 2016, p.5), e in cui «il pianeta stesso è totalmente incrostato dal design come da strati geologici» per cui «non esiste più alcuno spazio esterno al mondo del design» (Colomina & Wigley, 2016, p.9). Dunque, quest'ultimo «è diventato il mondo ed è ciò che ci rende umani. È la base della vita sociale, dai primissimi artefatti all'espansione esponenziale delle capacità umane» (Colomina & Wigley, 2016, p.5). Se attraversiamo le aree tematiche della mostra infatti, appare chiaro come l'uomo abbia rimodellato se stesso e la realtà a partire dal progetto: "Designing the Body" esplora i diversi modi in cui i nostri corpi sono stati continuamente "ricostruiti", dalla lenta evoluzione dell'anatomia della mano alle ultime ricerche per potenziare il cervello; "Designing the Planet" presenta una serie di progetti che mostrano come l'uomo abbia influito su interi ter-



FIG. 2  
Microbial Design Studio, Orkan Telhan, "Are we Human?" Istanbul Design Biennale (2016). Macchina per la biofabbricazione economica, automatica e collegata in rete pensata per progettare, coltivare e testare organismi geneticamente modificati.



ritori ed ecologie; "Designing Life" esamina le nuove forme di vita meccaniche, elettroniche e biologiche che vengono create; "Designing Time" va dai primissimi strumenti e ornamenti ai modi in cui i social media consentono alle persone di ridisegnare se stesse e i loro artefatti in appena due secondi. Per affrontare il futuro della pratica progettuale e per ripensarla in relazione alle nostre forme di vita e ad un loro potenziamento, è necessaria quindi un'archeologia del design, che ci permetta di scavare a fondo nelle nostre coscienze e comprendere le credenze che di volta in volta hanno trasformato la natura e noi stessi.

In particolare, a forza di «voler dare forma al mondo», siamo giunti oggi a sviluppi onto-epistemologici, scientifici e biotecnologici, nonché ad un contesto di crisi e di transizione permanente, che hanno portato all'urgenza di una integrale ridefinizione della nozione di umano, generando numerosi filoni di pensiero che amplificano o si contrappongono alle considerazioni dell'Umanesimo che ci hanno accompagnato per tutta la modernità (Ferrando, 2017). Mentre quest'ultima infatti è stata caratterizzata da grandi metanarrazioni e da un'omologazione di ideali e visioni, nella contemporaneità coesistono diverse filosofie e modi di interpretare la realtà, l'uomo e il suo rapporto co-evolutivo con la tecnica, portando principalmente a due tipi di mentalità, quella accrescitiva – il cui scopo è "aumentare" l'umanità e il suo ambiente costruito a seconda dei propri bisogni – e quella preventiva – che riconosce anche il mantenimento e il potenziamento della natura come elemento fondamentale per la nostra evoluzione (Brand, 2019).

In particolare, benché presentino differenze sostanziali, le diverse correnti filosofiche contemporanee condividono una percezione della condizione umana mutevole ed un interesse comune nei

FIG. 3  
City of 7 Billion, Joyce Hsiang and Bimal Mendis, "Are we Human?" Istanbul Design Biennale (2016). Nell'era dell'Antropocene, in cui abbiamo aggiunto strati antropici sulla superficie terrestre, il progetto esplora l'idea di un'unica città globale, accuratamente progettata, quale medium per affrontare i problemi del nostro tempo. Un'unica città significa infatti un mondo continuo in cui il consumo di risorse, la crescita della popolazione, lo sviluppo urbano e altri aspetti possono essere più facilmente monitorati.



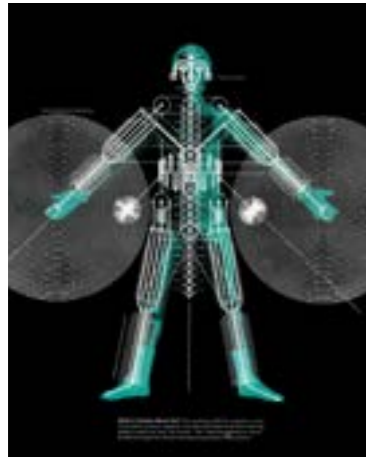


FIG. 4  
Artist in Cosmic – Opera Suit, François Dallegret, "Are we Human?" Istanbul Design Biennale (2016). Pubblicata per la prima volta sulla rivista Art in America (marzo-aprile 1966) quest'opera di art fiction esplora futuri transumani e l'ibridazione uomo-macchina.

confronti della tecnogenesi (Hayles, 2011), ovvero che la tecnologia è un tratto del corredo umano, sia che venga considerata come un mezzo funzionale per evolvere verso capacità sempre maggiori, come nel Transumanesimo; sia che venga concepita come dimensione storica e ontologica, come nel caso del Postumanesimo. Il Transumanesimo infatti, nato con gli scritti di Julian Huxley (1957) e sviluppatosi a cavallo tra gli anni Ottanta e gli anni Novanta, non problematizza l'attuale comprensione dell'umano attraverso le sue eredità passate e presenti, ma attraverso le possibilità inscritte nelle sue evoluzioni biologiche e tecnologiche. Il potenziamento umano è una nozione cruciale nella riflessione transumanista; le principali chiavi di accesso per ottenere tale obiettivo vengono individuate nella scienza e nella tecnologia in tutte le sue varianti, in quanto esistenti, emergenti e speculative (dalla medicina rigenerativa alla nanotecnologia, dall'estensione radicale della vita al *mind uploading* e alla crionica). La convinzione comune è che l'attuale stato dell'umanità, quello di *Homo Sapiens*, non sia l'apice dell'evoluzione darwiniana, ma che grazie all'intelletto e alle tecnologie, l'uomo possa plasmare il proprio futuro e superare le sfide del proprio ambiente evolvendo verso quello che Harari (2015) – senza lo stesso entusiasmo – definisce *Homo Deus*, un uomo cioè capace di poteri quasi divini di creazione. Come recita la Dichiarazione Transumanista, formulata nel 1998 da un gruppo internazionale di autori: «Noi crediamo che il potenziale dell'umanità in gran parte non sia stato ancora realizzato [e che] esistono possibili scenari che portano a condizioni umane meravigliose ed estremamente migliorate» tra le quali «il superamento dell'invecchiamento, dei difetti cognitivi, della sofferenza involontaria e del nostro confinamento al pianeta Terra» (pt.1-2). Il Transumanesimo dunque persegue una visione fortemente antropocentrica e materiale che si pone in continuità con l'Umanesimo con il quale, filosoficamente, condivide le origini nell'Illuminismo (Hughes, 2004). Esso infatti non si impegna in una riflessione critica sulla storia dell'essere umano – presentato in maniera generica e uniforme –, ma si iscrive all'interno di una concezione liberal-individualista del soggetto, che definisce la perfettibilità in termini di autonomia e autodeterminazione (Braidotti, 2020), mentre la tecnologia diventa un progetto gerarchico, basato sul pensiero razionale e indirizzato al progresso. In tale ottica quindi, il concetto di "Augmentation" diventa centrale e si riferisce soprattutto alla possibilità di migliorare o potenziare noi stessi e tutto ciò che ci circonda per sopperire ai nostri limiti

e alle nostre sofferenze, o per soddisfare tutti i nostri bisogni indipendentemente da quelli di altre categorie, perseguendo con una velocità mai vista prima quel desiderio ancestrale dell'uomo di piegare il mondo alle sue volontà. Una favorevole convergenza di più progressi, dall'intelligenza artificiale alle tecniche di modifica genetica CRISPR-Cas9, dalla manifattura avanzata all'iper-automazione e all'iper-connesione, sta infatti portando le comunità mondiali più radicali a perseguire "sogni" umani di onnipotenza. Ad esempio, un'area di particolare interesse è oggi il *"cognitive computing"* che fa uso dell'intelligenza artificiale, del machine learning e dell'optogenetica per processare i segnali del cervello, evolvendosi al punto tale da consentire alle persone di controllare alcuni dispositivi (come robot, protesi, interfacce con il proprio cervello) e superare delle invalidità come sordità, parkinson e mancanza di arti. Con l'avvento di elettrodi basati su nanotubi di carbonio, capaci di processare contemporaneamente ampie quantità di informazioni dal cervello alla macchina, il cognitive computing evolve ora verso vere e proprie interfacce neuronali tra i nostri circuiti cerebrali e le intelligenze artificiali, che permetteranno agli umani di accedere alla loro conoscenza e attraverso il potere processativo dell'intelligenza artificiale, accelerare il processo di apprendimento, accrescere la propria intelligenza e potenziare le proprie abilità. È ciò su cui si sta concentrando la ricerca di Neuralink (2018), azienda fondata da Elon Musk per sviluppare un dispositivo cerebrale ad altissima larghezza di banda che connette esseri umani e computer. Alcuni ricercatori dell'Università della California e dell'American Institute of Molecular Manufacturing, predicono poi che questi processi porteranno allo sviluppo della "Human Brain/Cloud Interface" che conetterà neuroni e sinapsi del nostro cervello con i vasti network di cloud computing in real time, accrescendo la nostra intelligenza collettiva su scala globale (Neuroscience News, 2019). Un'altra area di interesse, è quella che vede i progressi nella biologia molecolare e nelle biotecnologie, come le cellule staminali, la biostampa di organi artificiali, le modifiche genetiche, la medicina rigenerativa e le conversioni digital-to-biological, quali opportunità per migliorare l'evoluzione dei corpi a livello molecolare, migliorando la loro resilienza all'ambiente esterno, facilitando la loro rigenerazione e puntando alla longevità o addirittura all'immortalità. Ad esempio, la start-up Agex Therapeutics sta sperimentando nuove possibilità di ricerca sulle cellule staminali che, combinate con la terapia genica, potrebbero annullare il processo molecolare di senescenza che

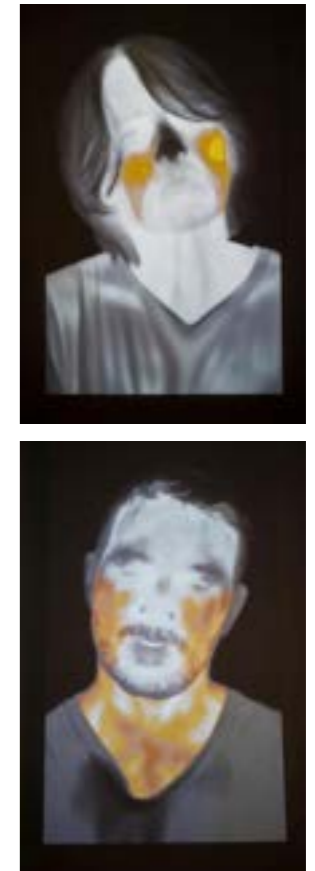


FIG. 5  
Unspoken, Diller Scofidio + Renfro, "Are we Human?" Istanbul Design Biennale (2016). Gli architetti partono da un'osservazione di Darwin che affermava: «L'arrossire è la più singolare e la più umana di tutte le espressioni», per sottolineare come anche oggi, quando la comunicazione è mediata e digitalizzata, l'arrossimento può essere un veicolo espressivo e involontario che ci rende ancora umani.

1. Una variante molto nota è l'Estropianesimo, basato sui principi di: progresso perpetuo, auto-trasformazione, ottimismo pratico, tecnologia intelligente, società aperta (informazione e democrazia), auto-controllo e pensiero razionale (Moore, 1988).

2. Il Postumanesimo Filosofico – Culturale e Critico – fa riferimento ad un approccio post-antropocentrico e post-dualista che non va confuso con altre accezioni del termine “postumano” rivisitato da alcune correnti transumaniste, secondo le quali gli esseri umani potrebbero trasformarsi in modo così radicale da assumere una condizione che seguirà l'attuale era transumana, come quelle che vedono futuri post-biologici dove l'uomo troverà rifugio in “macchine spirituali” in cui l'intelligenza umana si fonderà con l'intelligenza artificiale per vivere ed evolversi indipendentemente dalla materialità biologica dei corpi (Gyurko, 2017). In particolare, il Postumanesimo Critico fa riferimento alla svolta postumana realizzata dalle teoriche femministe degli anni Novanta nell'ambito della critica letteraria, mentre il Postumanesimo culturale fa riferimento all'accezione elaborata in seguito dai Cultural Studies. Entrambi confluiscono nel Postumanesimo Filosofico, sviluppandosi definitivamente come indagine filosofica nel tentativo integrale di ri-accedere a ogni campo del sapere attraverso la raggiunta consapevolezza dei limiti dei precedenti presupposti antropocentrici e umanistici.

provoca l'invecchiamento. Tali processi, grazie al CRISPR, potrebbero poi essere tramandati alle generazioni successive, aumentando di volta in volta la longevità. Anche la bellezza sarà un parametro migliorabile: grazie all'intelligenza artificiale che permette di fare previsioni affidabili sul volto di una persona a partire dal DNA, i genitori potranno scegliere l'aspetto estetico del proprio bambino ed editare il suo DNA in vitro (Curtis & Hereward, 2018). Il tecnottimismo che attraversa il Transumanesimo e le sue varianti [1], corre tuttavia il rischio di tecnoriduzionismo: pur offrendo prospettive interessanti sull'attuale interazione tra l'ambito biologico e tecnologico, la sua riflessione sui futuri desiderabili è ridotta ad una sovrastima dell'eredità tecnologica dell'umano, reinterpretata specificatamente nelle sue imprese tecniche, tralasciando un dibattito più profondo e un'angolatura più ampia. In questo senso, il Postumanesimo sembra offrire un punto di partenza più adatto. Nonostante il Postumanesimo – in particolare quello Filosofico, Culturale e Critico [2] – condivida infatti, come detto, un medesimo interesse per le tecnologie, il modo in cui riflette su tale nozione è strutturalmente diversa. In particolare, la riflessione postumana non vede la tecnologia né come obiettivo principale, né come alterità contro cui ribellarsi o a cui affidarsi per garantire all'uomo un posto nel futuro; ma come presupposto per una radicale ri-significazione onto-esistenziale della nozione di umano – per dirla con Heidegger (1953), come un modo del disvelamento. In altri termini, il Postumanesimo prende atto del plurimo sconfinamento della tecnologia in ambiti un tempo appartenenti alla sola natura, per riscoprire una radicale interconnessione tra organismo e macchina, fisico e non fisico, tra universo tecnologico ed universo umano, superando definitivamente i rigidi confini e dualismi dell'Umanesimo (Haraway, 1985). In tale ottica, il concetto di Augmentation viene rivalutato secondo una prospettiva post-antropocentrica e post-dualista, che decentra l'uomo in una interconnessione radicale e rizomatica con l'alterità, spostando il focus su un potenziamento olistico e co-emergente. In altre parole, viene decostruito il discorso modernista secondo il quale l'uomo può raggiungere perfezione e miglioramento emancipandosi dal mondo attraverso tecnologie sempre più sofisticate [3], ma la sua sopravvivenza, così come la sua evoluzione, dipendono dall'universo di relazioni che lo connettono all'alterità e con la quale può mediare attraverso la sua azione tecnica. Il Postumanesimo si configura così come l'approccio filosofico che più si addice a studiare il tempo geologico dell'Antropocene, stimolando

l'idea di un'ecosistema come un grande aggrovigliamento di relazioni tra uomo, tecnosfera, biosfera e ambiente geofisico, in cui l'uomo non è visto al di sopra dell'ecosistema o come sua vittima, ma come parte attiva (*agent*) e interconnessa che dovrebbe contribuire al modellamento e all'auto-regolazione dell'equilibrio dinamico del Pianeta e delle condizioni necessarie allo sviluppo della vita (Latour, 1991). Non configurandosi più come agente autonomo, l'uomo dovrà dunque focalizzarsi sulla sua attività e rendere conto delle sue azioni concrete in relazione ad un'altra serie di “agentività” capaci di trasformare insieme a noi il mondo in cui viviamo. Questa visione pone in evidenza due aspetti “innovativi” anche per il design: il primo riguarda la soggettività e fa fronte alla crisi epistemologica invitando la ricerca di nuovi schemi di pensiero, di sapere e di autorappresentazione alternativi a quelli dominanti; il secondo riguarda l'oggettività e fa fronte alla crisi morale prendendo coscienza della forza autopoietica della materia che vive, ovvero riformula il dibattito etico sulle effettive relazioni materiali – e non solo culturalmente mediate – che sussistono tra uomo e mondo. Quest'ultimo aspetto viene approfondito in particolare dal Nuovo Materialismo, un altro specifico movimento nell'ambito dello scenario teoretico postumano, nato nella prima decade del XXI secolo all'interno del Femminismo e che vede come principali esponenti Rosi Braidotti, Manuel DeLanda, Karen Barad e Quentin Meillassoux (Dolphijn & van der Tuin, 2012). Per i neo-materialisti, la materia non è mai intesa come qualcosa di statico, immutabile o passivo, in attesa di essere plasmata da una forza esterna, ma è un vero e proprio processo di materializzazione (di emergenza) dato dall'intra-azione (piuttosto che dall'interazione) tra diverse agentività (Barad, 2017): in quest'ottica, quello che conta è l'azione stessa e quindi – nella nostra intra-azione con il mondo – il “come” ci comportiamo, dal cibo che mangiamo alle relazioni che intratteniamo, dal modo di produrre a quello di consumare. In tal senso, il postumanesimo diventa prassi – o filosofia applicata – e la tecnologia diventa tecnica dell'esistenza, mentre l'Augmentation diventa intra-azione, dove l'azione congiunta presuppone un divenire materiale, un nuovo materialismo appunto. I modi in cui i futuri che vengono concepiti e immaginati non sono separati dalle sue attuali realizzazioni: il “cosa” possiamo fare (con la tecnologia) corrisponde al “come” [4] potremmo farlo meglio ed è qui che entrano in gioco creatività e progettazione. Come sottolinea Braidotti (2020), il divenire postumano presuppone un attivismo in grado di riunire coscienza critica,

3. Il Postumanesimo condivide con l'Antiumanesimo la decostruzione dell'ideale dell'Uomo Vitruviano come modello di perfezione e miglioramento a costruito storico e dunque, a contingente variabile rispetto ai valori e ai luoghi. La “morte dell'uomo” annunciata da Foucault (1967) in “Le parole e le cose” sta proprio ad indicare che quell'idea di uomo, punto di vista storico e culturale specifico della modernità, non può più essere preso come discorso universalmente valido, anzi deve essere invertito perché non più adatto a descrivere la nostra reale condizione. A differenza dell'Antiumanesimo tuttavia, il Postumanesimo non fa affidamento su di alcuna morte simbolica, in quanto i presupposti di una ‘morte’ si fondano sul riconoscimento del dualismo ‘vita/morte’, piuttosto è in sintonia con l'approccio decostruzionista di Jacques Derrida (1967) che non pone gerarchie tra le opposizioni ma individua in esse delle relazioni.

4. Per esempio, il Postumanesimo si interessa di migrazione nello spazio ma, nelle sue radici post-moderne e post-coloniali, non appoggia la colonizzazione nello spazio, un concetto che si trova spesso nell'ambito della letteratura transumanista. Questo è un buon esempio di come il Transumanesimo e il Postumanesimo affrontino spesso le stesse tematiche da prospettive e genealogie teoretiche divergenti.

5. Il “tempo potenziale” in biologia è quello che viene accumulato da un’organismo vivente durante la sua evoluzione, in particolare nei momenti di passaggio da uno stato stazionario ad un altro più complesso. Nel momento in cui infatti l’organismo evolve verso un’organizzazione più complessa accumulando del tempo per sopravvivere in equilibrio dinamico con l’ambiente fino alla successiva necessità di riorganizzarsi.

in grado di fornire adeguate rappresentazioni delle nostre collocazioni storiche situate, e azione creatrice che ci permette ripensare chi e cosa stiamo diventando in questo processo di metamorfosi. Se dunque l’uomo nel suo potenziarsi ha modificato i geni della realtà materiale molto prima di comprendere cosa fosse un gene, oggi i progressi della scienza e della tecnologia hanno accelerato il tempo di sedimentazione e materializzazione dei processi finora naturalmente gestiti, portando alla progressiva sostituzione del tempo della filogenesi (quello dell’evoluzione) con il tempo dell’ontogenesi (quello dell’entropia), portando ad una situazione di disequilibrio tra velocità di organizzazione e velocità di disorganizzazione del mondo. Per tali ragioni c’è l’urgenza di adottare un diverso approccio all’azione che permetta di compensare lo scorrimento del tempo: c’è il bisogno di recuperare il cosiddetto “tempo potenziale” [5] della natura che, non più recuperabile attraverso la lenta sedimentazione, dovrà essere compensato attraverso un’attitudine postumana in grado di combinare pensiero sistemico (perché guarda all’ampio universo di relazioni e scambi informativi con l’alterità esterna ed interna) con una filosofia del divenire, che condensa cioè nel tempo dell’esistenza – il presente – una consapevolezza critica del passato – o meglio, degli effetti del passato sul presente – con una riflessione strategica sul futuro, adottando già dal presente un approccio preventivo.

Per concludere con Ferrando (2017): «In questo orizzonte esteso, è evidente che ogni forma di essenzialismo, riduzionismo e ogni pregiudizio intrinseco diventano fattori limitativi nell’approccio di tali reti multidimensionali. Il Postumanesimo mantiene uno sguardo critico e decostruzionista che è consapevole del passato, ma che stabilisce al contempo prospettive comprensive e generative, per sostenere e nutrire alternative per il presente e il futuro. Nel panorama filosofico contemporaneo, il Postumanesimo offre un equilibrio unico tra *agency*, memoria e immaginazione, al fine di costituire eredità armoniche nell’ecologia evolutiva dell’interconnessione dell’esistenza» (p.61).

### 5.1.2 Decostruire per crescere

La prospettiva post-antropocentrica rilanciata dal Postumanesimo, ci invita ad agire in un mondo governato da una legge di simmetria, in cui co-esistono entità umano-biologiche e artificiali, chiamate “actants” (o “agents”), capaci di produrre complessi assemblaggi e

network di azioni che trasformano il mondo in cui viviamo (Latour, 1991). Ciò porta anche il design a cambiare i suoi approcci dall’essere umano-centrico all’essere *more-than-human*, secondo una visione di “solidarietà” tra l’uomo e le altre specie che ci liberi dallo «spazio di possibilità patriarcale, gerarchico e eteronormativo» che in realtà ha solo limitato il nostro accrescimento ad uno spartirsi di materiali e spazi della naturalità (Morton, 2019). Questo non significa che il design non mira più a migliorare il benessere delle persone e la qualità della vita, ma abbiamo realizzato che la nostra condizione è strettamente interrelata al contesto in cui viviamo e se vogliamo evolvere verso un futuro migliore, dobbiamo spostare la nostra attenzione da noi stessi all’intero sistema a cui apparteniamo. Questa tesi, esercita una certa influenza anche sul concetto di sostenibilità: essa non è più intesa come la riduzione dell’impatto umano sul pianeta o come la conservazione delle risorse, ma come lo sviluppo di nuove forme di cooperazione e integrazione dell’uomo con la natura. A questo proposito, i designer vedono ora in queste relazioni sinergiche nuove forme di innovazione e combinano (invece di dividere) ciò che cresce naturalmente e ciò che è artificialmente costruito, l’organismo e il suo ambiente, individuando nuove strade per sostenere, nutrire e aumentare il nostro Pianeta.

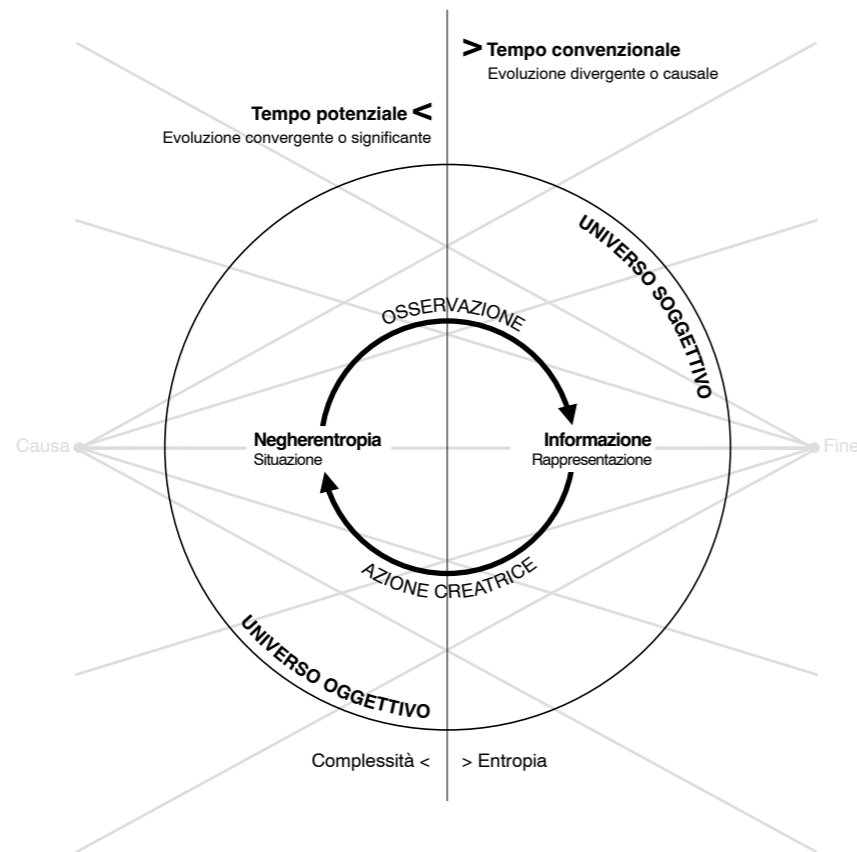
In particolare, ponendosi come un’ontologia processuale (Braidotti, 2020), il Postumanesimo ci invita ad assumere un atteggiamento etico nei confronti della vita e dei suoi sviluppi, orientando le nostre azioni a partire da una destabilizzazione dell’apparato concettuale che abbiamo ereditato dalla tradizione metafisica per ricostruire su questo nuove relazioni finalizzate a futuri preferibili: in altri termini, ci invita a guardare al passato per esaminare le condizioni presenti e ad estrapolarle per prevedere gli eventi futuri, cambiando prima di tutto le nostre aspettative nei miti generali della storia dell’umanità.

Per fare ciò è importante riappropriarsi della dimensione del tempo biologico, quello dell’evoluzione che (come vedremo meglio in seguito) abbandona l’idea di “causalità diretta” e immagina includendo complessità e sistemi. De Rosnay (1978) a tal proposito, afferma che se vogliamo orientare lo sviluppo tecnologico e socio-economico su modelli rigenerativi in grado di allinearsi al funzionamento stesso degli ecosistemi naturali, è proprio sulla nozione di tempo che dobbiamo fare qualche considerazione (Fig. 6): egli effettua una dura critica al “cronocentrismo” [6] e al concetto di irreversibilità quali visioni che influiscono fortemente sul nostro modo di pen-



FIG. 6  
Osservazione e azione: De Rosnay (1978) afferma che esistono due modi fondamentali di attività della coscienza. Il primo, corrisponde alla trasformazione della negherentropia (complessità) in informazione (entropia). È il processo dell’osservazione, nel quale l’informazione significa «acquisizione di conoscenza» e in cui si parte dalla situazione oggettiva per trarne una rappresentazione soggettiva. Il secondo corrisponde alla trasformazione inversa, dall’informazione (entropia) alla negherentropia (complessità, organizzazione). È il processo dell’azione e della creazione, nel quale l’informazione significa «potere di organizzare» (dare forma a qualcosa) e in cui la rappresentazione di ciò che si vuol fare precede le situazioni determinate dall’azione suddetta.

6. La nostra concezione del tempo lineare come una freccia che va dal passato, passa per il presente e si dirige verso il futuro.



**FIG. 7**  
*Linguaggio del sapere e quello del senso: De Rosnay (1978) invita ad una dialettica complementare tra il linguaggio della ragione e della conoscenza scientifica (matematica, fisica) ricco di informazioni ma privo di contenuto umano, con il linguaggio della significazione (arte, poesia, religione, politica), povero di informazioni ma ricco di contenuto umano. In una tale ottica di complementarità, informazione e negherentropia non sono più separate in due mondi distinti ma sono la cerniera tra oggettivo e soggettivo e possiedono una «polarizzazione temporale» opposta. La negherentropia - misura oggettiva dell'informazione - è orientata nel tempo entropico; l'informazione - traduzione soggettiva (significante) della negherentropia - è orientata nella direzione della durata creatrice.*

sare e sul senso profondo delle cose. In particolare, l'autore cerca di uscire dalla gabbia della "freccia del tempo", per instaurare un dialogo costruttivo tra l'oggettivo e il soggettivo, tra l'osservazione e l'azione, tra l'evoluzione causale (o divergente) e quella finalistica (o convergente) [7], affermando che la nostra evoluzione verso la negherentropia [8], dunque verso l'Augmentation, si sostanzia nel presente e in direzione opposta a quella convenzionale (Fig. 7). Egli poi conclude dicendo che: «Le due entità fondamentali che si ritrovano al termine di questa riflessione, come le due facce di un'unica realtà, sono l'energia e lo spirito. Loro aspetti intermediari possono essere la materia e la forma (o l'informazione). Ma tutto apparirebbe come se non esistesse nell'universo che energia informata (la materia), sostrato della conoscenza; e lo spirito materializzato (l'informazione), supporto dell'azione creatrice. Se c'è conservazione del tempo, la libertà sarà totalmente contenuta nell'istante presente. L'universo apparirebbe, così, come una coscienza che si crea prendendo coscienza di se stessa. La traccia che questa lascia e che noi osserviamo, sarebbe il fenomeno dell'evoluzione» (De Rosnay, 1978, p.297). Quindi, per crescere, agiamo creativamente nel presente (e non sul futuro), a partire dall'oggettiva analisi del presente (o meglio, degli effetti del passato sul presente, ma non del passato direttamente) e dalla soggettiva (finalistica) rappresentazione del futuro. L'uso complementare dei due linguaggi - il soggettivo e l'og-

gettivo - permette di rispondere al "come" agire senza tralasciare il "perché", in un processo ricorsivo e iterativo tra informatizzazione della materia (osservazione) e materializzazione del pensiero (azione creatrice).

Tradotto in termini progettuali e nell'ambito specifico della ricerca, questo concetto "bio-derivato", risulta fondamentale per muovere i primi passi in prospettiva post-antropocentrica e verso una modalità di approccio alla complessità delle sfide del tutto aperta. Esso invita ad applicare consapevolezza critica e riflessione strategica all'uso delle tecnologie, adottando sia una dimensione "scientifica" capace di scendere nel dettaglio, sia una dimensione "umanistica" che si interroga circa il senso complessivo del sistema dell'azione progettuale, secondo una progettualità dialettica, riflessiva ed esperienziale orientata al futuro.

Per "ridisegnare" la pratica del design in ottica post-antropocentrica è dunque oggi fondamentale operare in un contesto speculativo ma che prende le distanze dalla finzione e dalla stessa speculazione. Si tratta in altri termini, di ristabilire il tempo neghentropico - opposto a quello convenzionale - della creatività, che è un tempo dell'azione, dell'esperienza e non lascia spazio - data l'urgenza delle contemporanee crisi ambientali e socio-politiche, ma anche l'accelerazione dello sviluppo tecnologico - alla sola riflessione (Fig. 8). Si devono cioè rendere visibili e tangibili azioni concrete - intrazioni per dirla con Barad (2017) - che portino a nuove materialità e che rendano chiaro che queste speculazioni, seppur inverosimili, possono realmente accadere. Ciò che cambia è soprattutto un diverso punto di vista sulle tecnologie (Fig. 9). Nella speculazione classicamente intesa (Dunne & Raby, 2013), l'obiettivo è quello di investigare i futuri preferibili in contrasto a quelli probabili, possibili, plausibili, spesso con un approccio idiosincratico e con un'attenzione particolare ai futuri distopici da evitare. Essa dunque, parte da una visione dal presente per ottenere una analisi critica del futuro: prendendo in considerazione le tecnologie molto avanzate, specula sulle direzioni che queste tecnologie possono prendere dal presente e ne restituisce dei prodotti critici che mostrano visioni utopiche e distopiche della tecnologia nel futuro. L'obiettivo qui è di stimolare pensiero critico attraverso i prodotti e di invitare quindi la comunità ad usare in maniera appropriata e attenta le tecnologie per ottenere futuri preferibili. Nel caso invece di un approccio post-antropocentrico, così come interpretato in questa sede, l'obiettivo è partire da un'analisi critica del presente, di quello che già

7. Per evoluzione causale si intende quella perseguita con l'osservazione. Benché l'osservazione avviene a ritroso (dal presente per risalire alle cause passate) questo tipo di evoluzione segue la direzione convenzionale del tempo, perché parte da un punto (ad es. "l'origine della vita") per dipanarsi in una serie di ramificazioni divergenti date dalle diverse spiegazioni di tipo causale. Al contrario, l'evoluzione finalistica, è quella perseguita con l'azione creatrice, intesa come interpretazione dei dati accumulati ed è rappresentata da diverse ramificazioni che convergono in un solo punto (in direzione opposta al tempo convenzionale) che è il senso che diamo ai fatti evolutivi, il fine ultimo che noi diamo agli eventi attraverso immaginazione, intenzione e interpretazione poetica della realtà.

8. La "negherentropia" è l'entropia negativa e coincide con la complessità, vale a dire con la maggiore organizzazione delle informazioni (le quali invece, accumulandosi, favoriscono l'entropia - il disordine). La negherentropia è una delle strategie di sopravvivenza e di crescita fondamentali degli organismi viventi: in tutta la loro vita (e soprattutto a livello di evoluzione delle specie) i sistemi biologici assumono un comportamento adattivo, che li porta a raccogliere informazioni dal mondo esterno, a combinarle con quelle endogene e ad organizzarle in strutture sempre più complesse per mantenere uno stato di equilibrio dinamico, dunque di entropia negativa. Questa abilità

FIG. 8

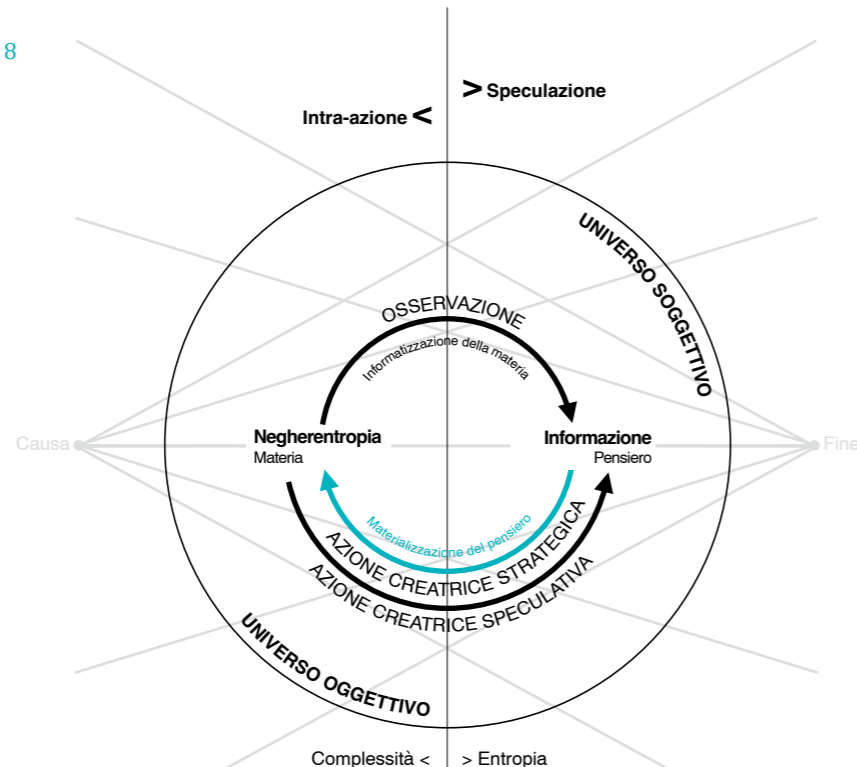
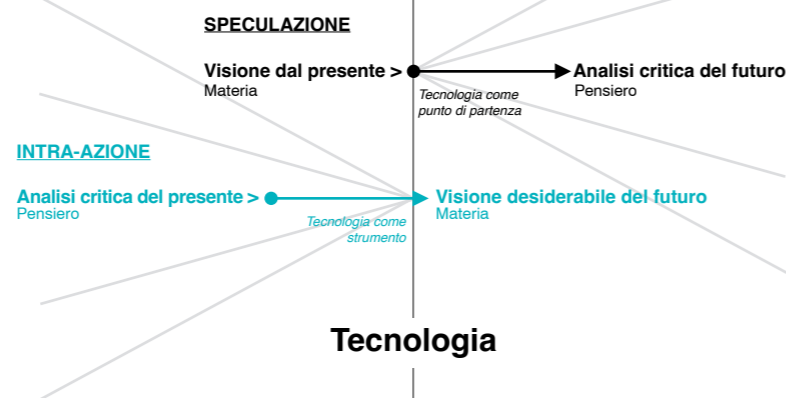


FIG. 9



c'è (trend tecnologici, socio-culturali, costrutti, pensieri, credenze radicate) per stimolare attraverso il progetto azioni orientate che mi portino a futuri desiderabili [9], per me è preferibili. I prodotti, i servizi, i sistemi che ne deriveranno sono quindi degli esempi di come potremmo agire già da ora verso un fine dettato dai valori che abbiamo deciso di perseguire. Rendiamo cioè visibile e tangibile la nostra visione di futuro, sperando di stimolare anche in questo caso un dialogo più maturo sulle decisioni del futuro. La tecnologia quindi non è il punto di partenza, non si parte da quello che la tecnologia potrebbe o non potrebbe fare per immaginare scenari utopici o distopici, ma è lo strumento attraverso il quale è possibile realizzare la visione di futuro adottata. Essa infatti, come abbiamo avuto modo di approfondire (1.2.2 Tecnica come disvelamento), si pone come disvelamento di nuove relazioni di intra-azione tra uomo, natura e tecnologia; come strumento che permette l'interdipendenza tra due o più componenti e l'indagine critica di nuove forme di co-esistenza. In un'ottica ampliata, possiamo dire di trovarci nella sfera della *design-driven innovation* in cui il design è (classicamente) interpretato come mediatore semantico indispensabile per la costruzione del significato degli oggetti rispetto ad una società mercificata, per cui l'innovazione è data dall'individuazione dei bisogni latenti piuttosto che dal progresso tecnologico o dalla spinta del mercato (Krippendorf, 2006; Verganti, 2009). In ottica post-antropocentrica tuttavia, l'obiettivo non è quello di ragionare in termini di competitività del mercato, quindi non si parte dall'analisi dei bisogni latenti delle persone (prospettiva antropocentrica), ma dai costrutti latenti alla base dei nostri modelli di vita per creare anche nuovi mercati, ma soprattutto forme di cooperazione uomo-natura-artificio (si può parlare di *next design-driven innovation*). Per dirla con Bateson (1977), si tratta di stabilire un ponte di continuità «tra i fatti della vita e del comportamento, e ciò che oggi sappiamo sulla natura della struttura e dell'ordine» (p.19). E, come approfondisce Tiezzi (1996), «non si chiede di rinunciare alla razionalità del nostro modo di pensare, ma piuttosto di recuperare una serie di valori etici ed estetici, di andare al fondo di quello che G. Bateson chiama l'ecologia della mente e di interrogarsi sulle strutture che connettono la sequoia con il granchio, il granchio con l'anemone di mare, l'anemone di mare con l'ameba, l'ameba con lo schizofrenico e tutto questo con noi. In altre parole, di interrogarsi sulla struttura che connette l'uomo con la natura in una storia complessa di evoluzione biologica e di ricostruzione dei valori e dei modi di pensare tendenti ad una

adattiva (o resilienza) è la forza innovativa e creativa della natura, essa mantiene i sistemi biologici aperti in grado operare piccoli o grandi aggiustamenti al progetto al variare delle condizioni. 9. Il futuro non è mai dato nella sua totalità. Esistono dunque un'infinità di futuri possibili. Un "canovaccio" non è altro che la descrizione, più o meno particolareggiata, di alcuni di questi futuri possibili. Serve ad illuminare le decisioni e a facilitare le scelte (De Rosnay, 1978).

FIG. 8

*Azione creatrice strategica e speculativa: proprio come in un processo di crescita qualitativo (evoluzionistico), l'azione creatrice strategica agisce nel presente con un tempo opposto a quello convenzionale, essa cioè non è programmatica ma esperienziale: come una sorta di bricolage continuo, agisce per un fine (senso/significato) senza azzerare il tempo storico e adattandosi ad eventi e contingenze.*

FIG. 9

*Il ruolo della tecnologia: riportando graficamente entrambe le azioni creative su una stessa freccia temporale (da sinistra a destra), è evidente come cambia il flusso di pensiero. Nella speculazione, si parte dall'osservazione di quello che la tecnologia potrebbe o non potrebbe fare per ottenere futuri oggettivamente possibili, probabili e preferibili (causale/divergente). Nell'intra-azione, si parte dalle innumerevoli possibilità presenti che la tecnologia ci offre per raggiungere futuri soggettivamente desiderabili (significante/convergente).*

10. Le tecnologie ci aiutano anche visualizzare e gestire le relazioni tra i diversi elementi del sistema. Si pensi al computer che può calcolare simultaneamente una grande varietà di dati secondo una grande varietà di relazioni e restituire per i nostri modelli delle simulazioni. O ancora alle biotecnologie, che ci permettono di comprendere e direzionare la crescita di alcune specie viventi in relazione a specifici parametri ambientali e/o nutrizionali, al fine anche di disvelarne nuove potenzialità.

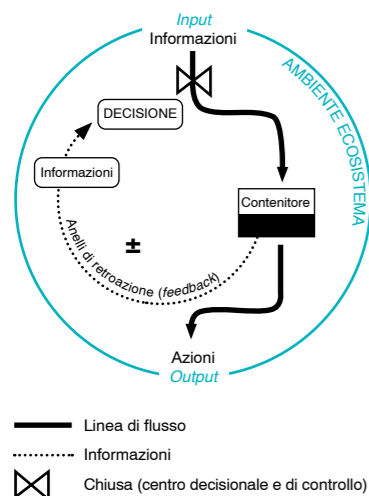


FIG. 10 Schema rappresentativo di un sistema aperto con i suoi elementi spaziali (ad es. contenitori, rete di comunicazione) e temporali (ad es. flussi e chiusure). Il sistema è in continuo scambio con l'ambiente esterno e il ciclo viene ripetuto di volta in volta, mantenendo l'organizzazione se in stato di equilibrio (-), cambiandola se c'è salto evolutivo (+), grazie a circuiti di feedback.

tale integrazione» (p.37).

Questo "flusso di pensiero" è stato proposto anche nell'ambito del *workshop* "Biovision of the Future. Design challenge for a sustainable and desirable life", che verrà descritto nel paragrafo "Esperimenti 5: Biovisioni del Futuro". Delineandosi più come una "strategia di ascolto" ed una "decostruzione" che come una vera e propria metodologia chiusa, esso si apre a più strumenti e modalità di approccio: nel caso specifico del *workshop*, sono stati utilizzati principalmente gli strumenti dei Future Studies, soprattutto per l'analisi approfondita dei contesti e per la costruzione degli scenari, ma le modalità operative possono essere multiple e far riferimento ad un più ampio campo di discipline.

### 5.1.3 Crescere per prosperare

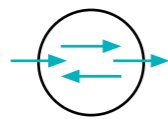
Finora, con il post-antropocentrismo, abbiamo constatato come il concetto di "Augmentation" sia esteso non solo all'uomo e al suo ambiente, ma all'intero ecosistema di cui egli è parte e agente, insieme ad altre molte entità dotate a loro volta di materialità agentiva (5.1.1). Successivamente, abbiamo visto come questo processo di evoluzione e potenziamento non sia semplicemente una successione di eventi o un incremento quantitativo di conoscenza e tecnologie ma è un ciclo ricorsivo e iterativo tra informatizzazione e materializzazione, influenzando anche il pensiero progettuale e il nostro approccio alle tecnologie, che diventano lo strumento per ripensare radicalmente i nostri modelli di vita e di gestione della complessità [10] (5.1.2). Si vuole dunque concludere con la definizione del concetto di "Bio-Augmentation" andando a sottolineare come questo – al contrario di come possa apparire – non indica la sola possibilità di "aumentare" prodotti, processi e servizi attraverso interfacce biologiche, ma significa che le caratteristiche e le funzionalità del vivente divengono parte dei processi generativi e degli elementi performativi degli *output* progettuali, cambiandone la comprensione e la concettualizzazione. Ciò implica un cambiamento della logica di base e l'attivazione di un modo di pensare e di mettere in atto un processo progettuale in modo sistemico, immettendoci nelle dinamiche dell'interrelazione. In tal senso il designer non è né un *problem solver* (come nel *design thinking*), né un *problem finder* (come nel *critical design*) ma un "rimetabolizzatore" delle complesse sfide che ci troviamo ad affrontare (sia negli aspetti positivi che negativi), considerando la totalità degli elementi in interazione dinamica

e attivando "anelli di retroazione" su scale temporali (transitorietà) e spaziali (decentramento) multiple [11]. A livello concettuale dunque, il sistema di crescita biologica e tutto ciò che ne consegue (dinamicità, apertura all'esterno, anelli di retroazione, omeostasia ed evoluzione, varietà, differenziazione, auto-organizzazione, ecc.) può rivelarsi utile a definire alcune "priorità strategiche" – intese nel senso classico di obiettivi a cui tendere, dati i valori da perseguire; la visione desiderabile di futuro da raggiungere e la missione (scopo ultimo) o contesto in cui agire – che caratterizzano il concetto di "Bio-Augmentation" e che mirano ad un riallineamento più profondo tra uomo e natura. Per rendere chiaro il flusso di pensiero, procederemo in maniera molto schematica, riassumendo dapprima i principi della crescita biologica che sono stati presi in considerazione e successivamente come essi sono stati tradotti in una matrice di priorità strategiche. È bene specificare tuttavia che per crescita non si intende il solo meccanismo di accrescimento, che in natura si traduce nel tempo dell'ontogenesi – il ciclo di nascita, crescita, morte di un organismo –, ma ci si riferisce alla storia dell'auto-organizzazione della materia in sistemi sempre più complessi, in altri termini, al fenomeno della vita che in natura si traduce nel tempo della filogenesi, dunque dell'evoluzione. La principale differenza è nella tipologia di accrescimento: mentre nel primo caso si tratta di una crescita quantitativa (incremento delle dimensioni o dello spazio occupato da una crescita esplorativa in cerca di cibo o di ambienti meno ostili) come quella che abbiamo perpetuato finora con i nostri sistemi economici, costruttivi, sociali; nel secondo caso si tratta di una crescita qualitativa, che include anche dei miglioramenti in termini di adattabilità e resilienza dati dal raggiungimento di stadi di complessità sempre più alti in relazione al contesto e alle complesse dinamiche relazionali. Per queste ragioni, vengono presi in considerazione "principi cibernetici" che approssimano alla natura in ottica sistemica, in grado cioè di considerare i fenomeni nella loro totalità, complessità e dinamica, focalizzandosi sulle interrelazioni che sussistono tra le parti e tra il sistema e il suo ambiente. Si tratta infatti di sistemi dinamici aperti, con le loro irriducibili caratteristiche di complessità ed emergenza date dalla varietà degli elementi e delle loro interazioni non lineari, che ne risultano in totalità organizzate il cui comportamento è difficilmente prevedibile. L'integrazione della variabile qualitativa del tempo è naturalmente fondamentale e fa apparire il relazionale e il divenire: come per i complessi meccanismi che governano le nostre società, «la nozione di fluido sostituisce

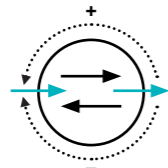
11. L'approccio sistemico operativo, supporto del pensiero inventivo (e complementare all'approccio analitico, supporto del pensiero conoscitivo) è nato alla fine degli anni Novanta a seguito della cibernetica, della termodinamica e delle teorie dell'informazione ed ha permesso l'allineamento delle modalità di pensiero dell'uomo all'inventiva della natura (dalla quale gli studi si ispirano). Fondamentalmente esso si basa su "sistemi complessi aperti" caratterizzati da una variabilità di elementi, organizzati in livelli gerarchici e connessi tra loro da una variabilità di interazioni che permettono lo scambio di flussi di energia, materia ed informazioni all'interno e con l'esterno. Questi flussi e i loro effetti sono continuamente monitorati da "anelli di retroazione", negativi se il sistema è omeostatico e lavora per conservare la sua struttura, le sue funzioni e l'intermediazione di una molteplicità di equilibri dinamici; positivi se l'equilibrio non è più recuperabile e ci si riorganizza, aumentando numero e varietà di elementi e livelli gerarchici, dunque evolvendo verso forme più complesse. L'azione correttiva non avviene direttamente con soluzioni discrete lì dove c'è il problema (*problem solving*), ma l'errore viene comunicato all'ingresso dell'intero ciclo che viene continuamente riorganizzato e ripetuto, migliorando di volta in volta (decentramento). Non si tratta dunque di problemi specifici ed individuabili (*problem*

finding) ma di una variabilità delle condizioni esterne ed interne alle quali bisogna sapersi adattare continuamente attraverso una sequenza di soluzioni sempre aperte e riprogrammabili (transitorietà). In natura infatti anche ciò che appare un problema, un rischio o un imprevisto può portare ad evoluzione.

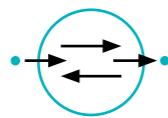
quella di solido. Il transitorio rimpiazza il permanente. Morbidità e adattabilità sono al posto di rigidità e stabilità. I concetti di flusso e di equilibrio di flusso si aggiungono a quelli di forze e di equilibrio di forze. La durata e l'irreversibilità entrano come dimensioni fondamentali nella natura dei fenomeni. La causalità diviene circolare e si apre sulla finalità» (De Rosnay, 1978, p. 137). Fatte queste considerazioni, possiamo dire che:



La crescita è una combinazione di auto-organizzazione interna e ambientalmente informata. Fattori esterni ed interni contribuiscono in egual misura nell'evoluzione di un organismo, che si sostanzia non negli elementi, ma nelle relazioni.

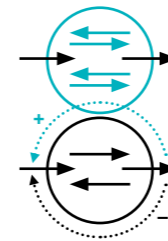


La crescita in natura può essere intesa come un gioco complementare di anelli di retroazione positivi e negativi, che scambiano con l'ambiente esterno informazioni, materia ed energia. Si tratta di un processo ciclico, dinamico e aperto di codifica (informatizzazione della materia) e decodifica (materializzazione delle informazioni) di fattori di organizzazione interna e di perturbazioni aleatorie dall'ambiente, che permette di adattarsi sempre più a determinate condizioni. I flussi di informazioni che circolano e che influiscono sulla materia sono alimentati dall'energia, prodotta e consumata da processi metabolici catalizzati da agenti di trasformazione (in biologia, di natura chimica) e rigorosamente controllati.

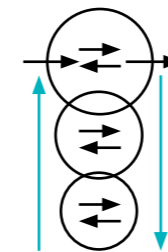


La crescita è contestuale e specifica. Ciò significa che il sistema ha sempre un limite ben definito (delimitato dalla ciclicità e dalla selezione specifica di variabili esterne ed interne) e ciascun processo è particolare e non lineare, né generalizzabile, né prevedibile. Ciò non toglie che la crescita è finalizzata, ossia che parte sempre da una condizione esistente ed è sempre orientata ad uno scopo. È nel perseguimento di questo scopo che si sceglie di operare nei limiti.

La crescita presuppone cambiamenti qualitativi oltre che quantitativi. Essa infatti dipende dagli anelli



di retroazione positivi (mentre quelli negativi regolano la stabilità o omeostasia) equivalenti a "generatori aleatori di varietà". La varietà [12] infatti accentua la differenziazione e genera complessità, moltiplicando le possibilità di interazione e le risposte possibili alle condizioni che si presentano. Confrontandosi con l'aleatorio, la varietà produce anche l'imprevisto, la linfa vitale del cambiamento. La crescita dunque è a volte causa di cambiamento, a volte strumento per adattarsi alle modificazioni ambientali, ma in ogni caso presuppone una complessificazione del comportamento del sistema e un aumento qualitativo delle sue proprietà.



La crescita si manifesta contemporaneamente a tutti i livelli di gerarchia in cui sono organizzate le informazioni (cellulare, tissutale, organi, organismi, popolazioni, ecosistemi, evoluzione della biosfera). Dunque ogni elemento può influenzare un altro elemento a qualsiasi livello [13], indipendentemente dal tempo e dalla posizione, portando potenzialmente all'evoluzione dell'insieme e alle cosiddette "proprietà emergenti".



La crescita presuppone creatività e natura qualitativa del tempo: nel processo complementare di disorganizzazione (totale o parziale) e riorganizzazione, il sistema cerca di trovare nuovi punti di equilibrio e stati stazionari riconfigurando con creatività le interazioni tra le parti, la loro organizzazione spaziale e temporale. L'evoluzione di un sistema aperto è integrale di questi cambiamenti/adattamenti: l'accumularsi nel tempo di piani successivi o di "tracce" della sua storia. Questa evoluzione si materializza nei livelli gerarchici dell'organizzazione e nell'emergere di nuove proprietà.

Nella traduzione di queste logiche sottostanti i processi di crescita in termini progettuali, possiamo definire alcune priorità strategiche e modelli concettuali utili ad un'innovazione post-antropocentrica volta a riconvertire strategicamente i nostri modelli di vita, di pro-

12. Gli anelli di retroazione positivi agiscono sempre nello stesso senso, portando ad un accrescimento di una data grandezza che può essere il numero (aumento di una popolazione), la diversità (varietà degli elementi e delle relazioni tra gli elementi), l'energia (eccedente energetico, crescita del capitale e accumulazione dei profitti). Tali anelli devono essere compensati da quelli negativi previa la crescita di entropia e la morte dell'organismo. Tuttavia, la crescita di varietà è fondamentale anche per l'omeostasia, perché più un sistema è complesso, più il sistema di controllo deve, esso stesso, essere complesso per offrire una "risposta" alle molteplici sollecitazioni che provengono dall'ambiente (Ross Ashby, 1958, Law of Requisite Variety). Se il gioco di anelli retroattivi positivi e negativi non riesce a raggiungere più stato di equilibrio, il sistema si reinventa creativamente e trova altri stati stazionari, aggiungendo livelli gerarchici nell'organizzazione e dunque l'emergenza di nuove proprietà.

13. Ci si riferisce qui anche al già citato principio ologrammatico, secondo il quale la parte è nel tutto, ma anche il tutto è nella parte: ne è esempio la cellula, che è parte dell'organismo, ma allo stesso tempo ne contiene l'intera l'informazione genetica.

14. La matrice TOWS è uno strumento di pianificazione strategica che consente di generare, grazie ad un approccio creativo ed interattivo, possibili iniziative strategiche. È una rilettura dinamica della tradizionale (e statica) analisi SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities, Threats). Con la TOWS, le varie quattro componenti vengono messe in relazione l'una con l'altra, generando opzioni strategiche a partire dai vari incroci.

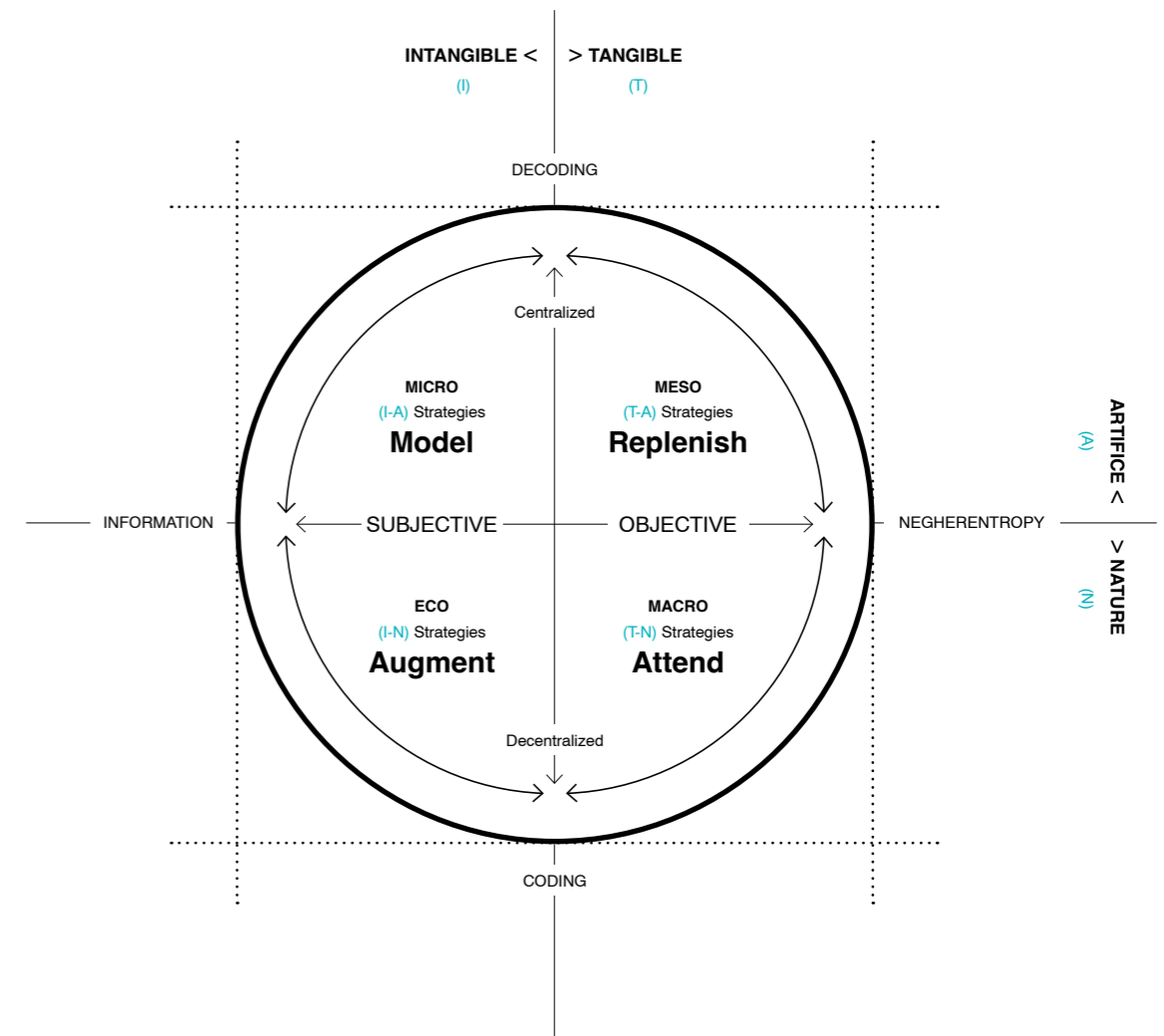
14. Le minacce esterne sono identificate con la natura, a sottolineare i rapporti, ormai recisi, che dovremmo recuperare con essa. Le nostre intra-azioni con la natura dovrebbero infatti essere costantemente monitorate e riadattate al variare delle condizioni. Al contrario, un rapporto distaccato con la natura che non si pone in una dinamica continua di ascolto, può portare ad un potenziamento dei punti di debolezza, ovvero al definitivo deterioramento entropico della nostra realtà tangibile.

duzione e consumo sul mutamento dei valori e mettendo in atto nuove mediazioni. Esse partono inoltre dal contesto della Biorivoluzione ed invitano a sfruttare al massimo le rinnovate processualità e dinamiche relazionali ad oggi possibili date le condizioni culturali e tecnologiche in cui il design si trova ad operare, in particolare quelle date da scambi e flussi informativi tra la natura e l'artificio, la realtà tangibile ed intangibile. Possiamo dunque delineare uno schema, che come in una sorta di matrice TOWS [14], riassume quattro priorità strategiche date dall'incrocio di fattori interni ed esterni, positivi e negativi: i punti di forza possono essere identificati con le sovrastrutture della nostra civiltà (forme di pensiero, linguaggi, modelli, costrutti culturali) che possiamo valorizzare ed adattare in totale libertà (INTANGIBILE); il punto di debolezza è la nostra realtà tangibile su cui possiamo intervenire per migliorarne la compatibilità con le istanze umane, sociali, ambientali (TANGIBILE); all'esterno i fattori che non possiamo controllare direttamente, ma che possiamo cogliere come le opportunità, identificabili con gli sviluppi techno-scientifici, l'accrescimento delle conoscenze e la maggiore accessibilità di queste e degli strumenti (ARTIFICE), o che possiamo monitorare/affrontare, come le minacce, identificate nelle sfide, nell'imprevedibilità che le caratterizza, nella globalità e nella profondità dei loro effetti (NATURE) [15]. Ne derivano dunque quattro priorità strategiche (Fig. 11):

**strategie I-A, MODEL:** in cui interveniamo sul pensiero e sui linguaggi grazie alle nuove opportunità che l'artificio ci offre, generando nuovi modelli di interpretazione della realtà e di generazione dell'artificio, allineati alle logiche della natura. Basti pensare ad esempio alle (relativamente) nuove opportunità di progettazione generativa o di simulazione che ci offrono gli strumenti computazionali: algoritmi, modelli agent-based, gemelli digitali, modelli ad elementi finiti, simulazione multifisica, ecc. sono tutte risorse tecnologiche che non solo possiamo utilizzare per produrre artefatti sempre più sofisticati, ma influenzano le nostre stesse logiche, i modi di pensare e concepire l'artificio, i linguaggi e la percezione della realtà – ad esempio l'interrelazione a parametri di contesto è fondamentale in questi casi.

**strategie T-A, REPLENISH:** in cui puntiamo a ricostituire/riorrganizzare i processi trasformativi della materia a partire dalle opportunità che l'artificio ci offre di informatizzarla. In questi

FIG. 11  
Matrice NATI (NATURE-ARTIFICE-TANGIBILE-INTANGIBILE): priorità strategiche per la progettazione post-antropocentrica. Lo schema riassume il concetto di "Bio-Augmentation" sottoforma di quattro obiettivi strategici e sistemici che possono guidarci nel ricostruire nuove relazioni tra artificio e natura, uomo e tecnologia.



LEGENDA:





casi ci si può riferire alle nano e biotecnologie, oppure agli strumenti riconfigurabili della fabbricazione digitale che ci permettono di manipolare la materia a partire dalle informazioni di base e di progettare per essa nuove qualità funzionali ed espressive. L'obiettivo è che il punto di debolezza, vale a dire il peso tangibile dei nostri sistemi di vita (materiali, risorse energetiche, rifiuti), venga trasformato in punto di forza, nel momento in cui attraverso tecnologie più o meno sofisticate possiamo trasformarli in strutture e "dispositivi" perfettamente integrati nell'ecologia naturale.

**strategie T-N, ATTEND:** in cui monitoriamo e interveniamo (se necessario) sulla materia, elaborando piani di difesa preventivi per evitare che le sfide globali a cui ci pone di fronte l'ecosistema acuiscano la già precaria situazione della nostra realtà tangibile. Rientrano in questa categoria tutte quelle innovazioni di design sistemico e strategico che puntano ad esempio sulle tecnologie dell'informazione per sperimentare nuove forme di integrazione tra prodotti, servizi e strategie di comunicazione facilitando lo sviluppo sostenibile di medio-lungo termine; oppure la riconversione dei sistemi produttivi in modelli rigenerativi e circolari; la rivalutazione di sistemi produttivi tradizionali; il perfezionamento di "fabbriche biologiche" per una futura estensione, ecc. Rientrano in questa categoria anche tutti quei progetti di monitoraggio e previsione veri e propri, che utilizzano intelligenza artificiale e Big Data oppure biomarcatori per tenere sotto controllo alcuni fenomeni.

**strategie I-N, AUGMENT:** in cui interveniamo sul pensiero e sui modelli culturali, trasformando le nostre più profonde convinzioni a partire da un'analisi approfondita del presente e degli effetti a cui hanno portato le prospettive finora assunte. Questa strategia corrisponde a tutte quelle innovazioni che agiscono sui costrutti latenti alla base dei nostri modelli di vita e cercano di stimolare nuovi comportamenti, modalità di consumo e produzione, consapevolezza, attraverso la costruzione di narrative e/o "racconti di avvertimento" volti a sperimentare forme di interazione alternative tra uomo-natura-artificio. Ne sono esempio i numerosi progetti di "cyber-ecologie" (come il *cybergardening*), installazioni spesso temporanee e in spazi pubblici che, attraverso le possibilità di connessione a tutte le scale (es. Internet of

Everything), sperimentano nuovi comportamenti collettivi che mettono insieme persone, vivente e artificio. Oppure, ne sono esempio prodotti che riproducono/sfruttano alcune caratteristiche del vivente, come il decadimento controllato, stimolando nel consumatore nuove consapevolezze.

Le quattro priorità strategiche sono inserite all'interno del flusso di pensiero già delineato nel paragrafo precedente, la cui ciclicità tuttavia (che può avvenire in entrambi i versi e a partire da qualsiasi punto) non preclude la possibilità di considerarle contemporaneamente, saltuariamente o singolarmente. In altri termini, esse si pongono come livelli multipli di astrazione che ci aiutano in egual misura, indipendentemente da spazio e tempo, a crescere e prospettare insieme al Pianeta. Guidate anch'esse da un principio ologrammatico, possiamo suddividerle in livelli dal MICRO (che presuppone un livello di astrazione minore, interazioni più semplici e dunque un risultato più immediato) all'ECO (che presuppone un'astrazione maggiore, interazioni più complesse e risultati di lungo termine) e non vi è epistemologicamente una linea di subordinazione, ma ciascun elemento può influenzare l'altro a qualsiasi livello e in qualsiasi momento: ciò stimola un pensiero rizomatico ed esperienziale che gioca sulle interrelazioni tra le parti piuttosto che sulle singole parti, andando a cogliere la visione di insieme e a considerare sperimentalmente piccoli aggiustamenti per un potenziamento emergente. Ciò presuppone un movimento continuo di codifica e decodifica dei principi della vita, dai modelli astratti alle strutture del reale, centralizzando le nostre azioni di decodifica in processi rigorosi e verticali, decentralizzando invece l'azione creativa in processi di riorganizzazione inventivi e orizzontali – CENTRALIZED-DECENTRALIZED –; combinando l'oggettività delle sperimentazioni (rigore scientifico) con la soggettività dell'interpretazione (pensiero divergente e umanistico) – SUBJECTIVE-OBJECTIVE –. Infine, proprio come in natura, il processo di crescita si sostanzia su due scale temporali complementari in un processo di prassi riflessiva: il tempo veloce e lineare della crescita entropica (quello delle tecnologie e dei loro sviluppi) e il tempo lento e ciclico dell'evoluzione (che recuperiamo attraverso la manualità, la riflessione, l'esperienza e un rapporto più profondo con i processi biologici). Tale aspetto è insito nella ciclicità del sistema che reimmette i risultati di sperimentazione come informazioni, adattandole di volta in volta alle organizzazioni dall'interno e alle perturbazioni dall'esterno.

## 5.2 Il concetto di "Materiality"



FIG. 12  
*Long Film for Four Projectors, Anthony McCall, 1974. Uno degli esempi più esemplificativi della differenza tra materia e materialità è l'uso della luce per creare nuovi spazi. L'intangibilità del fascio luminoso può infatti assumere una valenza "tattile" nel momento in cui entra in relazione con lo spazio, l'etere e con gli utenti che lo vivono e lo percepiscono.*



FIG. 12  
*If You See Something, Krzysztof Wodiczko, 2005. Quelle che sembrano persone reali che tentano di superare una barriera traslucida altro non è che una proiezione. È nella relazione tra interno ed esterno, soggettivo e oggettivo, che l'opera assume materialità.*

Il secondo paragrafo si concentra sul concetto di "Materialità" intesa non come materia fisica, ma come «la sostanza delle relazioni materiali», un nuovo senso, una diversa concezione della loro interazione con l'uomo che il design ha il compito di indagare (Bruno, 2014). Sebbene con il post-digitale stiamo assistendo ad un ritorno alla materia e alla sua manipolazione fisica, i concetti di crescita e di sistema aperto complesso, ci consentono di ampliare l'idea di materia passando dal "materiale" al "sistema materico", in cui la sostanza non è data semplicemente da un aggregato di elementi o molecole, ma da una strutturazione spaziale e temporale di tipo variabile che li mette in relazione. La materialità degli oggetti può dunque essere intesa non come stato fisico, ma come metodo strutturale, tanto che anche l'immaterialità del digitale è in grado di possederla bypassando il suo *status* di funzione tecnologica (5.2.1 Un metodo strutturale). La comprensione di questo concetto, che immette livelli gerarchici – e dunque informazione – tra le strutture della realtà tangibile, ci porta a nuove strade concettuali ed inventive di trasformazione materica che hanno come scopo ultimo quello di comprendere le qualità profonde che la materia può esprimere, in termini tecnici, estetici e simbolici (5.2.2 Qualità relazionali). Infine, il dominio del bio-digitale e le tecnologie che lo caratterizzano, svolgono un ruolo fondamentale nel rapporto tra il progettista e i nuovi linguaggi materici, favorendone la concettualizzazione e l'effettiva manipolazione delle relazioni (5.2.3 La tecnologia che media).

### 5.2.1 Un metodo strutturale

Con l'avvento del digitale anche il concetto di materia cambia, o meglio si amplia, avvicinandosi sempre più ad un paradigma biologico. Come è accaduto per la definizione stessa della vita (3.1.2 Scambi informazionali), un salto dal mondo degli atomi a quello dei *bits* per poi tornare agli atomi, ci ha dato la possibilità di ampliare il nostro sguardo in ottica sistemica e relazionale, aprendo alla creatività nuove e interessanti vie di sperimentazione. A tal proposito,

James Charlton (2014) osserva come la smaterializzazione dell'arte come oggetto, data dal crescente uso di tecnologie digitali e multimediali, non ha portato semplicemente alla scomparsa della materialità, ma piuttosto ad un suo ripensamento in termini concettuali. Anche Giuliana Bruno (2014) si interroga sul concetto di materialità in una cultura segnata dal virtuale e dal rapido susseguirsi di nuovi media, ponendo in evidenza come attraverso una superficie – sia essa una pelle, un vestito, uno schermo cinematografico, una tela o un monitor – noi siamo in grado di interagire con gli oggetti, quindi, anche se virtuali, essi possiedono una sostanza. Entrambi gli autori (come molti altri, ad es. Lillemose, 2008; Leonardi, 2010), a seguito di lunghe digressioni, convengono dunque che non possiamo più intendere la materialità come la materia fisica, ma come la sostanza delle relazioni materiali (Bruno, 2014) e che quindi anche il digitale è in grado di possedere una materialità, sempre che lo si consideri un metodo strutturale prima ancora che una funzione tecnologica (Charlton, 2014). Per spiegare bene questo concetto – la materialità vista in chiave digitale –, Dammacco (2015) fa riferimento alle pratiche artistiche degli anni Sessanta e Settanta, ed in particolare al lavoro di Allan Kaprow in "Eighteen Happenings in Six Parts" (1959) presentato al Ruben Gallery a New York, in cui egli fornisce ai visitatori delle istruzioni in cui viene spiegato quello che devono fare durante le sei parti dell'*happening*, ognuna delle quali è divisa in tre avvenimenti. Gli utenti vengono così manipolati da Kaprow, che diventa il programmatore che gestisce degli elementi grazie alla messa a punto di un codice che, una volta avviato, permette agli elementi di agire autonomamente. Ogni partecipante si muove nello spazio individualmente e secondo il proprio punto di vista, è distratto da eventi simultanei ed è la totalità delle esperienze a dare forma all'opera. «Quello che abbiamo non è un singolo materiale continuo ma materialità co-costituite parallelamente che sono componenti interdipendenti di una rete relazionale all'interno del pezzo. Come metodo strutturale il digitale non è dipendente dai costrutti tecnologici dell'era digitale con cui viene comunemente associato. Il corpo – forse il più analogico fra tutti gli oggetti –, si è dimostrato capace di costruire una struttura digitale co-costituita liberando quindi cronologicamente il digitale dalle storie specifiche dei media. In questo senso "Il digitale" precede lo sviluppo dei media digitali piuttosto che essere una condizione determinata da essi» (Charlton, 2014). Staccate le ali all'*hybris* che caratterizzava la condizione digitale, siamo tornati quindi sul terreno della tangibi-



FIG. 13  
*Eighteen Happenings in Six Parts, Allan Kaprow, 1959. L'artista diventa un "programmatore" che gestisce gli elementi e le relazioni tra loro attraverso un codice (insieme di istruzioni, in alto). La materialità dell'opera non è data dai singoli corpi dei partecipanti, né dagli oggetti a complemento, ma dalla loro interazione*



**FIG. 14**  
*Floraform, Nervous System Design Studio, 2014. Studio dei processi di crescita cellulare differenziali presenti nelle diverse forme di infiorescenza e loro traduzione in algoritmi generativi. Studiando il fiore di Celosia Cristata, i progettisti hanno constatato che*

lità, riscoprendo come anche la sostanza fisica può essere specchio di una fitta rete di relazioni ed interazioni che ne restituiscono la fisicità in forma nuova.

In particolare, il parallelismo con la biologia risulta ormai evidente: la materialità biologica infatti, non è data semplicemente da un aggregato di cellule, ma da un insieme di elementi gerarchicamente strutturati e che interagiscono secondo precise istruzioni fornite dal codice genetico, proprio come in Kaprow oggetti, persone e spazi interagiscono seguendo un processo strutturale suddiviso in sei parti, a loro volta divise in tre avvenimenti e che viene guidato dall'autore. La costituzione materica dell'unità biologica viene data dal comportamento di ogni singola parte contraddistinto dal legame in cui è coinvolto e viceversa, mentre tutte insieme conferiscono al sistema delle proprietà del tutto originali, ovvero diverse dalla somma delle singole parti; allo stesso modo in cui la totalità delle esperienze porta all'emergere dell'opera complessiva di Kaprow. Considerando l'organismo biologico come un sistema aperto e complesso (Von Bertalanffy, 1968), possiamo infatti constatare come la sua generazione e la sua performatività non sono date semplicemente da un aggregato materiale, ma da una combinazione di aspetti strutturali di organizzazione spaziale (limiti, elementi, contenitori, reti di comunicazione) e di aspetti funzionali di organizzazione temporale (flussi, chiuse, rallentamenti, anelli di retroazione) in relazione permanente con l'ambiente esterno, da restituire un "sistema materico", ovvero una materialità informata in cui risulta pressoché difficile discernere tra il materiale, la sua struttura (guidata dall'informazione) e i suoi elementi performativi (alimentati dai flussi energetici).

Il passaggio dal materiale ai "sistemi materici", già approfondito nel terzo capitolo (3.3.3 Sintesi materiche ed innovazione organica), non può essere inteso quindi come una semplice conseguenza dello sviluppo tecnologico, ma come parte di un nuovo modo di intendere la Materialità, aprendo ad una sua diversa concezione, immaginazione e produzione. In questo senso i progettisti tornano ad un uso della materia, ma che non è intesa nel senso tradizionale – di sostanza fisica che concretizza un'idea – ma come un aggregato di interrelazioni che possiamo comprendere, reinventare, scindere e ricomporre, cambiando il gioco delle variabili e delle loro interazioni (Fig. 14).

Ci viene in aiuto, in tal senso, il pensiero computazionale che viene definito da Janette Wing (2006) come un insieme di processi mentali

utilizzati per modellare un determinato problema e per specificare i modi mediante i quali un agente elaboratore di informazioni può operare in modo effettivo all'interno del problema stesso per raggiungere dei risultati. Tale pensiero infatti, che come Wing (2016) ci tiene a sottolineare, non indica né l'atto di programmare un computer, né tantomeno un modo per ridurre il pensiero umano a quello della macchina, si pone come capacità di «ragionare a livelli multipli di astrazione» (p.35) e come metodo strutturale che ci permette di stabilire una sequenza codificata di intra-azioni e di comunicarle attraverso un codice ad un agente in grado di processare tali informazioni e di agire autonomamente. In altri termini, il pensiero computazionale ci permette di ragionare per sistemi, elaborando per essi un modello strutturato secondo variabili di organizzazione spaziale e temporale di nostro interesse, mettendo in evidenza le interazioni e i collegamenti tra le variabili ed esprimendo il tutto attraverso un linguaggio codificato che ci permette di interagire con altro da noi. Inoltre, rilevanti sono altri due aspetti di questo pensiero: l'aspetto processuale ed esperienziale, perché si ragiona su come raggiungere un risultato desiderato piuttosto che su quale tipo di risultato, e l'aspetto creativo, perché «è il modo in cui gli esseri umani risolvono i problemi [...] pertanto comprende e anzi valorizza le dimensioni della creatività e dell'immaginazione» (Wing, 2016, p.35).

La materialità, come intesa in questa sede, è dunque materia informatizzata e restituzione di un processo di iterativo e ricorsivo tra il progettista e un agente capace di decisioni autonome o di adattamento funzionale a determinate condizioni, scandito secondo livelli di strutturazione gerarchica che va da micro al macro (definizione degli elementi e delle relazioni che li legano, nello spazio e nel tempo) e dal macro al micro (analisi dei risultati ed eventuale ripetizione del processo in forma nuova), prendendo in considerazione le condizioni del contesto e la loro variazione. Si tratta di un sistema dove l'azione del design non è totale, ma si adatta ad elementi, proprietà e relazioni: ciò ancor di più nel momento in cui ad essere coinvolta nei progetti non è più la sola materia inerte (che comunque possiede una propria agentività, anche se prevedibile), ma anche materia biologica, intelligenza artificiale e gli stessi corpi umani. Ad esempio, con la biofabbricazione – concetto inizialmente confinato all'ambito biomedicale ma che oggi sta ad indicare un tipo di manifattura di prodotti viventi e non, progettati e cresciuti sfruttando organismi biologici – i designer cominciano ad interfacciarsi con il sistema della vita, mentre si passa dalla rappresentazione (e



*l'increspatura è data da una crescita cellulare più ampia ai bordi e dipende a sua volta dalla meccanica del materiale e dal fototropismo (crescita maggiore alla luce). Questi aspetti strutturali e funzionali sono stati tradotti in termini matematici e hanno permesso la produzione di sculture variegata in 3D.*

successiva realizzazione) di sistemi materici ad una diretta materializzazione degli stessi. Il progettista dunque assume il ruolo di mediatore, definendo un equilibrio tra l'autonomia operativa del vivente e le nostre intenzioni capaci, grazie alle nuove tecnologie, di comprenderne a fondo e riprodurre le complesse dinamiche che lo caratterizzano. I prodotti finali diventano dunque "sistemi materici", dove materiale-prodotto-performance vengono progettati come un'unica entità attraverso le informazioni, la crescita e l'adattamento al contesto, proprio come in natura.

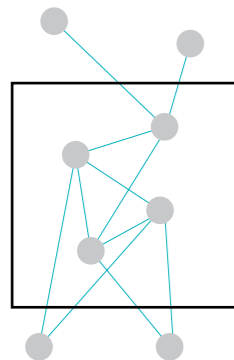
### 5.2.2 Qualità relazionali

Il passaggio dal "materiale" al "sistema materico" e la possibilità di immettere nella materia un pensiero grazie alle informazioni e ad una loro strutturazione, porta ad un aumento delle qualità progettabili e ad una variazione delle stesse all'interno di un unico sistema, in ottica sempre più simil-biologica. Immettere infatti livelli gerarchici - e dunque informazione - tra le strutture della realtà tangibile, ci apre a nuove strade concettuali ed inventive di trasformazione materica che hanno come scopo ultimo quello di comprendere le qualità profonde che la materia può esprimere, in termini tecnici, estetici e simbolici.

Ciò ci riporta al processo di crescita, così come descritto nel paragrafo precedente e con tutte le considerazioni del caso, per cui, nel descrivere i possibili concetti o linguaggi con cui i designer si interfacciano nel progettare e caratterizzare la nuova materialità, riportiamo i punti già selezionati:

*La crescita è una combinazione di auto-organizzazione interna e ambientalmente informata. Fattori esterni ed interni contribuiscono in egual misura nell'evoluzione di un organismo, che si sostanzia non negli elementi, ma nelle relazioni.*

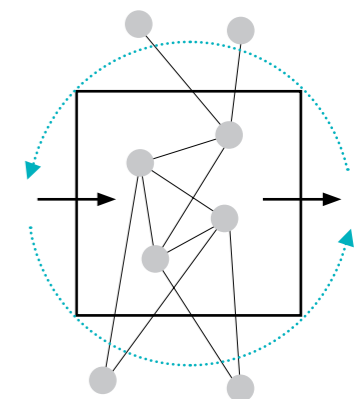
Agire sulla materia con un pensiero computazionale, significa infatti stabilire una semplice sequenza di regole, dunque un codice genetico interno al sistema materico, che considera relazioni multiple tra elementi variabili che compongono il sistema. Rendere gli elementi variabili nello spazio e nel tempo è fondamentale, perchè permette l'adattabilità del sistema a specifiche condizioni o cambiamenti nell'ambiente e nelle richieste dell'utilizzatore, ottenendo di volta in volta risultati differenti e specifici. Ad esempio, con il design computazionale che fa uso di algoritmi (codice genetico) elaborati da



potenti calcolatori, abbiamo oggi la possibilità di realizzare sistemi materici che variano di volta in volta la loro forma o struttura al variare delle variabili che abbiamo per esso definito. Oggi inoltre, abbiamo concettualmente fatto un passo ulteriore verso la natura: non consideriamo più la forma indipendentemente dal materiale, ma sono le proprietà di quest'ultimo ad influenzare la struttura che, a sua volta, influenza la forma: in tal senso possiamo parlare di integrazione tra materiale-prodotto-performance perchè tutti gli aspetti, dal basso verso l'alto, vanno ad influire su un'unità materiale performativa dove estetica e funzione si fondono (Vincent, 1982). Infine, il ruolo delle relazioni risulta fondamentale: esse non variano (a meno che il sistema si riorganizzi, quindi il designer decide di perfezionare e complessificare il suo algoritmo) ma pongono sempre in diretta correlazione gli elementi variabili, tanto che al variare dell'uno, varia tutto il sistema ad esso connesso. Questa è una proprietà importante anche in natura dove un piccolo cambiamento, con poco dispendio di energia, permette grandi cambiamenti, a volte anche vitali.

*La crescita in natura può essere intesa come un gioco complementare di anelli di retroazione positivi e negativi, che scambiano con l'ambiente esterno informazioni, materia ed energia. Si tratta di un processo ciclico, dinamico e aperto di codifica (informatizzazione della materia) e decodifica (materializzazione delle informazioni) di fattori di organizzazione interna e di perturbazioni aleatorie dall'ambiente, che permette di adattarsi sempre più a determinate condizioni. I flussi di informazioni che circolano e che influiscono sulla materia sono alimentati dall'energia, prodotta e consumata da processi metabolici catalizzati da agenti di trasformazione (in biologia, di natura chimica) e rigorosamente controllati.*

Il carattere iterativo del pensiero computazionale ci permette di ripetere la stessa sequenza di azioni, variando di volta in volta i parametri o le relazioni tra di essi, facilitando una conoscenza più approfondita delle potenzialità della materia e il disvelamento delle sue proprietà. È questo il motivo per il quale molte sperimentazioni materiche che fanno uso di tecnologie anche molto sofisticate (come ad esempio le pratiche di "growing-design" che utilizzano materiali viventi e tentano di orientarne la crescita in modo finalizzato), evocano spesso un ritorno alla "perizia artigianale" quale capacità di fare le cose "a regola d'arte" così come inteso da Sennett (2008), perchè anche nel lavoro artigianale la maestria è frutto di



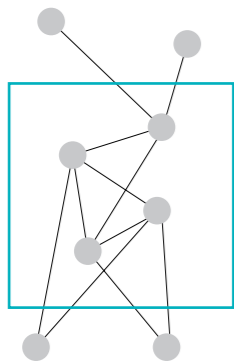
un processo di interazione tra materia, pensiero inventivo e abilità manuale, ripetuto e migliorato di volta in volta. Anche nella realizzazione dei sistemi materici l'uso complementare dei due linguaggi – il soggettivo e l'oggettivo – permette di rispondere al “come” agire senza tralasciare il “perché”, in un processo ricorsivo e iterativo tra informatizzazione della materia (osservazione) e materializzazione del pensiero (azione creatrice).

*La crescita è contestuale e specifica. Ciò significa che il sistema ha sempre un limite ben definito (delimitato dalla ciclicità e dalla selezione specifica di variabili esterne ed interne) e ciascun processo è particolare e non lineare, né generalizzabile, né prevedibile. Ciò non toglie che la crescita è finalizzata, ossia che parte sempre da una condizione esistente ed è sempre orientata ad uno scopo. È nel perseguimento di questo scopo che si sceglie di operare nei limiti.*

Definire un sistema che permetta ad un agente elaboratore di risolvere un problema o di raggiungere un obiettivo definito dal designer, significa – come abbiamo detto – ragionare per livelli multipli di astrazione e semplificare il più possibile la rappresentazione della situazione per comunicarla al meglio ed in maniera chiara attraverso un codice. Ciò richiede prima di tutto stabilire un limite, ovvero una frontiera che mi definisce il sistema e lo separa dal mondo esterno (come ad es. la membrana di una cellula). Questo limite dà infatti libertà d'azione ed autonomia perché permette il controllo dell'azione e l'adattamento delle scelte a specifiche condizioni.

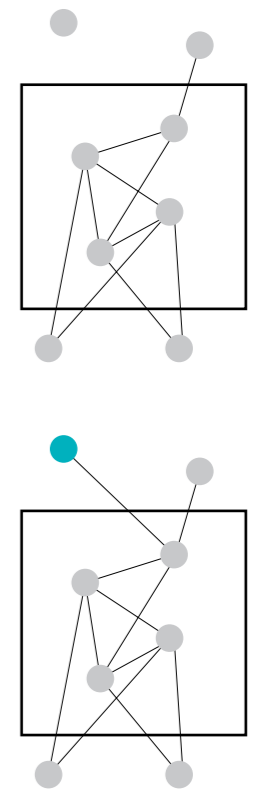
*La crescita presuppone cambiamenti qualitativi oltre che quantitativi. Essa infatti dipende dagli anelli di retroazione positivi (mentre quelli negativi regolano la stabilità o omeostasia) equivalenti a “generatori aleatori di varietà”. La varietà infatti accentua la differenziazione e genera complessità, moltiplicando le possibilità di interazione e le risposte possibili alle condizioni che si presentano. Confrontandosi con l'aleatorio, la varietà produce anche l'imprevisto, la linfa vitale del cambiamento. La crescita dunque è a volte causa di cambiamento, a volte strumento per adattarsi alle modificazioni ambientali, ma in ogni caso presuppone una complessificazione del comportamento del sistema e un aumento qualitativo delle sue proprietà.*

Questo punto è molto importante e consente di introdurre concetti e linguaggi con cui i designer dovranno interfacciarsi sempre più in futuro data la sofisticazione delle esigenze della contemporaneità, come anisotropia e differenziazione per integrazione. Que-

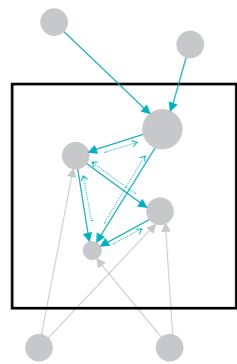


ste caratteristiche infatti, sono proprie dei sistemi viventi ad alta complessità che fanno un uso ottimizzato di materia in tutte le loro parti, strutturandola nello spazio e nel tempo per reagire a determinati stimoli esterni, sia in forma “statica” (quando le variazioni sono irreversibili, come lo sviluppo di una struttura in base a carichi esterni durante la crescita) sia in forma “dinamica” (quando le variazioni sono reversibili e sono date da stimoli esterni – come l'umidità – che portano una struttura a cambiare momentaneamente di stato secondo una specifica conformazione). In particolare, con “differenziazione per integrazione” si intende l'originalità, il carattere unico, di ogni elemento che si rivela nella totalità organizzata ed è legata al tempo e al processo di crescita, come ad esempio nel caso della specializzazione delle cellule nei tessuti. L'anisotropia è conseguenza di questa funzionalizzazione flessibile e si riferisce alla variabilità insita in un sistema materico nello spazio, per cui il valore di una grandezza (durezza, resistenza alla rottura, indice di rifrazione, ecc.) non è uguale in tutte le direzioni. In biologia infatti, tutti i materiali vengono sintetizzati a partire da un piccolo range di elementi localmente disponibili, a temperatura ambiente, che con il lento processo di crescita vengono strutturati secondo gradienti continui ottimizzati rispetto alle condizioni ambientali e alle necessità performative: ciò accade ad esempio nella struttura delle ossa che durante la crescita varia di densità a seconda dei carichi di forze esterne; nelle piante, in cui le cellule non possono processare la lignina, il processo di crescita avviene dapprima con materiali morbidi e flessibili e successivamente avvengono delle variazioni locali nelle parti soggette a maggior carico aggiungendo strati di cellule cariche di lignina o irrigidendo quelle già presenti. Nuove possibilità tecnologiche, ci permettono di agire secondo le medesime leggi della crescita e dunque di aumentare la varietà dei sistemi materici per raggiungere alte ottimizzazioni differenziandoli nelle loro parti: non solo infatti potenti elaboratori possono gestire ampie quantità di dati e supportarci nella generazione di forme e strutture complesse ma anche ad esempio la stampa 3D, che ci permette di “crescere” letteralmente un sistema materico strato per strato e di combinare dunque una sequenza di proprietà differenziali

*La crescita si manifesta contemporaneamente a tutti i livelli di gerarchia in cui sono organizzate le informazioni (cellulare, tissutale, organi, organismi, popolazioni, ecosistemi, evoluzione della biosfera). Dunque ogni elemento può influenzare un altro elemento a qualsiasi*

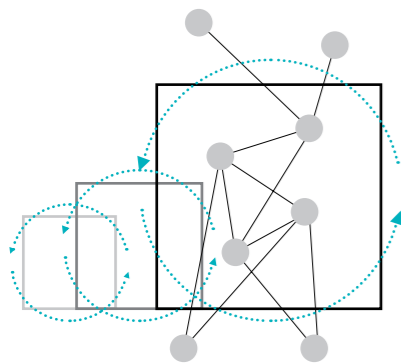


livello, indipendentemente dal tempo e dalla posizione, portando potenzialmente all'evoluzione dell'insieme e alle cosiddette "proprietà emergenti".



Il pensiero computazionale ci permette di ragionare per livelli gerarchici di informazione, ovvero che gli elementi del sistema vengono strutturati secondo una gerarchia di relazioni per cui i cambiamenti ai livelli inferiori possono influenzare i livelli superiori e viceversa, secondo un principio ologrammatico per cui il tutto è nella parte e la parte è nel tutto. Ciò per esempio ci permette di lavorare su più scale, variando ad esempio la micro, meso e macro struttura di un sistema materico, che si influenzano a vicenda e che possono portare a diverse proprietà nello stesso momento come biorecettività, resistenza ai carichi e leggerezza. L'implementazione di strumenti computazionali ci permette anche in questo caso l'elaborazione di grandi quantità di dati e di gestire, attraverso software specifici, i diversi livelli gerarchici, investigando le numerose configurazioni che possono essere elaborate da un'unica sequenza e talvolta simulandone la performatività già in ambiente digitale. Sta al designer dunque saper sfruttare appieno questi strumenti, applicando un pensiero computazionale che gli permetta di lavorare su livelli multipli di astrazione e di elaborare gerarchie di materia informata per raggiungere risultati che facciano uso ottimizzato di materia ed energia.

La crescita presuppone creatività e natura qualitativa del tempo. Nel processo complementare di disorganizzazione (totale o parziale) e riorganizzazione, il sistema cerca di trovare nuovi punti di equilibrio e stati stazionari riconfigurando con creatività le interazioni tra le parti, la loro organizzazione spaziale e temporale. L'evoluzione di un sistema aperto è integrale di questi cambiamenti/adattamenti. L'accumularsi nel tempo di piani successivi o di "tracce" della sua storia. Questa evoluzione si materializza nei livelli gerarchici dell'organizzazione e nell'emergere di nuove proprietà.



Il tempo, la quarta dimensione, è uno dei parametri chiave della crescita assieme allo spazio. Un organismo che cresce si sviluppa e si trasforma nello spazio e nel tempo. Le odierne possibilità di "manipolare" sistemi materici a tutte le scale, sia in ambienti virtuali, sia in ambienti fisici, ma comunque gestendone il processo di crescita sotto determinate condizioni, ci permette infatti di dare valore al tempo come variabile che influisce sui risultati finali. Ciò attraverso il recupero del tempo di crescita degli organismi viventi o del tem-

po dell'esperienza, parametri fondamentali se vogliamo avere a che fare con sistemi materici. Gli strumenti di simulazione possono ad esempio accompagnarci in questo percorso, simulando il comportamento della materia – sia essa inerte o viva – nel tempo e di acquisire conoscenza esperienziale indagando le numerose configurazioni che di volta in volta possiamo ottenere. Ciò ci permette non solo di ottimizzare "nel tempo" l'organizzazione dell'informazione o di adattarla a situazioni sempre diverse, rendendo i progetti aperti a successive modifiche (come nel caso della modifica di un algoritmo in un secondo momento), ma anche di programmare comportamenti che possono avvenire in un secondo momento o su scale temporali ben definite (si pensi alla degradabilità controllata). Tuttavia, pensare per sistemi materici piuttosto che per materiali, ci consente anche di essere aperti all'imprevisto, accoglierlo a volte come punto di partenza per l'innovazione o farne di esso il movente principale del progetto. È il caso ad esempio di progetti che indagano i processi di crescita di nuovi materiali biologici per scoprirne caratteristiche o potenzialità da poter riprodurre, oppure di *cyber-ecologies* che coinvolgono uomini, natura e *smart object* per sperimentarne una loro collaborazione e contaminazione nelle città del futuro.

Infine, se finora abbiamo elencato qualità e aspetti performativi, anche l'estetica cambia di significato ed espressione nel momento in cui si parla di sistemi materici che crescono piuttosto che di materiali che vengono assemblati: come afferma Frei Otto (2008), in natura l'estetica è una misura dell'intelligenza ecologica, essa si manifesta attraverso linguaggi visivi che sono espressione dello stato e delle trasformazioni materiali dell'organismo nel tempo (Fig. 14). Gli oggetti della natura narrano e ci permettono di leggere i fenomeni susseguirsi nel tempo e l'adattamento funzionale all'ambiente. Ciò può essere un punto di interesse per il designer che vuole progettare con i sistemi materici, poichè un'estetica molto forte, che valorizzi le relazioni e che renda trasparenti i processi trasformativi da esse derivanti attraverso il metalinguaggio dell'arte, può favorire coinvolgimento ed interazione, stimolando ad esempio valori di sostenibilità e di co-evoluzione simbiotica con altri organismi.

### 5.2.3 La tecnologia che media

La "Materialità", intesa non come materia fisica, ma come la sostanza delle relazioni materiali e una loro diversa concezione e manipo-

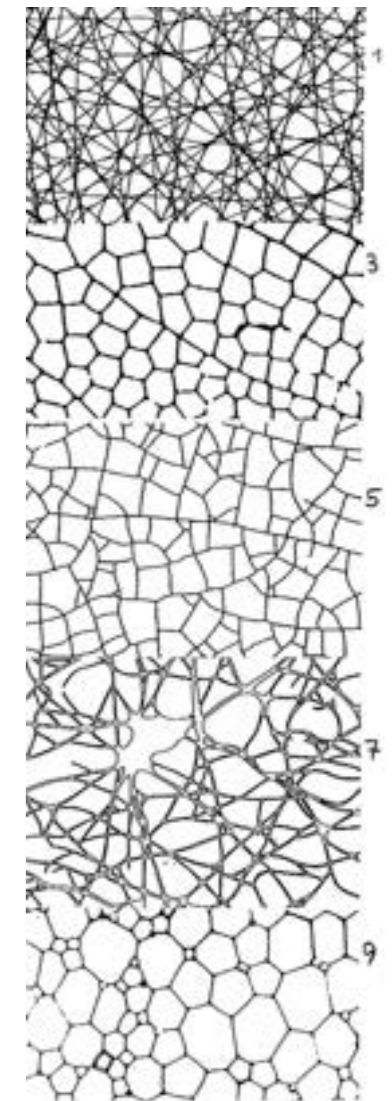


FIG. 14  
Frei Otto, *Occupying and Connecting*, 2009. Studi sull'ormai nota Tassellazione di Voronoi, presente in molte strutture naturali e che permette la gestione di materia e spazio. Otto la applica alla pianificazione urbana.

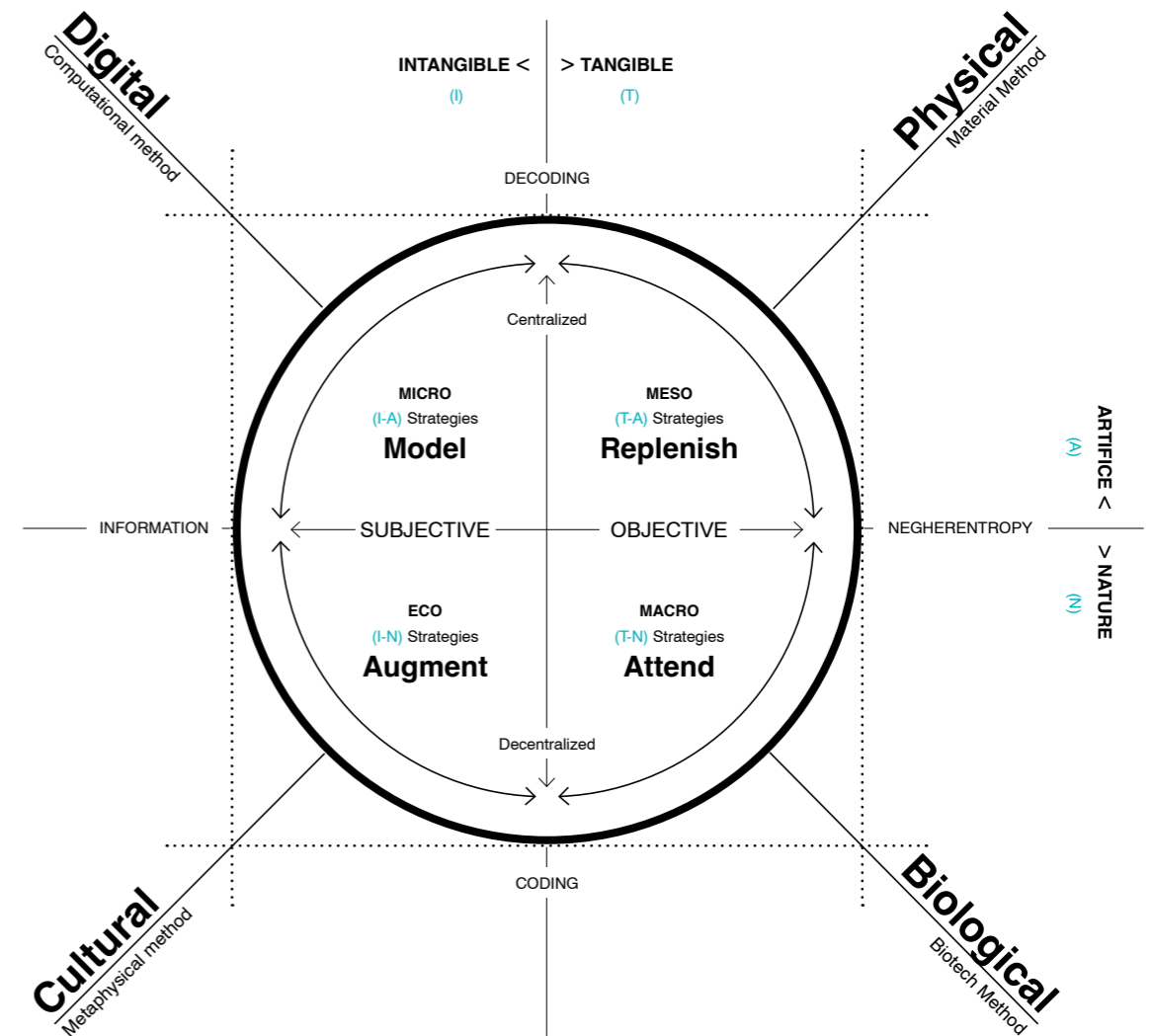
lazione da parte dei designer, è dovuta soprattutto ai nuovi scenari e opportunità di innovazione dati dallo sviluppo tecnologico che, come più volte ripetuto, è caratterizzato da una convergenza di tecnologie nelle sfere del fisico, del digitale e del biologico, che permettono una libertà creativa, esperienziale e rizomatica su più livelli. In particolare, emerge oggi una nuova forma di "industria bio-digitale" in cui, grazie a tecnologie sempre più sofisticate, digitalizzate, nano e biosintetiche, diventa possibile analizzare e riprodurre i processi generativi, chimici, fisici e molecolari alla base dei meccanismi naturali (Estévez & Navarro, 2017). Il dominio del bio-digitale infatti, che si configura come spazio di conoscenza convergente in cui il pensiero computazionale incontra le questioni biologiche (Lockton & Ranner, 2017), permette di trasformare i processi biologici in possibilità tecnologiche di sperimentazione attraverso la combinazione di strumenti fisici, digitali e biologici. In particolare, in questi processi, la tecnologia assume il ruolo di mediatore, permettendo lo scambio informativo tra le diverse dimensioni del reale – discipline e materialità in esse coinvolte –, nonché il passaggio e l'applicazione dell'energia creativa dall'informatizzazione della materia alla materializzazione del pensiero (e viceversa). Dunque, nel completare il concetto di "Bio-Augmented Materiality", è stato deciso di inserire all'interno del flusso di pensiero precedentemente delineato anche il potere mediatico delle odierne tecnologie, strumento attraverso il quale realizzare la nostra visione di futuro e ripensare la materialità del mondo in cui viviamo (Fig. 15). In particolare:

**DIGITAL. Computational Method:** fa riferimento ad hardware, software e wetware che attraverso la computazione e la digitalizzazione delle informazioni svolgono un ruolo fondamentale nel rapporto tra il progettista e i nuovi linguaggi materici, favorendone la concettualizzazione e l'effettiva manipolazione delle relazioni. Come abbiamo più volte ribadito poi, non si tratta solamente della possibilità di processare ampi set di dati e di simulare nel tempo la dinamica dei processi, ma di assumere linguaggi e modalità di pensiero nuove, sistemiche e computazionali, che ci permettano di comprendere a fondo le logiche della natura e conseguentemente, di agire e creare secondo le sue poetiche. Tra gli infiniti strumenti di questa categoria, rientrano ad esempio: software di progettazione parametrica e algoritmi, software di simulazione ad elementi finiti o su modelli agent-based, scripting, computazione numerica e *system testing*, stampanti 3D, biostampanti, bracci robotici a controllo

FIG. 15  
Bio-Augmented Materiality: visione strategica per una progettazione allineata alle modalità creative e produttive della natura. Esso include in sé quattro priorità strategiche per "bio-aumentare" il nostro ambiente e la convergenza di fenomeni e tecnologie nelle quattro dimensioni della realtà, – tangibili e intangibili – per ripensare la "materialità" del mondo il cui viviamo.

## Bio-Augmented Materiality

Una visione strategica per la progettazione bio-digitale



numerico, interfacce cervello-macchina (*brain computer interface*), ecc.. Inoltre, la pervasività di questi strumenti e le possibilità di visualizzazione che ci offrono, permettono un proficuo scambio anche tra discipline molto differenti tra loro, ritrovandone nuove modalità di interazione e comunicazione.

**PHYSICAL. Material Method:** fa riferimento ai processi di trasformazione della materia ad oggi possibili grazie alle bio e nanotecnologie. L'intervento antropico nelle fibre più profonde della materia, inerte e biologica, permette infatti di strutturare i materiali secondo esigenze desiderate, di crearne di nuovi con prestazioni sempre più sofisticate. Ne sono esempio un'ampia gamma di nanomateriali e nanoparticelle, *smart materials*, *programmable materials*, elettronica micro e flessibile, materiali *bio-based*, ecc. Tuttavia, ci si riferisce soprattutto alla possibilità che il design, anche con il supporto di altre discipline come l'ingegneria dei materiali o l'ingegneria genetica, ha di trasformare e ottimizzare le proprietà della materia fisica per progettare nuove qualità funzionali ed espressive.

**BIOLOGICAL. Biotech Method:** fa riferimento al significato più ampio di biotecnologia, intesa quindi non solo come «l'utilizzo di esseri viventi al fine di ottenere beni o servizi utili al soddisfacimento dei bisogni della società» (ONU, 1992), ma anche come l'applicazione e lo studio di qualunque tecnologia sviluppata o sviluppabile dall'uomo al campo della biologia. Ci si riferisce dunque all'utilizzo di "fabbriche biologiche" per crescere materiali bio-derivati; all'utilizzo di organismi come biosensori o bioattuatori; allo sviluppo di processi di biorisanamento o di degradazione dei materiali utilizzando materia viva; ma anche alle possibilità di studio che le nuove tecnologie offrono, che ci permettono di capire sempre più a fondo le logiche della natura e di applicarle: dall'ampia varietà dei microscopi alla traduzione dei codici genetici.

**CULTURAL. Metaphysic Method:** fa riferimento ai costrutti culturali, alle istituzioni, ai modelli di vita, ai linguaggi, che costituiscono tecnologia tanto quanto gli strumenti finora elencati. È infatti la forma di mediazione più ampia e più difficile da comprendere, ma che, gettando uno sguardo differente sulla natura metafisica della nostra realtà, modifica gli obiettivi del design e fa emergere nuove modalità di interazione, tra discipline, ma anche tra esseri umani e le altre agentività dell'Universo. Anche la questione dei linguaggi è

fondamentale in questa intermediazione, poichè sono il mezzo che ci permette effettivamente di scambiare informazioni in modo che siano comprensibili da tutti, ma si tratta anche di costrutti culturali che allineano modi di pensare. I linguaggi di programmazione ad esempio, sviluppatasi inizialmente nell'informatica, hanno portato al pensiero computazionale e alla consapevolezza culturale di quanto questo nuovo modo di pensare possa essere utile anche nella quotidianità e nel risolvere le sfide globali (Wing, 2016). Frutto della cultura digitale, essi hanno anche favorito lo scambio tra culture differenti (come quella umanistica e scientifica) e ci invitano, a seguito di una rinnovata consapevolezza post-digitale, ad apprendere ed usare in modo critico la tecnologia e la rete.



**FIG. 14**  
*Frei Otto, Sand Experiment Atelier Warmbronn, 1970. L'architetto è conosciuto per i suoi esperimenti attraverso i quali sperimentava i fenomeni della natura prima di applicarli all'architettura. Una modalità definita "analog digital" in cui un pensiero computazionale è applicato ad esperimenti materiali. Nell'immagine, lo studio della Tassellazione Voronoi eseguito facendo scorrere la sabbia in alcuni fori.*



## 5.3 “Bio-Augmented Materiality”: verso una progettualità proattiva

L'ultimo paragrafo trae le conclusioni andando a definire il concetto di “Bio-Augmented Materiality” (5.3.1 Una definizione), i suoi aggettivi come vettori di azioni strategiche (5.3.2 Gli aggettivi della “Bio-Augmented Materiality”) e possibili strade per la messa in pratica delle priorità strategiche precedentemente definite, sempre ispirate ai meccanismi della natura (5.3.3 Alcune strade possibili). In particolare, sottolineiamo come questo concetto non ha la pretesa né di essere una teoria totalizzante, né un metodo rigoroso, ma una “strategia di ascolto” che ci invita a decostruire il contesto e a guardarlo da prospettive differenti, a cogliere le opportunità e a trasformare gli imprevisti in innovazione, nel pieno rispetto dei valori post-antropocentrici e traendo vantaggio dalle rinnovate condizioni culturali e tecniche del progetto nell'era della Biorivoluzione. Esso invita a visualizzare, recuperare, ricostituire e aumentare i rapporti tra uomo, natura e artificio modificando i nostri modelli di pensiero e abbandonando le attitudini che finora hanno contraddistinto il nostro modo di agire (determinismo, risultati finiti, assemblaggio di parti, controllo totale, metrica, crescita qualitativa...), in un'ottica antidisciplinare e sperimentale. In questa macro-area del progetto dunque, capacità di connettersi, di immedesimarsi, di proiettare e collaborare diventano i tratti distintivi, mentre danno spettacolo le sinergie tra uomo e uomo, uomo e specie biologica, uomo e macchina.

### 5.3.1 Una definizione

Il concetto di “Bio-Augmented Materiality” cerca di mettere a sistema le rinnovate processualità ed estetiche relazionali facilitate dagli sviluppi tecnologici, focalizzando l'attenzione su come esse possano essere catalizzatrici di nuove vie all'innovazione post-antropocentrica. La decostruzione del pensiero deterministico dominante permette infatti di allontanarsi dalle logiche di sviluppo accrescitive ancorate alla grande industria, all'innovazione *technology push*, alle strategie *market pull*, alla scienza ufficiale, facilitando approcci

e pratiche sperimentali volte a futuri alternativi, possibili e desiderabili di co-evoluzione tra uomo e natura, tecnologia ed ecologia. In particolare, l'allineamento delle modalità creative e progettuali alle poetiche della natura, permette di operare una riflessione sull'uso critico delle tecnologie di cui oggi disponiamo e sulle effettive possibilità del design di orientare i nostri modelli di vita, di produzione e consumo verso strategie di crescita e sviluppo simil-biologiche. Il concetto dunque, si pone come strumento di visualizzazione e navigazione tra le idee sovrapposte e concorrenti in cui siamo immersi, affrontando il tema della sostenibilità da più punti di vista e mettendo in mostra la natura conflittuale delle “materie in questione” con cui progettiamo. Esso applica la riflessione strategica – intesa come indagine critica delle relazioni tra le variabili (intrinseche ed estrinseche, positive e negative) legate al sistema – a tutti i livelli, dal progetto al progetto per la natura, definendo per le nuove tecniche produttive decisioni strategiche che agiscono già da ora per futuri preferibili. Ispirato al concetto di crescita in tutte le sue forme, esso fa riferimento anche ad un nuovo modo di concepire la materialità che costituisce la nostra realtà in cui la decostruzione delle dicotomie moderne tra natura e artificio, reale e virtuale, materia e pensiero, restituiscono un contesto ibrido e in cui anche la sostanza delle cose diventa un aggregato di relazioni, portando ad una loro diversa concezione ed immaginazione. In particolare, volendo sintetizzare quanto descritto nei paragrafi precedenti, possiamo dire che:

*«La Bio-Augmented Materiality si pone come visione strategica per una pratica del design post-antropocentrica, esperienziale e relazionale, in cui le caratteristiche e le funzionalità del vivente divengono parte dei processi generativi e degli elementi performativi degli output progettuali, cambiandone la comprensione e la concettualizzazione. La Bio-Augmented Materiality si riappropria di una logica sistemica e della dimensione del tempo, immettendoci nelle dinamiche dell'interrelazione e sostanzandosi nel presente ma guardando al futuro. Mira a riconvertire strategicamente i nostri modelli di vita e a sfruttare criticamente le potenzialità della Biorivoluzione. I suoi prodotti sono sistemi “sistemi materici” ibridi e specifici, in grado di incarnare tutti o quasi i gradi di libertà di un sistema naturale. Cresciuti piuttosto che assemblati, computerizzati piuttosto che adattati, biologici piuttosto che sintetici, essi sono in grado di assumere comportamenti complessi nel tempo, cambiando ed adattandosi ai contesti. Ciò stimola un pensiero rizomatico ed esperienziale, che gioca sulle interrelazioni tra le*

*parti piuttosto che sulle singole parti, andando a cogliere la visione di insieme e a considerare sperimentalmente piccoli aggiustamenti per un potenziamento emergente, nostro e dell'intero Pianeta in cui viviamo».*

### 5.3.2 Gli aggettivi della Bio-Augmented Materiality

Per un concetto così complesso, possiamo definire tre aggettivi principali, i quali si configurano come vettori di azioni strategiche che dovrebbero caratterizzare la pratica del design nel prossimo futuro.

**La Bio-Augmented Materiality è Ibrida.** Ibride sono entità complesse fatte di componenti interdipendenti che appartengono a nature diversificate, persino contrastanti. Infatti nelle materialità bio-aumentate biologico e sintetico, fisico e digitale, analogico e computazionale, materiale e virtuale, inerte e vivente si mescolano e si fondono a vicenda. I designer dunque devono abbandonare le dicotomie passate ed affidarsi sempre più a queste interazioni tra le dimensioni. Le nuove tecnologie bio-digitali facilitano questo processo, permettendo lo scambio informativo tra uomo-natura-artificio, ma la Bio-Augmented Materiality incoraggia un cambiamento prima di tutto concettuale e culturale, essenziale per trovare nuove modalità collaborative antigerarchiche – dove nessuno prevale sull'altro.

**La Bio-Augmented Materiality è Simpoietica.** Simpoietiche sono le configurazioni condivise che, superando il principio di autosufficienza dei sistemi viventi, pongono alla base dell'evoluzione processi trasversali di organizzazione emergente, aperti all'alterità e osservabili già a livello microbiologico (Haraway, 2016). Simpoietici sono anche i sistemi materici con cui progetteremo, in cui sarà necessario stabilire un dialogo con sistemi biologici e intelligenze artificiali, e in cui dovremo stabilire un dialogo con loro piuttosto che sperare di controllarli. Ciò porta anche ad una riflessione etica riguardo l'entità di questo rapporto e su come in questo processo di co-potenziamento i "simbionti" ci influenzeranno e ci cambieranno.

**La Bio-Augmented Materiality è Emergente.** Emergente è il caratteristico comportamento dei sistemi complessi (biologici, sociali, economici) non prevedibili dall'osservazione del comportamento di una singola unità (agente), ma dati dal loro operare sinergico in uno

specifico contesto (Bridgman, 1927). Questo aggettivo è dunque comprensivo dei precedenti ed è strettamente correlato alla necessità odierna di stimolare una consiliazione tra le discipline, nonché tra i diversi attori del Pianeta. Se vogliamo un futuro più sostenibile, non possiamo limitarci all'uso di tecnologie sempre più sofisticate, ma dobbiamo adottare un atteggiamento collettivo.



FIG. 15 Coral Growth Patterns, John Mauriello, 2020

## Biovisioni del Futuro

### Esperimento 5

Il quinto capitolo si concentra sul concetto di "Bio-Augmented Materiality" cercando di definire per esso delle priorità strategiche (obiettivi), degli aggettivi (approcci) e possibili vie all'innovazione (potenzialità immaginative e produttive).

A supporto di quanto teorizzato vengono dunque descritte le attività svolte nella quarta tappa del percorso Biovision: il workshop *Biovision of the Future. Design challenge for a sustainable and desirable life*, svolto presso il centro di ricerca e servizi Saperi&co di Sapienza e che ha visto la partecipazione di dottorandi di diverse discipline. L'intento non è dimostrare gli assunti teorici, ma rafforzarli e completarli attraverso l'esperienza svolta, secondo un approccio di ricerca-azione. Molti aspetti, come l'ibridazione delle discipline, l'importanza di una decostruzione del presente, la progettazione del rischio nell'*output*, ecc. derivano infatti da dati sperimentali derivanti da questa attività piuttosto che da assunti di partenza. Il workshop – come anticipato –, è stata la tappa finale di un lungo percorso



FIG. 1 Brainstorming con Stefano Marzano (ex Chief Design officer, Philips Design) e Reon Brand (Senior Director Foresight and Socio-cultural trends at Philips Design)

di ricerca e riflessione critica che ha coinvolto i partecipanti in tutte le fasi, a partire dal *roundtable* presentato in "Esperimenti 1"; per poi proseguire con la *lecture* presentata in "Esperimenti 3" e lo *study day* raccontato in "Esperimenti 4". L'intento è stato quello di rendere i partecipanti consapevoli del contesto culturale (I e II fase) e tecnologico (III fase) in cui ci troviamo e a cui far riferimento, nonché di allineare più

discipline su uno stesso terreno di partenza e secondo gli stessi obiettivi (QRcode1). In particolare, sono stati invitati dottorandi di diverse discipline attraverso la rete di Dipartimenti e Corsi di Dottorato di Sapienza, tra cui: ~ **Dipartimento di Ingegneria, Informatica, Automatica e Gestionale "Antonio Ruberti" (DIAG)** Dottorato in Automatica, Bioingegneria e Ricerca Operativa

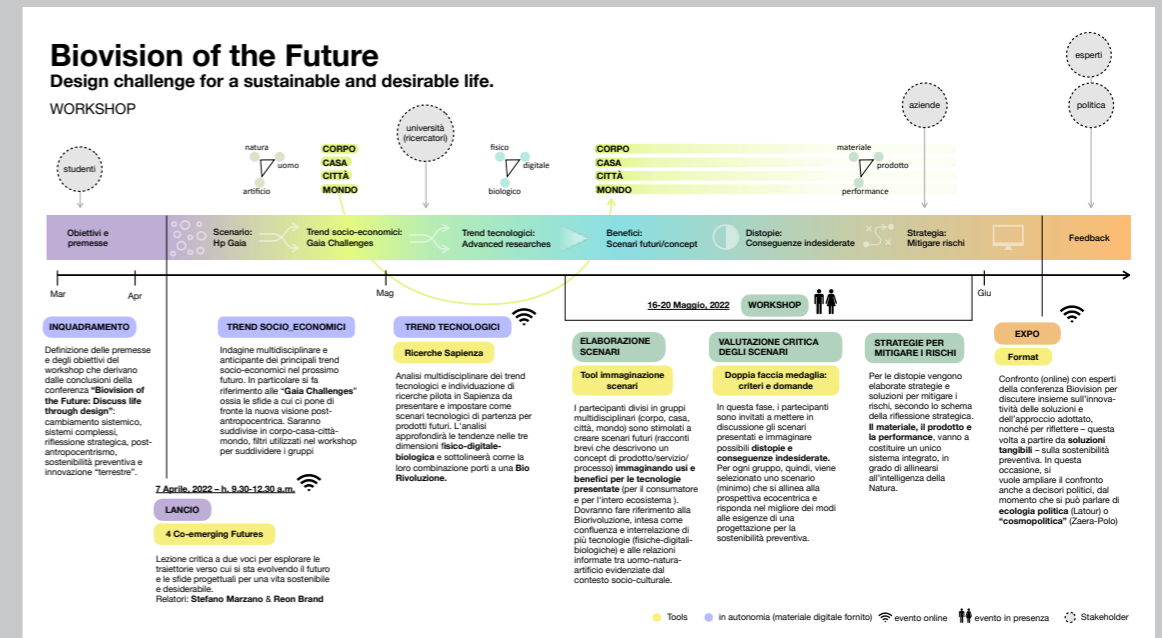


FIG. 2 Pianificazione completa del workshop

- ~ **Dipartimento di Biologia Ambientale (DBA)** Dottorato in Biologia Ambientale ed Evoluzionistica
- ~ **Dipartimento di Biologia e Biotecnologie "C.Darwin" (BBCD)** Dottorato in Genetica e Biologia Molecolare
- ~ **Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica (DIAEE)** Dottorato in Ingegneria Elettrica, dei Materiali e delle Nanotecnologie
- ~ **Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale (DIMA)** Dottorato in Ingegneria

- ~ **Industriale e Gestionale**
- ~ **Dipartimento di Psicologia dei Processi di Sviluppo e Socializzazione (DIP38)** Dottorato in Psicologia sociale, dello sviluppo e della ricerca educativa
- ~ **Dipartimento di Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura (PDTA)** Dottorato in Pianificazione, Design e Tecnologia dell'Architettura
- ~ Tutti i partecipanti sono stati poi suddivisi in gruppi interdisciplinari per analizzare quali sfide ci pone davanti la prospettiva post-antropocentrica

e come possiamo ripensare i nostri modelli di vita, produzione e consumo attraverso la progettazione. Per semplificazione, a ciascun gruppo è stata assegnata un campo di indagine specifico suddivisi in CORPO, CASA, CITTÀ, MONDO (Fig. 2) e per ciascuno di essi sono stati individuati degli aspetti da approfondire, ma è stata data libertà ai partecipanti di focalizzarsi anche su altro. In particolare, ciascun aspetto è stato introdotto con una domanda, proprio per chiederci prima di tutto come facciamo oggi le cose e come possono essere meglio ripensate. Le categorie e gli aspetti presentati

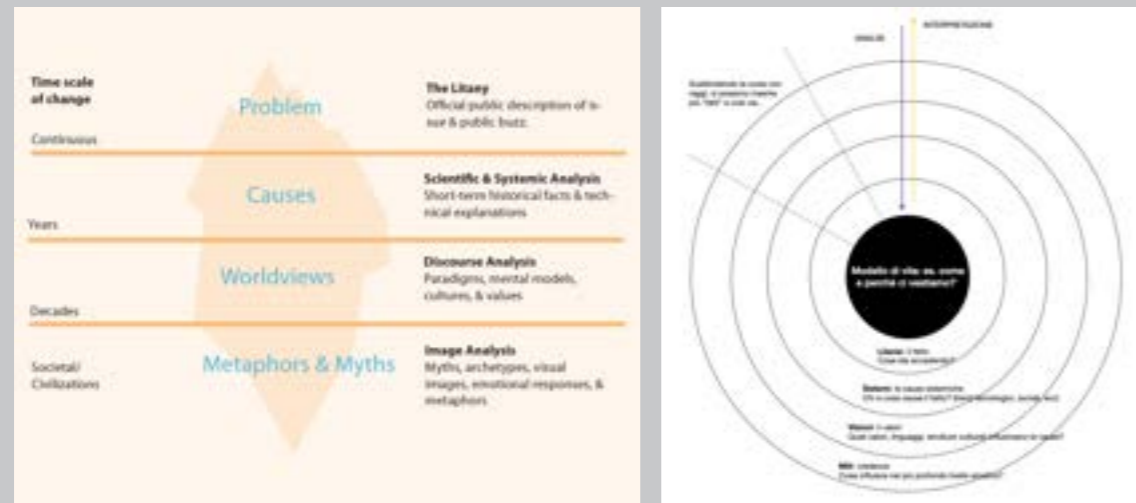


FIG. 3-4 Causal Layered Analysis

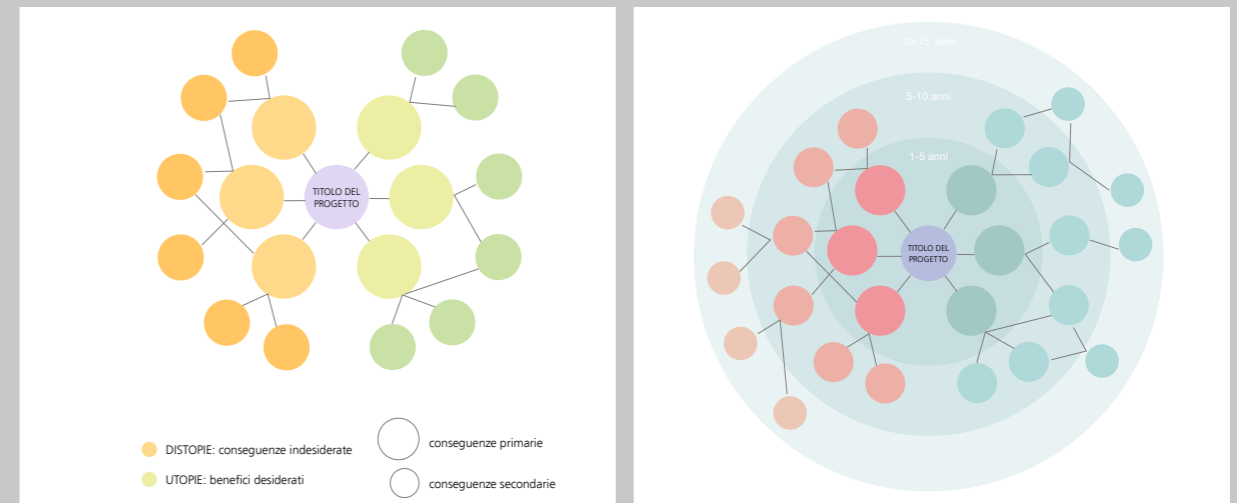
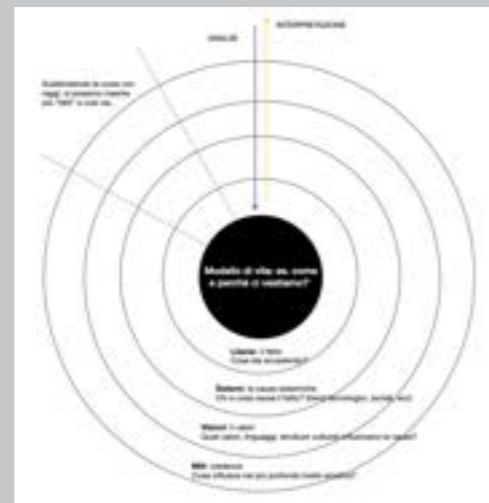


FIG. 5-6 Ruota dei futuri

**CORPO**  
**#health:** come curiamo la nostra salute mentale e fisica?  
**#fashion:** come e perchè ci vestiamo?  
**#food:** come ci nutriamo?  
**#sense:** come ci rapportiamo alla realtà sensibile?  
**#spirituality:** qual è il nostro rapporto con la spiritualità?

**CITTÀ**  
**#building:** come costruiamo le nostre città?  
**#consumption:** come nutriamo la città?  
**#sharing:** come condividiamo nella città?  
**#public spaces:** come viviamo gli spazi comuni?  
**#mobility:** come la nostra mobilità influenza le città?

**CASA**  
**#enviroment:** come sono i nostri ambienti domestici?  
**#rituals:** quali sono i nostri rituali domestici?  
**#relationships:** come ci rapportiamo agli altri?  
**#experiencing:** come viviamo la casa?  
**#insideout:** qual è il rapporto della casa con l'esterno?

**MONDO**  
**#food:** come produciamo cibo?  
**#watersecurity:** come influiamo sulle acque?  
**#biodiversity:** qual è la nostra relazione con gli altri esseri viventi?  
**#materiality:** come produciamo i beni materiali?  
**#geopolitics:** come gestiamo i fenomeni geopolitici?

Scelto ciascuno il proprio campo di intervento, è stato presentato il flusso di pensiero già descritto precedentemente per la "Bio-Augmented Materiality", ovvero quel percorso che va dall'analisi critica del presente – di quello che già c'è (trend tecnologici, socio-culturali, costrutti, pensieri, credenze radicate) – per stimolare attraverso il progetto azioni orientate che mi portano ad un futuro desiderabile, per me preferibile. L'invito è stato dunque quello di progettare prodotti, servizi, sistemi come esempi di come potremmo agire già da ora verso un fine dettato dai valori che abbiamo deciso di perseguire, rendendo visibile e tangibile la nostra visione del futuro. La speranza è quella di stimolare un dialogo più maturo sulle

decisioni del futuro. Per effettuare questo esercizio, è stato fornito ai partecipanti uno strumento preso in prestito dai Future Studies: la "Causal Layered Analysis (CLA)" (Fig. 3). In italiano, "Analisi Causale Stratificata", questo strumento ha l'obiettivo di guidare nella creazione di uno spazio di indagine del presente al fine di creare le giuste basi per la visualizzazione di futuri alternativi. Lo scopo finale non è quindi definire il futuro, ma "liberare" i futuri, privilegiando la comprensione di come una determinata questione viene costruita, identificata e definita, capendo quali paradigmi sono stati privilegiati nella costruzione di determinati trend. Esso è suddiviso in quattro livelli: litanie, cause sociali, visioni del mondo e miti/

metafore e, attraverso un percorso verticale, permette di verificare sia le questioni superficiali che i paradigmi più profondi che dominano il presente. Si parte da un grafico a raggiera, al cui centro viene scritta la tematica su cui vogliamo concentrarci e poi si procede per cerchi concentrici (Fig. 4), a partire dalle litanie (cerchio più interno) fino ad arrivare ai miti (cerchio più esterno) cercando di rispondere ad alcune domande: LITANIE: il fatto. Cosa sta accadendo? SISTEMI: le cause sistemiche. Chi e cosa causa il fatto? (trends) VISIONI: valori. Quali valori, linguaggi, strutture culturali influenzano le cause? MITI: credenze. Cosa influisce nel più profondo livello emotivo? Una volta raggiunto il livello più

esterno, procedendo per gradi e scomponendo il "fatto" fino ad arrivare alle "credenze", possiamo invertire il modello (quindi dai MITI alle LITANIE), ceando le basi per la visualizzazione di futuri alternativi a partire dai paradigmi dominanti. Da questo esercizio sono venuti fuori i primi risultati, molto interessanti e specifici, base di partenza per la successiva progettazione. È stato interessante anche sperimentare come un pensiero divergente stimolato da questo esercizio, possa essere utile a differenziare di volta in volta i nostri punti di vista e a trovare nuove strade. Ad esempio, i due gruppi che lavoravano sul MONDO hanno deciso di concentrarsi entrambi sul cibo e su come lo consumiamo. Alla

fine dell'esercizio, un gruppo ha trovato spazio di innovazione nella filiera della refrigerazione, mentre il secondo nella filiera della vendita, portando a due progetti completamente diversi.

Dopo due giorni di analisi e sintesi, si è passati alla fase di progettazione vera e propria, in cui ciascun gruppo ha elaborato e presentato le proprie idee attraverso diversi strumenti come storyboard, personas, mappe concettuali, ecc.

Come conclusione, su ciascun concept è stata eseguita un'analisi a ritroso, al fine di indagare non solo le potenzialità ma anche i rischi e i potenziali scenari distopici a cui le idee di progetto potrebbero portare.

Per fare ciò è stato utilizzato un altro strumento dei Future Studies, la Ruota dei Futuri (Fig. 5-6). Essa è uno di quei metodi cosiddetti "esplorativi", cioè che si muovono dal presente verso il futuro cercando di vedere dove diversi eventi e trend possono portare. Lo scopo della ruota dei futuri si delinea nell'identificare *feedback* positivi e negativi tra le ripercussioni del "tema" centrale e ciò permette di riconoscere dei *loop* causali che potrebbero condizionare le strategie da elaborare. La Ruota dei Futuri è inoltre un metodo che aiuta le persone a passare da un pensiero di tipo lineare ad uno più sistemico, organico, orientato alle

interazioni complesse. Inoltre, se utilizzato nella fase convergente (finale) permette non solo di pensare alle conseguenze di trend e/o eventi futuri già identificati, ma anche di dettagliare scenari strategici, ipotizzare scenari alternativi, mostrare interrelazioni complesse.

L'utilizzo dello strumento è molto semplice: è sostanzialmente una mappa concettuale, che parte da una discontinuità (un evento accaduto che si vuole analizzare) posta al centro, e si procede anche in questo caso per cerchi concentrici analizzando di volta in volta le conseguenze, da quelle primarie (macro- conseguenze) a quelle secondarie o addirittura terziarie. Un ulteriore metodo, è stabilire una finestra temporale per i diversi livelli della Ruota. Solitamente all'interno del primo cerchio si ragiona su una distanza più ravvicinata ovvero 1-5 anni. Nel secondo cerchio invece ci si concentra più sul lungo periodo, cercando di identificare le conseguenze degli impatti primari a 5-10 anni, e così via. Nell'ambito specifico del workshop, è stato posto il concept di progetto al centro, immaginando di averlo realizzato e diffuso e sono state indagate le conseguenze positive e negative. Questa attività ha portato alla realizzazione di sei progetti (QRcode2), uno sul CORPO, uno sulla CASA, due sulla CITTÀ e due sul MONDO. A

fine workshop i progetti erano solo alla fase di concept, ma con successivi incontri (non ancora finiti perchè non si finisce mai di sperimentare) sono stati messi in pratica, grazie al supporto del centro Saperi&Co di Sapienza e agli strumenti di fabbricazione digitale che offre. In particolare, le sperimentazioni (che vedremo nella gallery successiva sulle "Stigmergie Operazionali"), mettono in pratica la seconda parte del concetto di "Bio-Augmented Materiality", quello della materialità e della sperimentazione materica e di processo attraverso avanzate tecnologie, materie inconsuete, parametri, algoritmi e relazioni. Ciascun concept è stato infatti elaborato a partire dalle relazioni non solo tra uomo-natura-artificio, ma anche tra fisico-digitale-biologico, quale punto di partenza per pensare nuove qualità simil-biologiche.

Infine, si vuole precisare che il workshop ha visto la partecipazione attiva di Stefano Marzano e Reon Brand, ma anche di molti altri professori afferenti ai diversi dipartimenti prima citati, molti dei quali coinvolti anche nella giornata-studio sulle nuove tecnologie. Ciò ad evidenziare lo spirito esperienziale e antidisciplinare che ha contraddistinto le attività di progettazione, che ha forse fornito la risposta più significativa del workshop.



QRcode 1 - Documento di inquadramento al workshop realizzato per tutti i partecipanti. Esso riassume e spiega alcuni concetti chiave utili alle successive attività.



QRcode 2 - Foto, schizzi, documenti vari prodotti dai gruppi durante le giornate di workshop e spiegazione dei sei progetti.

## GALLERIA Stigmergie operative



In natura, la stigmergia è un tipo speciale di auto-organizzazione, che evolve in sistemi complessi e apparentemente intelligenti senza controllo diretto o comunicazione tra agenti. Invece di prendere informazioni dalle regole o da altri agenti, nel comportamento stigmergico gli agenti prendono informazioni direttamente dal mondo esterno. Utilizzando indizi ambientali, il comportamento stigmergico in biologia porta alla collaborazione efficiente di organismi semplici senza memoria o consapevolezza l'uno dell'altro. Sulla base della stigmergia, i sistemi materiali possono svilupparsi nel tempo per diventare strutture raffinate e complesse. Un simile processo – aperto, emergente e preventivo – può essere adottato dai progettisti e viene preso come ispirazione nella parte conclusiva e sperimentale del percorso di Biovision. I designer possono elaborare prove fattuali e dimostrazioni tangibili di futuri possibili e desiderabili, “seminando” stimoli per altri agenti (altri progettisti, industriali, scienziati, ingegneri, politici, la collettività, ecc.) che possono imparare da quella situazione senza che vi sia una comunicazione diretta. Questo meccanismo, facilitato soprattutto dalle tecnologie dell'informazione e dall'intelligenza collettiva, può essere tuttavia attuabile solo se vengono create le condizioni per trarre ulteriori conclusioni, lasciando i progetti aperti a nuove perturbazioni e comunicando i risultati in maniera puntuale e proattiva. I prodotti dunque diventano elementi narrativi e dimostrativi, che inglobano in sé la narrazione dell'intero universo generativo e concettuale che li sottende, delle potenzialità sperimentate, ma anche dei rischi latenti. Essi sono uno dei risultati possibili e non necessariamente finiti o perfetti: torniamo alla nozione di sistema, a porre l'attenzione sulle relazioni tra le parti che possono essere riconfigurate e migliorate nel tempo e dalla libertà di qualsiasi agente dotato di creatività. Nell'ambito di Biovision dunque, i risultati raggiunti in un processo co-creativo di tempo limitato (workshop) sono stati ripresi dai gruppi come punto di partenza per un'ulteriore sperimentazione: il passaggio dall'informatizzazione della materia alla materializzazione del pensiero.



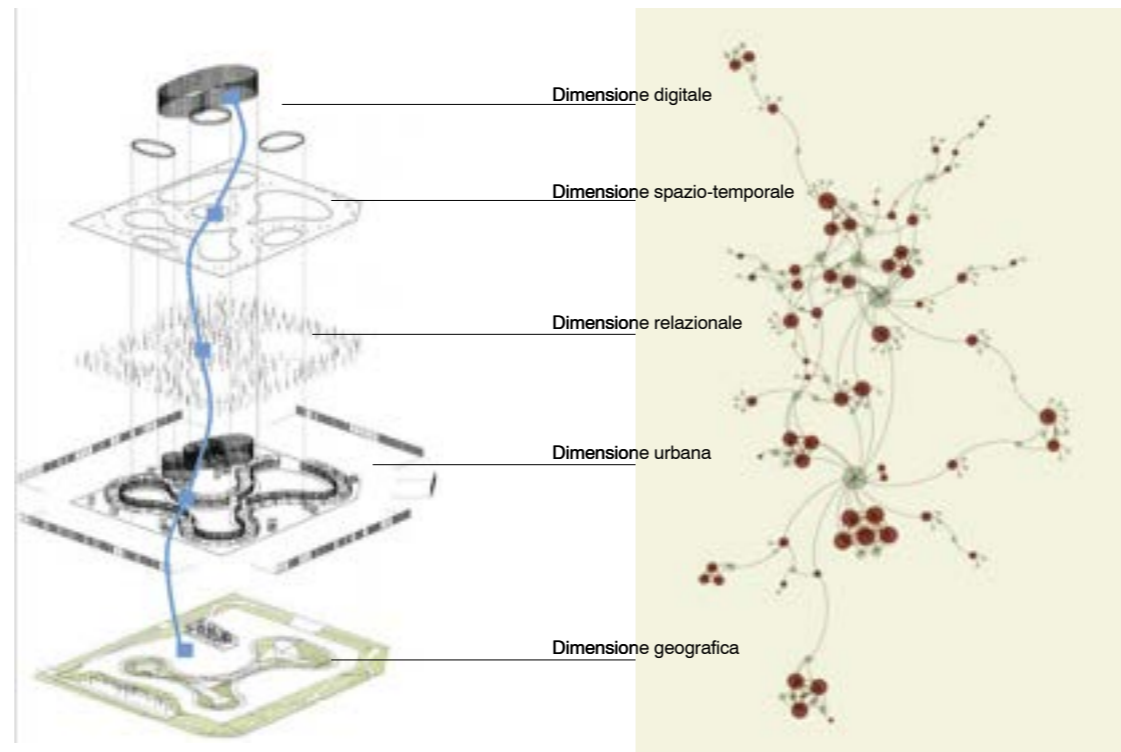
Flower path ■  
Night out Path ■  
Street Art Path ■

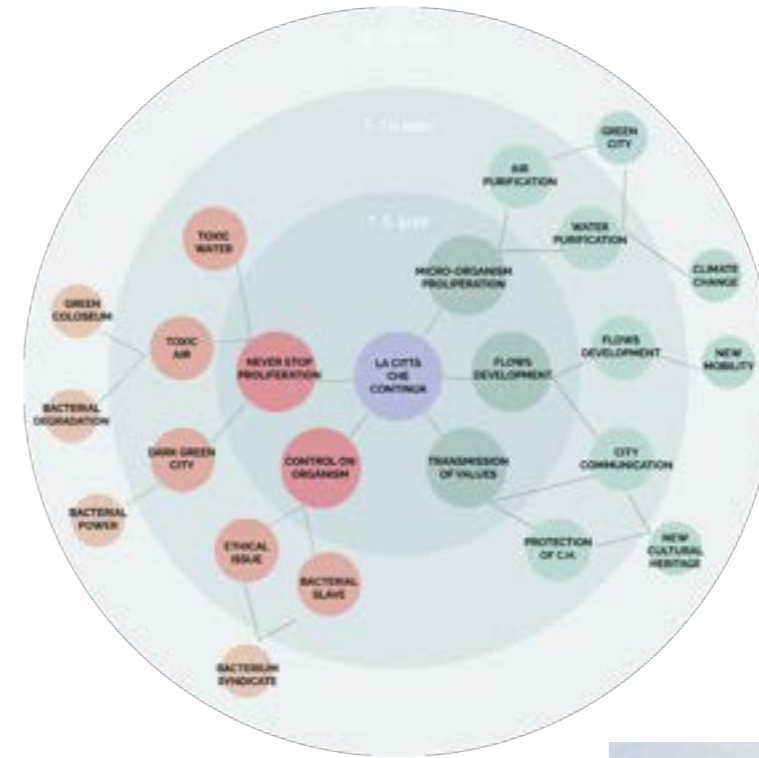
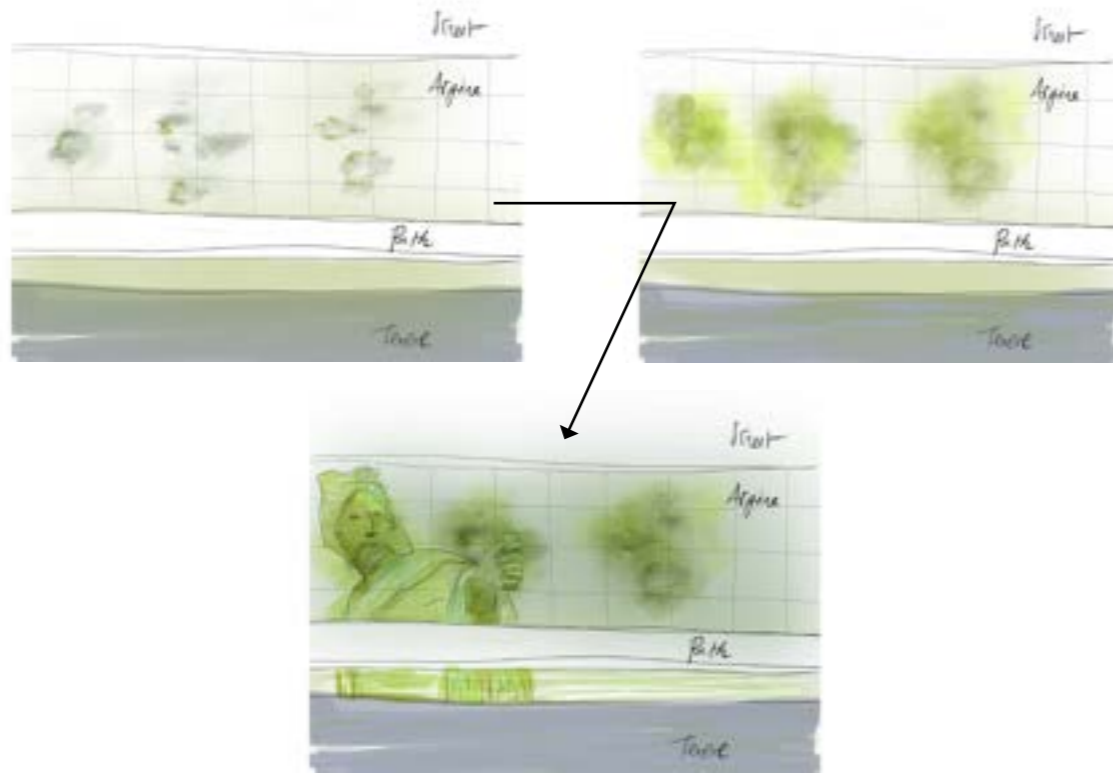


### #Città: 4D City

>  
R. Romano, M. Dominiguez, O. Moussaifa, P. Cipollone

Il progetto consiste in un sistema urbano per il recupero del rapporto tra i cittadini e la natura, nonché tra essi ed una dimensione temporale circadiana e più libera a seconda delle esigenze di ciascuno. Per fare ciò agiscono su più livelli, stimolando *cyber-ecologie*, vale a dire dei comportamenti collettivi ed emergenti dati dalla collaborazione tra concittadini, la natura e le tecnologie dell'informazione. Per concretizzare questo concetto, stiamo sviluppando alcuni "centri di aggregazione" urbani che ruotano attorno a processi metabolici di coltivazione e crescita di uno speciale fungo (in collab. con il Dip. di Patologia Vegetale di Sapienza) dal quale, in ottica del tutto circolare, possono derivare sostanze nutritive, curative, nuovi materiali e materia prima per alimentare nuova crescita. Queste strutture sono progettate per far crescere il fungo in un "brodo" in costante rotazione. Possono derivarne sottoprodotti, come "particelle" di micelio, utili alla coltivazione dei funghi nel terreno, oppure il brodo stesso, utilizzato per estrarre principi attivi per la cura della persona e delle colture agricole. La cura del bioreattore e il mantenimento in costante rotazione dello stesso sono di responsabilità della comunità che viene guidata da un'app digitale. Inoltre, i frutti del fungo sono legnosi, dunque non direttamente commestibili, ma possono essere utilizzati per tisane curative o come materiale sostenibile per nuovi prodotti o spazi per la socialità: la comunità interagisce su più fronti: per curare la crescita del fungo, per degustare insieme un tè, per eventi a tema, semplicemente per riunirsi o rifugiarsi nella natura o per nuovi utilizzi emergenti.





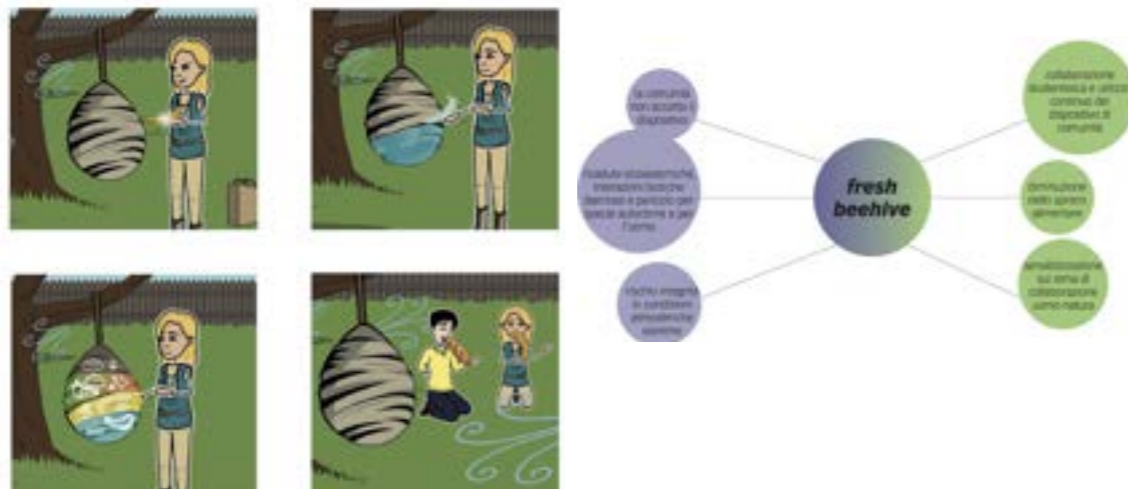
### #Città: Continuity

>  
O. Alazharu, D. Ciuffo, P. Duello, M. Toussan, C. Gironi.

Il concept esplora un nuovo collegamento tra la città e la natura, utilizzando materia biologica per creare un museo a cielo aperto. Questo sistema permette non solo il recupero di un rapporto più proficuo e profondo dei singoli cittadini con i processi e la materia vivente (stimolando atteggiamenti contemplativi, di cura e di simbiosi), ma stimola anche una continuità tra le periferie e il centro della città (nel caso specifico, Roma), sviluppando il museo lungo l'argine del fiume che la attraversa (Tevere) a partire dal recupero di molte aree dismesse. Per concretizzare questo concetto, stiamo ora sperimentando superfici ceramiche bio-ricettive che, variando la porosità su più livelli (a livello micro del materiale, a livello meso della texture e macro della geometria complessiva) permettono la crescita superficiale di materia vivente e una sua variazione per creare delle vere e proprie immagini dalla natura. La collaborazione con una ceramista, ci ha permesso di sperimentare sul *paperclay* (un impasto di argilla e polpa di cartone) che rende le strutture più leggere, porose e stampabili in 3D.







#Mondo: Fresh Beehive

>  
G. Cito, A. Adessi, S. Restante

Progetto di un nuovo sistema di refrigerazione a impatto "0" e condivisibile, per la conservazione di cibi e per ridurre il loro spreco. A tal proposito stiamo sviluppando – con il supporto di un esperto – un algoritmo computazionale per strutture cilindriche stampabili in 3D con materiale ceramico, strutturate secondo texture traforate e variabili (in inclinazione e grandezza dei fori) in grado di canalizzare il vento (la variabilità dei parametri permette di realizzare strutture context-specific). L'aria canalizzata infatti, crea un vortice all'interno di queste strutture (l'intento è anche quello di simulare il flusso) e fa roteare un elemento interno, ugualmente circolare e molto leggero, contenente speciali batteri che necessitano di movimento continuo per refrigerare un liquido fino a 4°C. Le strutture interne possono essere trasportabili e includono anche scomparti per il cibo.

supergarden

user goes to the super market to get food for himself  
in order to get the food, he has to bring organic waste to feed 3d printer that helps this 3d printed trees grow



#Mondo: Supergarden

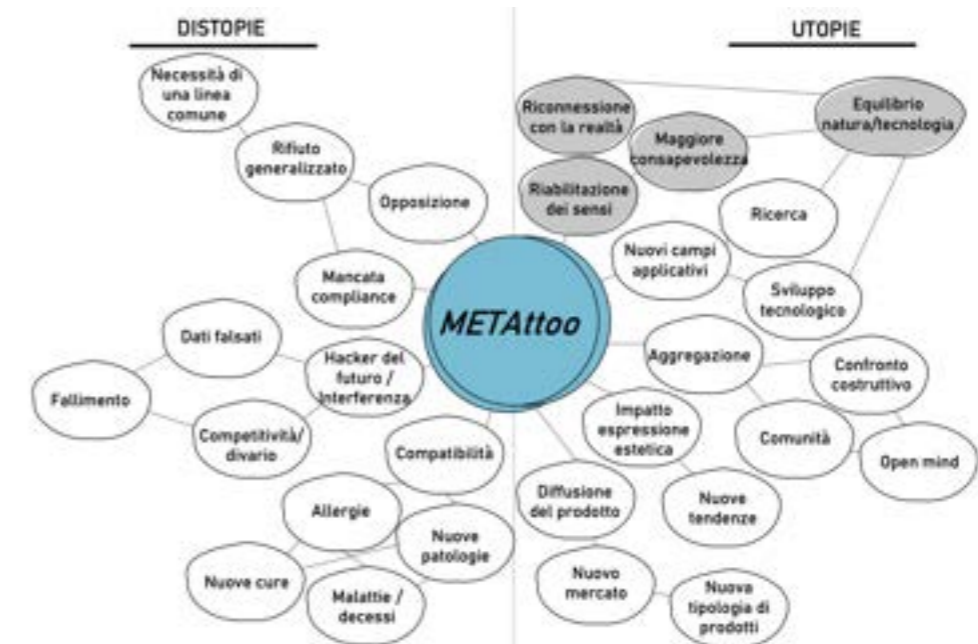
>  
T. Ivkov, S. Fontanella

Concept di "supermercato del futuro" come un albero dal quale raccogliere i frutti. L'albero è immaginato come una grande scultura in micelio stampata in 3D, che varia la sua forma a seconda dell'interazione degli utenti di una comunità e viene nutrito dagli scarti prodotti dalla comunità stessa. Infatti gli abitanti di un determinato quartiere possono interagire tramite un'app per monitorare la crescita della struttura e vedere quando essa necessita di nutrienti (gli scarti umidi domestici), quando produce frutti da raccogliere (i funghi) e per orientare il braccio robotico su larga scala nel creare forme. L'albero è infatti inteso come una sorta di "totem" della comunità e gli utenti possono personalizzare la sua forma (monitorando stampa 3D) o la tipologia dei suoi frutti (monitorando l'esposizione al sole o la tipologia di scarto da riutilizzare). Per concretizzare l'idea, si vuole sperimentare la stampa 3D del micelio e le sue variabilità estetiche e strutturali al variare delle geometrie, delle condizioni di crescita e degli scarti di supporto.



**#Casa: Lichen Symbihouses Project**  
G. Inglese, L. Suglia

Concept di robot domestico per autogenerare strutture biorecettive in grado di ospitare e controllare la crescita di licheni, utili per purificare l'aria che respiriamo nelle nostre case, bioindicatori e possibile fonte di nutrimento. Inoltre l'enorme varietà che li caratterizza, permettono di giocare su fattori estetici, combinando parti rigide e molli, colori e sfumature differenti, parti piene e segmentate e così via. La sperimentazione materica intende vertere su questo secondo aspetto, andando a realizzare strutture a porosità variabile date dal processo di cristallizzazione del carbonato di calcio (quando miscelato con acido acetico) in genere utilizzato per facilitare la crescita di alghe (dunque pensiamo anche di licheni). Anche in questo caso, la variabilità della porosità e delle texture/geometrie stampate in 3D può portare ad un controllo della variabilità della crescita dei licheni, che a loro volta possono essere di differenti tipologie e reagire diversamente alle strutture, creando effetti estetici unici.



**#Corpo: Metatattoo**

C. Belluzzi Mus, S. Muscolo, E. Mongiardini

Concept di tatuaggio intelligente che permette di monitorare l'attività sul Metaverso e di informare il fruitore nel momento in cui comincia a perdere contatto con la realtà. Per fare ciò si sperimenta con la nanocellulosa batterica, un materiale simile alla pelle derivante dall'attività di fermentazione dei batteri. Come sperimentazione si intende sfruttare le proprietà capacitive del materiale e la sua abilità di aderire perfettamente alle superfici, creando patches transdermali connessi ad un'unità di controllo: grazie alle proprietà capacitive, il materiale può essere in grado di comunicare all'unità centrale quando il corpo è/non è in movimento in specifici punti (scelti in base a parti del corpo che si muovono solo nel momento in cui si è distaccati dal metaverso); nel momento in cui il segnale è di "non movimento", l'unità centrale lo comunica al computer che comincia a far comparire sul corpo dell'avatar i tatuaggi. Il prodotto dunque, può essere inteso come un "tatuaggio" non permanente che l'utente può scegliere di usare in maniera preventiva prima di immergersi nel metaverso. L'idea infine, è quella di sperimentare ulteriormente le potenzialità di interazione tra la nanocellulosa batterica e l'elettronica, miscelando la coltura in fase di crescita con pigmenti cromogenici o con paste conduttive.



## References

- Barad, K. (2017). *Performatività della natura. Quanto e queer*. Edizioni ETS.
- Bateson, G. (1977). *Verso un'ecologia della mente*. Adelphi. (Original version published 1972).
- Braidotti, R. (2020). *Il postumano. La vita oltre l'individuo, oltre la specie, oltre la morte (vol.1)* (A. Balzano, Trans.). DeriveApprodi.
- Brand, R. (2019). *Co-Emerging Futures*. Philips Design.
- Bridgman, P. (1927). *The Logic of Modern Physics*. New York: MacMillan Company.
- Bruno, G. (2014). Superfici. A proposito di estetica, materialità e media. Johan & Levi
- Charlton, J. (2014). On Remembering a Post-Digital Future. In C. U. Andersen, G. Cox, G. Papadopoulos (Eds.), *Post-digital Research*, 3(1). APRIJA
- Colomina, B. & Wigley, M. (2016). *Are we Human? Notes on Archeology of Design*. Lars Muller Publisher.
- Dammarco, G. (2016). Post-digitale ed ibridazione. *PostDigitalTribe*. Retrieved from: <http://www.postdigitaltribe.org/dt/wp-content/uploads/2017/05/A-1.pdf>
- De Rosnay, J. (1977). *Il Macroscopio. Verso una visione globale*. Dedalo Libri.
- Dolphijn, R. & van der Tuin, I. (2012). *New Materialism: Interviews & Cartographies*. Open Humanities Press
- Dunne, A. & Raby, F. (2007). *Speculative Everything: Design, Fiction, and Social Dreaming*. MITPress.
- Ferrando, F. (2017). Postumanesimo, transumanesimo, antiumanesimo, metaumanesimo e nuovo materialismo. Relazioni e differenze. *Lo sguardo*, 24(2), 51-61.
- Harari, Y. N. (2015). *Homo Deus. Breve storia del futuro* (M. Piani Trans.). Bompiani.
- Haraway, D. (2016). *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*. Duke University Press.
- Haraway, D. (2018) *Manifesto Cyborg* (L. Borghi, Trans.). Feltrinelli. (Original version published 1985)
- Hayles, N. K. (2011). Wrestling with Transhumanism. In G. R. Hansell, W. Grassie et al. (Eds.), *Transhumanism and Its Critics* (pp. 215-226). Philadelphia, PA: Metanexus Institute.
- Heiddegger, M. (2017). *La questione della tecnica: con un saggio di Federico Sollazzo*. GoWare.
- Hughes, J. (2004). *Citizen Cyborg: Why Democratic Societies Must Respond to the Redesigned Human of the Future*. Basic Books.
- Huxley, J. (1957). *New Bottles for New Wine*. GardenOfShyamal
- Latour, B. (1991). *Nous n'avons jamais été modernes: essai d'anthropologie symétrique*. La Découverte.
- Leonardi, P. M. (2010). Digital Materiality? How Artifacts without Matter, Matter. *First Monday*, 15(6).
- Morton, T. (2019). *Humankind: Solidarity with Non-Human People*. Verso Books.
- Tiezzi, E. (1996). *Fermare il tempo. Un'interpretazione estetico-scientifica della natura*. Raffaello Cortina Editore.
- Van Mensvoort, K. & Grievink, H. J. (2010). *Next Nature*. Actar.
- Wing, J. (2016). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.



FIG. Bio-circular concrete, HBBE, 2020

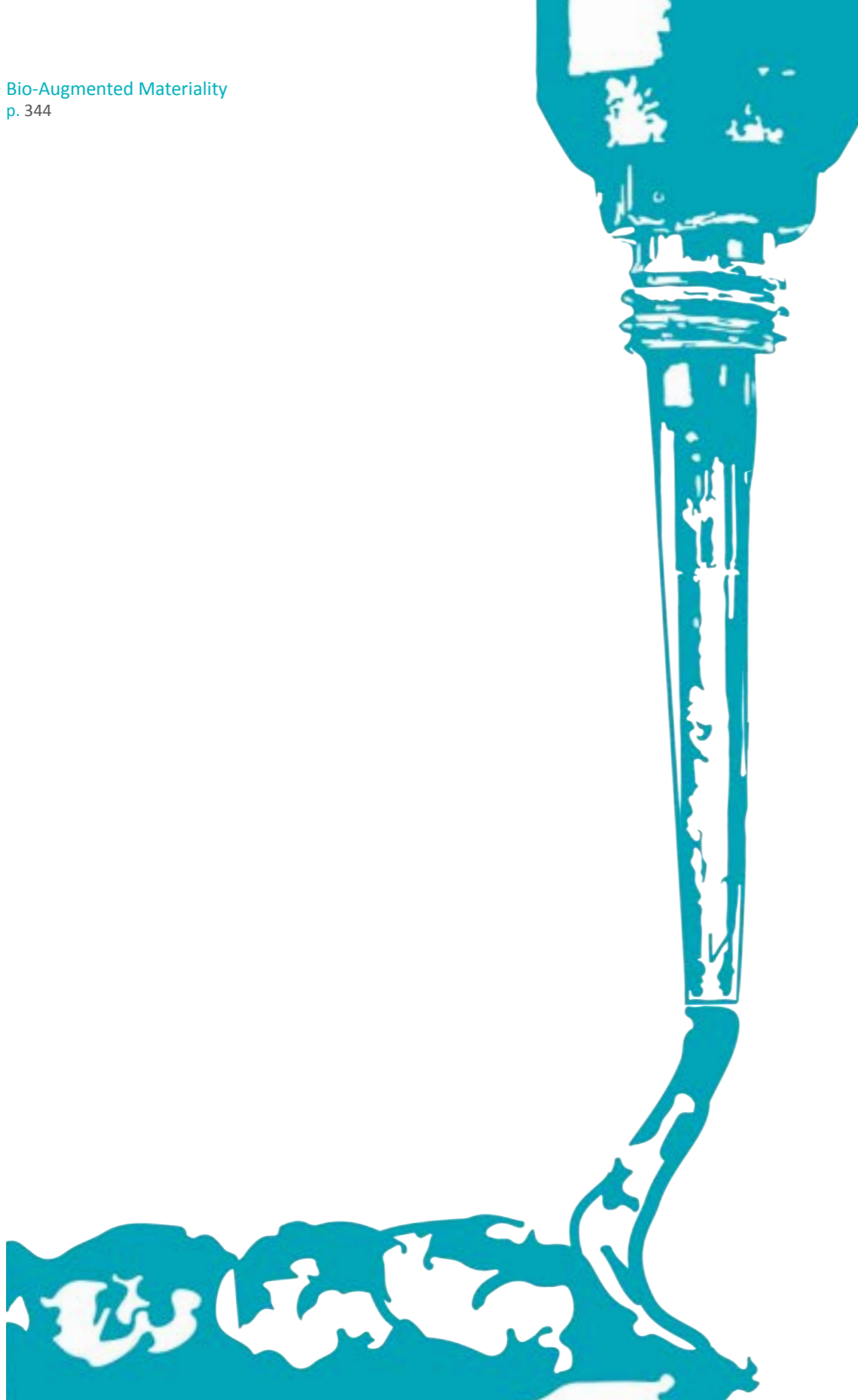
## CAPITOLO 6 FOCUS: La Biostampa

### ABSTRACT (INGLESE)

*With the advent of Bioprinting, a new fertile ground is born from the infinite possibilities of development given by the combination of processes typical of Advanced Manufacturing and transformation of matter (both physical and biological), in which designers can undertake aware paths of experimentation, thanks to a design approach that is ever closer to biological-like material systems and being able to count on simpler interaction with a network of knowledge, tools and communities of interest. This process, which was born with tissue engineering for the production of biomaterials and substitute elements for the human body, as well as catalogable within the broader field of Biofabrication, in fact allows designers to align the structures of thought and logics of biological growth and everything that follows from it, getting ever closer to the cultural, socio-technical and productive spaces of innovation identified within the Bio-Augmented Materiality. For these reasons, the final part of the research focused on the study and understanding of the bio-digital processes stimulated by bioprinting and its methodologies, through multidisciplinary exchanges and field experiences carried out in collaboration with the Bioprinting & Biofabrication Group of the “E. Piaggio” of the University of Pisa. In particular, the chapter starts from the analysis of bioprinting as a new manufacturing paradigm given by the convergence of technological and disciplinary developments in the fields of cell biology, mechanical engineering and materials science, focusing on traditional and universal definitions, often adapted in form generalized by design but which is important to re-evaluate for a more fruitful multidisciplinary exchange (6.1 Potential and challenges of bioprinting). Subsequently, we will focus on the methodologies and new parameters that the designer will have to take into consideration to approach bioprinting and exploit its potential (6.2 Methodologies and parameters). Finally, retracing what was explained for Bio-Augmented Materiality, the opportunities for innovation that the Bioprinting process is able to open up to design and to areas outside the biomedical one will be highlighted, with examples of experiments already underway able to give visibility to the latent potential of a new way of designing and producing (6.3 Bioprinting and design).*

### ABSTRACT

Con l'avvento della Biostampa, nasce un nuovo terreno fertile dalle infinite possibilità di sviluppo date dalla combinazione di processi propri dell'Advanced Manufacturing e di trasformazione della materia (sia essa fisica che biologica), in cui i designer possono intraprendere percorsi consapevoli di sperimentazione, grazie ad un approccio progettuale sempre più vicino ai sistemi materici simil-biologici e potendo contare su una più semplice interazione con una rete di conoscenze, strumenti e comunità di interesse. Questo processo, che nasce con l'ingegneria tissutale per la produzione di biomateriali ed elementi sostitutivi per il corpo umano, nonché catalogabile all'interno del più ampio campo della Biofabbricazione, permette infatti ai progettisti di allineare le strutture del pensiero e dell'operatività alle logiche della crescita biologica e a tutto ciò che ne consegue, avvicinandosi sempre più agli spazi di innovazione culturali, socio-tecnici e produttivi individuati all'interno della Bio-Augmented Materiality. Per tali ragioni, la parte conclusiva della ricerca si è concentrata sullo studio e sulla comprensione delle processualità bio-digitali stimulate dalla Biostampa e dalle sue metodologie, attraverso scambi multidisciplinari ed esperienze sul campo svolte in collaborazione con il Bioprinting&Biofabrication Group del centro “E. Piaggio” dell'Università di Pisa. In particolare, il capitolo parte dall'analisi della Biostampa quale nuovo paradigma di manifattura dato dalla convergenza di sviluppi tecnologici e disciplinari nei campi della biologia cellulare, dell'ingegneria meccanica e della scienza dei materiali, focalizzandosi sulle definizioni tradizionali ed universali, spesso riadattate in forma generalizzata dal design ma che è importante rivalutare per uno scambio multidisciplinare più proficuo (6.1 Potenzialità e sfide della Biostampa). Successivamente, ci si focalizzerà sulle metodologie e sui nuovi parametri che il designer dovrà tenere in considerazione per approcciarsi alla Biostampa e sfruttarne le potenzialità (6.2 Metodologie e parametri). Infine, ripercorrendo quanto esplicito per la Bio-Augmented Materiality, verranno evidenziate le opportunità di innovazione che il processo di Biostampa è in grado di aprire al design e ad ambiti esterni a quello biomedico, con esempi di sperimentazioni già in corso in grado di dare visibilità alle potenzialità latenti di un nuovo modo di progettare e produrre (6.3 Biostampa e design).



## 6.1 Potenzialità e sfide della Biostampa

Negli ultimi anni, la convergenza di sviluppi tecnologici nella biologia cellulare (studio delle cellule e dei tessuti), nell'ingegneria meccanica (sistemi CAD/CAM, manifattura additiva) e nelle scienze dei materiali (sviluppo di biomateriali), hanno dato vita alla biofabbricazione, un fervente campo di ricerca multidisciplinare, nonché piattaforma tecnologica e paradigma emergente per la manifattura del XXI secolo (Mironov et al., 2009) [1]. La biofabbricazione, nata nei campi dell'ingegneria tissutale (*tissue engineering* – TE) e della medicina rigenerativa (*regenerative medicine* – RM), può essere definita come «la produzione di prodotti biologici complessi, viventi e non viventi, a partire da materie prime come cellule, molecole, matrici extracellulari e biomateriali» (Mironov et al., 2009, p.2). Il prefisso “bio” indica che le materie prime, i processi o i prodotti finali (o che tutti loro insieme) derivano dalla biologia o sono basati sulle sue logiche; mentre il termine “fabbricazione” sta a sottolineare la costruzione di un qualcosa a partire da materiale grezzo o semilavorato, così come la creazione di un qualcosa di diverso dai suoi componenti (Mironov et al., 2009). Essa dunque differisce da molte altre piattaforme biotecnologiche che fanno uso di materia vivente: essa differisce dalla biologia sintetica, che si riferisce alla sintesi di nuove entità e materiali biologici a partire dall'ingegneria del genoma (Benner & Sismour, 2005); dalla scienza dei biomateriali, intesa come sintesi chimica di biomolecole (Di Buddy et al., 2004); da microfluidica, microfabbricazione, nanofabbricazione e nanotecnologia, quando non vengono utilizzati per facilitare i processi cellulari, ma per altre applicazioni come la biodifesa (Krotz, 2002) o i circuiti microelettronici (Sochol et al., 2018); dalla biomanifattura, la quale utilizza sistemi biologici (micro-organismi, cellule animali e vegetali, tessuti, enzimi, sistemi enzimatici sintetici) per produrre farmaci o biomolecole, dunque risultati non più complessi degli elementi di partenza (Zhang et al., 2017). In alcuni casi tuttavia, questi ambiti di ricerca e produzione possono sovrapporsi alla biofabbricazione o fornire un supporto importante al raggiungimento dei suoi risultati: ad esempio, i dispositivi microfluidici e i bioreattori possono essere

1. Lo sviluppo accelerato del campo della biofabbricazione e il potenziale applicativo delle tecnologie ad essa appartenenti, hanno portato nel 2009 alla fondazione della prima rivista dedicata esclusivamente a questo campo di ricerca. Essa è stata fondata da Mironov V., Trusk T., Kasayanov V., Little S., Swaja R. e Markwald R. per IOP Publishing.



**FIG. 1**  
*Biofabbricazione (Copyright: Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). Biofabbricazione e Biostampa spesso coincidono nei campi dell'ingegneria tissutale e della medicina rigenerativa. Ciò perchè la Biostampa è la tecnologia maggiormente utilizzata per la produzione di costrutti complessi con funzioni biologiche, prodotti a partire da materia biologica o bio-derivata e attraverso strategie di crescita guidate.*

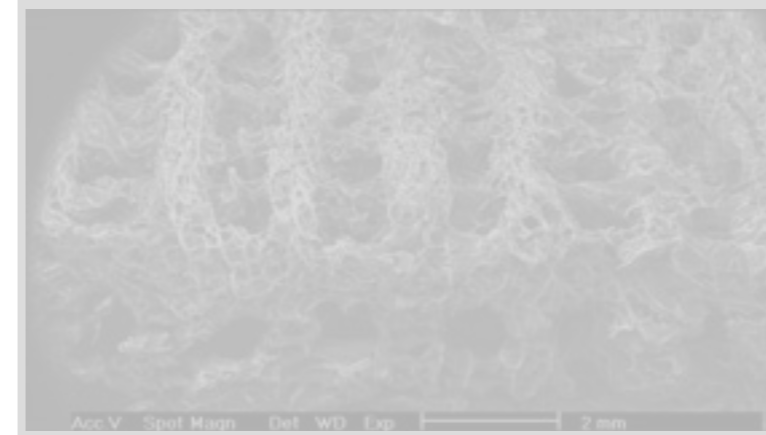


**FIG. 2**  
*Naso e Orecchio a partire dalla scansione di un paziente (Copyright: Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). La Biostampa permette la produzione di morfologie complesse e personalizzate attraverso la deposizione layer-by-layer di biomateriali e cellule. In questo caso è stato utilizzato un biomateriale a base di pectina, stabilizzato attraverso liofilizzazione, su cui vengono impiantate cellule in un secondo momento.*

utilizzati per il patterning cellulare, la fabbricazione di tessuti o la comunicazione tra cellule; oppure la biomanifattura può essere intesa come biofabbricazione nel caso di prodotti più complessi, come pelli o pellicce in vitro, oppure nella produzione di biofuel da alghe, applicazioni che richiedono l'uso di tecniche di ingegneria tissutale o dove comunque i risultati finali sono dati dalla combinazione di materiali viventi e strategie di crescita guidate.

La biofabbricazione nasce dunque per costruire impianti per ripristinare o rigenerare parti danneggiate o degradate del corpo umano (es. protesi ossee, impianti dentali) o addirittura per sostituire particolari organi (es. lenti intraoculari, valvole cardiache), ma il suo potenziale industriale va ben oltre le tradizionali applicazioni orientate alla medicina: oggi si sta espandendo al campo farmaceutico (ad esempio farmaci a rilascio controllato, dispositivi diagnostici interni, modelli in vitro per studiare la risposta terapeutica di farmaci e nutrienti); alla produzione di energia sostenibile (ad es. industria dei biocarburanti) e all'agricoltura di origine animale (ad es. cibi e soluzioni animal free).

All'interno della biofabbricazione, la biostampa (*bioprinting*) si configura come la metodologia o tecnica di manifattura principale per la fabbricazione di costrutti biologicamente funzionali, tanto che spesso si sovrappone e si fonde con essa. Nei campi della TE e della RM infatti, la biofabbricazione si riferisce specificatamente alla possibilità di generare costrutti complessi che imitano la complessità e l'eterogeneità dei tessuti e degli organi biologici attraverso processi *top-down* (*bioprinting*) e *bottom-up* (*bioassembly*) al fine di supportare e guidare la crescita cellulare e rigenerare il tessuto di interesse, oltre a creare modelli biologici in vitro (Moroni et al., 2018) (Fig.1-2-3). Il termine "*bioprinting*" è stato utilizzato per la prima volta nel titolo del "Workshop on Bioprinting, Biopatterning and Bioassembly" tenutosi presso l'Università di Manchester nel 2004 (Groll et al., 2016) ed organizzato da Mironov, Reis e Derby, i quali hanno dichiarato che la biostampa può essere definita come «l'uso di processi di trasferimento materico per modellare e assemblare materiali biologicamente rilevanti – molecole, cellule, tessuti e biomateriali biodegradabili – con un'organizzazione prestabilita per svolgere una o più funzioni biologiche» (2006, p. 631). Il termine "biostampa" è stato successivamente utilizzato per descrivere specificatamente un processo in cui uno strumento di fabbricazione meccanica viene utilizzato per organizzare o modellare entità biologiche in due o tre dimensioni, al fine di costruire un costrutto artifi-



ciale (Derby, 2008). Nel 2010 Guillemot et al. hanno definito il bioprinting come «l'uso di processi di trasferimento assistiti da computer (CAD/CAM) per modellare e assemblare materiali viventi e non viventi con un'organizzazione 2D o 3D predeterminata al fine di produrre strutture bioingegneristiche che servono nella medicina rigenerativa, nella farmacocinetica e negli studi di biologia cellulare di base» (p.1). È quindi chiaramente correlato allo sviluppo parallelo della produzione additiva che allora stava emergendo come strumento di fabbricazione ingegneristica. Per applicazioni più semplici, come la riproduzione di strutture cartilaginee (orecchie o trachea), la biostampa 3D utilizza "*scaffold*" (o "impalcature") disegnati in software CAD e stampati in 3D usando materiali biocompatibili, sui quali vengono successivamente impiantate le cellule per la formazione di tessuti o organi. Gli *scaffold*, possono essere definiti come strutture bidimensionali o tridimensionali e porose, preferibilmente biodegradabili e in grado di supportare meccanicamente la crescita cellulare. Essi vengono modellati in software CAD per raggiungere specifiche forme, proprietà meccaniche e distribuzioni porose e vengono successivamente stampati con diverse tecniche *layer-by-layer* spesso coincidenti con le diffuse tecniche di manifattura additiva. La scelta del materiale di *scaffold* è fondamentale nel *bioprinting*, il quale deve avere specifiche caratteristiche di lavorabilità, superficie (idrofilia e rugosità), biodegradabilità e biocompatibilità, e in questo caso le nanotecnologie possono essere di grande aiuto permettendo di dotare il materiale di specifiche nano-caratteristiche biochimiche e biofisiche per dirigere il comportamento cellulare (Di Marzio et al., 2020). Lo *scaffold* in ingegneria tissutale è

**FIG. 3**  
*Micrografia delle stampe in FIG.2 (Copyright: Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). La Biostampa permette la produzione di strutture molto complesse anche a livello micrometrico, fondamentali per direzionare la crescita cellulare. In questo caso, le micro-nicchie visibili in figura sono date dalla combinazione della geometria stampata (griglia visibile) e dal processo di liofilizzazione (fori più piccoli), permettendo una programmazione gerarchica delle proprietà. Le micro-nicchie accoglieranno le cellule e ne permetteranno la crescita.*

2. Un *grow factor*, o "fattore di crescita" è una sostanza presente in natura in grado di stimolare la proliferazione cellulare, la guarigione delle ferite e occasionalmente la differenziazione cellulare. Di solito è una proteina secreta o un ormone steroideo. I fattori di crescita sono importanti per regolare una varietà di processi cellulari.

3. Il PCL o Policaprolattone, ad esempio, è un polimero termoplastico, biocompatibile e biodegradabile, molto utilizzato in campo biomedico e per dispositivi impiantabili anche perchè processabile con comuni stampanti 3D FDM.

infatti considerato l'analogo della matrice extracellulare (ECM) nell'ambiente fisiologico e, come per esso, non dovrà limitarsi alla sola funzione di sostegno, ma dovrà garantire l'adesione delle cellule, permetterne il movimento e fungere da trasportatore di fattori biochimici (ad es. *grow factors* [2]) e di sostanze necessarie per lo sviluppo cellulare (Mantero et al., 2009). È essenziale studiare e capire i meccanismi che regolano la formazione di organi e tessuti per sviluppare un modello che emuli quello naturale e ne riproduca morfologia e funzionalità. Si assume quindi come modello la natura e si cerca di replicarne e sfruttarne le dinamiche per la realizzazione di costrutti che siano il più possibile simili agli originali, al fine di renderne possibile la rigenerazione o la sostituzione senza la comparsa degli effetti indesiderati che ad oggi limitano le tecniche conosciute. L'importanza e l'ampiezza di questo campo, ha portato all'emergere di una vera e propria branca all'interno della TE, lo "scaffold design", che ha come scopo ultimo l'elaborazione di strategie progettuali e produttive per la realizzazione di "impalcature" in grado di accogliere e crescere cellule viventi; per velocizzare e perfezionare i loro processi produttivi, nonché per il raggiungimento di proprietà specifiche, dettagliate e modulate in continuità su tutte le scale (Hutmacher, Tandon & Dalton, 2023). Lo *scaffolding* può avvenire attraverso l'uso di più tipologie di materiali: dai polimeri sintetici (PCL [3], PLLA, PVC, PVA, PET, ecc.) facilmente processabili e con proprietà altamente riproducibili, ma che tuttavia hanno bassa biocompatibilità e biodegradabilità; ai polimeri naturali (gelatina, collagene, pectina, fibroina di seta, acido ialuronico...), i più utilizzati sia per esigenze di sostenibilità, sia perchè altamente biocompatibili (Fig.4-5-6); ai materiali ceramici (come idrossiapatite, tricalcio fosfato, biovetri, ecc.), che vengono usati soprattutto nel caso di tessuto osseo, di cui ne riproducono anche proprietà osteoinduttive. La biostampa ha infatti il merito di aver ampliato enormemente le tipologie di materiali stampabili attraverso l'additive manufacturing, ottimizzando i suoi processi anche per la deposizione di gel e paste viscosi o visco-elastici (la forma in cui si presentano in genere i biomateriali e i polimeri naturali) con potenzialità di sperimentazione anche in altri ambiti oltre quello biomedico e con vantaggi soprattutto dal punto di vista della sostenibilità. Come in una fertilizzazione reciproca, tecniche di stampa 3D sempre più diffuse e sofisticate (basti pensare alla microstampa 3D o alle stampanti 3D PolyJet) danno alla biofabbricazione notevoli vantaggi nello sviluppo degli *scaffold*: consentono una distribuzione ben precisa dei pori

FIG. 4-5-6

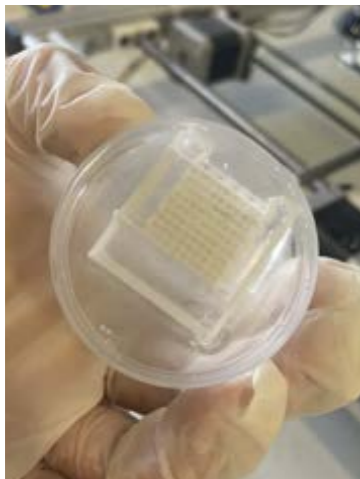
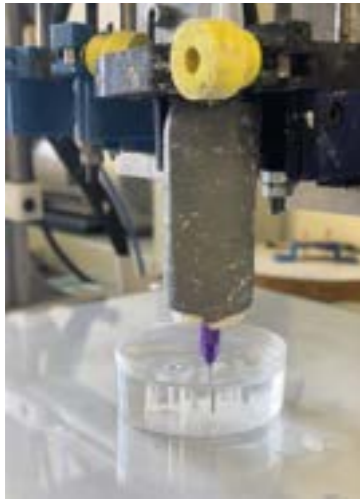
Stampa con biomateriale a base di gelatina e pectina (Sperimentazione svolta presso il Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa).

Il campione è un cubo di dimensioni 10x10x10 mm con una griglia di fori da 1mm ciascuno. La dimensione dei fori è importante e deve essere sulla stessa scala dimensionale delle cellule per interagire con esse.



(punti in cui le cellule vanno a depositarsi per crescere); permettono la realizzazione di forme più complesse; favoriscono la personalizzazione degli elementi in tutte le loro parti; consentono la stampa di componenti multimateriale; ecc., permettendo una notevole diffusione della biostampa rispetto ad altre tecniche di biofabbricazione nonostante i costi più elevati e il *time consuming*. La maggior parte delle tecnologie utilizzate nella biofabbricazione sono le stesse tecniche di manifattura additiva nate per la prototipazione rapida, ma utilizzate con biomateriali e con la finalità di produrre costrutti o materiali con funzionalità biologiche: tra di esse ricordiamo ad esempio tecnologie *light-based* (come il Selective Laser Sintering (SLS), la Stereolitografia (SLA), la Two Photon Polymerization (2PP), ecc.); tecniche *extrusion-based* ad alte temperature (come il Fused Deposition Modeling (FDM); il 3D Fiber Deposition (3DF), ecc.); tecnologie *inkjet* (come la Inkjet 2D; la Polyjet Technique e il Binder Jetting). Tra le tecnologie nate con la biofabbricazione ricordiamo invece l'*extrusion-based 3D printing* a temperatura ambiente, la tecnica più utilizzata e che si basa sulla deposizione continua di materiale polimerico (nella forma di fluidi visco-elastici, idrogel con proprietà *solid-like*, gel con angolo di fase - o gradiente reologico - basso [4]) attraverso un ago, utilizzando come forza motrice sistemi ad aria compressa, a pistone o a vite (Jungst et al., 2015; Ozbolat & Hospodiuk, 2016). Nel caso di scaffold costituiti da materiali *soft* - materiali poco viscosi ma altamente *cell-friendly* - inoltre, negli ultimi anni sono stati fatti numerosi progressi utilizzando materiali di

4. La reologia è la scienza (e relativa tecnica applicata) che studia le caratteristiche di deformazione, sotto l'azione di forze esterne, dei corpi solidi, e in particolare dello scorrimento dei fluidi e semifluidi in riferimento alle loro proprietà e condizioni, nonché ai loro rapporti con l'ambiente circostante. Data l'importanza che questo ramo della fisica e dell'ingegneria dei materiali sta rivestendo nel campo della biofabbricazione, verrà approfondito nel paragrafo successivo.



supporto sacrificiali: è il caso del *bioplotting* (Fig. 7-8-9), in cui il biomateriale di interesse viene estruso direttamente all'interno di un materiale di supporto che risulta facilmente rimovibile e che presenta un elevato sforzo di taglio critico (non impedisce il movimento dell'ago di stampa al suo interno) (Hinton et al., 2015; O'Bryan et al., 2017). Altri esempi possono essere la stampante multi-estrusore, che permette di costruire una struttura a griglia robusta di supporto e di depositare materiale *soft* tra una linea e l'altra (Pati et al., 2013; Lee et al., 2014) e la *core shell morphology*, ovvero l'incapsulazione di biomateriali a bassa viscosità all'interno di materiali di supporto ad elevate viscosità attraverso l'uso di aghi coassiali (Akineni et al., 2016; Kilian et al., 2017). Un'altra tecnica per la fabbricazione di scaffold ampiamente utilizzata è l'*electrospinning* (o elettrofilatura), la quale permette di raggiungere risoluzioni di stampa anche al di sotto del  $\mu\text{m}$  e l'orientamento delle fibre in una specifica direzione – near-field electrospinning (Brown et al., 2015). Meno recente delle altre, l'*electrospinning* nasce come tecnica per la produzione di fibre tessili (in particolare, tessuti-non-tessuti) e consiste nell'utilizzare un'alta tensione elettrica per fabbricare fibre sottili da una soluzione polimerica o da polimero fuso: gocce di materiale entrano all'interno di un campo elettrico e vengono depositate su un collettore, con un andamento casuale o definito (Deitzel et al., 2001). Questa tecnica è ora ampiamente utilizzata anche nella TE e nella RM grazie all'ampia gamma di materiali processabili e dei metodi di raccolta delle fibre che consentono un ampio spettro di strutture e forme da fabbricare (Carlberg et al., 2010; Wang et al., 2019) (Fig. 10-11, pagine successive).

Concettualmente poi, i processi di biostampa possono essere suddivisi in due grandi categorie, a seconda che lo *scaffold* sia prodotto indipendentemente e successivamente viene aggiunta la componente cellulare (in questi casi si parla di "*biomaterial ink*", ovvero di inchiostri di stampa a base di biomateriali); oppure che *scaffold* e componente cellulare vengano stampati contemporaneamente (Burg & Burg, 2014). In quest'ultimo caso possiamo parlare di "*bioinks*" o "bioinchiostri", ovvero di gel e idrogel contenenti cellule viventi e stampati sotto condizioni controllate sia ambientali, garantendo sterilità e condizioni necessarie alla sopravvivenza delle cellule; sia produttive, garantendo la loro sopravvivenza alle forze di taglio e ai diversi sforzi a cui sono soggette per l'intera durata del processo di lavorazione (Groll et al., 2018; Hospodiuk et al., 2017). Per applicazioni a base di bioinchiostri non è possibile – o è mol-

to difficile – utilizzare tutti i processi precedentemente elencati, soprattutto i più convenzionali, essendo le cellule non in grado di sopravvivere a fasci di luce ad alta frequenza; alle alte temperature; oppure ad elevati sforzi di taglio. Soprattutto in questi casi dunque le tecnologie di stampa 3D *extrusion based* e a temperatura ambiente – in tutte le sue varianti a seconda del tipo di idrogel utilizzato – e le tecnologie *inkjet* e *polyjet*, utilizzate soprattutto nel caso di organi più complessi e formati da moltissime cellule diverse (ad es. organoidi di fegato, cuore, reni). In quest'ultimo caso, il funzionamento è simile a quello di una comune stampante 2D in cui testine multiple distribuiscono minuscole gocce di colore su un piano: allo stesso modo vengono prodotte *layer* 2D multicellulari che, sovrapposti l'uno sull'altro, formano le diverse combinazioni di cellule, vasi sanguigni e capillari necessari alla crescita dell'intero sistema biologico. Questi *layer* – che rappresentano gli strati dell'organo da riprodurre – vengono in alcuni casi prodotti indipendentemente e successivamente assemblati l'uno sull'altro. In questo, come in molti altri casi si parla di *bioplotting*, in cui i materiali di partenza non sono cellule, molecole bioattive, biomateriali e piccoli aggregati; ma sono unità multi-cellulari preformate (sferoidi, *cell sheets*, *cell aggregates*, *cell fibers*, organoidi e microtessuti) e poi assemblate tramite processi *bottom-up* di auto-organizzazione cellulare guidata (Groll et al., 2016; Moroni et al., 2018).

Seppur la biofabbricazione nasce e continua a svilupparsi principalmente nei campi della TE e della RM, essa è dunque fonte di nuove tecniche e paradigmi di manifattura che, combinando gli strumenti di *advanced manufacturing* e le possibilità trasformatrici della materia (sia esse inerte o biologica) possono influenzare positivamente i paradigmi produttivi in altri settori industriali e stimolare nuove processualità bio-digitali nel design. Come abbiamo visto infatti, questi processi possono avere numerosi vantaggi come la personalizzazione; la capacità di ricostruire strutture complesse e che mimano quelle biologiche sia nei materiali che nelle logiche costruttive; la possibilità di lavorare su più scale e di riprodurre qualità biologiche come biorecettività, auto-organizzazione, adattamento funzionale; permettono l'utilizzo di materiali viventi, la loro lavorabilità e il trasferimento delle loro proprietà agli artefatti, con conseguenti vantaggi per la sostenibilità; ma soprattutto consentono una manifattura con livelli di complessità sempre maggiori. Complessità che cresce verso costrutti sempre più eterogenei e adattati sia nei materiali che nelle strutture con conseguenti proprietà variabili e

FIG. 7-8-9

*Bioplotting in gel pluronico di un composto a base di gelatina, idrossiapatite e genipina (Sperimentazione svolta presso il Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). I gel pluronici vengono utilizzati come inchiostri sacrificiali e supporto per il bioplotting, poiché liquefano a basse temperature (frigo) e solidificano a T ambiente. Costituiscono dunque supporto durante la stampa, mentre permettono la facile estrazione del pezzo stampato se raffreddati. Lo scaffold è invece realizzato in gelatina (gelificante); idrossiapatite (proprietà strutturali per uno scaffold osseo) e genipina (crosslinkante). Il cross-linking è un aspetto molto importante nello scaffold design e permette di stabilizzare gli idrogel dopo la stampa. In questo caso, dopo un processo di "cottura" in forni controllati, la genipina ad alte temperature favorisce i legami tra l'idrossiapatite e la gelatina, restituendo una struttura con proprietà fisiche simili alla ceramica, colorandosi – tra l'altro – di blu (foto in basso).*





**FIG. 10-11**  
*Electrospinning con collettore rotante (Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). Grazie al collettore rotante le fibre possono essere direzionate in maniera omogenea. Ciò è importante ad esempio nella produzione di scaffold tendinei, dove la disposizione delle fibre parallelamente alla direzione degli sforzi è fondamentale per la resistenza a trazione.*

che punta a comportamenti dinamici programmati nel tempo, come nel caso della stampa 4D (Fig. 12-13), in cui l'utilizzo di materiali responsivi permette la progettazione e produzione di cambiamenti spazio-temporali in strutture 3D (Tibbits, 2014; Gladman et al., 2016). Inoltre, grazie ad intelligenza artificiale e robotica, oggi è possibile stampare morfologie molto complesse e raggiungere flessibilità di stampa maggiori, più controllate e ottimizzate. Di contro, le molte sfide da affrontare, i lunghi tempi richiesti e i costi elevati, limitano l'applicazione delle tecniche di biofabbricazione e biostampa ad applicazioni su piccola scala e a settori di avanguardia come il biomedicale. Le sfide tecnologiche comprendono ad esempio lo sviluppo di strumenti più precisi, di traiettorie di stampa più efficienti, di materiali più adatti (sia in termini di lavorabilità che di biocompatibilità), di metodi più efficaci per garantire proprietà strutturali gerarchiche e continuità a tutte le scale. Ciò non toglie che tale paradigma di manifattura si stia diffondendo rapidamente anche in molti altri ambiti, di cui ne riprendono le logiche e le processualità riadattandole ad altri scopi, ad altri materiali e ad altre scale – ad esempio, con il Bioreceptive Design, i paradigmi della biofabbricazione sono stati scalati all'architettura, in cui il principio base resta quello di uno *scaffold* (stavolta in materiale cementizio) in grado di accogliere e crescere materia vivente (muschi, alghe, licheni, funghi) e in modo controllato secondo *pattern* e strutture prestabilite (Cruz & Beckett, 2016).

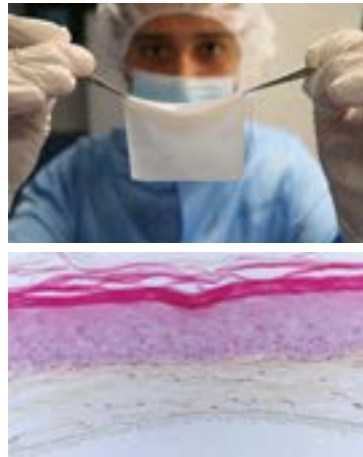
## 6.2 Metodologie e nuovi parametri

I processi di stampa 3D si sono evoluti nel tempo, dalla semplice prototipazione per scopi di ispezione visiva alla produzione di prodotti funzionali che offrono flessibilità, personalizzazione, scalabilità, affidabilità, durata e velocità relativamente elevate. Negli ultimi anni, quando questi processi sono stati applicati al campo biomedico, hanno svelato strati di libertà precedentemente inaccessibili, come una maggiore complessità di progettazione, aprendo il campo anche alla biostampa, la quale permette di applicare le caratteristiche precedentemente elencate alla produzione simultanea o consecutiva (in ogni caso, sinergica) di cellule viventi e biomateriali. In particolare, essendo un campo di studi giovane ed in forte espansione, la biofabbricazione ha visto negli ultimi anni lo sviluppo esponenziale di metodi e tecnologie, spesso altamente sperimentali, che si adattano di volta in volta agli scopi prefissati, ai materiali utilizzati e agli organismi viventi che vengono coinvolti. Essi combinano processualità e strumenti propri della manifattura additiva – dai software di modellazione tridimensionale alle tipologie di stampanti 3D implementate a biostampanti – con le sperimentazioni proprie dell'ingegneria dei materiali – soprattutto nel caso di ottimizzazione strutturale e funzionale di *scaffold* in biomateriale – e con i protocolli propri delle biotecnologie, che processano e trasformano la materia biologica sotto rigide condizioni.

Oltre all'interesse della comunità scientifica, anche le aziende commerciali hanno cominciato ad esplorare le potenzialità del *bioprinting*. Il Bioplotter di EnvisionTEC (Mironov, 2011) è stata la prima *bioprinter* commerciale in grado di produrre *scaffold* tissutali da vari biomateriali. L'Istituto Chimico di Sarria ha prodotto due diversi inchiostri contenenti idrossiapatite (HA) per biostampanti 3D (Su & Al'Aref, 2018). Objet/Stratasys ha lanciato un fotopolimero biocompatibile trasparente (MED610) (Butt & Shirvani, 2018), che crea parti rigide e trasparenti, come guide chirurgiche per un impianto dentale o procedure ortopediche. Autodesk ha collaborato con Orgonovo e ha sviluppato per la prima volta un software commerciale per la biostampa 3D (Wohlers & Gornet, 2016). Il NovoGen



**FIG. 12-13**  
*Stampa 4D (Bioprinting&Biofabrication Group\_Centro "E.Piaggio" Pisa). Reazione di swelling di costrutti igromorfici biostampati in una soluzione di PBS. I materiali utilizzati sono un gel idrofilo con 15% v/w di gelatina e 92 microlitri di GPTMS; un gel idrofobico con 5% v/w di gelatina e 368 microlitri di GPTMS. Il GPTMS agisce come cross-linker, poiché rafforza i legami della gelatina a 40°.*



**FIG. 14**  
Poieskin®, Poietis, 2017. Compartimento dermico composto da fibroblasti umani primari incorporati in una matrice di collagene, sovrapposta da un'epidermide stratificata derivata da cheratinociti umani primari. La pelle viene utilizzata nei laboratori per diverse tipologie di sperimentazione medica, oppure per il risanamento di ustioni e/o ferite gravi nei pazienti.

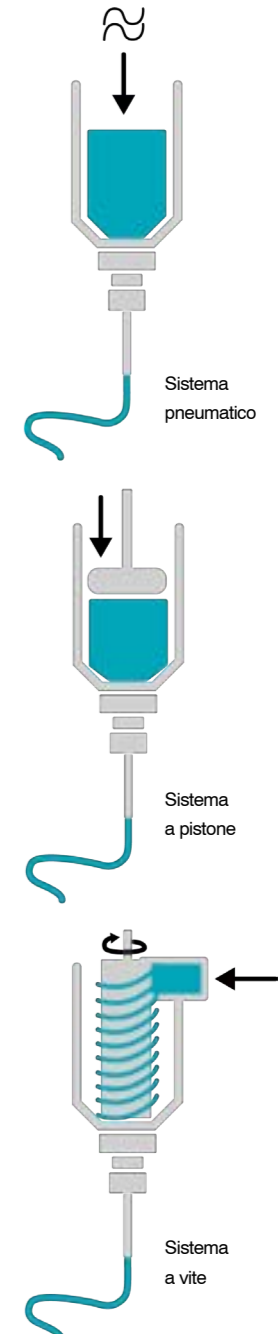
**FIG. 15**  
(al lato) Sistemi di estrusione principali di Robotic Dispensing o Extrusion-Based 3D Printing a temperatura ambiente. Essi si distinguono per il tipo di forza motrice utilizzata per estrarre fluidi visco-elastici. Il sistema pneumatico è il più versatile, poiché permette di stampare omogeneamente quasi tutti i fluidi visco-elastici. Il sistema a pistone è il più utilizzato, soprattutto per la maggiore precisione, mentre il sistema a vite è utile per materiali molto densi, ma è spesso di ostacolo alla viabilità delle cellule nel caso di bioinks.

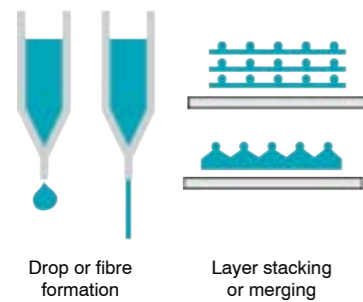
MMX di Orgonovo è stato considerato il primo *bioprinter* commerciale testato per un prodotto completamente cellulare (Jose et al., 2016). Nel 2017 è stata commercializzata Poieskin®, la prima pelle biostampata dall'azienda Poietis, utilizzando la biostampante "Dr. Invivo 4D" della Rokit. Insomma, anche a livello commerciale la biostampa sta sperimentando tassi di crescita elevatissimi che, se per le aziende costituisce una nicchia di mercato strategica, per la ricerca ciò costituisce un vantaggio non indifferente, data la possibilità di dotare i propri laboratori di strumenti ottimizzati e con capacità sempre più elevate anche a costi non eccessivi: è il caso di Cellink, che nel 2015 ha messo sul mercato la sua prima biostampante con un costo di 5.000 dollari. Presentandosi come una comune stampante FDM, Cellink ad esempio offre una tecnologia "a camera bianca", ovvero un'ambiente completamente sterile per le stampe, un fattore ancora oggi difficile da garantire nella maggior parte degli ambienti universitari più sperimentali. Ciò non vale solamente per le strumentazioni, ma anche per i materiali o i software di progettazione: la stessa Cellink commercializza bioinchiostri a base di alginate, biomateriali stabilizzabili ai raggi UV e un database di modelli biostampabili; tutti elementi che potenzialmente possono velocizzare le sperimentazioni della ricerca biomedica, bypassando molte fasi altrimenti necessarie.

Tuttavia, la possibilità di implementare strumenti e biomateriali in modo autonomo e a costi molto più bassi, e soprattutto la specificità dei processi di biostampa necessari – che richiedono maggiore flessibilità e apertura dei sistemi – rendono questo campo ancora molto sperimentale e vicino all'ideologia *maker*, guidato dunque da *open source*, *hacking* e *fai-da-te* (Tong et al., 2021). Per tali caratteristiche, questo ambito si è oggi esteso al di fuori del biomedicale, portando anche i designer a sperimentarne le possibilità produttive e applicative, nonchè ad interfacciarsi con i suoi nuovi linguaggi, metodologie e parametri. In particolare, ci focalizzeremo in questa sede sulle tecniche *extrusion based* a temperatura ambiente, non solo perchè sono le più diffuse, accessibili e flessibili, ma anche perchè le più promettenti e di interesse dal punto di vista del design. I parametri e le metodologie infatti, si riferiscono principalmente al materiale utilizzato, aprendo a nuovi campi di sperimentazione progettuale e materiale oggi rilevanti soprattutto in termini di sostenibilità essendo la quasi totalità delle materie utilizzate biologiche o bio-derivate. Altri aspetti invece, riguardano le componenti *hardware*, ovvero il sistema di stampa ad estrusione che si vuole utilizzare e *software*,

che comprendono sia i programmi di modellazione tridimensionale e computazionale – affini a quelli già utilizzati da tempo nel design –, sia i programmi per la messa in stampa, sui quali invece è doveroso fare qualche considerazione.

Dal punto di vista dell'*hardware*, le tecniche di stampa 3D *extrusion based* a temperatura ambiente, possono essere di diverse tipologie e vengono in genere suddivise a seconda del tipo di forza motrice che viene utilizzata per estrarre fluidi visco-elastici (paste e gel). Questa tipologia di biostampa, spesso denominata anche "robotic dispensing", è infatti data dalla combinazione di sistemi per il dosaggio di fluido da estrarre e di sistemi robotici per la biostampa automatizzata di specifiche geometrie. Sostanzialmente, il sistema consiste nel caricare il materiale in un serbatoio (in genere, una siringa) e nell'estruderlo attraverso un ugello (in genere, punte per siringhe a diametro variabile) che, muovendosi rispetto al piano di stampa, deposita strato-per-strato la geometria 3D da riprodurre in maniera automatizzata e a partire da un file CAD. Il sistema di erogazione del fluido può avvenire sostanzialmente in tre modalità (Fig. 15), ognuna con pregi e difetti, per cui occorre scegliere attentamente quale tecnica utilizzare in base al materiale da stampare (Ozbolat & Hospodiuk, 2016; Jungst et al., 2015). Un primo sistema di erogazione è quello *pneumatico*, il quale utilizza aria pressurizzata e, a sua volta, può essere sia "semplice" – ovvero che l'aria fluisce direttamente nel serbatoio e spinge il materiale attraverso uno stantuffo –, sia "a valvola" – in cui un sistema a valvola si interpone tra il serbatoio e l'ugello, portando ad un maggiore controllo della quantità di aria. Gli altri due sistemi di estrusione sono invece di tipo meccanico e possono essere a pistone e a vite. Il sistema *a pistone* è il più utilizzato e il più delle volte consiste in un meccanismo robotico che spinge lo stantuffo della siringa controllandone lo spostamento lineare (forza applicata). Nei sistemi *a vite* invece, la rotazione di quest'ultima all'interno del serbatoio trasporta il materiale all'ugello e la quantità può essere controllata non solo dalla velocità della vite, ma anche dal suo design. Mentre i sistemi ad aria compressa permettono l'estrusione più omogenea e di materiali anche più viscosi (fluido-densi), i sistemi ad estrusione meccanica forniscono generalmente maggiore controllo del flusso attraverso l'ugello e un maggiore controllo spaziale della geometria risultante. Rispetto al sistema a pistone invece, quello a vite può essere più utile per stampare materiali più viscosi o compositi, ma è spesso dannoso per la viabilità delle cellule – nel caso in cui parliamo di





**FIG. 16**  
Initial screening: per valutare la stampabilità di un materiale una prima prova può essere un'estrusione manuale con siringa: se il materiale fluisce come un filamento continuo, potrebbe essere adatto alla stampa; se invece forma delle gocce, probabilmente in fase di stampa avremo una sovrapposizione o fusione degli strati.



**FIG. 17**  
Initial screening di un biomateriale a base di pectina e gelatina. (Bioprinting&Biofabrication Group, Centro E. Piaggio, Università di Pisa).

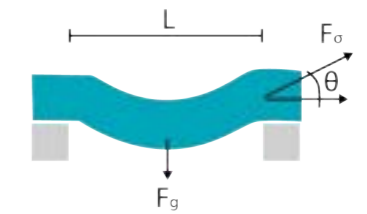
bioinchiostri – che sono sottoposte a numerosi sforzi di taglio. Un altro aspetto molto importante nella componentistica è la tipologia di ugello. Quest'ultimo può essere di vario tipo (può avere punta conica o cilindrica) di materiali differenti (metallo, nylon, polipropilene) e può avere anche un design più sofisticato (dalle punte mixer agli aghi coassiali, tutti sistemi utilizzati principalmente per miscelare materiali sul punto di estrusione). Dababneh et al. (2014) ad esempio, hanno sottolineato che potrebbe essere necessario un miglioramento ulteriore del design dell'ugello nel campo della biostampa: combinando le ricerche svolte da Yang et al. (2002), che hanno modellato matematicamente le forze che le cellule sperimentano durante la stampa, hanno progettato un nuovo ugello in cui le forze di taglio sono ridotte al minimo e la biostampa di materia vivente viene facilitata.

Il sistema di biostampa, indipendentemente dalla tipologia di estrusione, deve essere supportato da un'opportuna conoscenza del materiale e delle caratteristiche che deve possedere per essere opportunamente stampato e utilizzato anche dopo la stampa, per ottenere la complessità desiderata e per entrare in contatto con materia vivente (sia che si tratti di *bioinks*, sia di *biomaterial inks*). In particolare, si si vuole approcciare alla biostampa, i parametri (essi costituiscono delle vere e proprie variabili che possono essere attentamente studiate in fase di progetto e adattate alla specifica sperimentazione che si vuole effettuare) più importanti da prendere in considerazione sono: la reologia, la biocompatibilità, la sterilità, il tempo (4D), la variabilità delle proprietà. Tutte queste caratteristiche sono scalabili, cioè che è importante tenerne conto anche per applicazioni a scale più grandi (come quella del prodotto o dell'architettura) e sono valide anche quando il processo si esaurisce nello "scaffold design", o comunque nella biostampa di biomateriali inerti a vari scopi.

### REOLOGIA

La reologia è la scienza (e relativa tecnica applicata) che studia le caratteristiche di deformazione, sotto l'azione di forze esterne, dei corpi solidi, e in particolare dello scorrimento dei fluidi e semifluidi in riferimento alle loro proprietà e condizioni (densità, viscosità, concentrazione, temperatura, forze applicate, ecc.) e ai loro rapporti con l'ambiente circostante (pareti del contenitore, loro qualità e forma). Un biomateriale per essere processato tramite stampa 3D ad estrusione deve possedere dunque "proprietà reologiche" che definiscono la deformazione e la viscosità dello stesso. In particolare,

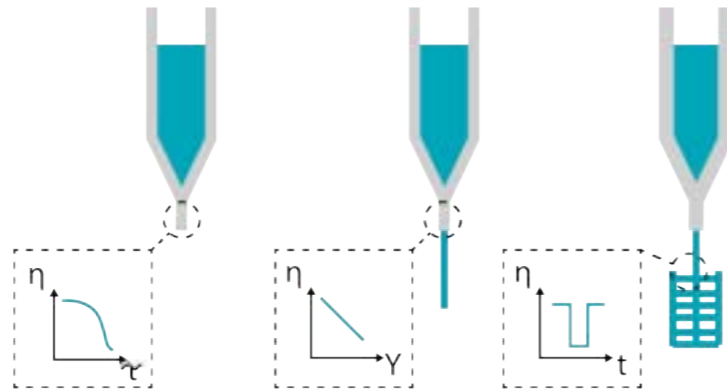
per poter avere buona stampabilità e una buona fedeltà di stampa un biomateriale deve avere: sforzo di taglio critico, comportamento pseudoplastico, elevata viscosità e veloce cinetica di ripresa (Ribeiro et al, 2017; Paxton et al., 2017). Lo sforzo di taglio critico, è quel valore che rende un gel o una pasta plastici abbastanza da poter scorrere lungo l'ugello e di mantenere la deformazione indotta. Superato infatti il valore di sforzo taglio critico, il materiale passa dalla sua fase elastica (in cui, tolta la forza, torna alla posizione iniziale) alla sua fase di deformazione plastica e per i gel ciò avviene a temperatura ambiente e in condizioni normali. Per comportamento pseudoplastico o "bassa viscosità di transizione", si intende invece la proprietà di scorrimento anche per azione di forze modeste e la velocità di flusso aumenta all'aumentare dello sforzo applicato. Ciò consente al materiale di fluire attraverso l'ugello sotto una sufficiente pressione applicata. Idealmente poi, un biomateriale per biostampa dovrebbe possedere viscoelasticità ottimale con proprietà *solid-like*, consentendo al materiale di fluire facilmente sotto pressione, ma mantenendo la sua forma depositata senza crollare (Skardal et al., 2015; He et al., 2016). Le proprietà *solid-like*, permettono infatti al materiale di avere buona cinetica di ripresa per non continuare a fluire una volta rimossa la pressione (quindi una volta raggiunto il piano di stampa): questa caratteristica è importante anche dal punto di vista della ritrazione, ovvero di ritiro del materiale dall'ugello durante la stampa per evitare il fluire di più materiale del dovuto e la deposizione di *layer* troppo spessi. Per determinare un ottimale comportamento reologico di un materiale, vi sono diverse tecniche, sia "manuali", sia facilitate da specifiche strumentazioni, che possono contribuire insieme a determinare "scientificamente" la stampabilità di un materiale (Ribeiro et al, 2017; Paxton et al., 2017). Per uno *screening* iniziale, è sufficiente il "manual dispensing", ovvero la valutazione manuale dell'abilità di un materiale di formare fibre piuttosto che gocce quando sottoposto a pressione (Fig. 16-17). Successivamente, con l'ausilio di un reometro [5], si valuta – matematicamente – il grado di *shear thinning* [6] del materiale e la presenza di uno sforzo di taglio critico (Fig. 19). Utile invece all'indagine delle proprietà *solid-like* di un fluido viscoelastico è il "filament collapse", un'esperimento molto semplice che consiste nel creare un ponte di materiale da estrarre tra due assi in modo da sospenderlo per una data distanza nel vuoto e nel calcolare l'angolo di flessione risultante (Fig. 18). Infine, per determinare la risoluzione delle fibre stampate sul piano XY, vengono effettuate numerose



**FIG. 18**  
Valutazione del collasso del materiale di stampa sottoposto a gravità ( $F_g = F$  gravitazionale;  $F\sigma = F$  resistenza del materiale alla tensione di snervamento;  $\theta =$  angolo di deviazione).

5. Un reometro è un dispositivo di laboratorio utilizzato per misurare il modo in cui un liquido, una sospensione o un impasto liquido scorre in risposta alle forze applicate. Viene utilizzato per quei fluidi che non possono essere definiti da un unico valore di viscosità e quindi richiedono più parametri da impostare e misurare rispetto a un viscosimetro. Nello specifico, i reometri rotazionali sono quelli che misurano lo sforzo di taglio applicato o la deformazione di taglio.

6. Lo *shear thinning* o "assottigliamento al taglio" è un effetto caratteristico dei cosiddetti "fluidi non-newtoniani" (come gran parte degli idrogel utilizzati nella biostampa) la cui viscosità varia a seconda dello sforzo di taglio che viene applicato. Nel caso dello *shear thinning*, la viscosità – ovvero la resistenza del fluido al suo flusso – diminuisce all'aumentare dello sforzo di taglio (fluidi pseudoplastici) portando ad alcuni svantaggi nella biostampa come sbavature o eccesso di materiale nel passaggio da un *layer* all'altro.



**FIG. 19**  
Valutazione delle proprietà reologiche per caratterizzare (da sx a dx) le proprietà di inizio del flusso e lo stress di snervamento; il grado di assottigliamento del taglio per prevedere il processo di estrusione e la sopravvivenza cellulare; il comportamento di recupero degli inchiostri dopo la stampa. Il primo grafico a dx, mette in relazione la viscosità rispetto allo sforzo di taglio, determinando lo sforzo di taglio critico al quale il materiale "a riposo" inizia a fluire. Il grafico centrale mette in relazione la viscosità con la velocità di taglio per determinare lo shear thinning. Nel grafico a dx, la viscosità viene relazionata al tempo ed è visibile un recupero della "solidità" del materiale dopo la stampa. Grafici e valori sono ottenibili direttamente da misurazioni al reometro rotazionale.

**FIG. 20**  
(al lato in alto) Valutazione della risoluzione di stampa sul piano xy. (in basso) "Arricciamenti" dovuti ad una velocità di stampa troppo lenta o ad una distanza ugello-piano troppo alta.

prove di stampa, tenendo conto anche di parametri propri della biostampante, come il diametro dell'ugello e la distanza tra quest'ultimo e il piano di stampa (Fig. 20). Queste prove, denominate "filament fusion", sono molto utili dunque nell'indagare la relazione tra i parametri di stampa e quelli del materiale, come ad esempio, la relazione tra il diametro dell'ugello, la portata (o flow rate), la velocità di stampa, la distanza dell'ugello dal piano [7]. Un'inadeguata proporzione tra questi parametri non permette infatti la stampa di linee continue e costanti, ma possono verificarsi fenomeni come l'"arricciamento" della linea, oppure la stampa non uniforme con vuoti, oppure la deposizione di troppo materiale che – in ottica tridimensionale – può portare al collasso delle strutture stampate. La risoluzione di stampa influisce anche sulle curvature (c'è il rischio che sulla linea retta funzioni bene e sulla curvatura si spezza o si deposita troppo materiale); sulla sovrapposizione di inchiostro agli incroci e sulla stabilità dei pattern a lungo termine (quando si hanno pattern con geometrie su piccola scala, soprattutto se il materiale ha basso "angolo di fase" [8], gli spazi vuoti della texture tendono a scomparire perché il materiale ritirandosi "assorbe" i fori). Anche il tipo di superficie utilizzato sul piatto può essere un fattore determinante per la giusta risoluzione di stampa: il materiale deve avere un angolo di contatto compatibile con la tensione superficiale del liquido che gli permetta di non ritirarsi troppo sulla superficie annullando la geometria stampata.

### BIOCOMPATIBILITÀ

Dal momento che le tecniche di biostampa sono nate dall'applica-

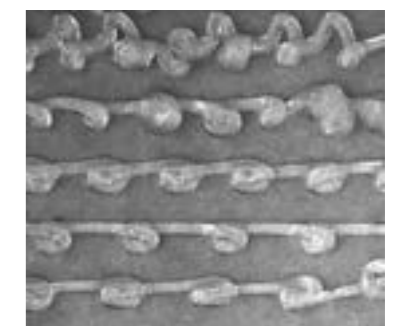
zione della manifattura additiva ai campi dell'ingegneria tissutale e della medicina rigenerativa, un fattore indispensabile è la biocompatibilità degli inchiostri, i quali devono assicurare un buon grado di coesistenza con le cellule e/o i tessuti endogeni con cui si trovano a contatto. In molti casi inoltre, si vuole ottenere un contributo attivo e controllabile sulle componenti biologiche e funzionali del costrutto, in modo da provocare specifiche interazioni tra la struttura stampata e la materia vivente. Infatti, lo scaffold su cui vengono deposte le cellule, simula la matrice extracellulare (il supporto strutturale e biochimico che avvolge le cellule in natura), per cui, per raggiungere un'ottimale biocompatibilità non è sufficiente la sola capacità di un materiale di accogliere vita biologica, ma entrano in gioco numerosi altri fattori, come: la scala dimensionale – che deve essere proporzionale a quella delle cellule –; i segnali biochimici e biofisici che dirigono il comportamento cellulare (Di Marzio et al., 2020) e il comportamento dinamico, ovvero la capacità della matrice di rispondere a stimoli esterni attraverso cambiamenti spazio-temporali, indispensabili a volte per la sopravvivenza cellulare (Gladman et al., 2016). La "cell viability", ovvero la capacità di mantenere in vita le cellule, è dunque un fattore molto complesso da gestire sia durante il processo di stampa, facendo attenzione a non sottoporre le cellule a sforzi di taglio troppo elevati e frequenti, sia nel caso di implementazione successiva su scaffold, garantendo che il materiale utilizzato preservi le condizioni ambientali a cui le cellule normalmente proliferano – come un elevato contenuto di acqua o umidità (Krujatz et al., 2015). In genere, la biocompatibilità viene testata in laboratorio in modo sperimentale, sottoponendo le cellule di interesse a diversi test che variano in materiale di supporto utilizzato e in condizioni ambientali e di stampa possibili. In primo luogo, viene testata la biocompatibilità del materiale di stampa e la sua capacità di rallentare o accelerare il processo di crescita cellulare. Le cellule di interesse vengono fatte crescere su diverse miscele all'interno di piastre Petri e sotto condizioni ambientali specifiche (temperatura, livello di umidità, condizioni di luce a cui saranno sottoposte durante il processo di biostampa). Questa fase può essere molto utile per trovare un giusto equilibrio tra la reologia ottimale di un materiale e la sua biocompatibilità, spesso inversamente proporzionali. In genere infatti, sono maggiormente cell-friendly i materiali soft perché più porosi e "acquosi", ma che hanno bassa viscosità da richiedere strati di supporto o materiale sacrificale (bioplotting) per la stampa (O'Bryan et al., 2017). Successivamente, nel caso di bioinchiostri,

7. Lee et al. (2015), hanno determinato una formula matematica che permette di calcolare il flow rate (Q), utile per determinare con precisione la quantità di materiale che si vuole estrarre:

$$Q = \pi d^2/4 \times S$$

dove d è il diametro di una linea stampata e S la velocità di stampa. Ciò a dimostrazione che la dimensione della linea estrusa è proporzionale alla velocità di stampa e allo stesso portata (Q).

8. L'angolo di fase δ è una misura del rapporto tra il modulo viscoso e quello elastico del materiale. Per valori δ > 45° (G'' > G'), la risposta del materiale sarà prevalentemente elastica mentre per valori δ < 45° (G' > G''), la risposta del materiale è prevalentemente plastica.

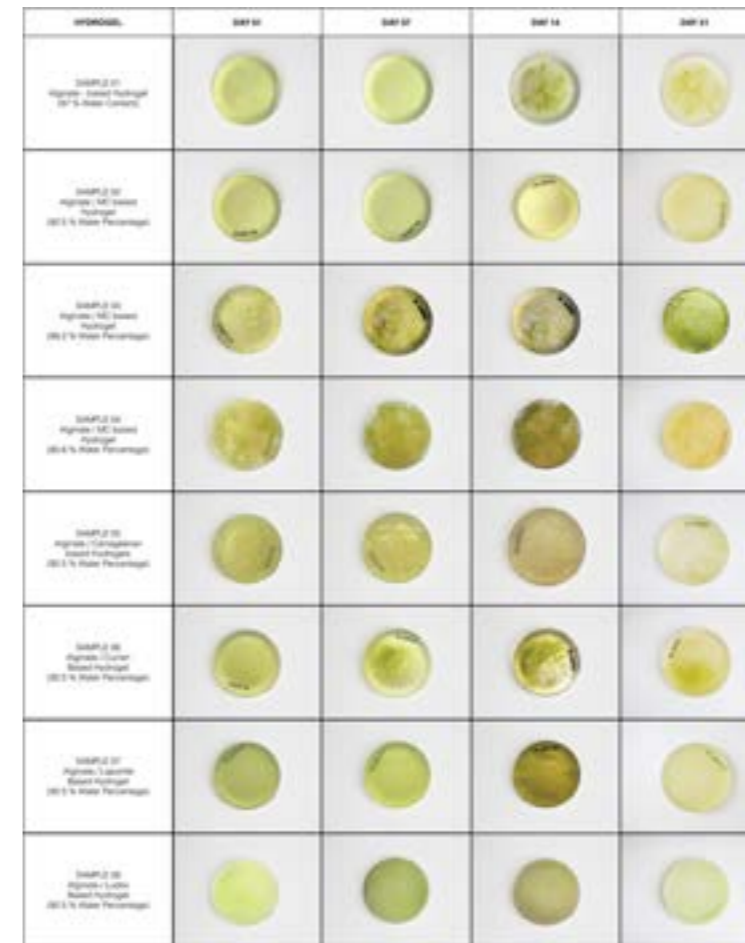


9. I Modificatori reologici sono sostanze che modificano la reologia dei prodotti cosmetici, quindi la densità, la viscosità e la scorrevolezza. Influiscono inoltre sulla stabilità delle emulsioni. Fanno parte di questa categoria i polimeri gelificanti, sia naturali sia sintetici, che influiscono sulla densità del prodotto, quelli ispessenti che ne aumentano la viscosità e quelli stabilizzanti. Possono essere utilizzati per gelificare sistemi acquosi (gel) o oleosi (lipogel), per viscosizzare detergenti o per aumentare la stabilità delle emulsioni e delle dispersioni.

l'idrogel carico di cellule viene testato attraverso i diversi livelli di taglio riscontrabili nel flusso di lavoro, dall'agitazione manuale della coltura cellulare con l'idrogel prima della stampa, al caricamento dell'idrogel nella cartuccia, alla sua estrusione forzata attraverso l'ugello di erogazione. Questo step può essere molto importante per produzioni a scale più ampie, poichè a quantità maggiori corrispondono pressioni e sforzi maggiori, tanto da richiedere matrici di idrogel altamente protettive e fluide. Malik et al. (2019) ad esempio, hanno sperimentato la sopravvivenza e i fattori di crescita per cellule di alga *Chlorella sorokiniana* su scaffold a base di alginato (Fig. 21). Essi hanno dapprima ottenuto otto diverse miscele di biomateriale, miscelando acqua, alginato e modificatori reologici [9] di vario tipo (come carragenina, metilcellulosa, curran, ecc.) al fine di capire quale combinazione fosse ottimale in termini di rapporto tra contenuto di acqua, dimensione dei pori, e coefficiente reologico. Ad esempio, hanno constatato come la crescita dell'alga non sia direttamente proporzionale alla quantità di acqua, ma è fortemente influenzata dal rapporto superficie-area-volume (porosità) e dal modificatore reologico utilizzato. Successivamente, hanno eseguito diversi test per testare la sopravvivenza dell'alga agli sforzi di taglio e hanno convenuto che con l'estrusione robotica a pistone, nonostante la scala ampia (per applicazioni architettoniche) gli sforzi di taglio hanno poca influenza sulla *cell viability*. Il risultato è stato un sistema *extrusion based* per applicazioni oltre il campo biomedico, comunque in grado di contenere e crescere materia viva.

#### STERILITÀ

Per sterilità si intende la distruzione (quasi) totale di qualsiasi forma microbica, cioè l'uccisione di tutti i microrganismi patogeni sia nella forma vegetativa che sotto forma di spore. Essa è un fattore strettamente interrelato alla biocompatibilità e come in qualsiasi sperimentazione biologica, anche nella biostampa se ne deve tenere conto. L'elevata biocompatibilità dei costrutti biostampati infatti, li espone anche alla colonizzazione da parte di microrganismi indesiderati che possono contaminare la coltura di partenza. Questo fattore risulta limitativo in termini di applicazioni, soprattutto a scale più ampie, poichè necessita di sistemi di filtraggio altamente sofisticati – come per le cappe a flusso laminare – che garantiscono allo stesso tempo sterilità e condizioni di aerazione costanti. Per le stesse ragioni inoltre, è tuttora privilegiata la stampa di scaffold inerti che vengono dapprima sterlizzati (i metodi più comuni sono

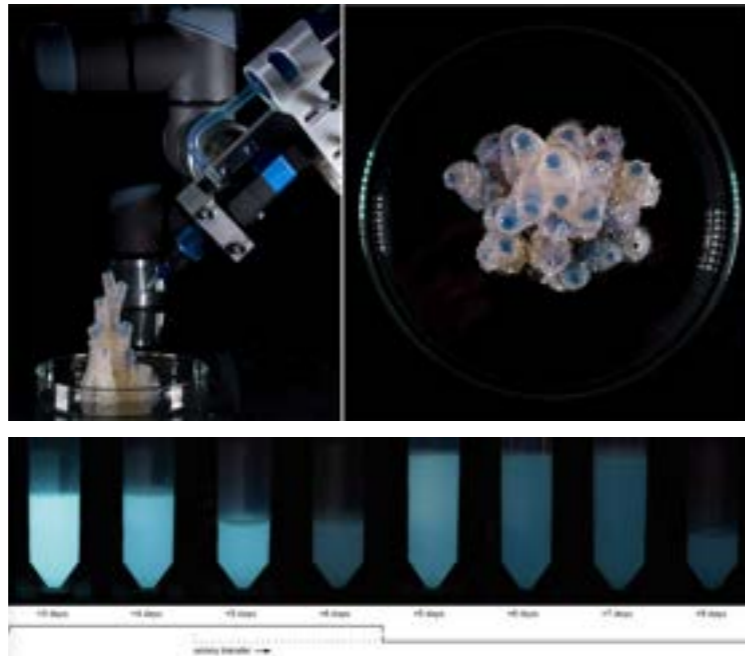


i raggi UV, il vapore in autoclave e l'etanolo) e successivamente sottoposti a coltura cellulare. In alcune applicazioni, si cerca di raggiungere sterilità incapsulando le cellule all'interno degli idrogel e isolandole istantaneamente in fase di stampa dall'ambiente esterno. Ciò permette di preparare i bioinchiostri in ambienti sterili e poi di stamparli in ambienti protetti, seppur non completamente sterili [10]. È il caso di idrogel a base di alginato che, sottoposti a crosslinking istantaneo in fase di stampa grazie ad un processo ad aghi coassiali, solidifica racchiudendo in sé le cellule e isolandole da eventuali agenti esterni (seppur per un tempo limitato). Anche la tecnologia "core shell morphology", che permette di incapsulare

10. Ad esempio, molte biostampanti fai-da-te sono racchiuse all'interno di "scatole" ermetiche e dotate di filtri HEPA (Matamoros et al., 2020)

FIG. 20

Test di cell viability dell'alga *C. sorokiniana* alla macroscale. Le piastre Petri sono state fornite con 5 ml di terreno TAP per 7 giorni al fine di mantenere la crescita delle cellule di alghe.



**FIG. 21**  
(in alto) Biostampa di micro-architetture in biopolimero composto da agar, gelatina, glicerina, nutrimenti e acqua, e contenenti batteri bioluminescenti già presenti nell'ambiente o in contesti marini. La modifica della composizione del terreno influisce radicalmente sulle condizioni di vita dei batteri, sulla capacità strutturale e sulla qualità della superficie della struttura.  
(in basso) Colture di *Vibrio Fischeri* (un batterio marino) in soluzione nutritiva nel tempo dall'attivazione iniziale.

biomateriali a bassa viscosità all'interno di materiali di supporto ad elevate viscosità attraverso l'uso di aghi coassiali, può essere una valida alternativa. In ogni caso, la sterilità è un parametro che va letteralmente "progettato" in un processo di biostampa, adattando le lavorazioni a specifiche condizioni, soprattutto nel caso di applicazioni mediche e biomediche.

#### TEMPO (4D)

Entrando in contatto con la materia biologica, la biostampa introduce all'interno dei comuni processi di manifattura additiva una quarta dimensione temporale e materica, che dobbiamo imparare a gestire. Se finora infatti la stampa 3D ha permesso l'esplorazione e la progettazione nelle tre dimensioni spaziali, il tempo risulta essere forse il parametro più importante e stravolgente introdotto dalle nuove processualità ibride. Ciò è dovuto anche al contesto altamente sperimentale che caratterizza la biofabbricazione, in cui la mancanza di processi *standard* e di soluzioni "pronte", porta ingegneri e progettisti ad interfacciarsi con comportamenti dinamici e mutevoli nel tempo. In primo luogo, la quarta dimensione è importante per

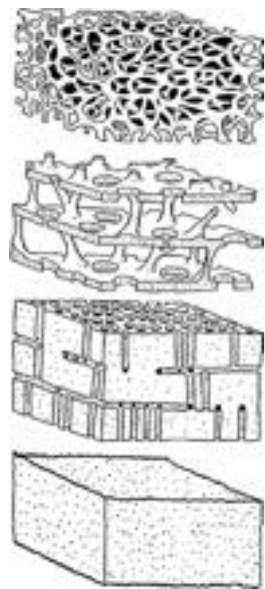
una buona riuscita del processo di biostampa. Alcuni fattori reologici infatti, dipendono anche dal tempo impiegato per stampare, oppure dai tempi di reticolazione di un materiale; mentre possono influenzare altre variabili di lungo termine, come la resistenza di un costruito al collasso o la velocità di stampa. Ad esempio, come abbiamo avuto modo in parte di anticipare, la velocità di stampa può influire sulla risoluzione, portando a fenomeni come l'arricciamento delle linee stampate, l'eccesso di materiale in alcune zone o la discontinuità. Ciò dipende a sua volta dalle proprietà reologiche di un materiale, al cui aumento di viscosità corrisponde una minore velocità di stampa, poichè il materiale impiega più tempo a fluire attraverso l'ugello, soprattutto se si tratta di materiali con elevato *shear thinning*. Per inchiostri con caratteristiche *solid-like* inoltre, calcolare la relazione tra la viscosità e il tempo (Fig. 19 a dx) può essere un passaggio molto importante, calibrando la velocità di stampa sui tempi di recupero di forma del materiale una volta depositato sul piatto di stampa. Anche i tempi di reticolazione di un materiale possono essere molto importanti e possono influire sulla corretta deposizione strato-per-strato dello *scaffold* - raggiungendo alte risoluzioni sulle tre dimensioni -, sulla biocompatibilità, sul recupero e sul mantenimento di forma. Se infatti i tempi sono troppo brevi (ad esempio la quantità di cross-linkante è troppo elevata) si rischiano fenomeni di ritiro o di *swelling* della stampa; se i tempi sono troppo lunghi, il materiale può rischiare il collasso, oppure può avvenire sovrapposizione e fusione tra i livelli. Il fattore tempo è importante anche nel rapporto tra una struttura e la crescita di cellule o tessuti su di essa: ad esempio, il tempo di resistenza prima del collasso deve essere sufficiente abbastanza per permettere la colonizzazione cellulare; oppure i tempi di biodegradazione devono essere ben ponderati per permettere il dissolversi della struttura senza perdere solidità strutturale, nonchè il rilascio di sostanze bioattive utili al direccionamento della crescita cellulare.

Oltre l'importanza in termini di controllo della qualità di stampa, il tempo può influire anche in fase progettuale, grazie alla possibilità di produrre strutture complesse e con comportamenti dinamici. Già in fase di progetto e grazie all'ausilio di strumenti computazionali di simulazione, è infatti oggi possibile pensare e produrre costrutti con proprietà variabili nel tempo, in grado di reagire a stimoli esterni in modo reversibile o irreversibile. Oltre le già citate possibilità di stampa 4D ad esempio, anche la degradabilità controllata [11] può essere una qualità temporale molto importante per costrutti biolo-

**11.** Il tipo di degradazione ad oggi maggiormente studiato in campo biomedico è l'idrolisi, durante la quale le molecole di polimero vengono scisse da acqua e da temperature relativamente alte. Le reazioni di idrolisi sono tra le più varie; alcune sono spontanee, altre hanno bisogno di un catalizzatore, spesso un acido o una base. Nei sistemi viventi le idrolisi sono spesso catalizzate da specifici enzimi della famiglia delle idrolasi.

gici: sono molti gli studi su modelli di degradazione per il rilascio controllato di sostanze bioattive nello spazio e nel tempo.

Infine, ciò è valevole anche per i progetti che utilizzano materia biologica come interfaccia, biosensori o bioattuatori in fase di utilizzo e che dunque estendono nel tempo le qualità attive e dinamiche degli organismi biologici. Anche in questo caso, ingegneri e progettisti fanno uso di software di simulazione e di numerosi esperimenti sul tempo per comprendere il comportamento della materia biologica – nascita, crescita, eventuali contaminazioni, decadimento – sul lungo termine e per progettarne i comportamenti. Ad esempio, nel progetto "Imprimer la Lumière", Thomsen et al. (2021) esaminano la possibilità di realizzare micro architetture bioluminescenti, le modalità e i tempi per mantenere in vita i batteri e la quantità di luce che essi riescono ad emettere nel tempo (Fig. 21). La consapevolezza del fattore tempo introduce anche questioni di natura etica all'interno del progetto di prodotti biologici funzionali attraverso la biostampa. Come affermano Thomsen et al. (2021): «*The appropriation of living organism qualities induces an intrinsically temporal dimension to the conception, fabrication and experience of architecture, which implies not only the development of a new conceptual framework but also new processes, tools and know how adapted to microbiologic life that are inseparable from a set of ethical challenges*» (p. 306) e proseguono: «*With biodesign, ethical considerations become an intrinsic part of the design project. Designing with bacteria as a material for architecture means designing for and with the life cycles of living organisms, and allowing co-inhibition within our environment. Where bacteria do die as part of this new architecture, they are also nurtured and invested into a new habitat. In 'Imprimer la Lumière' we work with bio-safety level 1 bacteria meaning that they are not genetically modified, do not pose a danger to their surroundings and are fully biodegradable. In designing with Vibrio Fischeri, we delocalise a marine bacteria to the new host environment of the medium. In doing so we provide a monocultural environment which both optimises its living conditions but also makes it less resilient to change*» (p. 308).



**FIG. 22**  
Schemi di varie microstrutture trovate nei test e nelle spine dei ricci di mare (Echinodermata). Le microstrutture seguono anche differenti principi organizzativi a seconda della tipologia di forze a cui sono sottoposte: (dall'alto verso il basso) labirintico, microperforato, imperforato (Smith, 1980).

### PROPRIETÀ VARIABILI

La biofabbricazione possiede il potenziale di generare costrutti che ricapitolano la complessità e l'eterogeneità di tessuti e organi biologici. Le sue pratiche infatti, non si limitano al semplice uso di materia biologica, ma fanno propri anche «materiali e meccanismi di costruzione che imitano i meccanismi biologici della crescita»

(Liu et al., 2010). Questo aspetto è molto importante e presuppone la formazione di strutture e impalcature che imitano le proprietà strutturali e gerarchiche o le proprietà di *smart-surface* dei propri equivalenti biologici.

Le strutture naturali possiedono infatti un alto livello di integrazione e precisione con cui svolgono le loro funzioni. Un tratto distintivo chiave dei progetti della natura è la loro capacità di generare strutture complesse di composti organici o inorganici multifunzionali come conchiglie, perle, coralli, denti, legno, seta, corno, collagene e fibre muscolari (Benyus 1997). Combinati con matrici extracellulari, questi biomateriali strutturali formano microstrutture ingegnerizzate per adattarsi a vincoli esterni prestabiliti (Benyus 1997, Vincent 1982). Ciò attraverso la costruzione di composizioni fibrose eterogenee, la cui multifunzionalità è tipicamente ottenuta combinando i vincoli prestazionali, strutturali, ambientali e corporei con strategie di strutturazione e allocazione dei materiali (Fig. 22). Questa capacità di distribuire gradualmente le proprietà del materiale attraverso l'ottimizzazione locale di regioni a diverse esigenze esterne – come la capacità dell'osso di rimodellarsi sotto l'alterazione dei carichi meccanici o la capacità del legno di modificare la sua forma trattenendo l'umidità – è facilitata dalla capacità della natura di modellare, simulare e fabbricare contemporaneamente strutture materiali attraverso un processo di crescita (*botto-up*), oggi riproducibile grazie alla biostampa.

In molte discipline, così come nello *scaffold design* e nella biostampa, sta divenendo molto importante la capacità di progettare materiali ottimizzati, con gradienti spaziali nella composizione (variabilità del materiale) e nella struttura (variabilità della geometria), i quali possono influire anche sui comportamenti dinamici nel tempo (Cheah et al. 2003, 2004; Yeong et al. 2010). La capacità di ingegnerizzare i materiali e fabbricarli sinteticamente utilizzando la fabbricazione additiva è quindi incredibilmente promettente in quanto aumenta le prestazioni strutturali e ambientali del prodotto, migliora l'efficienza dei materiali, promuove l'economia dei materiali e ottimizza la distribuzione loro distribuzione. Questa tipologia di materiali, che vengono definiti come "*functionally graded materials*" (Yang, 2015; Loh, 2018), hanno dunque proprietà *site-specific* distribuite con transizioni graduali nella geometria, nelle composizioni chimiche, nei costituenti o nelle microstrutture (Liu et al., 2017) (Fig. 23).

Sono ancora molte le sfide da affrontare per ottenere materiali a



**FIG. 23**  
Durotaxis Chair, Synthesis Design + Architecture, 2015. Sedura stampata in 3D con la tecnologia Stratasys Object 500 Connex3, tra le prime e più importanti nel campo della stampante 3D multiestrusore. La sedia mima la disposizione delle cellule in natura, variando in colore, rigidità e scala a seconda dei requisiti ergonomici in ciascun punto.

funzionalità gradiente che vede ad esempio sperimentazioni nella biostampa multi estrusore, ovvero in grado di estrarre contemporaneamente due o più materiali. Oltre alle biostampanti *polyjet*, in grado di combinare "gocce" di materiali differenti attraverso testine di stampa multipla, sono state sviluppate biostampanti che possono estrarre roboticamente materiali differenti e mixarli in prossimità dell'ugello (come nel caso di biostampa ad aghi coassiali) oppure di sovrapporli semplicemente. Anche in questo caso, la reologia dei materiali utilizzati è di grande importanza, perché la combinazione di materiali con coefficienti reologici differenti può portare ad effetti non desiderati, come la prevalenza di un materiale su un altro oppure un cambiamento gradiente non costante. Come vedremo nella sessione "Esperimento 6: Sviluppo di una biostampante per l'innovazione materica", questo aspetto è stato preso in considerazione in questa tesi e è stato approfondito attraverso lo sviluppo di una biostampante multiestrusore con possibilità di *mixing* (Fig. 24). Oltre ad essere importanti da un punto di vista di biorecettività, le funzionalità gradienti possono essere infatti di grande interesse per il design, potendo progettare e riprodurre proprietà specifiche e dinamiche nei materiali. In particolare, l'abbondante quantità di materiali bio derivati e circolari, prodotti frequentemente sotto forma di paste estraibili e che spesso non presentano proprietà rilevanti per sostituire i loro equivalenti sintetici, possono essere in questo modo potenziati e caratterizzati per nuove applicazioni specifiche.

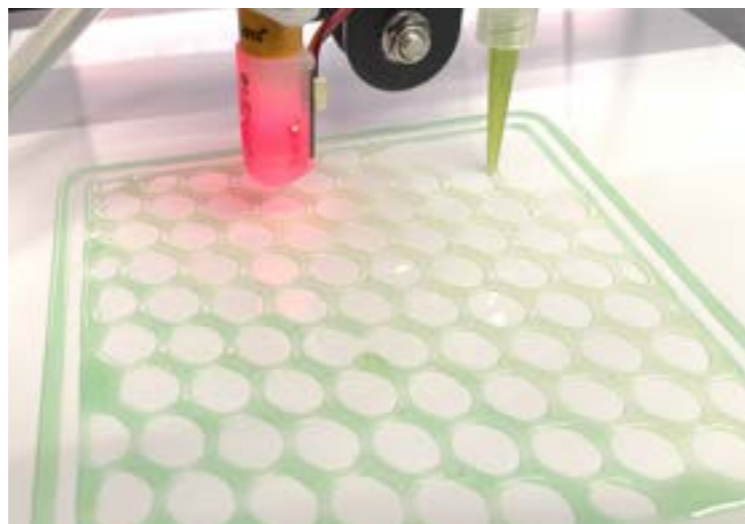


FIG. 24  
Sperimentazione svolta dall'autrice di variabilità gradiente del materiale (chitosano) attraverso l'uso di un estrusore multiplo con possibilità di *mixing*, quindi di stabilire variazioni incrementali in percentuale di ciascun materiale estruso.

## 6.3 Biostampa e design

Nella pratica del design, le tecnologie e le metodologie di biofabbricazione vengono applicate a strutture sperimentali, architetture e prodotti di consumo, introducendoci ad una nuova era materiale guidata da tecnologie e processi sempre più simili alla natura. Infatti, il paradigma della fabbricazione biologica non si riferisce semplicemente a prodotti e processi che utilizzano materia prima biologica o vivente, ma che le procedure di progettazione e fabbricazione sono allineate a quelle naturali della crescita e ai processi informativi alla loro base per produrre strutture complesse che imitano l'intelligenza, la specificità e le qualità attive delle entità "naturalmente sviluppate". Contrariamente a un approccio al design basato sulla forma, in natura la tipica sequenza gerarchica forma-struttura-materiale è rovesciata dal basso verso l'alto, poiché il materiale informa la struttura, che informa la forma (Vincent, 1982). I materiali sono progettati per funzioni altamente specializzate piuttosto che essere assegnati a forme precostituite. I nuovi mezzi tecnologici consentono di combinare "computazione fisica", "computazione digitale" e "computazione biologica" e ci permettono di controllare e progettare l'organizzazione strutturale alla scala materiale, trasformando le informazioni digitali in performance e funzionalità fisiche. Proprio come fino a pochi anni fa eravamo in grado di programmare *hardware* e *software* digitali, oggi siamo in grado di estendere le strutture della computazione alla materia (sia essa fisica o biologica) e possiamo informarla su vincoli ambientali e prestazionali, stabilendo relazioni senza soluzione di continuità tra materiale-prodotto-performance. Inoltre, un approccio basato sulla crescita che parte dalla strutturazione del materiale secondo paradigmi biologici e *set* di dati informativi consente il trasferimento di molte proprietà come l'eterogeneità strutturale per specifici adattamenti e performatività (Oxman, 2011); reattività; comportamenti dinamici e trasformativi (sensibilità, movimento, cambiamento di forma); biorecettività e così via.

In questa prospettiva, distinguiamo all'interno delle pratiche di *material design* all'intersezione con la biologia uno specifico percorso

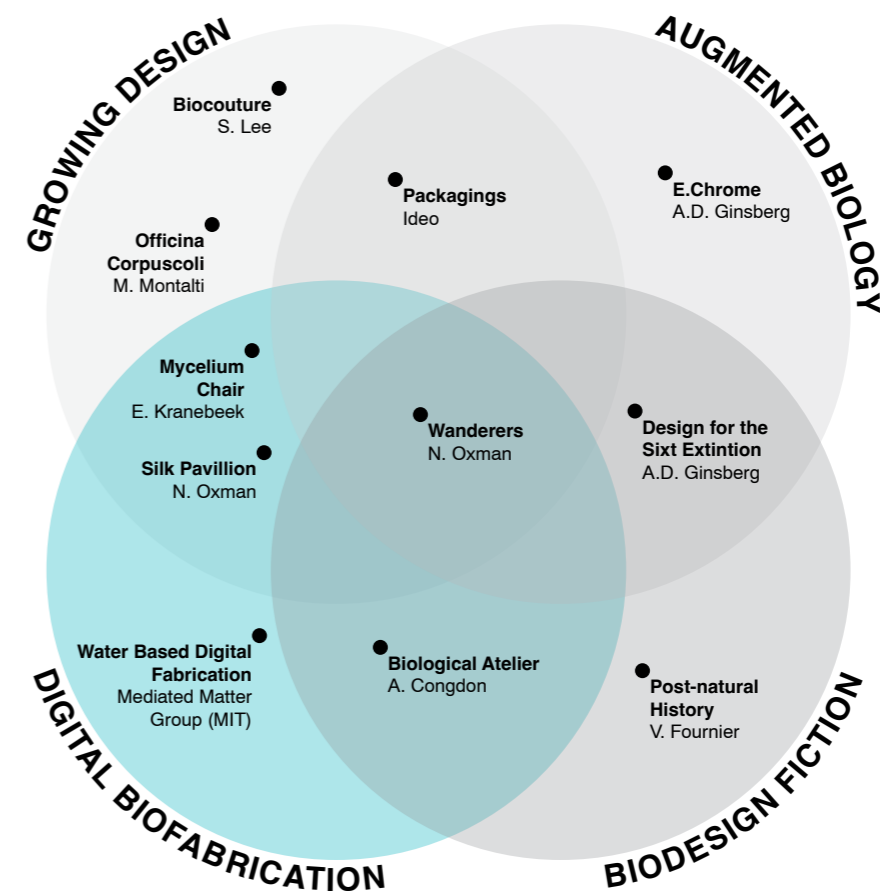


che possiamo definire “*bio-digital fabrication*” o “*digital biofabrication*”, diverso da altre pratiche basate sull'uso della materia vivente. In particolare, possiamo distinguere quattro macro-campi (Camere & Karana, 2017; Collet, 2013) che corrispondono anche a una differenza più generale della biofabbricazione rispetto ad altre piattaforme tecnologiche basate sulla materia vivente (Mironov et al., 2009): (i) “*growing design*”, che coincide con la biomanifattura e fa riferimento alla possibilità di produrre materiali e biomolecole sostenibili sfruttando la materia vivente come materia prima attraverso il fare, l'artigianato e pratiche tangibili; (ii) “*augmented biology*”, che corrisponde alla biologia sintetica e si riferisce alla sintesi di nuove entità e materiali biologici dall'ingegneria del genoma; (iii) “*bio-digital fabrication*”, che è conforme alla biofabbricazione e amplia le possibilità di manipolazione biologica adottando strumenti computazionali, tecnologie di fabbricazione avanzate digitali e strumenti di modellazione matematica che coinvolgono la natura come oggetto dei processi di progettazione; (iv) “*biodesign fiction*”, che non si concentra propriamente sui paradigmi produttivi del presente, ma immagina – spesso con visioni concettuali – futuri molto provocatori per sviluppi biotecnologici avanzati (Fig.25).

Portando la biomimetica a livello materiale e supportando i meccanismi di crescita biologica, la biofabbricazione dunque stimola la nascita di nuove tecniche di produzione ibride in grado di allineare obiettivi e interessi della scienza e del design, nonché soddisfare le esigenze composite della società con prodotti sostenibili, personalizzabili, intelligenti e specifici scenari applicativi e concetti di prodotto. In particolare, l'integrazione di processi e tecnologie fisiche, digitali e biologiche stimola la produzione di oggetti e strutture fabbricati digitalmente in grado di accogliere e far crescere organismi biologici, coniugando perfettamente le esigenze ambientali di smaterializzazione e monomaterialità con quelle produttive di flessibilità e personalizzazione, nonché con le qualità biologiche e le esigenze sociali di multifunzionalità, autonomia e interattività. Una tale strategia correlativa può aiutare il design ad applicare il pensiero sistemico, dalla scala del materiale a quella del prodotto e del processo, portando anche a un nuovo modo di vedere la natura, passando dal suo sfruttamento come semplice risorsa – retaggio del precedenti rivoluzioni industriali – alla sua concezione come organismo con cui dialogare e sperimentare modalità collaborative di trasformazione e miglioramento (Oxman, 2016; Natalio, 2018; Ramsgaard, Thomsen & Tamke, 2019) [12].

12. Ulteriori aspetti del rapporto tra biostampa e design verranno approfonditi nel prossimo paragrafo fi "Esperimenti".

FIG. 25  
Approcci tra Design e Biologia (Camere & Karana, 2017). Le autrici scelgono per ciascun area progetti rappresentativi. La biofabbricazione e in particolare la biostampa rientrano nella “*bio-digital fabrication*”. Per evitare ripetizioni, gli esempi specifici di biostampa nel design, già estensivamente approfonditi nelle gallerie e nei capitoli precedenti, non vengono menzionati anche in questa sede.



## Sviluppo di una Biostampante per l'innovazione materica

Esperimento 6

Il sesto capitolo si addentra nelle ricerche "on field" svolte in collaborazione con il Bioprinting&Biofabrication Group del centro E.Piaggio dell'Università di Pisa e con altri laboratori e dipartimenti di Sapienza Università di Roma. L'intento è stato quello di approfondire il tema della Biostampa, di sperimentare metodologie e tecniche utilizzate, di indagare i materiali utilizzati e soprattutto di avere un confronto con altre discipline per capire quali sono i punti di contatto e quali le divergenze. Il risultato è una panoramica chiara e approfondita delle opportunità progettuali e produttive che si aprono al design con la biofabbricazione, stimolo per nuove sperimentazioni materiche e processuali volte alla realizzazione di possibili "materialità bio-aumentate".

Le attività di ricerca si sono concluse con la realizzazione di una Biostampante a partire da una comune stampante 3D a filamento, sostituendo l'estrusore adattato per la stampa FDM di filamenti plastici con un sistema di *robotic dispensing* "a pistone" e con doppio estrusore (Fig.1). Questo sistema, permette la stampa di fluidi visco-elastici con proprietà

*solid-like* e ha l'obiettivo di favorire sperimentazione materica e innovazione di processo all'interno del campo proprio del design, avvicinando le potenzialità dell'*advanced manufacturing* alle possibilità trasformativa della materia - biologica o inerte -, i due assi portanti della contemporanea Biorivoluzione e della pratiche bio-digitali.

La stampante di partenza è una Creality Ender 5 Plus, scelta soprattutto per le dimensioni maggiori del piatto (30x30 cm) e per un *frame* cubico esterno utile per "chiudere" la stampante con pannelli in plexiglass e un filtro HEPA al fine di rendere gli ambienti interni il più possibile sterili e con condizioni di temperatura o umidità stabili. Per la progettazione dell'estrusore sono state prese in considerazione diverse esigenze specifiche per il design, che hanno portato ad un risultato differente rispetto alle biostampanti DIY che ad esempio impiega il centro E.Piaggio. In particolare:

1) la quantità di materiale da stampare è maggiore, date le applicazioni su scale più grandi. Nell'ingegneria tissutale ad esempio, 1ml di biomateriale per

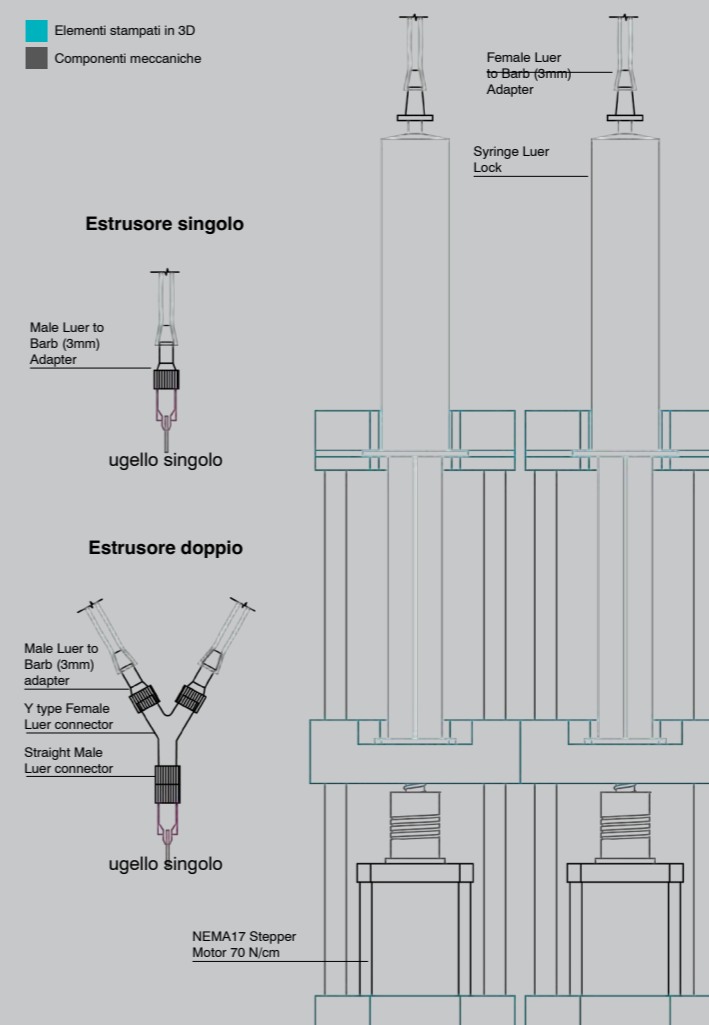
la stampa è in genere sufficiente e permette la realizzazione di strutture cubiche reticolari di dimensioni di 1cm<sup>3</sup>. Per l'estrusore progettato sono state prese in considerazione due siringhe da 30ml ciascuna, per un minimo totale di 60ml di materiale stampabile.

2) a differenza di molte stampanti Rep rap, la Creality Ender è basata su un sistema ad estrusore mobile, ossia che a muoversi sull'asse x e y è l'estrusore, mentre il piatto può muoversi solamente sull'asse z. Ciò non ha permesso la diretta sostituzione dell'estrusore esistente con quelli a siringa, ma è stato necessario posizionare il sistema esternamente alla stampante e connettere l'ugello con tubi di silicone.

3) per aumentare le possibilità di sperimentazione per il design, sia in termini tecnici che espressivi, è stato implementato un doppio estrusore che permette l'utilizzo e la combinazione di materiali differenti, nonché l'aumento della quantità di materiale stampabile. Il sistema infatti, prevede la possibilità combinare layer di due materiali differenti (utile ad esempio nel caso di biomateriali soft che richiedono il supporto di

### Piston Robotic Dispensing Dual Extruder

■ Elementi stampati in 3D  
■ Componenti meccaniche



strati in materiale sacrificale); la possibilità di miscelare quantità predefinite di due materiali (utile ad esempio per la stampa di sistemi materici a funzionalità gradiente) oppure la possibilità di utilizzare continuamente i due estrusori senza interrompere la stampa (utile nel caso in cui il materiale di una siringa non è sufficiente).

L'hardware del sistema a doppio ugello è caratterizzato da componenti elettriche ed elettroniche, siringhe, connettori, tubi, assemblati attraverso parti stampate in 3D e contenuti all'interno di un alloggiamento in plexiglass (Fig. 1-2). In particolare, ciascuna siringa è connessa ad un motore passo-passo che, attraverso una barra filettata, spinge dal basso il pistone e forza il materiale all'interno del tubo in silicone, fino all'ugello che, montato nella stessa posizione di quello precedente, è costituito da una punta per siringa. Queste ultime sono di diversi tipi e dimensioni e sono intercambiabili. Le diverse componenti (siringhe-

FIG. 1 Schema del *robotic dispensing system* sviluppato con mostra delle due modalità di utilizzo: singolo e doppio estrusore.

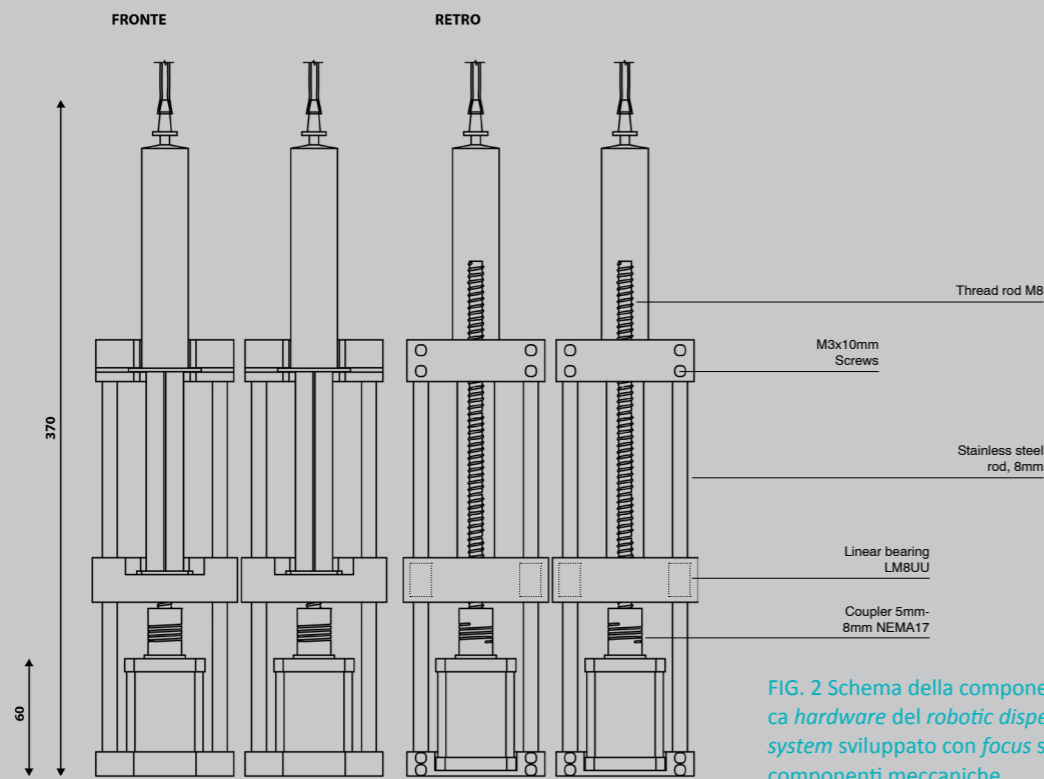


FIG. 2 Schema della componentistica hardware del robotic dispensing system sviluppato con focus sulle componenti meccaniche

tubi-ugelli) sono connesse con specifici connettori "luer-lock" al fine di evitare la fuoriuscita di materiale in qualsiasi punto. Infine il sistema è programmato per essere utilizzato sia ad un estrusore alla volta, sia con due estrusori insieme: in quest'ultimo caso ciascun tubo connesso ad una siringa confluisce in un "connettore ad Y", in cui avviene la miscelazione tra due materiali. Ciò può essere utile sia per la variabilità graduale delle proprietà (*functionally graded*

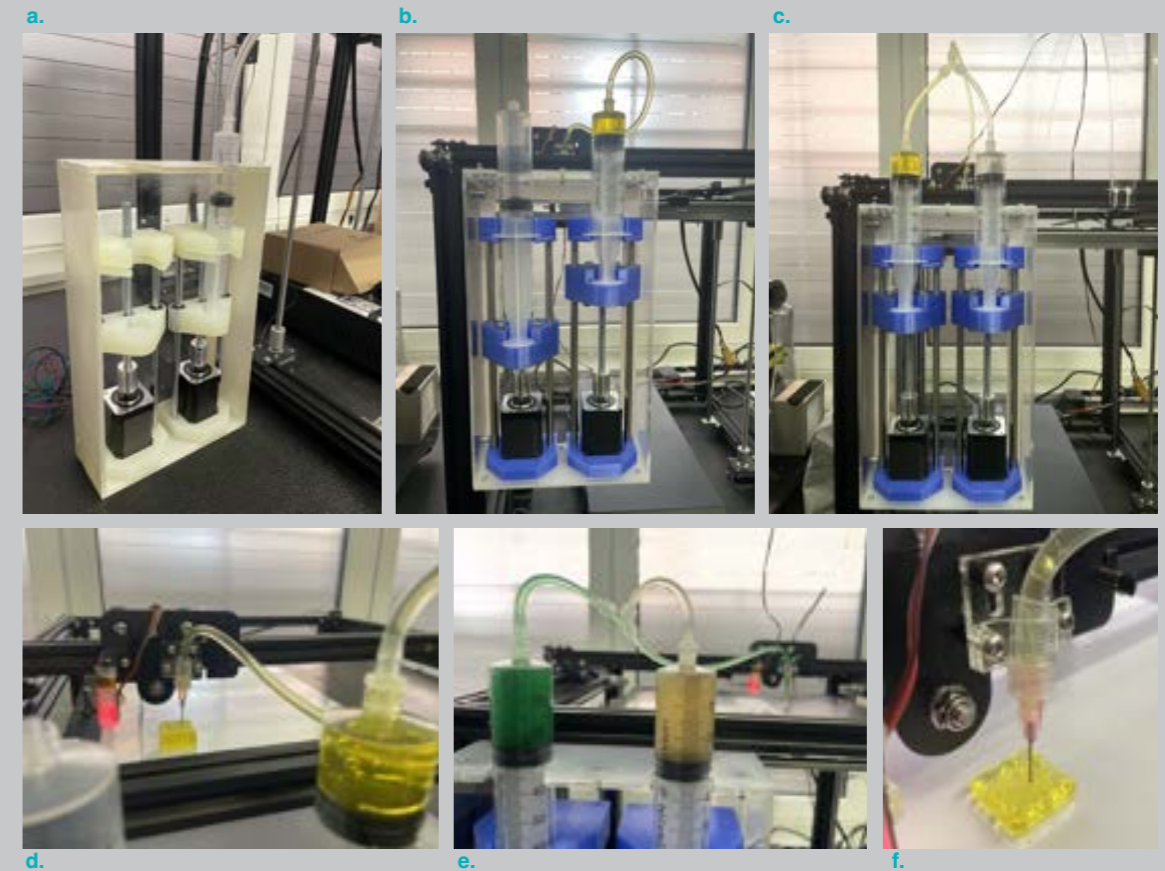
*materials*), sia per esigenze di *cross-linking* (in modo tale che la solidificazione avvenga in prossimità dell'ugello senza bloccare tutto il sistema), sia per possibile "incapsulazione" di materiali più *soft* in altri più viscosi, combinandone anche proprietà meccaniche e strutturali.

Il *software* del sistema (modifica del *firmware* della stampante) è stato implementato in collaborazione con i ricercatori del centro E.Piaggio e, in continuità

con la componente *hardware*, è stato progettato per 3 tipologie di biostampa (Fig. 3-4):

**1) opzione ad un solo estrusore:** in questo caso la biostampante esegue la stampa del pezzo azionando uno solo dei due estrusori fino all'esaurimento del materiale (30 ml circa). La stampa può essere interrotta per la ricarica della siringa e proseguire dal punto di interruzione.

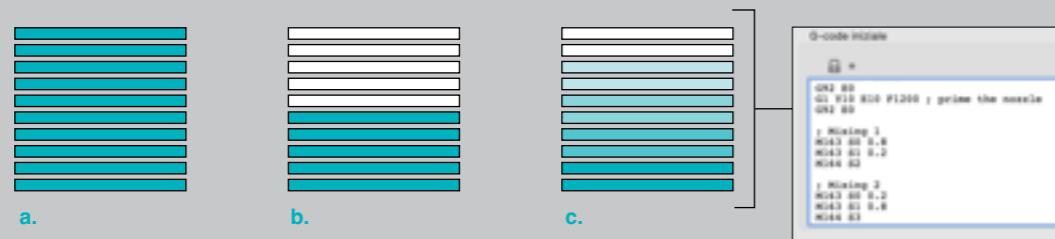
**2) opzione a doppio estrusore:**



in questo caso la biostampante permette di usare alternativamente – e non insieme – i due estrusori. È un'opzione utile quando si vogliono creare supporti o quando si vogliono variare le proprietà punto per punto, oppure quando si vogliono utilizzare maggiori quantitativi di materiale da richiedere il passaggio da un estrusore all'altro. Può essere utile anche se si vogliono combinare *layers* di biomateriale con specifici *layers* di *cross-linker* (agenti reticolatori) per stabilizzare le

stampe strato-per-strato anziché stabilizzare tutto il pezzo dopo la stampa. Ciò permetterebbe di ottenere una maggiore definizione di stampa e di evitare il collasso del materiale o il fondersi di strati o *micro-pattern*. In questo caso, tramite *software* di *slicing* (per la biostampante in questione è stato adottato il *software* "PrusaSlicer") è possibile selezionare i *layer*, nonché alcune parti specifiche sul piano che si vogliono realizzare con un estrusore piuttosto che con l'altro. estrusore piuttosto che con l'altro.

FIG. 3 Le immagini mostrano uno dei molti prototipi effettuati prima di raggiungere la soluzione definitiva (a); l'utilizzo del sistema con un singolo estrusore (b; d) e con doppio estrusore (c; e); l'ugello di stampa (f) che è sempre singolo ed connesso agli estrusori con tubi in silicone. Le diverse prove effettuate prima di raggiungere soluzioni definitive hanno interessato il perfezionamento delle parti stampate in 3D, la tipologia dei componenti scelti e la loro integrazione. I primi test di stampa sono stati effettuati con un comune gel (b-c-d-f).



**3) opzione di mixing:** questa funzionalità è stata espressamente richiesta per permettere la realizzazione di *functionally graded materials* a partire da più biomateriali miscelati insieme o dallo stesso biomateriale variato nella sua composizione. Il *mixing* infatti permette di utilizzare i due estrusori insieme e di passare gradualmente da un materiale all'altro. Ciò grazie alla possibilità di stabilire strato per strato i livelli di *mixing*, ovvero le variazioni in percentuale del quantitativo di materiale estruso da ciascun ugello. Così, ad esempio, se si vuole realizzare un cubo che varia gradualmente dal rosso al bianco, dove il biopolimero rosso è contenuto nell'estrusore1 e il biopolimero bianco è contenuto nell'estrusore2, si dovranno variare tramite software le percentuali di materiale estruso dall'estrusore1 da 100% a 0% e viceversa per l'estrusore2. In particolare, "PrusaSlicer" permette di effettuare questa operazione tramite GCODE (codice di programmazione per macchine a controllo numerico) immaginando estrusori virtuali, ciascuno con le specifiche percentuali di ciascun materiale da estrudere (Fig. 5).

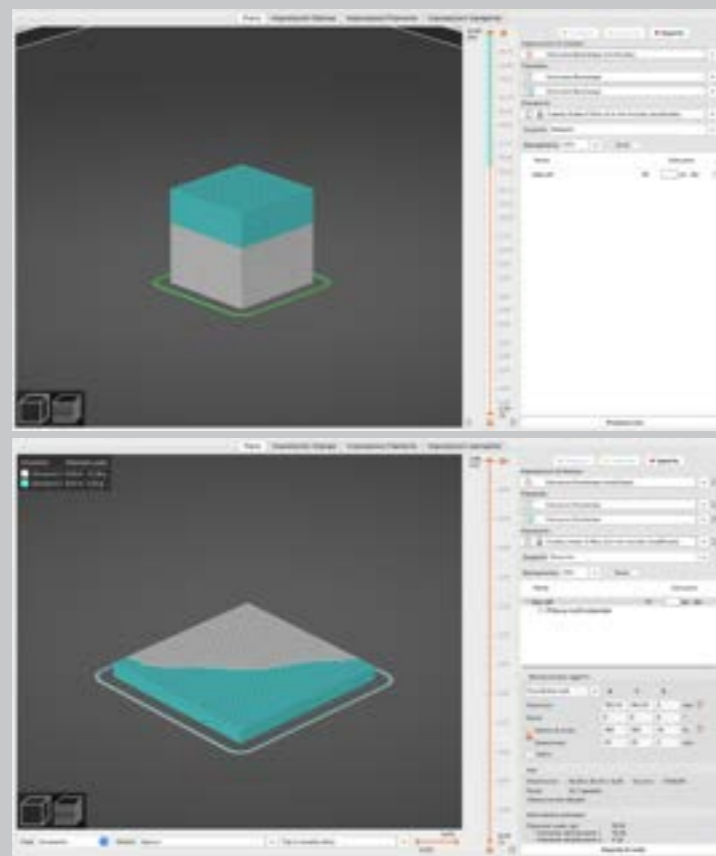


FIG. 3 Lo schema in alto riassume le tre modalità di biostampa progettate, in particolare: a. modalità ad un solo estrusore; b. modalità a doppio estrusore e c. modalità di mixing. Nelle immagini sottostanti, è raffigurata l'interfaccia delle impostazioni multimateriale del software Prusa Slicer e la possibilità di poter variare i materiali stampati sia verticalmente (z) che orizzontalmente (x-y).

### COSTRUTTI A DEGRADABILITÀ CONTROLLATA.

Al fine di testare le potenzialità del sistema di *robotic dispensing* realizzato e di ciascuna modalità di biostampa possibile, è stato deciso di eseguire alcuni esperimenti base. Questi ultimi hanno avuto l'obiettivo di verificare il corretto funzionamento del sistema anche con l'utilizzo di materiali non convenzionali, nonché di dimostrare come il campo della biostampa possa essere un proficuo ambito di ricerca ed innovazione anche per la disciplina del progetto. In particolare, si vuole dimostrare come attraverso la combinazione di parametri fisici, digitali e biologici sia possibile indagare criticamente nuove forme di co-esistenza tra uomo, natura e artificio, attraverso il ripensamento delle nostre logiche produttive, più vicine ai concetti di crescita e funzionalizzazione flessibile, in cui materiale, prodotto e performance sono integrati e co-emergenti.

Da un punto di vista fisico, la biostampa amplia considerevolmente le possibilità di sperimentazione, aprendo i processi di manifattura a nuove tipologie di materiali, come i polimeri bioderivati e biodegradabili – di grande interesse non solo per la biofabbricazione di tessuti e organi, ma anche per applicazioni industriali. Molti di questi biomateriali sono frutto di recenti ricerche nel campo dell'economia circolare – spesso guidate dai

designer stessi – che tuttavia richiedono il più delle volte un miglioramento delle proprietà per poter sostituire i loro equivalenti sintetici. La biostampa, al contrario, può guardare a tali proprietà come un pregio più che un difetto e sfruttarle a vantaggio di applicazioni innovative e specifiche. Inoltre, come già approfondito nel capitolo, la biostampa (come qualsiasi processo di manifattura additiva) inverte le logiche produttive dall'assemblaggio alla crescita, per cui il materiale diventa l'elemento da progettare e base per il prodotto e la sua funzionalità, mentre le fasi di modellazione, analisi e fabbricazione sono integrate. Infine, le possibilità di sperimentazione sono moltiplicate dall'ampia gamma di variazioni ottenibili da uno stesso materiale – in termini di proprietà reologiche, ottiche, meccaniche, dinamiche, ecc. – variando il suo processamento prima della stampa (ad es. composizione e modalità di miscelazione); durante la stampa e in fase di *post-curing* (ad es. cottura, essiccazione, *cross-linking*, ecc.).

Da un punto di vista digitale, la combinazione tra computazione e manifattura additiva amplia i gradi di libertà dei designer in modalità prima inimmaginabili. La possibilità di modellare a scale sempre più piccole, di generare forme e pattern complessi attraverso sofisticati algoritmi e non meno importante, la possibilità di simulare fenomeni complessi (anche

biologici) prima di sperimentarli materialmente, offrono opportunità non trascurabili in termini di complessità dei risultati finali, funzionalità sofisticate e performance specifiche. In particolare, riguardo nello specifico il processo di biostampa, il digitale influisce principalmente su due aspetti: la geometria del sistema materico progettato (dalla micro alla macro scala) e il controllo del sistema robotico di estrusione. Quest'ultima, non è necessariamente una prassi operativa, ma può essere anche fonte inventiva: ad esempio, può essere stimolante per i designer sperimentare la variabilità di proprietà ottenibili cambiando i parametri di stampa (velocità, altezza dell'ugello, numero di *layer*).

Dal punto di vista biologico, la biostampa offre possibilità di intervento su più scale temporali e spaziali. L'intervento della componente biologica può infatti avvenire a monte, nel momento in cui viene utilizzata materia biologica per produrre un bioinchiostro oppure per rafforzare alcune proprietà in un materiale inerte (Fig. 4), oppure per "crescere" o fermentare *biomaterial inks*. A valle del processo di biostampa, la materia biologica può essere integrata come "colonizzatore" della struttura stampata, come modificatore della stessa (*crosslinking* o biodegradabilità indotta da batteri), o come biointerfaccia (biosensore o bioattuatore) in fase di utilizzo

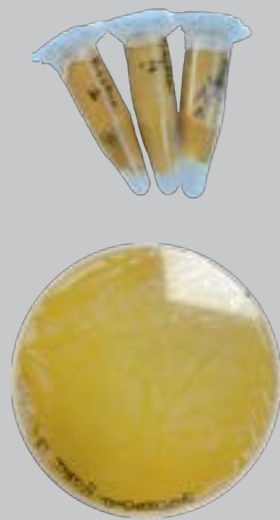


FIG.4 Pigmento a base di carotenoidi prodotto dal batterio *Sporosarcina*, utilizzato dall'autrice per rafforzare la resistenza a fotodegradazione di biopolimeri per la stampa 3D FDM (in collab. con Dip. BBCD e DIAG, Sapienza)

del sistema prodotto. Tuttavia, la componente biologica può entrare nel processo come fondamentale fonte di ispirazione per la produzione di costrutti complessi biologicamente funzionali, oppure per l'implementazione nell'artificio di processi chimici, biochimici, biologici e costruttivi che imitano l'intelligenza e la sostenibilità di quelli della natura.

Per sperimentare tali potenzialità, parte della ricerca *on field* si è concentrata sul concetto di degradabilità e sulla possibilità di ottenere tramite biostampa sistemi in grado di degradarsi in maniera programmata alla fine

della loro vita utile, proprio come accade in natura. In particolare, l'idea è stata quella di realizzare strutture materiche che, grazie alla variazione delle proprietà del biomateriale, nonché della micro-meso-macro geometria, potessero essere in grado di degradarsi in tempistiche e secondo *pattern* predefiniti.

Dal punto di vista fisico, la ricerca si è concentrata sulla stampabilità di diversi tipi di biopolimeri (alginato, chitosano, metilcellulosa, gelatina, pectina), sulle loro proprietà reologiche, ottiche e meccaniche (aspetti estetici e funzionali) variabili, nonché sulle modalità di degrado (dinamiche di utilizzo e decadimento).

Dal punto di vista digitale, ci si è concentrati su come la geometria, oltre che sulla composizione del materiale, può influire sulla sua degradabilità. Le proprietà geometriche possono infatti essere progettate su più scale – dalla microstruttura alla forma – e possono contribuire alla differenziazione delle proprietà all'interno di uno stesso materiale.

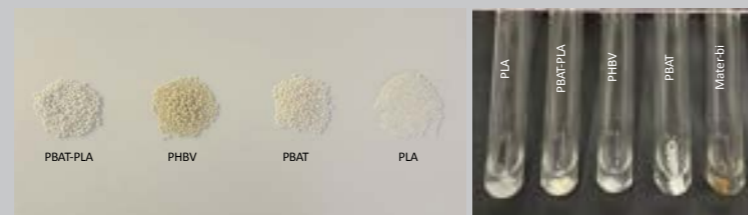


FIG.5 Prove di degradabilità di biopolimeri per stampa FDM già presenti in commercio. I granuli sono stati immersi per 2 mesi all'interno di una soluzione con colonia batterica (più tipologie di batteri) presente nel terreno e, come visibile nell'immagine di dx, si è degradata solo una piccola percentuale (visibile nell'opacità del liquido, inizialmente trasparente) (in collab. con Dip. BBCD e DIAG, Sapienza)

Dal punto di vista biologico, sono state sperimentate possibilità di utilizzo di organismi biologici a monte e a valle del processo di biostampa. A monte, attraverso la biotrasformazione di sostanze in molteplici varianti e livelli di solubilità. A valle, attraverso la biodegradazione da parte di comunità microbiche (batteri, funghi, lieviti) o la degradazione enzimatica per opera di enzimi secreti da microrganismi.

Tali sistemi possono avere, in ottica di medio-lungo termine, numerose potenzialità applicative: - possono essere di supporto alla ricerca nell'ambito dell'ingegneria tissutale per creare *scaffold* che degradano gradualmente. Questi possono così "accompagnare" la crescita cellulare di specie viventi e rilasciare segnali biochimici di interesse; - possono essere applicate all'ambito biomedicale, ad esempio in *patches* transdermali che degradano secondo tempistiche ben definite e rilasciano sostanze nutritive o

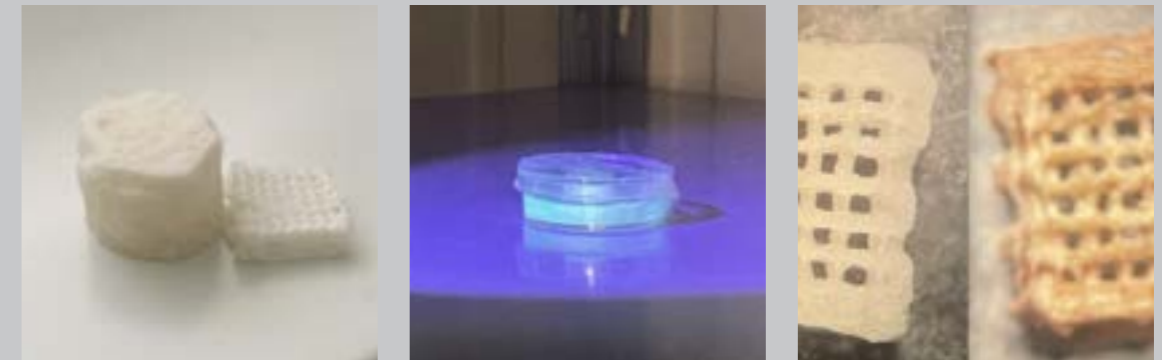


FIG.6 Prove di degradabilità di un costrutto in pectina e stabilizzato con liofilizzazione. Il costrutto cilindrico è realizzato con casting in stampi di 10mm di diametro e 10mm di altezza; il costrutto cubico è stato biostampato e ha dimensioni 10x10x5mm (e griglia di 1x1 mm). È stato utilizzato il batterio *Pseudomonas Aeruginosa* (fluorescente agli UV), senza ottenere tuttavia i risultati desiderati. (in collab. con Dip. BBCD, Sapienza e centro E.Piaggio, Università di Pisa)

curative. Anche la componente espressiva può essere rilevante, poiché degradando questi dispositivi possono comunicare l'avvento e il quantitativo del rilascio.

- possono essere utilizzate per la trasformazione di materiali inerti in superfici biorecettive, data la biocompatibilità di gran parte dei biopolimeri, i quali possono supportare le cellule nella loro crescita e degradare quando non sono più utili.

- in ottica molto futuristica, possono stimolare nuovi concetti e comportamenti che vanno ad influire sulla stessa sfera culturale. Ad esempio è auspicabile immaginare un sistema di "moda stagionale" che non è regolato dai tempi dell'economia e del capitalismo (la cosiddetta *fast fashion* che contribuisce all'aumento di sprechi proprio perché sostituisce ad ogni

stagione la gamma di collezioni commercializzate) ma dai tempi di degradazione del materiale che, giunto a fine vita, scompare restituendo al Pianeta nuove risorse per nuova vita.

A seguito di numerose sperimentazioni, è stato scelto come materiale di base il chitosano miscelato con acido acetico e acqua. Questa scelta è avvenuta a seguito di numerose altre prove, tra cui:

- la stabilizzazione di biopolimeri per la stampa 3D FDM già diffusi con carotenoidi derivanti da batteri – *Sporosarcina* – (Fig. 4) per maggiore resistenza a fotodegradazione. Gli esperimenti sono stati però abbandonati a seguito di una scarsa degradabilità di diverse bioplastiche, come PLA, PHBV, PBAT, PBS, PHA) (Fig. 5) - la stampa di costrutti a base

di pectina, stabilizzati con liofilizzazione e sottoposti ad un processo di biodegradazione con batteri *Pseudomonas Aeruginosa* (i quali si nutrono di pectina). Anche in questo caso, le sperimentazioni sono state abbandonate, data la scarsa degradabilità dei costrutti (probabilmente dovuta al successivo processo di liofilizzazione) e alla perdita di qualità ottiche, meccaniche e strutturali del composto (Fig. 6).

Tornando al chitosano, è stata testata la stampabilità di più gradienti di concentrazione di polvere di chitosano deacetilato al 90% nella soluzione acida formata da 1% w/v di acido acetico e 100 ml di acqua demineralizzata. Tra le concentrazioni (chitosano al: 2% w/v; 4% w/v; 6% w/v; 8% w/v) è stata scelta quella al 6% w/v per il giusto rapporto tra stampabilità,

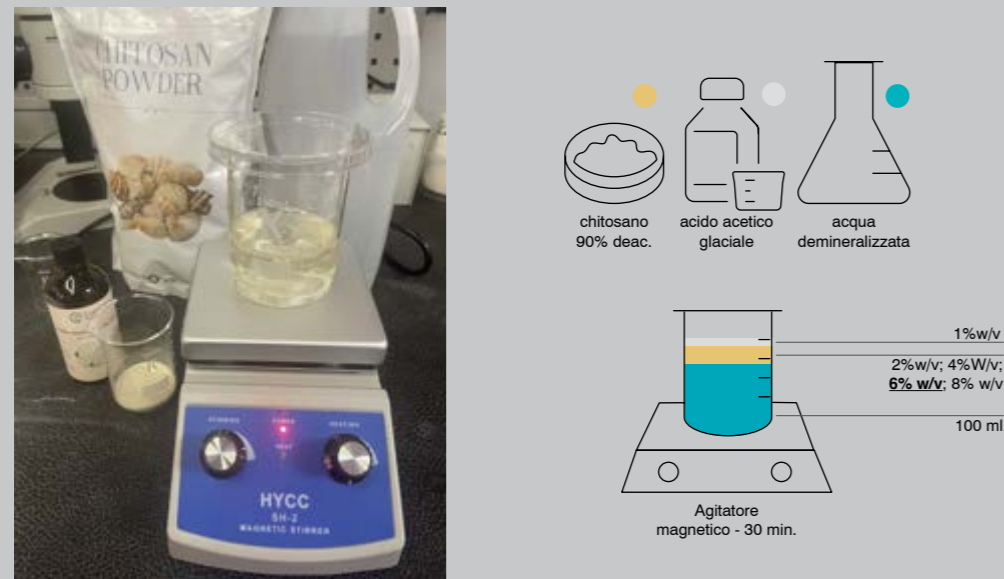


FIG.7 Preparazione del materiale: il composto a base di chitosano è stato ottenuto miscelando le parti con un agitatore magnetico e a temperatura ambiente. Per 100ml di soluzione acida (1% w/v acido acetico) e 6% w/v di chitosano, il tempo di miscelazione varia dai 20 ai 35 minuti. Una volta pronta la miscela, viene caricata in una siringa, vengono eliminate le bolle di aria più grandi e viene fatta riposare per almeno 20 minuti a 1-5° C prima di essere caricata sulla biostampante.

reologia e trasparenza (Fig. 7). Successivamente, sono state realizzate prove di stampa gradiente di texture 2D a base di chitosano che variassero sia nella geometria che nel materiale (Fig. 8). L'intenzione è di proseguire con la sperimentazione di una stampa a più livelli con una maggiore variabilità delle proprietà e dunque della degradabilità dei costrutti. Riguardo quest'ultimo aspetto, sono state effettuate prove di degradabilità del materiale in acqua e in soluzione acida (1% v/w di acido acetico) (Fig. 9). Nel primo caso, un foglio di

materiale di 0,1 mm di spessore e 20x10 mm di area, ha impiegato 12 ore per degradare, lasciando tuttavia ancora qualche residuo. Nel secondo caso, un foglio delle medesime dimensioni ha impiegato 2 ore per degradare completamente. L'intenzione è quella di collezionare un range di dati per poter programmare nel tempo la degradabilità di un costrutto in una specifica soluzione. Questa (è stato testato) può essere infatti rallentata con l'aggiunta di modificatori reologici - come la metilcellulosa - che non solo

può portare a maggiore stabilità e comportamento solid-like del materiale, ma può rallentare la degradabilità senza annullarla del tutto. Un'altra sperimentazione in programma è la possibilità di utilizzare batteri che secernono acido acetico anziché utilizzare la soluzione. Questi microrganismi infatti sono facilmente utilizzabili (Acetobacter) e possono costituire una valida occasione per integrare la componente biologica e viva a valle del processo di biostampa e di utilizzo di eventuali prodotti futuri.

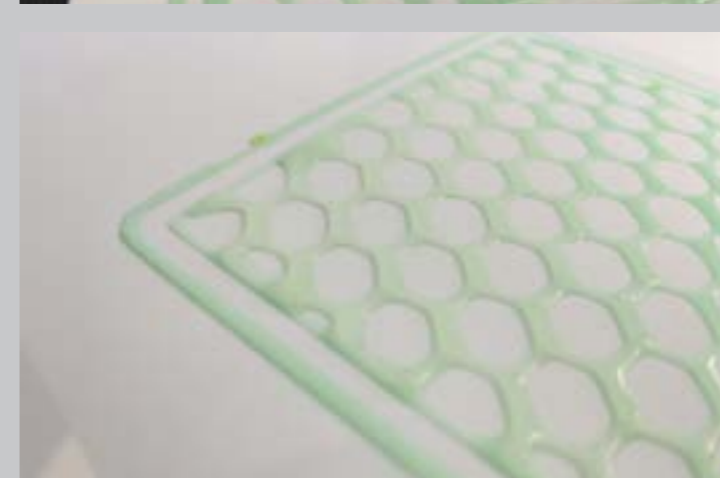
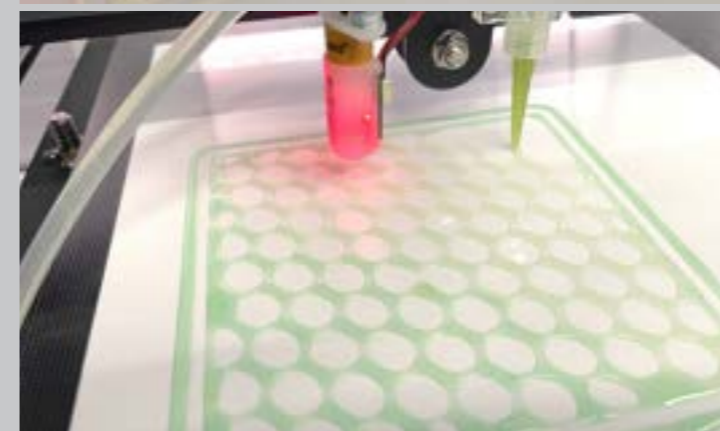
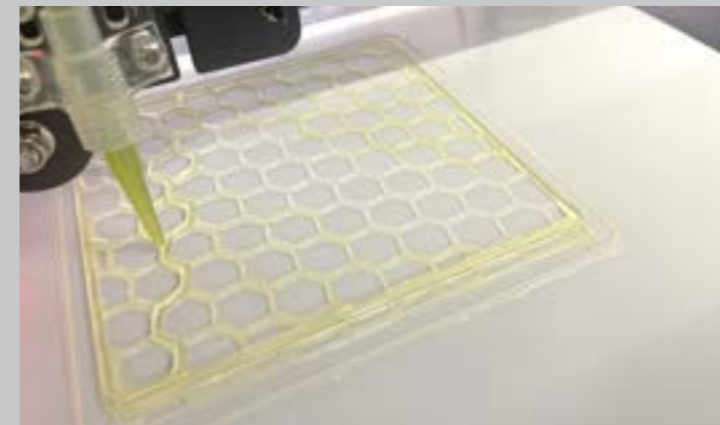


FIG. 8 (in alto) Prove di degradazione di composto a base di chitosano (6% v/w). Entrambe le foto sono state scattate dopo un'ora dall'immersione. Nell'immagine sopra, il materiale è stato immerso in una soluzione acida (1% v/w acido acetico) ed è quasi del tutto dissolto, anche se ci vorrà un'altra ora per scomparire. Nell'immagine in basso, il materiale è stato immerso in acqua e ci vorranno altre 11 ore per degradarsi. È interessante notare le proprietà di swelling del materiale in soluzione liquida, che può essere una caratteristica da applicare a successivi prodotti, utilizzando le potenzialità della stampa 4D e dei materiali igroscopici. (al lato) Alcune prove di biostampa di pattern 2D con gel comune (in alto) e chitosano (in basso). In quest'ultimo caso lo stesso materiale è stato tinto con coloranti alimentari per poter testare il funzionamento della modalità mixing del sistema robotico progettato

## References

- Benner, S., Sismour, A. Synthetic biology. *Nat Rev Genet* 6, 533–543 (2005)
- Burg, T. and Burg, K. (2014). "Feasibility of 3D scaffolds for organs", in *Rapid Prototyping of Biomaterials*, ed. Roger, N. (Sawston, UK: Woodhead Publishing), 221-235. doi: 10.1533/9780857097217.221
- Butt, J. & Shirvani, J. (2018). Additive, subtractive, and hybrid manufacturing processes. In: Y. Bar-Cohen (Ed.), *Advanced Manufacturing Processes Material Structuring*. CRC Press, pp. 187-218
- Carlberg, B., Wang, T. & Johan, T. (2010). Direct Photolithographic Patterning of Electrospun Films for Defined Nanofibrillar Microarchitectures. *Langmuir* 26(4), 2235–2239.
- Cheah, C., Chua, C., et al., (2003). Development of a tissue engineering scaffold structure library for rapid prototyping. Part 2: parametric library and assembly program. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21 (4), 302-312.
- Cheah, C., Chua, C., et al., (2004). Automatic algorithm for generating complex polyhedral scaffold structures for tissue engineering. *Tissue Engineering*, 10 (3-4), 595-610.
- Dababneh, A.B. & Ozbolat, I.T. (2014). Bioprinting Technology: A Current State-of-the-Art-Review. *Journal of Manufacturing Science*, 136, 061016.
- Deitzel, J.M, Kleinmeyer, K., Harris, D. & Beck Tan, N.C. (2001). The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42(1), 261-272.
- Derby, B. (2008). Bioprinting: inkjet printing protein sand hybrid cell-containing materials and structures. *Journal of Material Chemicals*, 18, 5717–2.
- Di Buddy D. Ratner, Allan S. Hoffman, Frederick J. Schoen, Jack E. (2004). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*. Elsevier
- Di Marzio, N., Eglin, D., Serra, T. and Moroni, L. (2020). Bio-Fabrication: Convergence of 3D Bioprinting and Nano-Biomaterials in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 8. doi: 10.3389/fbioe.2020.00326
- G. H. Loh, E. Pei, D. Harrison, M. D. Monzón, *Addit. Manuf.* 2018, 23, 34.
- Gladman, A.S. et al. (2016) Biomimetic 4D printing. *Nat. Mater.* 15, 413–418
- Groll, J., et al. "A definition of bioinks and their distinction from biomaterial inks." *Biofabrication* 11.1 (2018): 013001.
- Groll, J., et al. (2016). Biofabrication: reappraising the definition of an evolving field. *Biofabrication*, 8 013001
- Hutmacher, D. W., Tandon, B., Dalton, P. D. (2023). Scaffold design and fabrication. In: J. De Boer, C. A. Van Blitterswijk, J. Al. Uquillas, N. Malik (Eds), *Tissue Engineering*. Academic Press, pp. 355-385.
- Jose, R.R., Rodriguez, M.J., Dixon, T.A., Omenetto, F.G., Kaplan, D.L. (2016). Evolution of bioinks and additive manufacturing technologies for 3D bioprinting. *ACS Biomaterial Science Engineering*, 2, 1662-1678. doi: 10.1021/acsbomaterials.6b00088
- Krotz, D. (2002, September 27). Far from the laboratory, a microfluidic chip helps detect chemical and biological weapon. News from Berkley Lab. retrieved from <https://newscenter.lbl.gov/2002/09/27/far-from-the-laboratory-a-microfluidic-chip-helps-detect-chemical-and-biological-weapons/>
- Lee, Jung-Seob, et al. "3D printing of composite tissue with complex shape applied to ear regeneration." *Biofabrication* 6.2 (2014): 024103. Akkineni, Ashwini Rahul, et al. "A versatile method for combining different biopolymers in a core/shell fashion by 3D plotting to achieve mechanically robust constructs." *Biofabrication* 8.4 (2016): 045001. Kilian, David, et al. "Three-dimensional bioprinting of volumetric tissues and organs." *MRS Bulletin* 42.8 (2017): 585-592. Brown, T.D., Dalton, P.D. & Hutmacher, D. W. (2015). Direct Writing By Way of Melt Electrospinning. *Advanced Materials*, 23(47), 5651-5657.
- Malik, S., et al. (2019). Robotic Extrusion of Algae-Laden Hydrogels for Large-Scale Applications. *Global Challenges* 4. doi: 10.1002/gch2.201900064.
- Mantero, S., Remuzzi, A., Raimondi, M.T. & Ahluwalia, A. (2009). *Fondamenti di ingegneria dei tessuti per la medicina rigenerativa*. Pàtron Editore.
- Matamoros M, Gómez-Blanco JC, Sánchez ÁJ, Mancha E, Marcos AC, Carrasco-Amador JP, Pagador JB. Temperature and Humidity PID Controller for a Bioprinter Atmospheric Enclosure System. *Micromachines*, 11(11), 999 doi: <https://doi.org/10.3390/mi11110999>
- Mironov, V, Reis, N. & Derby, B. (2006). Bioprinting: a beginning. *Tissue Engineering*, 12, 631–4.
- Mironov, V. (2011). The future of medicine: are custom-printed organs on the horizon?
- Mironov, V., Trusk, T., Kasyanov, V., Little, S., Swaja, R. and Markwald R. (2009). Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication* 1:1. doi:10.1088/1758-5082/1/2/022001.
- Mironov, V., Trusk, T., Kasyanov, V., Little, S., Swaja, R. and Markwald R. (2009). Biofabrication: a 21st century manufacturing paradigm. *Biofabrication* 1:1. doi:10.1088/1758-5082/1/2/022001.
- Moroni, L., Boland, T., Burdick, J.A., De Maria, C., Derby, B., Forgacs, G., Groll, J., Li, Q., Malda, J., Mironiva, V. A., Mota, C., Nakamura, M., Shu, W., Takeuchi, S., Woodfield, T. B. F., Xu, T., Yoo, J.J. and Vozzi, G. (2018). *Biofabrication: A Guide to Technology and Terminology*. *Trends in Biotechnology* 36:4. doi: 10.1016/j.tibtech.2017.10.015
- N. Yang, S. Hu, D. Ma, T. Lu, B. Li, *Sci. Rep.* 2015, 5, 14878.
- Ozbolat, I. T., & Hospodiuk, M. (2016). Current advances and future perspectives in extrusion-based bioprinting. *Biomaterials*, 76, 321-343. Jungst T, Smolan W, Schacht K, Scheibel T and Groll J 2015. Strategies and molecular design criteria for 3D printable hydrogels *Chem. Rev.* 116 1496–539
- Ozbolat, I. T., & Hospodiuk, M. (2016). Current advances and future perspectives in extrusion-based bioprinting. *Biomaterials*, 76, 321-343. Jungst T, Smolan W, Schacht K, Scheibel T and Groll

J 2015. Strategies and molecular design criteria for 3D printable hydrogels *Chem. Rev.* 116 1496–539  
O'Bryan, Christopher S., et al. "Three-dimensional printing with sacrificial materials for soft matter manufacturing." *MRS bulletin* 42.8 (2017): 571-577.  
T. J. Hinton et al., "Three-dimensional printing of complex biological structures by freeform reversible embedding of suspended hydrogels," *Sci. Adv.*, vol. 1, no. 9, 2015.  
Pati, F., Shim, J. H., Lee, J. S., & Cho, D. W. (2013). 3D printing of cell-laden constructs for heterogeneous tissue regeneration. *Manufacturing Letters*, 1(1), 49-53.

Ramsgaard Thomsen, M. and Tamke, M. (2009). "Narratives of making: thinking practice led research in architecture", in *Communicating (by) Design*, eds. J. Verbeke and A. Jakimowicz (Bruxelles: Drukkerij Sintjoris Ghent), 1–8.

Ribeiro, Alexandre, et al. "Assessing bioink shape fidelity to aid material development in 3D bioprinting." *Biofabrication* 10.1 (2017): 014102.  
Paxton, N., et al. (2017). Proposal to assess printability of bioinks for extrusion-based bioprinting and evaluation of rheological properties governing bioprintability. *Biofabrication*, 9(4), 044107.

Ryan, D., Sochol, E., Glick, C., Sung-Yueh, W., Chen, Y., Restaino, M. & Liwei, L. (2018). 3D printed microfluidics and microelectronics. *Microelectronic Engineering*, 189, 52-6.

Smith, A.B., 1980. Stereomicrostructure of the echinoid test. *The Palaeontological Association*.

Su, A & Al'Aref, S. J. (2018). History of 3D printing, in: *3D Print. Applied Cardiovascular Medicine*, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803917-5.00001-8>

Tibbits, S. (2017). *Active Matter*. Cambridge: The MIT Press.

Vincent, J.F.V., (1982). *Structural biomaterials*. London: Macmillan.

Vogel, S., (2003). *Comparative biomechanics: life's physical world*. Princeton,

Wang, Y. et al. (2009). Electrospun nanofiber meshes with tailored architectures and patterns as potential tissue-engineering scaffolds. *Biofabrication*, 1, 015001

Wohlers, T. & Gornet, T. (2016). *History of Additive Manufacturing*. Fort Collins

Y. He, F. Yang, H. Zhao, Q. Gao, B. Xia, J. Fu, *Sci. Rep.* 2016, 6, 1. A. Skardal, A. Atala, *Ann. Biomed. Eng.* 2015, 43, 730. J. M. Lee, W. Y. Yeong, *Virtual Phys. Prototyping* 2015, 10, 3. F. Krujatz, A. Lode, S. Brüggemeier, K. Schütz, J. Kramer, T. Bley, M. Gelinsky, J. Weber, *Eng. Life Sci.* 2015, 15, 678.

Yang, S., Leong, K. F., Du, Z., Chua, C. K. (2002). *The Design of Scaffolds for Use in Tissue Engineering. Part II, Rapid Prototyping Techniques*. *Tissue Engineering*, 8, 1-11

Yeong, W., Sudarmadji, N., et al., (2010). Porous polycaprolactone scaffold for cardiac tissue engineering fabricated by selective laser sintering. *Acta Biomaterialia*, 6 (6), 2028-2034.  
Benyus, J.M., (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Quill.

Z. Liu, M. A. Meyers, Z. Zhang, R. O. Ritchie, *Prog. Mater. Sci.* 2017, 88, 467.

Zhang YP, Sun J, Ma Y. *Biomanufacturing: history and perspective*. *J Ind Microbiol Biotechnol.* 2017 May;44(4-5):773-784. doi: 10.1007/s10295-016-1863-2. Epub 2016 Nov 11. PMID: 27837351.





PARTE III  
Conclusioni

## CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Il progetto si propone come indagine delle implicazioni e del significato che la duplice convergenza (tecnologica e culturale) tra la biologia e l'artificio apporta nella cultura del design, sia negli approcci che nelle potenzialità immaginative e produttive di nuovi artefatti. Questa mutazione concettuale è da considerarsi infatti una possibile opportunità per concretizzare un nuovo sistema progettuale ispirato alla natura nella creazione di prodotti e processi integrati con l'ambiente. Nello specifico, si fa riferimento al dominio del bio-digitale, uno spazio di conoscenza convergente in cui il pensiero computazionale incontra le questioni biologiche (Lockton, Ranner, 2017) e in cui design, biologia e tecnologia tendono ad evolvere in maniera integrata e a sincronizzarsi, generando nuovi prodotti e servizi ibridi che si collocano nell'interspazio tra la dimensione sintetica e quella biologica definendo nuovi biofuturi. In particolare, possiamo suddividere le finalità in 3 obiettivi generali, e conseguenti 3 obiettivi specifici:

**OG1:** *Indagare i nuovi scenari e opportunità di innovazione dati da una nuova forma di industria bio-digitale in cui fisico-digitale-biologico si nutrono a vicenda.* Tali opportunità sono da intendersi sia da un punto di vista fattuale (prodotti ibridi), sia da un punto di vista epistemologico/metodologico (domini di convergenza design-bioscienze)

**OG2:** *Indagare come cambiano gli approcci al design nel momento in cui al paradigma del "mondo come una macchina" sostituiamo il "mondo come un organismo". Gli obiettivi e le metodologie di design infatti si fanno sempre più complesse ed olistiche, spinte soprattutto da una situazione di crisi che però stimola nuove modalità di pensiero.* Stimolare dunque anche una dimensione più critica del design per affrontare le possibilità del bio-digitale è importante, perchè la Biorivoluzione in atto si pone più come sfida culturale.

**OG3:** *Capire come cambia il modo di progettare ed immaginare i*

*prodotti in vista di un'estensione delle qualità produttive biologiche alla materia stessa.* I designer infatti, si interfacciano sempre più con nuovi linguaggi, come quello di "sistema materico" o quello di "differenziazione per integrazione", che presuppongono un diverso modo di pensare e di progettare capace di combinare le due facce del bio-digitale: il computazionale e il biologico.

Di conseguenza gli obiettivi specifici sono stati:

**OS1:** *Sperimentare nuove tecniche di manifattura ibrida, in grado di allineare obiettivi e interessi propri della scienza e del design, nonché di venire incontro alle complesse esigenze della società, stimolando scenari applicativi e concept di prodotto sostenibili, intelligenti e specifici.* Ci si è concentrati sulla biostampa, come una di quelle tecniche che, inizialmente confinata all'ambito scientifico, si apre sempre più al design. Essa permette di combinare parametri fisici, digitali, biologici per riprodurre "materialità" ibride e performative come quelle viventi.

**OS2:** *Realizzare un'esperienza anti-disciplinare che permettesse di accrescere anche la riflessione sulle pratiche del bio-digitale (ed in generale dell'evoluzione) attraverso modalità alternative di dialogo attivo e attività di co-progettazione orientate ai nuovi approcci post-antropocentrici.* Il postumanesimo critico, fervente fautore del post-antropocentrismo, richiede infatti un cambio di prospettiva, che sia antigerarchica e mutualistica, e allo stesso tempo richiede operatività ed esperienza.

**OS2:** *Restituire una sintesi chiara su come sta cambiando il pensiero e il nostro approccio alle tecnologie, influenzato sia da un diverso modo di produrre i prodotti, sia da un diverso modo di concepire la realtà. Che serva da visione strategica e da strumento di navigazione tra le visioni sovrapposte e concorrenti in cui siamo immersi, affinché l'innovazione post-antropocentrica, naturocentrica e naturalizzata, diventi un'attitudine.* Il concetto di Bio-Augmented Materiality non

si pone infatti come una vera e propria metodologia, ma come modalità di pensiero e bacino di priorità strategiche che si auspica stimolino la creatività dei progettisti approcciandosi alle potenzialità del bio-digitale in maniera propositiva ed etica.

La tesi riflette la struttura degli obiettivi e la stretta correlazione tra obiettivi generali e obiettivi specifici, secondo un movimento dal macro al micro per poi tornare al macro, specchio di un approccio sistemico, antidisciplinare e di ricerca-azione che costituisce il supporto metodologico di tutta la ricerca svolta. In particolare, gli obiettivi generali si pongono come indagine di tre aspetti specifici ritenuti di interesse dall'autrice nel contesto scelto della Biorivoluzione quale convergenza – tecnologica e culturale – tra natura e artificio, e vengono approfonditi in maniera trasversale in tutti i capitoli attraverso la descrizione di ricerche di tipo teorico e progettuale-sperimentale. Gli obiettivi specifici invece, si focalizzano su vere e proprie "azioni di ricerca" per l'approfondimento, che vengono descritte nei paragrafi di "Esperimenti" e in alcuni capitoli dedicati. Gli scenari e le opportunità di innovazione date dal biodigitale (OG1) vengono approfondite nel secondo capitolo "Natura e Progetto"; nel terzo capitolo "Innovare sulle interrelazioni" e nel quarto e sesto capitolo di focus rispettivamente sulla Biorivoluzione e sulla Biostampa. Il secondo capitolo, che indaga il rapporto evolutivo tra natura e design, approfondisce il campo del bio-digitale quale opportunità di progettare e creare prodotti ibridi – sia nei materiali che nei comportamenti – e dunque di trasferire caratteristiche e qualità biologiche all'artificio. Inoltre, la possibilità di interagire con la natura su più scale, porta il progetto a confrontarsi sempre più con le logiche biologiche e ad esplorare domini sperimentali di convergenza con le contemporanee bioscienze. Nel terzo capitolo, in particolare nel primo paragrafo "Fisico-digitale-biologico", l'attenzione verte sulle interrelazioni tra le dimensioni della realtà stimolate dallo sviluppo tecnologico e su come esse stiano aprendo la strada ad approcci all'innovazione aperti, produttivi ed inventivi, allineati a quelli biologici. I capitoli di approfondimento invece, in particolare il sesto sulla Biostampa, si addentrano in aspetti più specifici della Biorivoluzione in atto ed in particolare, su nuove tecniche di manifattura ibrida in grado di allineare obiettivi e interessi propri della scienza e del design, nonchè di rendere le logiche produttive ed inventive sempre più simili a quelle del vivente (OS1). L'obiettivo specifico di affiancare la ricerca sperimentale a quella

teorica è stato perseguito con lo sviluppo di una Biostampante in collaborazione con il Bioprinting&Biofabrication Group del centro E. Piaggio di Pisa e da sperimentazioni materiche relative che hanno visto il coinvolgimento anche di alcuni Dipartimenti (il Dip. di Biologia e Biotecnologie "C. Darwin" e il Dip. di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale) e laboratori (Saperi&co) di Sapienza Università di Roma. Per tornare dal micro al macro, i risultati raggiunti dalla ricerca *on field* rappresentano dunque supporto e dimostrazione delle potenzialità di innovazione individuate dalla ricerca *on desk*.

Sul mutamento degli approcci e degli obiettivi del design dati dal diffondersi di paradigmi simil-biologici (OG2), si focalizzano invece il primo capitolo "Verso un design decostruzionista"; il secondo paragrafo del terzo capitolo "Uomo-natura-artificio" e parte del quinto capitolo sul concetto di "Bio-Augmented Materiality". L'attenzione si rivolge soprattutto agli aspetti culturali della Biorivoluzione, caratterizzati dal prevalere di prospettive post-antropocentriche e da nuove consapevolezze per la biologia e l'ecosistema. In particolare, viene mostrato come l'estensione del progetto (interfaccia dell'artificio) ad ambiti finora considerati di sola competenza della natura, inneschi un atteggiamento critico e di progettualità dialettica, basato sulla volontà di rinnovare i linguaggi, le visioni e le prospettive che hanno finora contraddistinto il nostro modo di pensare. A supporto di tali ricerche, per la maggioranza teorico-filosofiche, sono state svolte attività specifiche e antidisciplinari al fine di accrescere consapevolezza critica e riflessione strategica sulle complesse e stratificate questioni della Biorivoluzione (OS2). Queste attività si sono sostanziate in un percorso di ricerca dal titolo "Biovision of the Future", svolto in collaborazione con Stefano Marzano (ex CEO Philips Design) e Reon Brand (Senior Director Foresight and Socio-Cultural trends at Philips Design) e che hanno visto il coinvolgimento di numerosi esperti e studenti di dottorato in diverse discipline (filosofia, future studies, economia, sociologia, giurisprudenza, ingegneria, teologia, design, architettura, biologia, ecc.) e provenienti da più università (Sapienza Università di Roma, Università di Trento, Università Cattolica di Milano, Università di Pisa, ecc.) ed enti (Future Concept Lab, Pontificio Consiglio della Cultura, Castello di Rivoli Museo d'Arte Contemporanea, ecc.). In particolare, "Biovision of the Future" è stato caratterizzato da quattro tappe, ciascuna descritta in un paragrafo di "Esperimenti" (capitoli 1-3-4). La prima tappa si è sostanziate in un critical round table sui temi della Biofabbrici-

cazione; la seconda in una lecture a due voci con relatori Stefano Marzano e Reon Brand su design e post-antropocentrismo; la terza è stata una giornata-studio sulla ricerca avanzata in Sapienza, dalla robotica alla microbiologia; come quarta tappa è stato svolto un workshop della durata di cinque giorni, in cui gruppi interdisciplinari di dottorandi sono stati coinvolti in attività di co-progettazione di soluzioni post-antropocentriche. Anche in questo caso, i risultati delle attività sperimentali costituiscono ulteriore supporto alla ricerca teorica approfondendo con conoscenze esperienziali i presupposti raggiunti.

Infine, il terzo obiettivo costituisce l'aspetto centrale della tesi ed ingloba in sé gli altri aspetti perché di essi ne è parte e conseguenza. In particolare, ci si concentra sul mutamento delle modalità immaginative e produttive dei nuovi artefatti data dalla combinazione di fattori tecnologici e culturali apportati dalla Biorivoluzione, fondamentalmente di tipo relazionale e sistemico (OG3). Questo aspetto, che viene approfondito maggiormente nel terzo paragrafo del terzo capitolo "Materiale-prodotto-performance" e nel quinto capitolo "Bio-Aumentare il Pianeta", si concentra principalmente su due aspetti principali (che costituiscono danno vita al concetto di "Bio-Augmented Materiality", centrale in tutta la tesi nonché suo titolo): 1) la "Bio-Augmentation", intesa come possibilità di estendere caratteristiche e finzionalità del vivente ai processi generativi e agli elementi performativi degli output progettuali; 2) la "Materialità", intesa non come materia fisica ma "sostanza delle relazioni materiali", immettendo livelli gerarchici - e dunque informazione - tra le strutture della realtà tangibile, aprendo nuove strade concettuali ed inventive di trasformazione materica che hanno come scopo ultimo quello di comprendere le qualità profonde che la materia può esprimere, in termini tecnici, estetici e simbolici. Il concetto di Bio-Augmented Materiality, ispirato alle dinamiche della crescita biologica, si pone quindi come strumento di visualizzazione e navigazione tra le idee sovrapposte e concorrenti in cui siamo immersi, ed è caratterizzato da quattro priorità strategiche (o obiettivi strategici) per l'innovazione post-antropocentrica attraverso le potenzialità del biodigitale: a partire da un livello di astrazione "semplice" (MICRO) fino ad una progettazione più "olistica" (ECO), le quattro priorità riassumono alcune strategie possibili di relazione tra natura-artificio, tangibile-intangibile mediate dalle tecnologie (metodo computazionale, fisico, biotecnologico, metafisico). Alla "Bio-Augmented Materiality" sono stati dati anche alcuni oggetti

e sono state definite per essa alcune strade possibili. In prospettiva futura, si auspica che i risultati della ricerca stimolino nuove vie inventive e produttive nel campo del bio-digitale e che guardano alla tecnologia come "disvelamento" di nuove forme di co-esistenza tra uomo e natura, tecnologia ed ecologia. Sia la strutturazione dei capitoli che la concettualizzazione della "Bio-Augmented Materiality" infatti, hanno voluto stimolare un approccio aperto e rizomatico all'innovazione e alla cultura del progetto, che proprio come in un processo di crescita, si sostanzia in un continuo scambio di informazioni e conoscenza tra i fattori interni e con l'esterno, ri-organizzandosi di volta in volta in configurazioni flessibili e adattive.

Infine, da un punto di vista pratico, l'autrice auspica ad approfondire due aspetti specifici della ricerca svolta:

1) perfezionare la concettualizzazione della "Bio-Augmented Materiality" con altri *workshop* ed esperienze progettuali al fine di restituire anche risultati tangibili e dimostrativi di questa "filosofia progettuale"

2) approfondire le sperimentazioni sulla biostampa di biocompositi a base di chitosano e sulla loro degradabilità controllata. In particolare si vuole proseguire lo studio sulle diverse miscele e soprattutto sugli aspetti computazionali di variabilità geometrica e strutturale. L'obiettivo è quello di realizzare veri e propri prodotti dimostrativi che, in continuità con il punto precedente, possano essere di aiuto ad una maggiore diffusione e approfondimento di tutto l'impianto teorico-progettuale, nonché stimolo per nuove sperimentazioni.

