

VERSO UNA CYBER-ECOLOGIA

TOWARDS A CYBER ECOLOGY

Carlo Ratti, Daniele Belleri

ABSTRACT

Il saggio illustra come i progettisti stiano promuovendo una straordinaria doppia convergenza tra il mondo naturale e quello artificiale. Dopo secoli di conflitti, la realtà dell'Antropocene e l'impellenza del cambiamento climatico ci spingono a concentrare i nostri sforzi verso una integrazione tra l'ambiente e le creazioni dell'uomo – in un contesto in cui le tecnologie digitali e l'Internet of Things possono fornirci strumenti operativi. La prima faccia della medaglia – trasformare il mondo naturale in un 'cyborg' potenziato artificialmente – ha già guadagnato slancio e influenza culturale. L'altra – animare il mondo artificiale perché funzioni in armonia con la natura e gli esseri viventi – rappresenta un percorso sul quale abbiamo appena mosso i primi passi. Con lo studio di progettazione CRA – Carlo Ratti Associati, attraverso mostre e sperimentazioni sviluppate a livello internazionale, spesso in collaborazione con Italo Rota, abbiamo esplorato due strategie principali per 'animare l'artificiale': attraverso la computazione o attraverso l'incorporazione di elementi naturali nel progetto. Le nostre teorie derivano dalla pratica quotidiana e a loro volta chiamano in causa nuovi scenari politici, ecologici ed evolutivisti attraverso i quali poter comprendere al meglio il compito che ci attende.

This essay traces how designers are facilitating an extraordinary, double convergence between the natural and artificial worlds. After centuries of conflict, the reality of the Anthropocene and the urgency of climate change demand that we work at the intersection of our environment and our creations. Additionally, the birth of digital technologies and the Internet of Things could give us the tools to manage this interface. The first side of the coin – making the natural world into an artificially-enhanced 'cyborg' – has already gained momentum and cultural purchase. The other path – animating the artificial world to make it work in harmony with nature and living things – is a place where we have only just begun to take our first steps. In the design practice CRA – Carlo Ratti Associati's firsthand work with exhibitions and experiments across the globe, often developed in collaboration with Italo Rota, we have explored two main strategies: animating the artificial with distributed computing or literally incorporating natural elements in design. Our theories are coming from our daily practice, which in turn demands new political, ecological, and evolutionary frameworks to understand the task before us.

KEYWORDS

biofilia, artificiale, internet of things, antropocene, Carlo Ratti Associati

biophilia, artificial, internet of things, anthropocene, Carlo Ratti Associati

Carlo Ratti, Engineer and Architect, teaches at the Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA), where he directs the Senseable City Lab. He is a co-Founder of the design and innovation office CRA – Carlo Ratti Associati.

Daniele Belleri is a Design Editor. He graduated at the Strelka Institute in Moscow (Russia), and was an Executive Curator at the 8th Bi-City Biennale of Urbanism/Architecture in Shenzhen. He is a partner at the design and innovation office CRA – Carlo Ratti Associati.

Nella sua opera seminale *The Sciences of the Artificial*, l'economista premio Nobel Herbert Simon (1969) ha elaborato una base teorica per lo studio dei fenomeni empirici definiti come 'artificiali' e non 'naturali'. Secondo Simon, alcune cose sono artificiali perché il loro essere è conseguenza di un sistema modellato, da obiettivi o scopi, per l'ambiente in cui si trovava (Simon, 1969, p. xi). Questa proprietà caratterizza i manufatti di molte attività umane: dall'ingegneria alla medicina, dall'impresa all'architettura e persino alla pittura. Simon presentava il design come elemento chiave per indagare l'artificiale: la possibilità di creare una scienza o delle scienze del design è tanto importante quanto quella di creare una qualsiasi scienza dell'artificiale. In seguito, Simon distingueva succintamente gli ambiti divergenti dei diversi progetti scientifici; le scienze naturali riguardano 'le cose come sono' mentre il design riguarda il modo in cui 'le cose dovrebbero essere' (Simon, 1969, p. 114).

Questi concetti sono stati formulati mezzo secolo fa, in un periodo in cui la computazione era agli inizi e non era stata ancora pienamente compresa la portata dell'impatto del genere umano sulle condizioni ambientali. Nello scenario presente, la proposta di Simon di ripensare, attraverso il design, la relazione tra i mondi del naturale e dell'artificiale è più attuale che mai. L'urgenza di questa necessità si è intensificata nel XXI secolo, in parallelo sia con la crescente presenza delle tecnologie digitali nel mondo fisico e biologico, sia con la diffusa preoccupazione per gli effetti negativi del cambiamento climatico. Nello specifico, la visione dell'Antropocene (Falcon-Lang, 2011), un concetto sviluppatosi nell'ultimo ventennio il quale affermava che i principali cambiamenti delle condizioni del nostro Pianeta derivano dall'attività dell'uomo, sta spingendo i progettisti a superare la visione secondo cui la natura è una entità essenzialmente distaccata dall'essere umano. Riconoscere come il mondo naturale e quello artificiale siano interconnessi ci consente di iniziare a immaginare strumenti per invertire, o perlomeno affrontare, le conseguenze del degrado ambientale che sta interessando il nostro pianeta.

L'Antropocene ha rafforzato una delle intuizioni di Simon, ovvero che il mondo biologico non sempre è anche naturale. L'economista portava ad esempio un campo arato per illustrare come il mondo biologico può essere – ed è spesso reso – artificiale, cioè modellato su un motivo definito o uno scopo attraverso un processo di progettazione. In modo simile, ma seguendo una traiettoria opposta, può il mondo artificiale, delle città e degli edifici, diventare più naturale? In che modi possono le tecnologie digitali facilitare questa doppia convergenza? E cosa succederebbe se questa unione tra naturale e artificiale diventasse prassi comune? Nello studio CRA – Carlo Ratti Associati, abbiamo avuto il privilegio di affrontare questa sfida in molti casi concreti, diversi dei quali sono stati sviluppati in collaborazione con Italo Rota, dandoci modo di indagare sulle domande filosofiche che riguardano questa trasformazione. Analizzeremo questa convergenza seguendo due direzioni: dal naturale all'artificiale e, in senso opposto, dall'artificiale al naturale.

Dal naturale all'artificiale: la nascita del cyborg | Storicamente, l'aspetto più esaminato della relazione naturale/artificiale è quello che riguarda il movimento dal naturale all'artificiale. Alla scala umana, questo è rappresentato dalla nascita del cyborg. Una decina di anni fa, l'antropologa americana Amber Case ha lanciato una provocazione sostenendo che siamo dei cyborg ogni volta che guardiamo lo schermo di un computer o usiamo un cellulare (Case, 2010): affermazione che oggi sembra ancor più veritiera. Un recente report di Nielsen (2018) ha evidenziato che l'americano medio trascorre più di 11 ore al giorno immerso nei media, la maggior parte fruendoli attraverso lo schermo di un dispositivo elettronico. Il cyborg, una creatura in cui biologia e tecnologia si fondono, affascina gli uomini da decenni; sebbene il termine sia stato coniato nel 1960, sono poi stati autori come Donna Haraway (1991) e Antoine Picon (1998) ad averlo mutuato per caratterizzare la crescente dipendenza dell'umanità dalla tecnologia nella società contemporanea.

Nel 1980, la nascente 'teoria cyborg' postulava che la condizione del cyborg rappresentasse un nuovo paradigma dell'esistenza sociale-biologica-tecnologica dell'uomo. Haraway ha articolato una dimensione sociale della teoria cyborg, collegandola all'emancipazione della condizione femminile e aprendola così a un più ampio dibattito. I cyborg, per lei, sono entità ibride tipiche del secondo dopoguerra, costituite, in primo luogo, da noi stessi e da altre creature organiche in una inconsapevole veste 'altamente tecnologica', oltre che da sistemi di informazione e di lavoro, desiderio e riproduzione controllati ergonomicamente. Altra caratteristica fondamentale nei cyborg è l'essere macchine all'aspetto (Haraway, 1991, p. 1) e nel caso del moderno cyborg, la componente artificiale è diventata una 'dinamica' estensione dei nostri corpi e delle nostre menti. Le tecnologie digitali mettono in scena uno scambio cibernetico costante e bidirezionale in modi che le tradizionali estensioni (unidirezionali) del corpo umano non hanno mai fatto. Il corpo umano, sempre più ibridato dalla tecnologia, diventa così meno naturale e più artificiale.

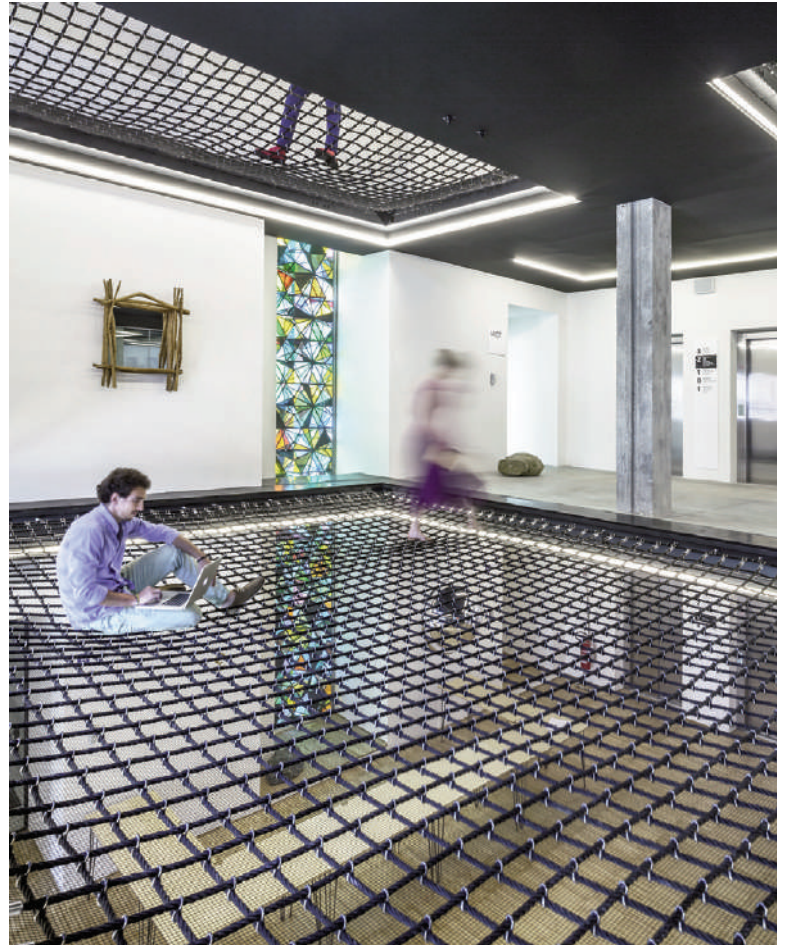
Dall'artificiale al naturale: visioni cibernetiche | Mentre la storia del naturale che diventa artificiale, e dunque il processo di trasformazione in cyborg, è stata ampiamente descritta, i percorsi attraverso cui l'artificiale può diventare naturale sono meno conosciuti. Per lo più, essi possono essere inquadrati come parte di una serie di applicazioni sperimentali, pratiche e teoriche, le quali si collocano sui punti d'incontro tra design e informatica. Uno dei primi pensatori contemporanei ad aver discusso ampiamente la somiglianza tra sistemi animati e inanimati è stato Norbert Wiener, il padre del movimento cibernetico. Wiener (1965), un matematico americano autore del libro *Cybernetics – Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, nel 1948 sosteneva che la maggior parte dei sistemi, sia viventi che non viventi, procedono attraverso una serie di 'circuiti di feedback', incorporando sensori e attuatori per regolare e modificare le loro condizioni in risposta a stimoli esterni. Nei decenni seguenti, la vi-

sione di Wiener ha ispirato innumerevoli sperimentazioni sia in architettura che nel management, tutte ambiziose anche se quasi sempre destinate a fallimenti o a ridimensionamenti importanti. Tra queste citiamo il Fun Palace, edificio in grado di mutare forma progettato dall'architetto inglese Cedric Price (Price, 1965), e il Project Cybersyn (Medina, 2011), un breve tentativo di utilizzare i computer per gestire in modo centralizzato, ben prima dell'era del World Wide Web, la pianificazione centrale delle attività economiche nel Cile di Salvador Allende.

La maggior parte delle speranze riposte nella cibernetica sono rimaste insoddisfatte e limitate alla sola teoria. Le teorie del tempo precorrevano le attuali potenzialità tecnologiche, e spesso si infransero come onde contro la barriera di una realtà che non era ancora al passo con la loro ambizione. Tuttavia, quelle stesse idee hanno avuto il potere di continuare a influenzare ricercatori e studiosi. Alla fine del XX secolo, gli sviluppi della tecnologia iniziati negli anni '80 finalmente hanno contribuito alla realizzazione di alcuni degli scenari futuri previsti da Wiener. In particolare, la pervasività delle tecnologie digitali sin dall'inizio del XXI secolo ha lasciato spazio a nuovi scenari. Mark Weiser, un informatico che lavorava allo Xerox Parc in California, già a metà degli anni '90 descriveva questo panorama con il termine 'ubiquitous computing'. La sua speranza era quella di una tecnologia non invasiva, ma anzi in grado di recedere sullo sfondo della vita delle persone, conferendo agli oggetti la capacità di rispondere in tempo reale ai cambiamenti delle condizioni esterne (Weiser, 2002): in sintesi, esattamente la promessa della rivoluzione digitale applicata al mondo artificiale. Tale convergenza di bit e atomi, a volte etichettata come Internet of Things, crea la possibilità di 'animare l'artificiale'. Sensori, attuatori e intelligenza artificiale sono capaci di infondere nuova vita all'ambiente, rafforzando la continuità tra esseri animati e sistemi inanimati. A sua volta, questo fenomeno senza precedenti si traduce nel cambiamento più radicale che abbia mai interessato i campi della progettazione e della costruzione e lo stesso funzionamento del nostro ambiente costruito.

In diverse occasioni, tra mostre e sperimentazioni internazionali, lo studio CRA ha osservato due possibili metodi per utilizzare gli strumenti digitali, con l'obiettivo di animare l'artificiale – e così avvicinarlo al mondo naturale.

Animare l'artificiale: metodo computativo | Il primo metodo per rendere l'artificiale più prossimo al naturale è animarlo tramite computazione. Con lo studio CRA, abbiamo esplorato la possibilità di un'architettura vivente – cioè in grado di 'percepire e rispondere' – su scale diverse, dagli oggetti di arredo fino a padiglioni temporanei e intere porzioni di città. Uno dei maggiori vantaggi di rendere responsivo l'ambiente costruito è la possibilità di modificarlo a misura dei bisogni dei suoi fruitori. Per esempio, consideriamo il modo in cui viene regolata la temperatura negli edifici: riscaldiamo e raffreschiamo i nostri edifici senza preoccuparci troppo della effettiva presenza o meno delle persone, o delle loro preferenze: così facendo, spesso sprechiamo energia per riscaldare e illumina-



Figg. 1, 2 | CRA – Carlo Ratti Associati, Fondazione Agnelli (credits: B. Giardino, 2017).

re edifici vuoti o poco occupati. Possiamo usare le tecnologie digitali per rendere l'ambiente costruito più reattivo? Gli esseri umani inseguono il calore sin dall'età della pietra – non potremmo fare in modo che il calore segua l'uomo?

Questa l'idea sottesa nel Local Warming (Senseable City Lab, 2012), un prototipo sperimentato all'esterno dell'edificio principale del MIT a Cambridge (Massachusetts), in cui sensori di tracciamento del movimento seguivano gli spostamenti degli individui e utilizzavano fasci collimati per produrre un calore localizzato intorno a ciascuna persona. Qualche anno dopo, nell'intervento per la sede della Fondazione Agnelli a Torino (CRA, 2017a; Figg. 1, 2) abbiamo impiegato questi principi per un'applicazione permanente. Gli utenti dell'edificio potenzialmente godono di quella che potremmo chiamare una 'bolla termica' personale che li segue nei loro spostamenti all'interno degli spazi e si adatta alle loro preferenze di calore e luce, grazie ai dati da loro inseriti in un'app per smartphone. Questo sistema non garantisce soltanto maggiore comfort, ma anche un notevole risparmio sui consumi energetici.

Un approccio simile, in condizioni climatiche opposte, ha portato alla progettazione di Cloud Cast (Howarth, 2015; Fig. 3), un elemento di copertura, ideato per seguire il movimento di chi si muove al di sotto di esso, che emette un flusso di vapore acqueo rinfrescante. La reattività di questo sistema di diffusione ricorda la reattività degli esseri viventi, i cui corpi sono perfettamente regolati per sfruttare al massimo le risorse di-

sponibili. Animare i sistemi di erogazione d'acqua favorisce efficienza e modularità ma permette anche nuove forme di espressività. Il Digital Water Pavilion (CRA, 2008a; Figg. 4, 5), costruito all'ingresso dell'Expo di Zaragoza 2008, utilizzava getti d'acqua per formare pareti che potevano apparire e sparire a comando, capaci di generare scritte e pattern dinamici, con conseguente divertimento dei bambini. Da tutti questi esempi si evince che, proprio come gli esseri viventi diventano cyborg quando gli elementi tecnologici vengono incorporati nella loro vita, gli edifici e le strade subiscono una trasformazione speculare quando vengono animati: si potrebbe dire che diventano dei robot. L'Enciclopedia Britannica definisce il robot 'un qualsiasi dispositivo ad attivazione automatica che sostituisce il lavoro umano' (Moravec, 2020). Possiamo però adottare una definizione più precisa, indicando un robot come un elemento che incorpora sensori, intelligenza e attuatori e che è così in grado di leggere il mondo, processare informazioni e poi rispondere in modo adeguato.

Un termostato, una macchina in modalità di guida assistita e un forno sono dei robot; anche una bicicletta può essere un robot se incorpora la nostra Copenhagen Wheel (Chandler, 2009; Fig. 6): un dispositivo smontabile che può trasformare una qualsiasi bicicletta in un veicolo ibrido, capace di raccogliere i dati delle nostre pedalate giornaliere. Il nostro onnipresente smartphone, ovviamente, è un robot di cui non ci dobbiamo dimenticare. Persino un divano può essere un robot. Nel 2016, abbiamo lavorato con

l'azienda svizzera di design Vitra per creare il prototipo di Lift-Bit (CRA, 2016; Fig. 7), una serie di pouf esagonali modulari i quali possono essere sollevati e abbassati per formare letti, sedie, divani e persino piccoli auditorium (nel caso in cui riempiano un'intera stanza). Per molto tempo, abbiamo immaginato che i manufatti creati dall'uomo dovessero attenersi a scopi ben predefiniti: una logica chiara tanto sugli scaffali delle ferramenta, quanto nelle asset class del settore real estate. Lift-Bit, al contrario, ci ricorda che gli spazi artificiali e gli oggetti non devono essere così vincolati. Se lasciato inutilizzato, in omaggio a Cedric Price, Lift Bit inizia a muoversi e variare la propria altezza in modo autonomo.

Curiosamente, la nostra idea di robot si è ampliata anche se questi ultimi sono diventati sempre meno antropomorfi. Se anche non 'sommiglieranno' agli esseri umani, consideriamo la seguente metafora biologica per riassumere questo processo di trasformazione: animando l'artificiale 'tramite computazione', l'architettura può diventare come una terza pelle che ci avvolge, uno spazio infinitamente riconfigurabile in grado di adattarsi ai bisogni umani, piuttosto che il contrario.

Design e natura: un'evoluzione storica | Esiste un secondo metodo per animare l'artificiale: non tramite computazione, ma attraverso l'aggiunta diretta di elementi naturali nel progetto. Tale pratica non viene messa in atto per fini decorativi, quanto piuttosto, per incoraggiare un cambio di paradigma. Si tratta di trovare nuovi

modi per colmare il divario storico tra città e campagna, affermando un'idea di ambiente costruito in cui quest'ultimo diventa uno spazio in cui l'essere umano può coesistere con altre forme di vita. Il risultato finale di tale approccio sarebbe quello di contribuire al soddisfacimento dell'innato desiderio che l'uomo prova per la natura: la nostra 'biofilia', per prendere in prestito un termine del biologo di Harvard Edward O. Wilson (1984). Prima di prendere in esame alcuni esempi di questo secondo metodo, tuttavia, vorremmo richiamare a brevi cenni alcuni episodi nella storia moderna del rapporto tra i mondi della progettazione e degli elementi naturali. In effetti, molto prima che Wilson inquadrasse la nostra 'brama di relazionarci con altre forme di vita' nella sua 'ipotesi di biofilia', gli architetti avevano sempre saputo che il loro lavoro esisteva in relazione al mondo naturale, perlomeno come interfaccia con quest'ultimo. In una sua famosa frase, Le Corbusier definisce l'architettura 'il gioco sapiente, corretto e magnifico dei volumi raggruppati sotto la luce' (Le Corbusier, 2007, p. 246).

Con il passare dei secoli, i pensatori dell'Illuminismo hanno immaginato il mondo artificiale sia diverso sia in conflitto con quello naturale. Le incisioni eseguite dall'architetto italiano Giovanni Battista Piranesi nel XVIII secolo (Marini, 2007) documentavano le rovine dell'antica Roma viste come opere artificiali conquistate dalla natura. Sebbene tale interpretazione avrebbe potuto non essere estranea agli stessi antichi a cui quelle rovine erano appartenute, nei tempi moderni quel filone è diventato dominante nel pensiero occidentale. È stato ad esempio centrale per Eugène Viollet-le-Duc, il quale lavorò alla Cattedrale di Notre Dame nel XIX secolo aggiungendo una nuova guglia per riportare l'edificio a un ideale artificiale di 'completezza che potrebbe non essere mai esistita in alcun momento' (Viollet-le-Duc, 2009). Quando la guglia è andata persa nel terribile incendio del 2019, si è acceso un animato dibattito sul se (o come) ripristinarla. John Ruskin, critico d'arte inglese e contemporaneo dello stesso Viollet-le-Duc, avrebbe sconsigliato di riportare indietro le lancette dell'orologio. Nel suo classico, *The Seven Lamps of Architecture*, Ruskin (1849) immaginava le architetture come esseri viventi, per i quali l'invecchiamento e la morte sono processi naturali, dotati di una loro bellezza, i quali non dovrebbero essere arrestati da una vana lotta per la permanenza.

Il corso della storia ha distaccato ulteriormente la natura dalla città. Tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, una moltitudine di persone si è trasferita dalle campagne alle metropoli in rapida crescita, portando le città europee a una crescita demografica senza precedenti. Man mano che queste città si espandevano, aumentavano il sovraffollamento e l'inquinamento e la presenza di nuove masse popolari con rivendicazioni sociali e politiche. Tutti questi fattori ispirarono una nuova generazione di pensatori a mettersi alla ricerca di soluzioni possibili. In teoria, il loro obiettivo era di colmare il divario tra città e campagna. In realtà, ottennero un effetto quasi opposto.

In Gran Bretagna, la visione di Ebenezer Howard della Città Giardino del 1898 ha dato

origine a periferie alberate e spazi verdi nei sobborghi di Londra (Howard, 1902). Negli Stati Uniti, Frank Lloyd Wright ha cercato di bilanciare il mondo costruito e quello della natura attraverso la visione di una Broadacre City (Watson, 2019). In Francia, Le Corbusier ha elaborato città utopiche (Foundation Le Corbusier, n.d.) che avvolgevano perfettamente il mondo naturale. Purtroppo, molti di questi sogni rivoluzionari finirono per fare affidamento sulle automobili, tanto che contribuirono alla nascita dello sprawl urbano: gli spazi verdi e i parchi hanno ceduto il passo a infinite strisce di pavimentazione grigia e, invece di connettersi con la natura, la prima città giardino ha respinto ancora più a distanza il mondo naturale.

Nel momento in cui i progettisti hanno percepito l'inefficacia di alcune soluzioni, hanno cercato di cambiare rotta, esplorando nuove interpretazioni della relazione tra naturale e artificiale. All'indomani della Seconda Guerra Mondiale – lo stesso periodo che alcuni studiosi hanno proposto anche come possibile data di inizio dell'era dell'Antropocene – sono stati piantati i semi di una nuova sensibilità. Una delle prime ricerche si è sviluppata in Giappone, dove i bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki avevano dato a una generazione di progettisti un'anteprima scioccante di come l'azione umana potesse trasformare la Terra. I Metabolisti giapponesi rappresentano uno dei movimenti d'avanguardia architettonica più significativi degli anni '60 e '70 e hanno realizzato edifici espressamente progettati per 'decomporsi' e tornare infine al mondo naturale. Prefigurando quell'attenzione alla sostenibilità oggi prevalente, hanno inteso il loro lavoro come parte di un 'metabolismo' ciclico di più ampio respiro che poteva forse essere ignorato, ma al quale non si poteva sfuggire.

Animare l'artificiale: metodo materiale | Con la fine del XX secolo, le prime evidenze del cambiamento climatico sono diventate inconfutabili e una coscienza ambientale ha preso forza in molte società occidentali. A partire da questo periodo, nel mondo del design si sono

moltiplicati i tentativi di animare l'artificiale attraverso la natura, principalmente secondo due strade: attraverso l'integrazione di elementi verdi nell'architettura, oppure con sperimentazioni di nuovi materiali organici durante la costruzione. Un esempio della prima strada è costituito dalla High Line di New York City (Scherer, 2019): un parco sopraelevato, inaugurato nel giugno del 2009, realizzato a seguito della riconversione di una linea ferroviaria dismessa. Al parco Gardens by the Bay (n.d.) di Singapore si trovano i Supertree Grove, i cui pannelli fotovoltaici sono alimentati da energia solare mentre una 'chioma' di acciaio raccoglie l'acqua piovana per irrigare delle torri di verde verticale.

Un altro modo per integrare il mondo vegetale è accoglierlo negli spazi interni. Il designer francese Patrick Blanc ha svolto un lavoro straordinario in questo senso con le 'pareti verdi' e i 'giardini verticali' che ora rivestono gli interni e gli esterni degli edifici di tutto il mondo. Presso lo studio CRA, abbiamo lavorato con Blanc nel 2008 per progettare l'Unexpected Garden del Trussardi Dehor (CRA, 2008b; Fig. 8): una terrazza chiusa in stile francese sopra al pian terreno di un caffè di proprietà di una casa di moda a Milano, nella quale 100 metri quadrati di vegetazione ombreggiano gli interni e purificano l'aria, senza occupare spazio a terra. Sviluppando ulteriormente questo approccio, nel 2019 CRA ha vinto il concorso Re-inventing Cities di C40 con VITAE (CRA, 2019a; Figg. 9, 10), un edificio a Milano sud che include un vigneto urbano lungo 200 metri, accessibile al pubblico grazie a un percorso pedonale che si svilupperà da una nuova piazza verde fino al tetto.

A volte la presenza della natura può essere facilitata dalle nuove tecnologie, come nel caso dell'agricoltura urbana, per la quale i progressi nelle tecniche di coltivazione idroponica e aeroponica semplificano la coltivazione di ortaggi in spazi confinati. Difficilmente le città potranno mai sostituire le aree rurali nel ruolo di principale fornitore di viveri per il fabbisogno mondiale, ma nelle aree urbane ne potrà essere coltivata una percentuale sempre più consistente. Con CRA



Fig. 3 | CRA – Carlo Ratti Associati, Cloud Cast (credit: P. Leoni, 2015).



Figg. 4, 5 | CRA – Carlo Ratti Associati, Digital Water Pavilion (credits: R. Fazel, 2008; W. Nicolino, 2008).

abbiamo puntato a integrare l’IoT all’agricoltura con Hortus (CRA, 2017b; Figg. 11, 12), un padiglione pubblico a Bologna nel quale i visitatori possono piantare dei semi in alcune vasche idroponiche; in seguito, una serie di sensori digitali inviano i dati a un’app per smartphone, tramite la quale ciascuno può monitorare la crescita di ogni pianta e, come genitore orgoglioso, condividerla sui social media.

Quando c’è l’opportunità di lavorare su un nuovo progetto a partire da zero, è possibile intrecciare cavi elettrici e radici naturali. Il grattacielo CapitaSpring (Design Wanted, 2018; Figg. 13, 14) progettato da CRA con BIG – Bjarke Ingels Group, alto 280 metri e attualmente in costruzione a Singapore, è un’oasi tropicale che torreggia nel cuore di una metropoli per il resto artificiale. Piante e sensori sono integrati in tutto l’edificio e permettono ai visitatori di utilizzare l’Internet of Things per personalizzare la loro esperienza e le loro interazioni con gli elementi naturali – concetti già testati nei progetti Local Warming e Cloud Cast menzionati in precedenza.

La seconda strada per animare l’artificiale tramite elementi naturali riguarda la materia e il costruire. Si tratta di una strategia importante nella lotta al cambiamento climatico, poiché il settore edile è responsabile di quote significative del consumo energetico e dell’inquinamento atmosferico globali. Il metodo Baubotanik, sviluppato in Germania presso le Università di Stoccarda e Monaco e ispirato alla pratica millenaria di modellare gli alberi in forma di recinzioni o addirittura di ponti, ha il potenziale di far crescere nuove strutture architettoniche dal terreno (Ludwig, Schwertfeger and Storz, 2012). Manipolando la crescita di alberi e cespugli attraverso specifiche potature, piegature e altre tecniche è possibile realizzare muri, padiglioni e persino sedie.

Una delle prime sperimentazioni di CRA con la costruzione organica ha coinvolto l’uso di microalghe, organismi acquatici il cui potenziale fotosintetico supera di un ordine di grandezza quello dell’erba e degli alberi. Con Algaetecture (CRA, 2014), durante la Settimana de Design di Milano del 2014, abbiamo creato una copertu-

ra bio-digitale in cui acqua, CO₂ e calore, regolati con precisione da sensori digitali, alimentano delle pareti di alghe, le quali a loro volta rilasciano ossigeno. Qualche anno dopo, l’idea di impiegare i principi dell’economia circolare in architettura – sviluppando un edificio che possa partire dalla natura per poi tornare ad essa in modo metabolico – ha portato all’installazione sperimentale del Circular Garden (CRA, 2019b; Figg. 15, 16), progettato da CRA per conto dell’azienda energetica Eni. Gli archi del progetto sono stati coltivati per un periodo di sei settimane a partire dal micelio dei funghi, sono poi stati in mostra per un mese e sono infine tornati alla terra, fornendo minerali e sostanze nutritive al suolo. Il Circular Garden dimostra come, sfruttando l’intelligenza pre-programmata degli esseri organici, nei prossimi anni potremo realizzare progetti ambiziosi cercando di animare l’ambiente costruito.

Queste sperimentazioni realizzate con i materiali sono ancora agli inizi. Tuttavia, possiamo immaginare che il processo di incorporazione della natura potrà arrivare ad alterare la natura stessa. Infatti, immaginando un futuro speculativo, il passo successivo potrebbe essere quello di passare dalle alterazioni fisiche a quelle molecolari, intervenendo sul DNA. La celebre tecnica delle ‘forbici genetiche’ CRISPR-Cas9, alle cui creatrici è stato assegnato il premio Nobel per la Chimica nel 2020 (Fernholm, 2020), potrebbe fornirci indicazioni sui prossimi sviluppi.

Verso un’ecologia connessa | In tutti i metodi finora discussi possiamo osservare una storica convergenza bilaterale tra il mondo naturale e quello artificiale. Non soltanto il mondo naturale sta diventando artificiale in un onnicomprensivo paradigma ‘cyborg’ ma a sua volta il mondo artificiale sta diventando sempre più naturale. La sua ‘vivificazione’ può verificarsi attraverso la computazione o attraverso l’incorporazione diretta di elementi naturali o attraverso entrambi i fattori. Se all’orizzonte stanno rapidamente emergendo nuove prospettive, quali conseguenze produrrà tale fenomeno? Riteniamo che questa doppia convergenza porterà all’emergere di una nuova ecologia: un mondo in cui tutte le

componenti animate e inanimate che fanno parte dell’ambiente costruito apparterranno a un unico paesaggio. Potremmo chiamare questa dimensione ‘cyber-ecologia’. Il suo sviluppo è accelerato sia dai progressi digitali sia dalla impellente necessità di portare una più efficace consapevolezza ambientale nella pratica della progettazione.

La nuova ecologia incorpora i tradizionali meccanismi di feedback dei sistemi naturali, dalla crescita delle piante alla migrazione degli insetti, sfruttando al contempo le potenzialità del mondo digitale, estese nel contesto dell’Antropocene. Gli ecosistemi funzionano soltanto quando ogni elemento è responsivo al contesto: i sensori digitali, gli attuatori e le intelligenze artificiali possono contribuire al raggiungimento di questo obiettivo. Abbiamo già imparato come innestare la tecnologia al nostro corpo: ora dobbiamo collegare il mondo naturale ai nostri edifici e alle nostre città. Una volta messa in pratica, la ‘cyber-ecologia’ introdurrà una condizione urbana completamente nuova, in rottura con gli ultimi 150 anni di storia. Nell’epoca moderna, le città si sono profondamente allontanate dalla natura e dalla campagna. Esse stesse sono diventate i simboli di un dualismo tra mondo naturale e artificiale che oggi non è più sostenibile.

Gli architetti devono accogliere questo nuovo mondo, in tutta la sua vastità. Bruno Latour ha esortato i progettisti a espandere il proprio ruolo, in un campo d’azione che spazia dai dettagli degli oggetti quotidiani alle città, ai paesaggi, alle nazioni, alle culture, ai corpi, ai geni e alla natura stessa, promuovendo una nuova ‘ecologia politica’ che potrebbe consentire al modernismo di uscire dal suo vicolo cieco della storia (Latour, 2008, pp. 2, 13). Le idee di Latour hanno trovato eco ed espanso la celebre immagine della Spaceship Earth di Buckminster Fuller (The Buckminster Fuller Institute, n.d.), in una nuova variante in cui sia l’uomo che gli esseri non umani, dai microrganismi ai fiumi, sono soggetti da comprendere e di cui tenere in conto, a bordo di una sola nave comune che è priva di scialuppe di salvataggio. Albená Yaneva e Alejandro Zaera-Polo (2015) hanno dato a tale visione il nome di ‘cosmopolitica’.

Passando dal campo politico a quello scientifico, un'ecologia più inclusiva potrebbe cambiare i modi in cui applichiamo le teorie evolutive al mondo artificiale. In un testo del 1863, Darwin *Among the Machines*, lo scrittore Samuel Butler (1914) ha proposto un'analogia evolutiva per la tecnologia: sostituire gli organismi con i manufatti e classificare il mondo sintetico per generi e specie. L'architetto Phillip Steadman (1979) nel volume *Evolution of Designs* ha illustrato come la realizzazione del mondo artificiale, in costante evoluzione, sia legata alla biologia. Nella cyber-ecologia, possiamo immaginare un mondo di processi evolutivi congiunti, in cui i benefici aumentano all'aumentare delle intersezioni.

Il futuro delle forme architettoniche | Quale che sia l'interpretazione filosofica che attribuiamo alla nuova ecologia, è evidente che non si può più accettare una netta separazione tra i mondi artificiale e naturale. Le due realtà o si salveranno o si distruggeranno a vicenda, e i progettisti possono svolgere un ruolo chiave per determinare quale futuro potrà prevalere. Per usare ancora una volta le parole di Fuller, abbiamo la possibilità di essere gli architetti del nostro futuro, e non le sue vittime (Sieden, 2012, p. 117). Possiamo allora pensare che la nuova ecologia genererà una forma architettonica corrispondente? Nel 2008, esaminando una serie di progetti di CRA, tra cui il Digital Water Pavilion, Picon (2008) ha proposto l'idea di un 'digital minimal' come metodo per fare leva sul potenziale delle nuove tecnologie in architettura. Negli anni seguenti, su questa filosofia sono stati sviluppati da CRA molti progetti che respingevano lo stile del 'barocco digitale', la cui complessa progettazione parametrica può arrivare soltanto a imitare – in modo superficiale e non essenziale – le forme dinamiche degli esseri viventi. Al suo posto, con CRA abbiamo immaginato un'architettura responsiva e carica di sensori la quale possa arrivare a riprodurre i 'comportamenti' di un essere vivente, senza preoccuparsi di replicarne la forma.

Tra le molte sfide che aspettano gli architetti nei prossimi anni – e una che sarà particolarmente sentita a CRA – si trova la seguente: come si potrebbe evolvere l'estetica del 'digital minimal', una volta che si inquadra all'interno di una più ampia ecologia metabolica e inclusiva? Tra le discipline che hanno ispirato il suo lavoro su *Sciences of the Artificial*, Simon ha incluso la pittura insieme all'architettura e all'ingegneria. Così scriveva: «[...] Those things we call artifacts are not apart from nature. They have no dispensation to ignore or violate natural law. At the same time, they are adapted to human goals and purposes» (Simon, 1969, p. 3). Può questa visione essere il punto di partenza per una nuova architettura?

In his seminal book, *The Sciences of the Artificial*, the Nobel Prize-winning economist Herbert Simon (1969) embarked on a mission to establish a theoretical foundation for the study of empirical phenomena that are 'artificial' rather than 'natural'. According to Simon, cer-

tain things are artificial because «[...] they are as they are only because of a system's being moulded, by goals or purposes, to the environment in which it lives» (Simon, 1969, p. xi). This is what characterizes the contingent artifacts of many human endeavors – from engineering to medicine, business, architecture, and even painting. Simon put forward design as a key factor for investigating the artificial. «[...] The possibility of creating a science or sciences of design is exactly as great as the possibility of creating any science of the artificial [he wrote, before succinctly distinguishing the diverging scopes of different scientific projects:] The natural sciences are concerned with how things are. [...] Design, on the other hand, is concerned with how things ought to be» (Simon, 1969, p. 114).

These words appeared half a century ago, at a time when computation was in its infancy and the scale of humankind's impact over the Earth's environmental conditions was not yet fully grasped. Today, Simon's call for a design-driven rethink of the relationship between the natural and artificial realms is as cogent as ever. In fact, the urgency of this task has multiplied in the 21st century, in parallel with both the increasing penetration of digital technologies into the physical and biological world and a growing

concern over the pace of climate change. In particular, the vision of the Anthropocene (Falcon-Lang, 2011) – a concept emerged in the last two decades that posits that the main changes to the conditions of the Earth derive from human activity – is now compelling designers to discard a previous conceptualization of nature as an entity essentially detached from humankind. Acknowledging how the natural and artificial worlds are locked together allows us to start imagining tools to invert – or at least to cope with the consequences of – a dangerous trend of environmental degradation which is affecting our planet.

The Anthropocene reinforces one of Simon's insights, that the biological world is not always natural. Simon presents the example of a plowed field to illustrate how the biological world can be and is often rendered artificial – that is, molded to a goal or purpose through a design process (Simon, 1969). In a similar fashion, but following an opposite trajectory, can the artificial world – the world of cities and buildings – become more natural? How can digital technologies facilitate this double convergence, and what will happen if the natural and artificial fusion becomes widespread? In our own design practice, CRA – Carlo Ratti Associati, we have had the privilege to stare this challenge down in



Fig. 6 | MIT Senseable City Lab, Copenhagen Wheel (credit: M. Tomasinelli, 2009).

Fig. 7 | CRA – Carlo Ratti Associati, Lift-Bit (credit: M. Tomasinelli, 2016).

Fig. 8 | CRA – Carlo Ratti Associati, Unexpected Garden (credit: P. dell'Aquila, 2008).



Figg. 9, 10 | CRA – Carlo Ratti Associati, VITAE Milan (credits: CRA – Carlo Ratti Associati, 2019).

multiple concrete projects, many of them developed along with Italian designer Italo Rota, giving us the space to encounter some of the underlying philosophical questions that underpin this transformation. We will explore such convergence from two points of view: from the natural to the artificial and, conversely, from the artificial to the natural.

From natural to artificial: the birth of the cyborg | Historically, the most explored side of the natural/artificial relationship has been the movement from the natural to the artificial. At the human scale, this is epitomized by the birth of the cyborg. A decade ago, the American anthropologist Amber Case ventured so far as to say «[...] you are a cyborg every time you look at a computer screen or use a cellphone de-

vice» (Case, 2010). Today, her statement seems even more clearly true. A report by Nielsen (2018) found out that the average American spends more than 11 hours a day absorbing media, most of them mediated by an electronic device. The cyborg – a creature of intertwined biology and technology – has fascinated humans for decades. While the term was coined in 1960, it was later that authors like Donna Haraway (1991) and Antoine Picon (1998) mobilized it to characterise the growing dependence of humanity on technology in contemporary society.

In the 1980s, this nascent ‘cyborg theory’ posited the cyborg condition as a new paradigm of human social-biological-technological existence. Haraway articulated a social dimension of cyborg theory, connecting the concept to

emerging discourses around womanhood and propelling the idea into broader public debate. Cyborgs, she wrote, are «[...] post-Second World War hybrid entities made of, first, ourselves and other organic creatures in our unchosen ‘high-technological’ guise as information systems, texts, and ergonomically controlled laboring, desiring, and reproducing systems. The second essential ingredient in cyborgs is machines in their guise» (Haraway, 1991, p. 1). In the case of the modern cyborg, the artificial component has become a ‘dynamic’ extension of our bodies and minds. Digital technologies demand a constant and two-way cybernetic exchange in a way that our traditional (one-way) extensions, such as clothing or axes, have never done. In all these cases, we see the human body increasingly hybridized from technology, becoming less natural and more artificial.

From artificial to natural: cybernetic visions

| While the story of the natural becoming artificial – and thus the process of cyborg-ization – has been widely told, the trajectories along which the artificial can be made natural are less known. Mostly, they can be framed as part of a series of experimental applications, in theory and practice, at the intersection of design and computer science. One of the first contemporary thinkers who widely discussed the similarity between animate and inanimate systems was Norbert Wiener, the father of the cybernetic movement. Wiener (1965), an American mathematician who published the book *Cybernetics – Or Control and Communication in the Animal and the Machine* in 1948, argued that most systems, both alive and nonliving, proceed through a series of ‘feedback loops’, incorporating sensors and actuators to regulate and modify their conditions in response to external stimuli. In the following decades, Wiener’s vision inspired countless experiments in both architecture and management – all ambitious, even if almost always doomed for failure or downsizing. Among them, we would highlight the British architect Cedric Price’s shape-shifting *Fun Palace* (Price, 1965), or *Project Cybersyn* (Medina, 2011), a short-lived attempt to use computers to manage the centrally-planned economy in Salvador Allende’s Chile before the age of the World Wide Web.

Most cybernetic hopes remained unfulfilled and essentially theoretical. Their theories raced ahead of their technological capacity, breaking like waves against the walls of a reality that had not yet caught up with their ambition. However, they had the power to keep inspiring researchers and scholars. At the end of the 20th century, it so happened that the impressive technological acceleration that started of the 1980s finally conjured up some of Wiener’s forecasted futures. The pervasiveness of digital technologies that came to be since the beginning of the 21st century, in particular, generated a whole new scenario. Mark Weiser, a computer scientist working at Xerox Parc in California, was already describing this landscape with the term ‘ubiquitous computing’ in the mid 1990s. He hoped to search for a non-intrusive technology, capable of receding into the background of people’s

lives and ultimately of infusing any kind of object with the ability to respond in real time to changes in external conditions (Weiser, 2002). This is exactly the promise of the digital revolution applied to the artificial world. The convergence of bits and atoms, sometimes labelled as Internet of Things, creates the possibility of ‘animating the artificial’. Sensors, actuators, and artificial intelligence are capable of infusing new life into the environment, strengthening the continuity between living and inanimate systems. In turn, this is likely to be the most radically disruptive change that has ever recast the design, construction, and operation of our built environment.

In our firsthand work with exhibitions and experiments in different countries, we have explored two possible ways to use the emerging digital tools to achieve the objective of animating the artificial – and thus bringing it closer to the natural world.

Animating the artificial: the computational way

| The first way to make the artificial resemble the natural is animation through computation. At CRA, we have explored the possibility of a living architecture – one that can ‘sense and respond’ – at many scale, from objects to pavilions to entire neighborhoods. One of the most substantial advantages of making the built environment responsive is the possibility to tailor it on the needs of its users. For instance, let’s consider how we regulate temperature in buildings. We heat and cool our buildings in a standardized fashion, ignoring the presence and preferences of individuals and wasting a staggering amount of energy to heat and illuminate empty or partially occupied buildings. We can use are using digital technologies to make the built environment more responsive. If people have been following heat since the Stone Age, what if we could make the heat follow individuals instead?

This was the idea behind Local Warming (Senseable City Lab, 2012), an experiment first prototyped outside of MIT’s main building in Cambridge, MA in which motion-tracking sensors followed individuals’ movements and used beams of collimated radiations to generate a localized climate around each one. A few years later, when redesigning the Agnelli Foundation’s Headquarters (CRA, 2017a, Figg. 1, 2) in Turin (Italy), we implemented this design for sustained, real-world usage. Foundation employees potentially enjoy what we might call a personal ‘thermal bubble’, following them about the buildings and adjusting to their preferences for heat and light as entered into a smartphone app. This living system is not only comfortable; it entails significant savings for energy consumption.

A similar approach, in inverted climatic conditions, led to the design of Cloud Cast (Howarth, 2015; Fig. 3): a canopy element which emits a stream of water vapor to follow people who walk beneath it. The responsiveness of this delivery system resembles the responsiveness of living creatures, whose bodies are carefully-tuned to make the most of available resources. Animating our water delivery systems thus aids our efficiency and modularity, but a similar tech-

nique also gives us new avenues for expressiveness. Our Digital Water Pavilion (CRA, 2008a; Figg. 4, 5), built at the entrance to the 2008 Expo in Zaragoza, used streams of water to make walls that could appear and vanish at will, forming dynamic patterns, written text, and delight for small children. These examples tell us that, just as living beings become cyborgs when technological elements are embedded into their lives, buildings and streets undergo their own specular transformation when they are animated. We could say that they become robots; the Encyclopaedia Britannica calls a robot «[...] any automatically operated machine that replaces human effort» (Moravec, 2020). We can adopt a more restrictive definition, calling a robot a unit that has some sensors, some intelligence, and some actuators. In other words, it can read the world, process that information, and then respond in a purposeful way.

A thermostat is a robot. A car on driving assist is a robot. An oven is a robot. Even a bike can be a robot if it incorporates our Copenhagen Wheel (Chandler, 2009; Fig. 6), an attachable device that can convert any bike into a hybrid vehicle, able to collect data from our daily rides. Our omnipresent smartphone, obviously, is a robot that should not be left out. Even a sofa can be a robot. In 2016, we worked with the Swiss design company Vitra to prototype the Lift-Bit (CRA, 2016; Fig. 7), a series of modular hexagonal stools which can be raised and lowered to form beds, chairs, sofas, and even small auditoriums (assuming you fill an entire room). We have long imagined human artifacts as fulfilling specific purposes, a logic which pervades the aisles of a hardware store and the asset classes of a real estate market. Lift-Bit, on the other hand, reminds us that artificial spaces and items need not be so restricted. If left unattended – in an homage to Cedric Price – Lift Bit starts to move by itself.

Interestingly, our idea of a robot has widened even as robots themselves have become less and less anthropomorphic. They might not ‘look’ like traditional living beings, but consider the following biological metaphor to encapsulate this process of transformation. By animating the artificial ‘through computation’, architecture can cloak us in a third skin – an endlessly reconfigurable space able to adapt to human needs – rather than the other way around.

Design and nature: a historical evolution

| There is also a second way through which we can animate the artificial. It is not through computation, but instead through the direct incorporation of natural elements into design. Such a practice would not be pursued for decorative purposes, but rather, to encourage a paradigm shift. We can find new ways to bridge the historic urban-rural divide and affirm a novel concept of the built environment as a space where humanity can coexist with other forms of life. The outcome of such an approach would be one that can contribute to satisfy humankind’s innate longing for nature – our ‘biophilia’, to borrow a term from Harvard biologist Edward O. Wilson (1984). Before we move on to analyze some examples of this approach, we would like to briefly summarize some episodes

in the modern history of the relationship between the worlds of design and natural elements. In fact, long before Wilson framed our ‘urge to affiliate with other forms of life’ in his ‘biophilia hypothesis’, architects had always known that their work existed in relation to the natural world, at least as an interface with it. Le Corbusier famously called architecture «[...] the knowing play, correct and magnificent, of volumes assembled under light» (Le Corbusier, 2007, p. 246).

As the centuries passed, thinkers in the Age of Enlightenment imagined the artificial world as both different from and in conflict with the natural one. The etchings made by 18th-century Italian architect Giovanni Battista Piranesi (Marini, 2007) document the ancient ruins of Rome as an artificial work which nature had conquered. This framework would not have been foreign to the ancients whose ‘ruins’ were being described, but nonetheless it became the dominant strand in Western thought. It was the animating spirit for Eugène Viollet-le-Duc, who worked on Notre Dame Cathedral in the 19th-century, added a new spire to restore the building to an artificial ideal of ‘completeness which may never have existed at any given moment’ (Viollet-le-Duc, 2009). When this spire was lost in the infamous fire of 2019, a fierce debate began over if (or how) to restore it. John Ruskin, the English art critic and contemporary of le-Duc himself, would advise against turning back the clock. In his classic, *The Seven Lamps of Architecture*, Ruskin (1849) imagined architectural achievements as living beings, for whom aging and death is natural, even beautiful, and should not be arrested in a vain struggle for permanence.

The subsequent course of history further detached nature and the city. In the late nineteenth and early twentieth centuries, European cities experienced unprecedented growth as huge numbers of people moved from the countryside to newly booming metropolises. As these cities grew, they became overcrowded, polluted, and inhabited by new mass subjects with progressive political and social demands. All of this inspired a new generation of thinkers to search for solutions. Theoretically, their aim was to bridge the gap between cities and the countryside. In fact, they ended up achieving almost the opposite effect.

In Britain, Ebenezer Howard’s 1898 vision of the Garden City caused leafy suburbs and green spaces to sprout across London’s suburbs (Howard, 1902). In the United States, Frank Lloyd Wright tried to balance the built and natural worlds by conjuring up his vision for Broadacre City (Watson, 2019). In France, Le Corbusier sketched visions of utopian cities (Foundation Le Courbusier, n.d.) that seamlessly enveloped the natural world. Unfortunately, many of these revolutionary dreams ended up relying so heavily on the automobile that they helped birth urban sprawl; green spaces and parks were overshadowed by endless ribbons of grey pavement. Instead of connecting with nature, the early Garden City shoved the natural world further away.

As planners recognized the shortcomings of these remedies, they sought to reverse the



Figg. 11, 12 | CRA – Carlo Ratti Associati, Hortus (credit: D. Iodice, 2017).

equation, exploring different interpretations of the relationship between the natural and the artificial. In the aftermath of World War II – interestingly, a period time that some scholars also proposed as a possible start date for the Anthropocene era – the seeds of the new sensitivity were planted. One of the first explorations took place in Japan, where the bombings of Hiroshima and Nagasaki gave a generation of designers a shocking preview of how human action could transform the Earth itself. The Japanese Metabolists, one of the most significant architectural avant-garde movements of the 1960s and 70s, crafted buildings that were explicitly designed to eventually decay and return to the natural world (Lin, 2010). Prefiguring a focus on sustainability that dominates our own times, they accepted their own work to be part of a wider, cyclical ‘metabolism’ that could be ignored, but not escaped.

Animating the artificial: the material way | As the 20th-century came to an end and the first evidence of climate change became undeniable, an environmental awareness gained ground in many Western societies. Along with it, attempts to animate the artificial through nature multiplied in the design world. This, in turn, would be attained by two means: either through the literal incorporation of greeneries into architecture, or through experiments in which new organic materials served as construction elements. Starting with the former, New York City’s High Line (Scherer, 2019), an aerial greenway built from a converted rail bed that opened in June 2009, was one of the first projects to capture this new ambition in urban planning. At the Supertree Grove of Singapore’s Gardens by the Bay (n.d.), solar panels harvest solar energy while a steel ‘canopy’ stores rainwater to feed vertical towers of foliage.

Another way to embrace the living world is to invite it inside. The French designer Patrick Blanc has done extraordinary work along these lines, inventing ‘green walls’ or ‘vertical gardens’ which now line the interiors and exteriors of buildings across the world. At CRA, we worked with Blanc in 2008, with the design of Trussardi Dehor’s Unexpected Garden (CRA, 2008b; Fig. 8): a closed, French-style terrace above the ground floor of a café owned by a fashion house in Milan. It brings 100 square meters of plant greenery, shade, and clean air generation without taking up any floor space. Scaling up this approach, CRA won the C40’s Reinventing Cities competition in 2019 with VITAE (CRA, 2019a; Figg. 9, 10), a building in south Milan featuring a 200 meter-long urban vineyard, accessible to the public through a pedestrian path moving from a brand-new green piazza up to the roof.

Sometimes, the presence of nature can be facilitated by new technology, as it is the case with urban agriculture, where advances in hydroponic and aeroponic farming techniques make it easier to grow vegetables in confined spaces. Cities will hardly ever replace rural areas as the world’s main source of nutrition, but a much higher percentage of food can be cultivated in urban areas. At CRA, we strived to add IoT-driven personalization to farming with

Hortus (CRA, 2017b; Figg. 11, 12), a public pavilion in Bologna, Italy. Visitors plant seeds of their choice in publicly-available hydroponic tanks, and digital sensors feed data to a mobile app where they can track each plant's growth and, like proud parents, share it on social media.

Where we have the power to start from the ground floor of a new project, we can intertwine electrical wiring and root systems. The 280 meter-high CapitaSpring (Design Wanted, 2018; Figg. 13, 14) skyscraper, jointly designed by CRA and Bjarke Ingels Group and currently under construction in Singapore, is a towering tropical oasis in the heart of an otherwise artificial metropolis. We embedded both plant life and sensors throughout the building, allowing visitors to use the Internet of Things to customize their experience and their interactions with the natural elements – some of these concepts were tested in CRA's early projects, including the Local Warming and Cloud Cast designs mentioned above.

Another way to animate the artificial through natural elements involves materiality and construction. This path overlaps heavily with the fight against climate change; the building sector is responsible for a substantial share of global energy consumption and pollution. The practice of Baubotanik, developed in Germany at the universities of Stuttgart and Munich, inspired by the millennia-old practice of shaping trees into fences or even bridges, has the potential to grow new structures out of the ground (Ludwig, Schwertfeger and Storz, 2012). By manipulating plant growth with pruning, bending, and other techniques, we can make walls, pavilions, and even chairs out of trees and bushes (Future Architecture, n.d.).

One of CRA's first forays into organic construction used micro-algae, aquatic organisms whose photosynthetic potential exceeds that



Figg. 13, 14 | CRA – Carlo Ratti Associati and BIG – Bjarke Ingels Group, CapitaSpring (credits: BIG – Bjarke Ingels Group, 2018).



Fig. 15, 16 | CRA – Carlo Ratti Associati, Circular Garden (credits: M. Beck Peccoz, 2019).

of grasses and trees by an order of magnitude. With *Algaetecture* (CRA, 2014) we created a bio-digital canopy in which water, CO₂ and heat – carefully regulated by digital sensors – maintained algae-filled walls that pumped oxygen into the heart of Milan’s 2014 Design Week. A few years later, an attempt to bring the principles of circular economy to architecture – to develop a building that can be born from nature, and then return to it in a metabolic way – drove CRA’s *Circular Garden* (CRA, 2019b; Fig. 15, 16) experimental installation, developed for energy company Eni. Its arches were grown from mycelium mushrooms over 6 weeks and returned to the earth after a month-long exhibition, giving essential minerals and nutrients to the soil. The project strived to show how, leveraging the pre-programmed intelligence of living beings, we can accomplish ambitious things in the coming years as we seek to animate our built environments.

These experiments with materials are just at the beginning. However, once they spread across our cities, the more distant future of natural incorporation will involve altering nature itself. Indeed, progressing even further into a speculative future, the following step could be to move from physical alterations to the base level of life – altering DNA. The oft-discussed CRISPR-Cas9 genetic scissors, whose creators won the 2020 Nobel Prize in Chemistry (Fernholm, 2020), might give us a hint about future developments.

Towards a connected ecology | At the intersection of all the paths we have thus far traced,

we find a historic, double-sided convergence between the natural and artificial worlds. Not only is the natural world becoming artificial in an all-encompassing ‘cyborg’ paradigm; the artificial world is becoming more and more natural. This vivification is occurring through responsive computing, the direct incorporation of natural elements, or both. On the horizon, new possibilities are fast emerging. What consequences will this phenomenon entail? We believe the double-sided convergence will lead to the emergence of a brand – new ecology – a world in which all animate and inanimate components of the built environments belong to a unified landscape. We propose to call this dimension a ‘cybernetic ecology’. Its realization is prompted by digital advancements as well as by the urgency of bringing a more effective environmental awareness into the design practice.

The new ecology incorporates the traditional feedback mechanisms of natural systems – from plant growth to insect migration – but moreover, it harnesses the power of the digital world to extend them into the Anthropocene. Ecosystems only function when every element is responsive to the rest, and digital sensors, actuators, and artificial intelligence can contribute to achieving that objective. We have already learned to practically plug our technologies into our flesh; now we must plug the natural world into our buildings and cities. Realized in practice, a ‘cybernetic ecology’ ushers in a whole new urban condition, and a rupture from the last 150 years of history. In the modern era, cities have profoundly detached

themselves from nature and the countryside. They have become the ultimate symbols of the natural and artificial dualism, which is becoming increasingly unsustainable.

Architects must embrace this new world, and all of its newfound breadth. Bruno Latour has called for an expanded role for designers, that extends «[...] from the details of daily objects to cities, landscapes, nations, cultures, bodies, genes, and [...] to nature itself [...], a novel ‘political ecology’ [that might] ease modernism out of its historical dead end» (Latour, 2008, pp. 2, 13). Latour’s mentality echoes and enlarges the famous image of Buckminster Fuller’s *Spaceship Earth* (The Buckminster Fuller Institute, n.d.) – a new variant in which both humanity and non-human things, from microbes to rivers, are subjects to be understood and accounted for on a vessel without any lifeboats. Albenya Yaneva and Alejandro Zaera-Polo (2015) have given such an attitude the name ‘cosmopolitics’.

Moving from the political to the scientific, a more inclusive ecology might change how we apply evolutionary theories to the artificial world. In an 1863 text, *Darwin Among the Machines*, writer Samuel Butler (1914) proposed an evolutionary analogy for technology: replacing organisms with artifacts and classifying the synthetic kingdom into genera and species. Architect Phillip Steadman (1979) in *The Evolution of Designs* looked at how the making of the artificial world can be linked to biology. In the cybernetic ecology, we could move toward a world of evolving together, hopelessly intermingled and all the better because of it.

What future for architecture forms | Whatever philosophical interpretation of the new ecology we adopt, it is clear that we can no longer afford a strict separation between the artificial world and the natural world. The two realms will either save or destroy each other, and designers have a critical role to play in deciding which future will come to pass. What is at stake, to say it once more with Fuller, is the possibility to be «[...] architects of our future, not its victims» (Sieden, 2012, p. 117). Will the new ecology also generate a corresponding, recurring architecture form? In 2008, reviewing a series of CRA projects, including the Digital

Water Pavilion, Picon (2008) proposed the idea of a 'digital minimal' as a way to leverage the potential of new technologies in architecture. Following that thread, several projects developed by CRA in the following years dismissed the 'digital baroque' style of highly-complex parametric design, which would mimic the dynamic forms of living beings in only a superficial, non-essential way. Instead, we envisioned a sensor-laden, responsive architecture that would strive to 'behave' like a living being rather than bothering to replicate its form.

Among the many challenges for architects in the next few years – and one that will be par-

ticularly felt at CRA – is the following: how would the 'digital minimal' aesthetic evolve, once it matches the perspective of a metabolic, enlarged, inclusive ecology? In the list of disciplines that inspired his work on the Sciences of the Artificial, Simon included painting alongside architecture and engineering. He wrote: «[...] Those things we call artifacts are not apart from nature. They have no dispensation to ignore or violate natural law. At the same time, they are adapted to human goals and purposes» (Simon, 1969, p. 3). Could this be the starting point of our quest for a new architecture?

References

- Albena, Y. and Zaera-Polo, A. (eds) (2015), *What Is Cosmopolitical Design – Design, Nature and the Built Environment*, Ashgate, Burlington.
- Butler, S. (1914), *Darwin Among the Machines – A First Year in Canterbury Settlement With Other Early Essays*, London.
- Case, A. (2010), "We Are All Cyborgs Now", in TED, 10/12/2010. [Online] Available at: www.ted.com/talks/amber_case_we_are_all_cyborgs_now/transcript?language=en [Accessed 10 December 2020].
- Chandler, D. L. (2009), "MIT's Big Wheel in Copenhagen – New bicycle wheel not only boosts power, but also can keep track of friends, fitness, smog and traffic", in *MIT News*, 16/12/2009. [Online] Available at: news.mit.edu/2009/ratti-copenhagen-1216 [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2019a), *VITAE Milan*. [Online] Available at: carloratti.com/project/vitae-milan/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2019b), *The Circular Garden*. [Online] Available at: carloratti.com/project/the-circular-garden/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2017a), *Agnelli Foundation HQ*. [Online] Available at: carloratti.com/project/fondazione-agnelli/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2017b), *Hortus @ FICO Eataly World*. [Online] Available at: carloratti.com/project/fico-area-del-futuro/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2016), *Lift-Bit*. [Online] Available at: carloratti.com/project/lift-bit/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2014), *Algaecture*. [Online] Available at: carloratti.com/project/algaecture/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2008a), *Digital Water Pavilion*. [Online] Available at: carloratti.com/project/digital-water-pavilion/ [Accessed 10 December 2020].
- CRA – Carlo Ratti Associati (2008b), *Trussardi Dehors – The Unexpected Garden*. [Online] Available at: carloratti.com/project/trussardi-cafe/ [Accessed 10 December 2020].
- Design Wanted (2018), *CapitaSpring Tower – An Oasis in the Central Business District of Singapore*, 04/08/2018. [Online] Available at: designwanted.com/architecture/capitaspring-tower-cra-big/ [Accessed 10 December 2020].
- Falcon-Lang, H. (2011), "Anthropocene – Have humans created a new geological age?", in *BBC News*, 10/05/2011. [Online] Available at: www.bbc.com/news/science-environment-13335683 [Accessed 10 December 2020].
- Fernholm, A. (2020), *Genetic scissors – A tool for rewriting the code of life*. [Online] Available at: www.nobelprize.org/uploads/2020/10/popular-chemistryprize2020.pdf [Accessed 10 December 2020].
- Foundation Le Corbusier (n.d.), *Ville Contemporaine de Trois Millions d'Habitants, Not located, 1922*. [Online] Available at: www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=6426&sysLanguage=en-en&itemPos=214&itemSort=en-en_sort_string1%20&itemCount=216&sysParentName=&sysParentId=65 [Accessed 10 December 2020].
- Future Architecture (n.d.), *Baubotanik – (Con)fusing Trees and Architecture*. [Online] Available at: futurearchitectureplatform.org/projects/537905c7-70ab-4bbb-a4a9-3ef833f1c078/ [Accessed 10 December 2020].
- Gardens by the Bay (n.d.), *Supertree Grove (Supertree Observatory and OCBC Skyway)*. [Online] Available at: www.gardensbythebay.com.sg/en/attractions/supertree-grove-observatory-ocbc-skyway/supertree-grove.html [Accessed 10 December 2020].
- Haraway, D. (1991), *Simians, Cyborgs and Women – The Reinvention of Nature*, Routledge, New York.
- Howard, E. (1902), *Garden Cities of To-morrow*, S. Sonnenschein & Co., London.
- Howarth, D. (2015), "Carlo Ratti's Cloud Cast directs a cooling mist over passersby", in *Dezeen*, 11/02/2015. [Online] Available at: www.dezeen.com/2015/02/11/carlo-ratti-cloud-cast-motion-tracking-cooling-mist/ [Accessed 10 December 2020].
- Latour, B. (2008), "A Cautious Prometheus? A Few Steps Toward a Philosophy of Design (with Special Attention to Peter Sloterdijk)", keynote lecture for the Networks of Design meeting of the Design History Society, Falmouth, Cornwall, 03/09/2008.
- Le Corbusier (2007), *Toward an Architecture* [or. ed. *Vers une Architecture*, 1928], Getty Research Institute, Los Angeles.
- Lin, Z. (2010), *Kenzo Tange and the Metabolist Movement – Urban utopias of modern Japan*, Routledge, London.
- Ludwig, F., Schwertfeger, H. and Storz, O. (2012), "Living Systems: Designing Growth in Baubotanik", in *Architectural Design*, vol. 82, issue 2, pp. 82-87. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.1383 [Accessed 10 December 2020].
- Marini, M. (2007), *Le vedute di Roma di Giovanni Battista Piranesi*, Newton Compton Editori, Roma.
- Medina, E. (2011), *Cybernetic Revolutionaries – Technology and Politics in Allende's Chile*, MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: uberty.org/wp-content/uploads/2015/10/Eden_Medina_Cybernetic_Revolutionaries.pdf [Accessed 10 December 2020].
- Moravec, H. P. (2020), "Robot", in *Encyclopaedia Britannica*, 03/06/2020. [Online] Available at: www.britannica.com/technology/robot-technology [Accessed 10 December 2020].
- Nielsen (2018), *Time Flies – U.S. Adults Now Spend Nearly Half A Day Interacting with Media*, 31/07/2018. [Online] Available at: www.nielsen.com/us/en/insights/article/2018/time-flies-us-adults-now-spend-nearly-half-a-day-interacting-with-media/ [Accessed 10 December 2020].
- Picon, A. (2008), "Digital Minimal", in Ratti, C. and Nicolino, W. (eds), *DWP – Digital Water Pavilion at Zaragoza's Milla Digital and Expo 2008*, Electa, Milano, pp. 21-36. [Online] Available at: senseable.mit.edu/papers/pdf/20080101_Ratti_Nicolino_DigitalWater_Electa.pdf [Accessed 10 December 2020].
- Picon, A. (1998), *La Ville Territoire des Cyborgs*, Editions de l'Imprimeur, Paris.
- Price, C. (1965), "Fun Palace Project", in *Architectural Review*, January 1965, pp. 74-75.
- Ruskin, J. (1849), *The Seven Lamps of Architecture*, Smith, Elder and Co., London.
- Scherer, J. (2019), *The ultimate guide to the High Line – Everything you need to know about Manhattan's popular park*, 07/05/2019. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.1383 [Accessed 10 December 2020].
- Senseable City Lab (2012), *Local Warming*. [Online] Available at: senseable.mit.edu/local-warming/ [Accessed 10 December 2020].
- Sieden, L. S. (2012), *A Fuller View – Buckminster Fuller's Vision of Hope and Abundance for All*, Divine Arts, Los Angeles.
- Simon, H. A. (1996), *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge.
- Steadman, P. (1979), *The Evolution of Designs – Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*, Cambridge University Press, Cambridge.
- The Buckminster Fuller Institute (n.d.), *Spaceship Earth*. [Online] Available at: www.bfi.org/about-fuller/big-ideas/spaceshipearth [Accessed 10 December 2020].
- Viollet-le-Duc, E.-E. (2009), *Dictionnaire raisonné de l'architecture française Du XIe Au XVIe Siècle – Tome 8 – (Q Suite - R - S)*, Project Gutenberg. [Online] Available at: www.gutenberg.org/files/30788/30788-h/30788-h.htm [Accessed 10 December 2020].
- Watson, J. M. (2019), "The Suburbanity of Frank Lloyd Wright's Broadacre City", in *Journal of Urban History* vol. 45, issue 5, pp. 1006-1029. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0096144218797923 [Accessed 10 December 2020].
- Weiser, M. (2002), "The Computer for the 21st Century", in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 1, issue 1, pp. 19-25. [Online] Available at: doi.org/10.1109/MPRV.2002.993141 [Accessed 10 December 2020].
- Wiener, N. (1965), *Cybernetics – Or, Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press. [Online] Available at: uberty.org/wp-content/uploads/2015/07/Norbert_Wiener_Cybernetics.pdf [Accessed 10 December 2020].
- Wilson, E. O. (1984), *Biophilia – The human bond with other species*, Harvard University Press, Cambridge.