

Blaine Brownell,  
School of Architecture, University of Minnesota, USA

brownell@umn.edu

## Introduzione

Progettare architetture sostenibili è un'attività che impegna prevalentemente la parte sinistra del cervello. L'obiettivo di realizzare edifici più efficienti dal punto di vista ambientale richiede l'utilizzo di metriche, *checklist*, linee guida e certificazioni: strumenti indispensabili per valutare le prestazioni, ma inefficaci per rispetto al controllo della qualità architettonica. Essi infatti inducono spesso ad adottare scelte progettuali che si allontanano dagli standard abituali, ma nello stesso tempo producono risultati da essi indistinguibili. È per questo che tali strategie rimangono nascoste, o risultano troppo simili alle soluzioni convenzionali per poter essere apprezzate. Ne consegue che la sostenibilità non riesce a esprimere una propria estetica, uno stile, una forma, o una specifica espressione materica, mentre la comunicazione del cosiddetto "green-design" viene affidata alla narrazione del progetto – un testo scritto, una targa di certificazione, o una descrizione orale – invece che all'architettura stessa. Non che la sostenibilità debba avere un linguaggio proprio, ma la mancanza di una chiara riconoscibilità è un'occasione perduta: l'architettura dovrebbe guardare alle istanze ambientali come a un'opportunità per sviluppare nuove forme di espressione, e ciò costituisce un cambiamento che richiede un ripensamento sulla materialità dell'architettura.

Qualsiasi ragionamento sul linguaggio materico in architettura deve considerare la percezione da parte del fruitore, che in questo caso è la comunità: la percezione umana è il fattore principale di sperimentazione in psicologia, neuroscienze, e altri settori, mentre lo è molto meno in architettura. Ne *Il Senso dell'Ordine*, lo storico dell'arte E. H. Gombrich definisce la "searchlight theory" della mente, spiegando come le persone scansionino e percepiscano continuamente il loro ambiente<sup>1</sup>. Sebbene la persona comune

possa non avere una conoscenza approfondita della costruzione degli edifici, possiede tuttavia nei loro confronti un raffinato sistema di aspettative, sviluppato nel corso del lungo periodo di tempo nel quale li ha utilizzati. Considerando che nelle nazioni più sviluppate le persone passano circa il 90% del loro tempo all'interno di edifici, dobbiamo giocoforza ritenere gli utenti osservatori esperti<sup>2</sup>. Di conseguenza, l'architetto non dovrebbe considerare le percezioni degli utenti come un foglio bianco, ma come un *frame* già esistente sul quale lavorare. Nel caso dei materiali, questo approccio è riassunto dall'architetto Jun Aoki nella frase «un materiale è percepito sulla base di un codice, un codice sociale. Quindi noi possiamo manipolare il codice stesso»<sup>3</sup>.

Le strategie che di seguito vengono presentate sono approcci fondamentali per sviluppare un codice di "identificabilità verde", o una riconoscibilità visiva di un progetto architettonico sostenibile<sup>4</sup>. Gli otto metodi sono tutti di uso corrente, anche se limitato, ma raramente vengono considerati come parte di una struttura olistica. Le strategie sono elencate progressivamente a partire dai metodi generali fino a quelli più specifici – con una sequenza parallela che va dagli approcci passivi a quelli attivi per quanto riguarda la tecnologia e la manutenzione. Le descrizioni, infine, includono definizioni, vantaggi e limiti di ciascuna strategia, con l'intento di stimolare ulteriori approfondimenti.

## La giusta dimensione

Dimensionare i componenti e le strutture in maniera adeguata è uno degli approcci di maggior buon senso agli edifici sostenibili. Materiali e strutture non dovrebbero essere sovradimensionati né sovradotati di prestazioni, così come le dimensioni dello spazio progettato non dovrebbero eccedere i fabbisogni dell'utenza.

## THE AESTHETICS OF GREEN: MATERIAL EXPRESSION IN SUSTAINABLE ARCHITECTURE

### Introduction

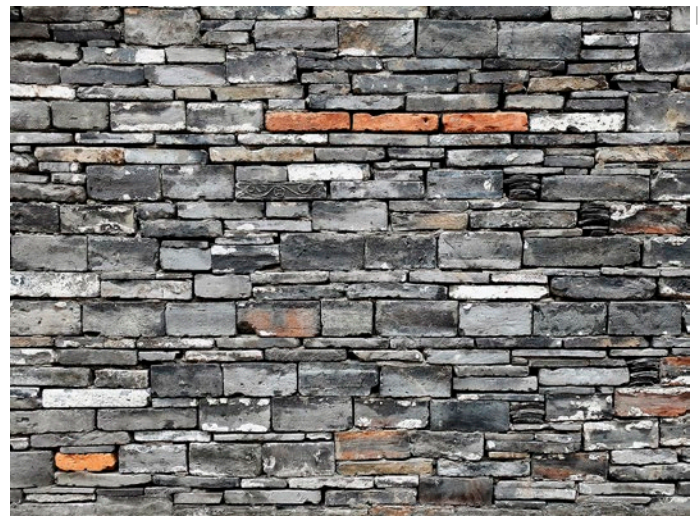
Sustainable design is predominantly a left-brain pursuit. The endeavor to make buildings more environmentally responsible is rooted in metrics, checklists, guidelines, and certifications. This approach is necessary for quantifying performance but bad for making architecture. Many ecologically focused design decisions require a departure from standard practice yet have a physical outcome that is indistinguishable from it. Such strategies are either concealed from view or resemble conventional methods too closely to be noticed. As a result, sustainability has no established aesthetic, style, form, or material expression. Instead, so-called green design is communicated via the project story – a textual summary, certification plaque, or verbal description – as opposed to the architecture itself. It is not that sustain-

ability should have a singular style, but the lack of any distinguishing appearance is a lost opportunity. Architecture should capitalize on environmental aspirations as a chance to develop a new means of expression. Such a shift requires thoughtful consideration of the materiality of architecture.

Any consideration of material expression in architecture must consider the perception of its recipient, which in this case is the greater public. Human perception is the primary focus in experimental psychology, neuroscience, and other fields – but less so in architecture. In *The Sense of Order*, art historian E. H. Gombrich established the "searchlight theory" of the mind, revealing how people continually scan and make sense of their environment.<sup>1</sup> Although the average layperson may not have in-depth knowledge of building construction, he or she possesses

a sophisticated set of expectations developed over years of occupying buildings. In fact, given that people in developed nations spend roughly 90 percent of their lives indoors, we should assume this to be an expert audience.<sup>2</sup> Thus, the architect should not consider the user's perception concerning the built environment as a blank slate but as a pre-existing framework for engagement. In the case of materials, such an approach is summarized by architect Jun Aoki in his claim that «a material is perceived according to a code – a social code. And so we can manipulate the code itself»<sup>3</sup>.

The following strategies are fundamental architectural approaches to achieving a "visible green" code, or visual evidence of sustainable design in architecture.<sup>4</sup> The eight methods are all in current, if limited, use – yet they are rarely evaluated as part of a holistic



Un principio a che risulta ampiamente assente dai protocolli di valutazione ambientale, come dimostrano progetti di residenze da 900 e più m<sup>2</sup> (10.000 sf) per due sole persone, certificati “LEED Platinum”.

In accordo con quanto sostengono Mathis Wackernagel and William Rees in *L'Impronta Ecologica*, la sostenibilità è strettamente correlata agli indici di consumo delle risorse, il che significa che lo strumento dell'efficacia è direttamente proporzionale all'uso che delle risorse si fa<sup>5</sup>. Di conseguenza, le prestazioni ambientali di un edificio non possono essere separate dalla presenza e dal numero degli occupanti. I movimenti per le Tiny-House e le Micro-Unit esemplificano, forse addirittura enfatizzandola, la strategia della “giusta misura”, con la proposta di residenze più piccole rispetto agli standard abituali<sup>6</sup>. A sua volta, Atelier Bow-How ha reso popolare il termine “pet architecture”, in riferimento a edifici che occupano spazi urbani minuscoli e residuali<sup>7</sup>.

Questa ottimizzazione si può applicare anche ai componenti edilizi, le cui dimensioni, peso e distribuzione possono essere ridotti in modo da farli corrispondere alle prestazioni richieste. Sebbene l'uso minimo di risorse possieda vantaggi evidenti, il principio della “giusta misura” è però difficile da applicare a grandi interventi pubblici e a edifici che presentano ampie fluttuazioni del livello di occupazione. Inoltre, questa strategia potrebbe entrare in conflitto con la resilienza strutturale, che richiede l'applicazione di criteri di ridondanza e sovradimensionamento, ai fini di una maggiore sicurezza.

### Rifunzionalizzato

«L'edificio più verde è quello già esistente», si è soliti dire<sup>8</sup>. Una nuova costruzione richiede il prelievo, la lavorazione, il traspor-

framework. The strategies are ordered in a progression from comprehensive methods to episodic ones – with a parallel transition from passive to active approaches regarding technology and maintenance. The brief summaries include common assumptions, benefits, and limitations inviting further analysis.

### Right-sized

One of the most commonsense approaches to ecological building is to size components and structures appropriately. Materials and systems should not be over-engineered, and the space provided should not exceed the intended occupancy. This principle is largely absent from environmental scorecards, as evidenced by a 10,000 SF (1,000 m<sup>2</sup>) “LEED Platinum”-rated dwelling designed for only two people, for example. As Mathis Wackernagel

and William Rees discuss in *Our Ecological Footprint*, sustainability is tied to the rate of consumption – meaning that resource efficacy is directly proportional to use.<sup>5</sup> Thus, architecture's environmental performance cannot be decoupled from the presence and number of building occupants. The Tiny House and Micro-Unit movements exemplify, if not exaggerate, the right-sizing strategy by providing noticeably smaller-than-usual habitats for living.<sup>6</sup> Atelier Bow-Wow popularized the term “pet architecture” in reference to buildings that occupy tiny, awkwardly shaped urban lots.<sup>7</sup> Optimization also applies to building components – the size, weight, and distribution of which can be reduced to fit just within performance requirements. Although the minimized use of resources has clear advantages, right-sizing is difficult to apply to large public structures and

to e la trasformazione di consistenti quantità di risorse materiali, cosa che non avviene -o solo in misura molto ridotta- quando si utilizzano invece strutture e componenti esistenti. Secondo Michael Ashby, «nei prossimi 25 anni useremo e, se la scartiamo, butteremo via, tanta ‘roba’ quanta nell'intera storia dell'industrializzazione»<sup>9</sup>.

L'accelerazione dei consumi eccede già in maniera drammatica la capacità naturale della Terra di generare risorse. Di conseguenza, il riutilizzo degli edifici e dei materiali esistenti dovrebbe essere la nostra priorità, non solo una fra le possibili opzioni. Così, quando gli architetti lo rendono evidente grazie ad adeguate scelte progettuali, ad esempio creando distinzioni chiare tra vecchi e nuovi materiali e funzioni, gli utenti sono in grado di individuare come una struttura già presente o una sua parte siano state riutilizzate. Differenziare è anche una strategia chiave nel rendere palese la seconda vita dei materiali recuperati. Il metodo “wapan”, utilizzato da Amateur Architecture Studio, ad esempio, fornisce evidenza del riutilizzo attraverso una composizione apparentemente casuale di vecchi mattoni preesistenti, piastrelle per pavimentazioni, tegole con cui realizzare nuovi

buildings that experience extreme fluctuations in occupancy levels. The strategy may also conflict with the goal of structural resiliency, which calls for material redundancy and abundance in the name of safety.

### Repurposed

As is commonly said, «the greenest building is the one that is already there»<sup>8</sup>. New construction requires the harvesting, processing, transport, and fabrication of considerable physical resources. Reusing existing structures and components does not (or, at least it requires significantly less). According to Michael Ashby, «we will use and, if we discard it, throw away as much ‘stuff’ in the next 25 years as in the entire history of industrialization»<sup>9</sup>. The accelerating pace of consumption already dramatically outstrips the Earth's natural capacity to provide

resources. Therefore, the reuse of existing buildings and materials should be our priority; not merely a tentative option. Users can detect when the whole or part of an existing structure has been reused when architects reinforce contrasts in the design, such as making clear distinctions between old and new materials or functions. Difference is also a key strategy in conveying the visible evidence of second life materials. The wapan tiling method employed by Amateur Architecture Studio, for example, indicates a repurposed condition via the seemingly random composition of existing building elements – bricks, pavers, roof tiles – to make new facades. The life cycle benefits of repurposing are clear; however, such a method might not be readily achievable in economies where labor commands a high price or new products are less expensive than refurbished ones.

elementi dell'involucro edilizio. Se i benefici del riutilizzo risultano evidenti nell'ottica del ciclo di vita, questo metodo potrebbe tuttavia non essere conveniente nelle economie dove la manodopera è molto costosa, o dove i prodotti nuovi sono più economici di quelli recuperati.

## Nudo

Ci sono molti prodotti da costruzione la cui funzione principale è rivestire altri materiali: un ruolo essenziale nel caso della protezione dagli agenti atmosferici, come per le barriere al vapore o i rivestimenti impermeabilizzanti. Tuttavia, diversi prodotti per finiture oggi correntemente utilizzati – in particolare per applicazioni all'interno – non svolgono funzioni così necessarie. Materiali quali tappeti, materassini resilienti, rivestimenti murari o pannelli fonoassorbenti per controsoffitti, ad esempio, garantiscono comfort e abbattimento del rumore, ma la loro pervasività è principalmente dovuta a un preconetto culturale che li considera necessari per fornire il livello di finitura adeguato a edifici commerciali e istituzionali. Un problema ricorrente legato a tali materiali è che possono causare la Sindrome da Edificio Malato (Sick Building Syndrome – SBS), una patologia a cui sono esposti gli utenti di un edificio a causa della presenza di alcuni componenti chimici che vengono rilasciati nell'ambiente interno. Un altro fattore negativo è legato alla ridotta vita utile di questi prodotti rispetto ad altre parti dell'edificio. Secondo Stewart Brand, «a causa della diversità degli intervalli di sostituzione dei suoi componenti, un edificio viene perennemente fatto a pezzi»<sup>10</sup>. Gli «shearing layers of change» (letteralmente *strati mutevoli temporanei* di cui è composto l'edificio, come lo stesso Stewart Brand li chiama) intensificano la produzione di rifiuti a causa della loro

## Naked

There are many building products whose primary function is to cover other materials. This role is essential where protection from the elements is concerned, such as with vapor barriers or waterproof coatings. However, many surfacing products used today—particularly for interior use—play less necessary roles. Materials like carpet, rubber base, wall covering, and acoustic ceiling tiles provide some comfort and noise reduction, but their pervasiveness is primarily due to a cultural preconception regarding appropriate commercial and institutional finishes. A perennial problem with such materials is that they can cause Sick Building Syndrome (SBS), a medical condition in which building occupants react negatively to particular chemical ingredients. Another challenge is the relative brevity of their use in com-

parison with other parts of a building. According to Stewart Brand, «Because of the different rates of change of its components, a building is always tearing itself apart»<sup>10</sup>. The more temporary «shearing layers of change», as he calls them, burden the waste stream due to their frequent disposal.<sup>11</sup> Designing naked, raw, or otherwise exposed architecture is a strategy to reduce or eliminate such layers. For example, the Avatar Academy for Girls in Lavale, India exemplifies this approach while demonstrating that naked buildings need not lack vibrancy or character. Designed by Case Design and Transsolar, the multistory school features exposed surfaces of concrete, masonry, and tile, with conduit mounted directly to the walls and ceiling. While such a raw treatment would be unacceptable for many clients, exposing weather-proof surfaces is, in fact, a more resil-

iente sostituzione<sup>11</sup>. Progettare architetture «nude», grezze o a vista, è una strategia per ridurre o eliminare tali strati. Ad esempio, la Avatar Academy for Girls a Lavale, India, propone questo approccio e nello stesso tempo dimostra come gli edifici «nudi» non necessariamente abbiano meno vitalità o carattere. Progettata da Case Design e Transsolar, è una scuola multipiano con superfici in calcestruzzo, muratura e piastrelle a vista, in cui gli impianti sono installati direttamente su pareti e soffitti. Sebbene tali soluzioni possano risultare inaccettabili per molti clienti, lasciare a vista le superfici non esposte agli agenti climatici è, in realtà, una strategia di maggiore resilienza in questo tipo di strutture, in particolare quando si fa ricorso alla ventilazione passiva.

## Naturale

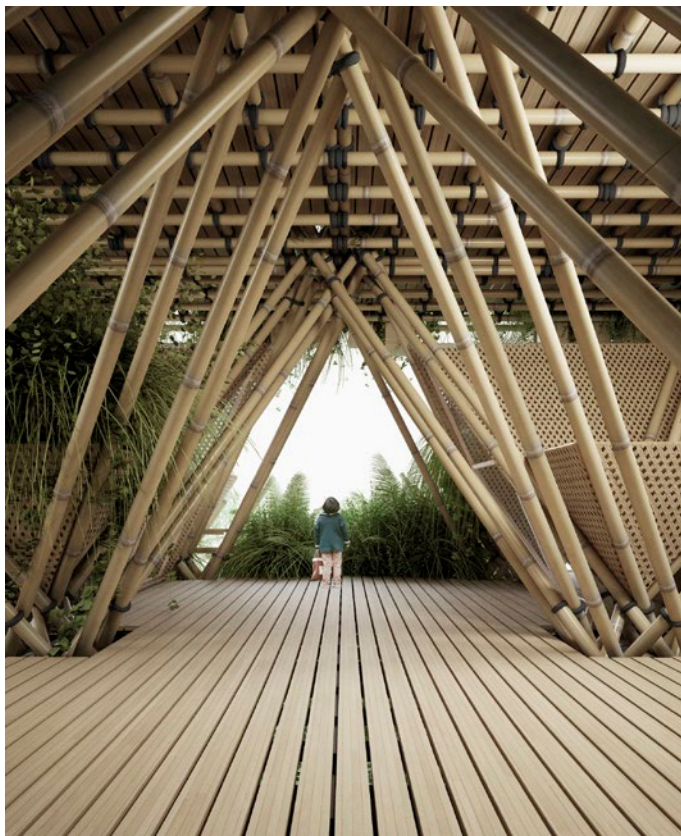
Sebbene sia così diffuso da rappresentare ormai un  *cliché* , l'uso visibile di materiali naturali è diventato sinonimo di progetto sostenibile. L'utilizzo di legno, bambù, carta e altri materiali naturali non solo imprime un calore visivo e tattile, ma testimonia in maniera evidente il contenimento di carbonio. A differenza di calcestruzzo, acciaio, vetro, o materiali di sintesi, la biomassa contiene infatti più carbonio di quanto ne viene rilasciato nel corso del suo prelievo dall'ecosistema, lavorazione e trasformazione. Poiché i climatologi sostengono incessantemente non solo la necessità della riduzione globale di CO<sub>2</sub>, ma anche quella del sequestro attivo dei gas serra, i materiali naturali sono diventati uno strumento potente nella lotta al riscaldamento globale. L'ingegnere Bruce King ha chiamato «buildings made of sky» («edifici fatti di cielo») quelli realizzati prevalentemente con tali materiali<sup>12</sup>. In *The New Carbon Architecture*, King afferma: «per la

ient strategy in this passively ventilated structure.

## Natural

Although it is so pervasive as to be a cliché, the visible application of natural materials lends credence to sustainable design. The use of wood, bamboo, paper, and other biobased materials not only imparts a visual and tactile warmth but also provides evidence of stored carbon. Unlike concrete, steel, glass, or synthetic polymers, biomass contains more carbon than is released during its harvesting, manufacture, and construction. Climate scientists increasingly advocate not only the global reduction of CO<sub>2</sub> but also the active sequestration of the greenhouse gas. Thus, natural materials have become a potent tool in the fight against global warming. Engineer Bruce King calls edifices made primarily of such

materials «buildings made of sky»<sup>12</sup>. In *The New Carbon Architecture*, King argues: «For the first time in history, we can and should build pretty much anything out of carbon that we coaxed from the air»<sup>13</sup>. The carbon argument explains much of today's hype surrounding tall timber construction. An extreme version of tall biomass is the Rising Canes system devised by Beijing-based Penda. The modular structure is composed entirely of the natural, rapidly renewable materials of bamboo and rope. The adhesive-free connections also make the system easy to disassemble and reassemble as needed. Although biobased materials like bamboo or wood can vastly outperform steel or concrete from an embodied carbon perspective, the methods of sourcing and transport can lead to significantly different outcomes. Sustainable resource manage-



prima volta nella storia, possiamo e dobbiamo costruire praticamente tutto impiegando solo il carbonio che abbiamo diffuso nell'aria»<sup>13</sup>.

Il tema del carbonio spiega ampiamente la spinta verso le costruzioni alte in legno. Una versione estrema di una biomassa a sviluppo verticale è il sistema Rising Canes ideato dallo studio Penda di Pechino. La struttura modulare è realizzata interamente con materiali naturali e rinnovabili quali bambù e corda. I giunti privi di leganti, inoltre, rendono il sistema facile da disassemblare e riassemble a seconda delle necessità.

ment is critical yet is largely invisible to the user.

### Green

The use of living materials is the most visible and familiar method for achieving visible green—literally. Countless studies have revealed that the presence of plants reduces human stress and anxiety, and the growing popularity of *shinrin-yoku*, or “forest bathing,” suggests that immersion in foliage-filled environments is ideal for such restorative effects.<sup>14</sup> The disciplinary separation between architecture and landscape architecture is an artificial and unnecessary one and has conditioned practitioners to assume that the realm of living materials ends at the building envelope. No such distinction exists in reality, and plants can function as a productive and beneficial medium throughout all domains of

the constructed environment. Amazon's Seattle Spheres project by NBBJ, for example, is a novel conservatory designed as a full-time workplace. A modular living wall system with integral irrigation supports over 25,000 plants distributed among 4,000 SF (400 m<sup>2</sup>) of surface mesh.<sup>15</sup> By marrying a middle-Montane ecosystem with a working environment, Amazon hopes to elevate human performance and satisfaction to a new level. Additionally, the building facade can be considered a platform for supporting ecosystem services. Considering the severity of global biodiversity loss and habitat decline, architects should aim to sustain the lives of other species. Examples of novel material systems include Biological Concrete, which encourages the growth of lichens and mosses, and 12 Blocks, masonry units with ledges for migratory bird nests. In

Sebbene materiali naturali come bambù o carta offrano prestazioni nettamente migliori rispetto all'acciaio o al calcestruzzo in quanto a carbonio incorporato, i metodi di approvvigionamento e trasporto che adottiamo possono influire sensibilmente sui bilanci ambientali. La gestione sostenibile delle risorse è quindi cruciale, ma rimane ancora pressoché invisibile per gli utenti.

### Verde

L'uso di materiali viventi è il metodo più evidente e familiare per ottenere una sostenibilità percepibile. Un grande numero di studi ha rivelato come la presenza di vegetali riduca nelle persone stress e ansia, e la crescente popolarità di *shinrin-yoku*, o “forest bathing”, dimostra come l'immersione in ambienti ricchi di fogliame sia l'ideale per ottenere effetti rigeneranti<sup>14</sup>. La rigida separazione disciplinare – artificiosa e inutile – tra “architettura” e “architettura del paesaggio”, ha condizionato i progettisti fino al punto di dare per scontato che il regno dei materiali viventi termini dove inizia l'involucro edilizio. Nella realtà, non esiste nessuna differenza del genere e la vegetazione può svolgere un ruolo positivo e benefico in tutti i settori dell'ambiente costruito. Il progetto Seattle Spheres di NBBJ per Amazon, ad esempio, è un nuovo edificio direzionale progettato come ambiente di lavoro a tempo pieno. Un sistema di muro verde modulare con irrigazione integrata alimenta oltre 25.000 piante, distribuite su poco meno di 400 m<sup>2</sup> (4.000 sf) di rete di supporto<sup>15</sup>. Unendo un ecosistema tipico della parte centrale del Montana con un ambiente di lavoro, Amazon confida di migliorare la produttività e il benessere degli utenti. Inoltre, la facciata dell'edificio si offre come una piattaforma di supporto per gli ecosistemi.

Considerando la gravità della perdita di biodiversità e del decli-

addition to wellbeing and habitat support, living systems can also provide thermal insulation, air purification, and other benefits—although it is difficult to tell if such methods are being used in a purely superficial (nonfunctional) manner.

### Connected

A related strategy establishes an integral link between interior and exterior environments. For centuries, a deeply ingrained cultural schism has separated the human realm from that of nature—particularly in the West. This rift is evident in the technological and disciplinary ways in which a building is conceptualized differently from its context. In some traditions, such as in premodern Japan, architecture and its surrounding landscape were conceptually linked. By permitting interior and site to be joined as a uni-

fied whole when climate conditions allowed, traditional Japanese builders imparted the measurable benefits of fresh air, sunlight, and views to occupants. Adaptive enclosure systems and materials that support interior-exterior connectivity provide discernible evidence of sustainable thinking—both for enhanced environmental quality as well as energy savings. Architect Vivian Loftness calls this approach “environmental surfing,” defined in part as «maximizing natural conditioning in ways specific to each climate, and minimizing energy and water resource extraction and pollution»<sup>16</sup>. Lift Architects' Air Flow(er), for example, is a responsive ventilation system that automatically opens and closes based on the ambient air temperature [Fig. 4]. Based on the phenomenon of thermotaxis, whereby plants react physically to environmental changes, the shape

no degli habitat, gli architetti dovrebbero mirare al sostentamento delle specie viventi, facendo ricorso anche a nuovi materiali che lo facilitino, come il *Biological Concrete*, che favorisce la crescita di muschi e licheni, e *12 Blocks*, elementi in muratura con ripari pensati per ospitare i nidi degli uccelli migratori.

Oltre ad aumentare il benessere e migliorare l'habitat, i sistemi viventi possono inoltre fornire isolamento termico, contribuire a depurare l'aria e produrre altri vantaggi, sebbene sia difficile dire quanto tali metodi incidano effettivamente sulle prestazioni funzionali, e non vengano invece utilizzati solo per il loro aspetto.

### Connesso

Questa strategia punta a realizzare un collegamento integrale tra ambienti interni ed esterni. Una scissione culturale fortemente radicata, specialmente in Occidente, ha separato per secoli l'ambiente umano da quello della natura. Questa spaccatura è evidente nella prassi tecnologica e nei metodi disciplinari con cui un edificio viene concepito, differenziandolo dal suo contesto. Secondo alcune tradizioni, ad esempio nel Giappone pre-moderno, l'architettura e il suo intorno erano collegate, permettendo agli spazi interni e al sito di diventare un tutt'uno quando le condizioni climatiche lo consentivano. In tal modo i costruttori tradizionali giapponesi assicuravano alle persone i benefici derivanti dall'aria fresca, dall'illuminazione naturale e dalla vista dell'esterno.

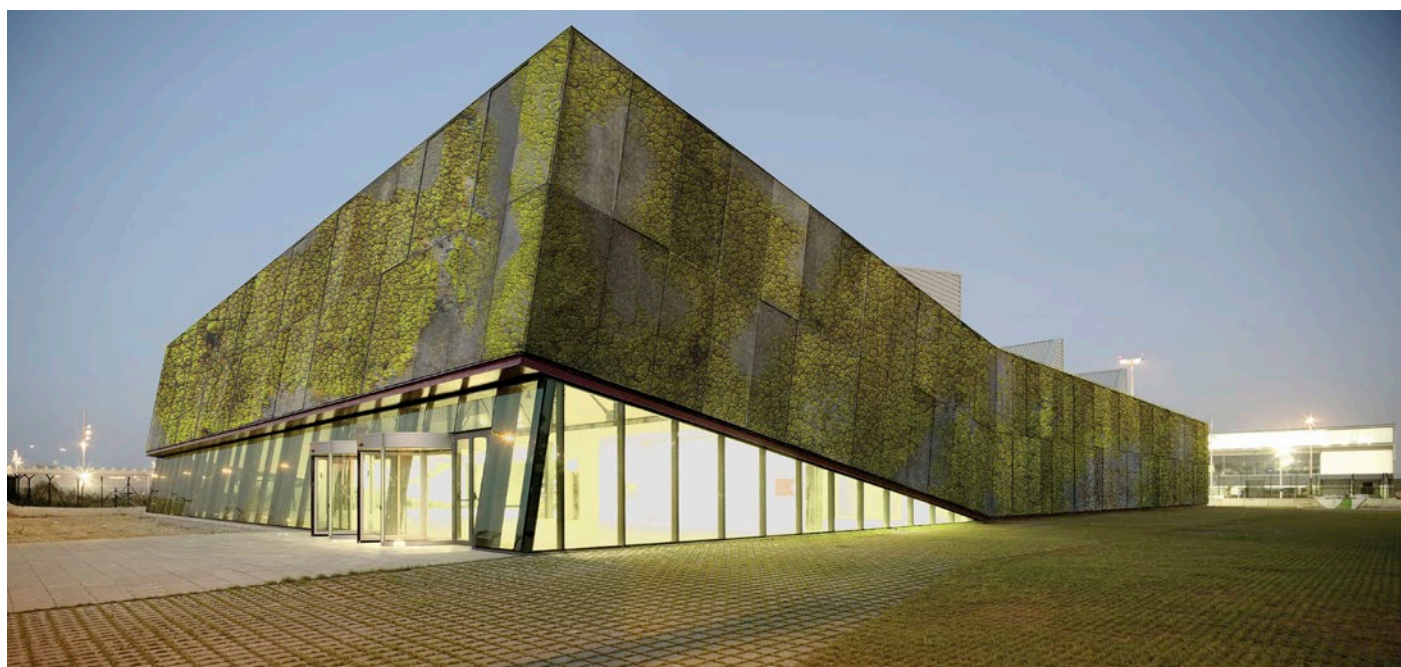
Sistemi di chiusura adattivi e materiali che permettono una connessione interno-esterno forniscono una coerente applicazione

del concetto di architettura sostenibile, grazie ai loro effetti effettivi sia in termini di migliore qualità ambientale che di risparmio energetico. L'architetto Vivian Loftness chiama questo approccio "environmental surfing", che definisce come «massimizzare la climatizzazione naturale in modi specifici per ciascun clima e ridurre al minimo il prelievo di energia e risorse idriche e l'inquinamento»<sup>16</sup>.

In questa direzione, *Air Flow(er)* di Lift Architects, ad esempio, è un sistema di ventilazione intelligente con chiusura e apertura automatica in funzione della temperatura ambientale. Basandosi sul principio della termoregolazione, quello grazie al quale le piante reagiscono ai cambiamenti ambientali, il sistema utilizza una lega metallica a memoria di forma per incrementare il flusso dell'aria e l'estensione della superficie trasparente all'aumentare della temperatura, senza l'uso di elettricità. Sebbene la maggior parte degli architetti apprezzi i benefici di un maggiore collegamento tra ambiente esterno e interno, l'applicazione sistematica della strategia di connessione risulta più complicata nel caso di edifici multipiano con elevata profondità del corpo di fabbrica.

### Raccogliere

Oltre a utilizzare strategie passive, l'architettura adotta in misura sempre maggiore sistemi attivi per produrre risorse, con approcci che includono una varietà di tecnologie, come i pannelli solari o le turbine eoliche, caratterizzati da un'estetica riconoscibile in quanto generatori di energie rinnovabili. Come conseguenza dell'imperativo sia di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>,

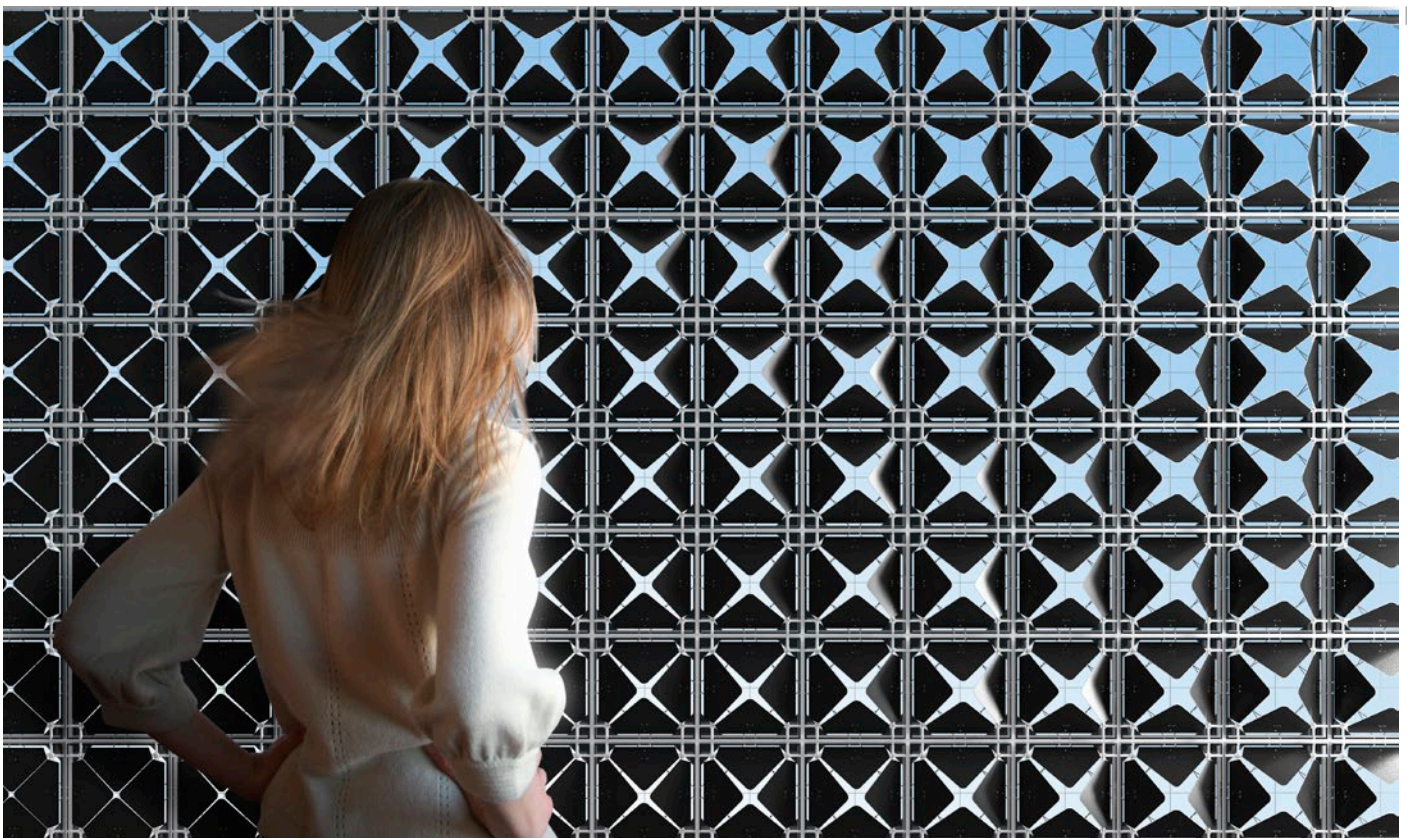


sia di fronteggiare il deterioramento nelle condizioni della rete elettrica, la produzione di energia in loco è più importante che mai. L'uso generalizzato di aria condizionata, che si prevede triplicherà entro il 2050, richiederà capacità di produzione elettrica pari a quelle attuali di USA, Unione Europea e Giappone messe assieme<sup>17</sup>. I componenti e sistemi per la generazione di energia integrati negli edifici possono soddisfare buona parte di questa domanda e contemporaneamente garantire un risparmio rispetto all'installazione separata di elementi di rivestimento e sistemi di generazione energetica. Inoltre, tale approccio comporta innovative, sebbene non ancora identificabili, conseguenze di tipo estetico. Ad esempio, nella facciata *Eco-Curtain* di *Inaba Electric Works* – che incorpora dispositivi eolici multicolore ad asse verticale – le singole turbine ruotano lentamente cambiando colore: in questo modo, mentre generano elettricità, conferiscono un aspetto sempre diverso all'edificio. Un altro esempio originale è *DysCrete*, un cemento colorato che, grazie al rivestimento con pigmenti organici simili alla clorofilla, capta radiazione solare e tramite un processo fotoelettrochimico la converte in energia. Tali soluzioni integrate per la generazione di elettricità hanno evidenti vantaggi rispetto alle tradizionali

fonti fossili, sebbene gli utenti debbano provvedere a una continua manutenzione per assicurare prestazioni ottimali.

### Intelligente

Le nuove tecnologie intelligenti aumentano le capacità dell'architettura di risparmiare energia e di adattarsi al clima. L'uso di materiali avanzati e di strumenti in grado di rendere gli edifici più responsabili dal punto di vista ambientale è evoluto attraverso diversi stadi: l'architettura in ferro e vetro dell'Inghilterra Vittoriana, ad esempio, ha sfruttato le allora innovative prestazioni di quei materiali allo scopo di massimizzare l'apporto di luce naturale per gli utenti e le piante. Il secolo successivo ci ha introdotto nell'era moderna del fotovoltaico e ha spinto a sviluppare una generazione di edifici a energia solare. In anni più recenti, una serie di progressi comprendenti intelligenza artificiale, robotica e l'Internet delle cose (IoT) ha ispirato le espressioni “seconda età delle macchine” e “quarta rivoluzione industriale (4IR)” per segnalare le possibilità finora sconosciute che queste tecnologie offrono, soprattutto se combinate<sup>18</sup>. Ad esempio, la *Smart Paint* messa a punto dall'Università di Strathclyde come materiale da rivestimento tiene monitorata la salute delle strutture e delle superfici:





composta da nanotubi in carbonio e ceneri volatili, la conduttività della vernice cambia in presenza di tensioni o fenomeni di corrosione, permettendo di conseguenza di anticipare gli interventi di riparazione. *Pointelist* di KieranTimberlake è un sensore wireless progettato per monitorare in maniera dettagliata dati climatici negli edifici, come temperatura e umidità. Il sistema plug-in-play permette agli architetti e agli utenti di prendere decisioni con cui massimizzare le performance ambientali, basandosi su dati relativi a fenomeni invisibili. Il proliferare di queste tecnologie intelligenti nel mondo costruito richiederà di considerare una serie di fenomeni concomitanti relativi alla manutenzione, alla sicurezza e all'aumento del *digital divide*.

## Conclusioni

Nel corso della storia, architetti e ingegneri hanno fatto tesoro delle innovazioni nelle tecnologie edilizie per immaginare pro-

getti visionari, che sono diventati in molti casi architetture comuni. La finezza “ultraterrena” delle pietre portanti nella Cattedrale di Chartres, la lunghezza della megastruttura del Centre Pompidou, o l'altezza mai raggiunta prima del calcestruzzo armato nella torre Burj Khalifa sono tutti esempi di conquiste nel mondo dei materiali, raggiunte per scopi importanti: religiosi, artistici, o commerciali, rispettivamente. La responsabilità ambientale non è differente: la sostenibilità e i suoi ambiti correlati, come il design rigenerativo, la resilienza e la biofilia meritano un'agenda altrettanto ambiziosa per quanto riguarda l'innovazione nei materiali. In *The Shape of Green* l'architetto Lance Hosey riassume il problema in questo modo: «la sostenibilità INVISIBILE -cioè considerazioni riguardo l'energia incorporata, le risorse materiali, il contenuto in sostanze chimiche- costituisce un'agenda che ci è diventata familiare, in parte perché questi fattori sono facili da regolare e misurare. Ma la sostenibilità VISI-

memory alloy-powered Air Flow(er) increases air movement and views at higher temperatures without the use of electricity. While most architects and clients can appreciate the benefits of improved indoor-outdoor connectivity, such a strategy is more challenging in the case of structures with deep floor plates and multistory configurations.

### Harvesting

In addition to utilizing passive strategies, architecture increasingly adopts active methods to harness resources. Such approaches involve a variety of technologies, such as solar panels or wind turbines, with a recognizable aesthetic of renewable power generation. With the imperative to reduce CO<sub>2</sub> emissions as well as the deteriorating condition of the electrical grid, onsite power production is now more critical than ever. Furthermore, the global

use of air conditioning is anticipated to triple between now and 2050, necessitating additional electrical capacity equal to that of the US, EU, and Japan combined today.<sup>17</sup> Building-integrated power generating materials and systems can satisfy much of this demand while saving on the first costs of providing cladding and renewable systems individually. Additionally, such an approach has novel, yet still identifiable, aesthetic implications. For example, Inaba Electric Works' Eco-Curtain is a wind-powered facade system composed of multicolored vertical axis windmills. The individual turbines slowly rotate throughout the day, their changing colors imparting a continuously transforming character to the building enclosure as they generate electricity. Another original example is Dyscrete, a dye-sensitized concrete that harvests solar energy via a sur-

face coating of organic dyes [Fig. 5]. Similar to chlorophyll, the natural, light-responsive dyes use a photoelectrochemical process to convert light into power. Such building integrated solutions for electricity generation have distinct advantages over traditional fossil fuel-based power sources, although users must account for their ongoing maintenance to ensure optimal performance.

### Intelligent

New smart technologies enhance the energy-saving and climate-tuning capacities of architecture. The use of advanced materials and tools to make buildings more environmentally responsive has evolved over several stages of progression. For example, the ferrovitreous architecture of Victorian England channeled the latest capabilities in iron and glass construction

to maximize daylight for people and plants, while the next century ushered in the modern photovoltaic (PV) age and a generation of buildings powered by solar energy. In recent years, a series of advances including artificial intelligence, robotics, and the Internet of Things (IoT) has inspired the terms “second machine age” and “fourth industrial revolution (4IR)” for the unprecedented capabilities they offer—particularly when combined<sup>18</sup>. For example, the Smart Paint developed by the University of Strathclyde monitors the health of the structures and surfaces it is used to coat. Composed of aligned carbon nanotubes and fly ash, the paint's conductivity changes when encountering stress or corrosion, thus allowing building owners to anticipate repairs at an early stage. KieranTimberlake's Pointelist is a wireless sensor network designed to monitor climate

BILE -quella cioè che investe forma, dimensioni e aspetto- può avere un impatto ancora maggiore sia sulla protezione dell'ambiente che sul comfort»<sup>19</sup>.

Si tratta di un obiettivo che oggi occasionalmente configura una forma compiuta o un simbolismo, ma di una strategia che comunque, in molti casi, si sviluppa a partire dalle proprietà dei materiali stessi. Così come l'architettura si adatta per mitigare gli effetti avversi dei cambiamenti climatici, dell'esaurimento delle risorse e della perdita di biodiversità, la comunità probabilmente svilupperà una forma di alfabetizzazione visiva relativa all'uso dei materiali in sintonia con l'ambiente. La lista di strategie presentate in questo articolo fornisce solo una traccia di quello che potrebbe essere uno studio molto più esteso e approfondito, ma speriamo tuttavia riesca a chiarire quanto gli architetti possono impegnarsi alla ricerca di un verde visibile.

#### NOTE

<sup>1</sup> Gombrich, E.H. (2010), *Il Senso dell'ordine: studio sulla psicologia dell'arte decorativa*, London, UK: Phaidon, 1.

<sup>2</sup> "Energy Future: Think Efficiency," American Physical Society, September 2008: 52.

<sup>3</sup> "A material is perceived according to a code – a social code. And so we can manipulate the code itself" Jun Aoki interviewed in Blaine Brownell, *Matter in the Floating World: Conversations with Leading Japanese Architects and Designers* (New York: Princeton Architectural Press, 2011), 158.

<sup>4</sup> See Lance Hosey, *The Shape of Green: Aesthetics, Ecology, and Design* (Washington, DC: Island Press, 2012), 6.

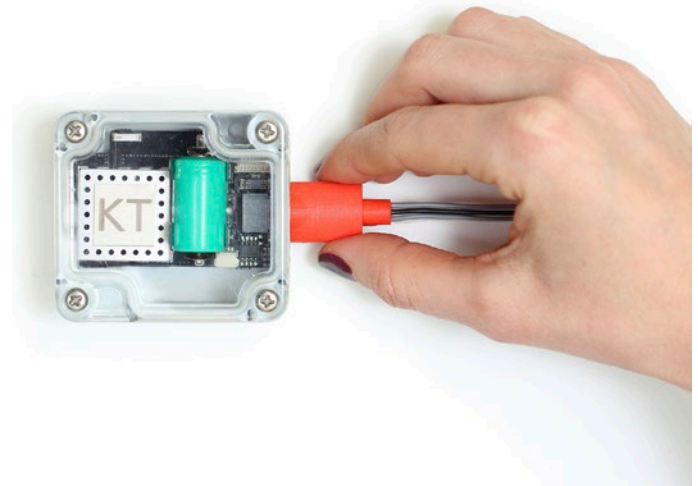
<sup>5</sup> Mathis Wackernagel & William Rees, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996), 118.

data, such as temperature and humidity, at a granular level in buildings. The plug-in-play system enables architects and users to make informed decisions about largely invisible phenomena to maximize environmental performance. The proliferation of these smart technologies throughout the built environment will be accompanied by concerns about maintenance, security, and the growing digital divide.

#### Conclusion

Throughout history, architects and engineers have capitalized on innovations in building-related technologies to create aspirational works that now comprise much of the architectural canon. The otherworldly delicacy of load-bearing stone in Chartres Cathedral, the long-span megastructure of articulated service systems in the Centre Pompidou, or the unprecedented

height achieved in reinforced concrete in the Burj Khalifa tower all exemplify material achievements made for significant purposes (religion, art, or commerce, respectively). Environmental responsibility is no different. Sustainability and its related movements such as regenerative design, resilience, and biophilia deserve a similarly ambitious agenda of material innovation. In *The Shape of Green*, architect Lance Hosey summarizes the problem in this way: «INVISIBLE green—considerations such as embodied energy, material sources, chemical content, and so forth—has become a more familiar agenda, partly because these factors are easier to regulate and measure... But VISIBLE green—form, shape, and image—can have an even greater impact on both conservation and comfort»<sup>19</sup>. Such an objective occasionally consists entirely of form or symbolism; howev-



<sup>6</sup> Ryan Mitchell, "What is the tiny house movement," *The Tiny Life*, August 8, 2009. <https://thetinylife.com/what-is-the-tiny-house-movement/>

<sup>7</sup> Atelier Bow-Wow, *Pet Architecture Guide Book Vol 2* (Tokyo: World Photo Press, 2002).

<sup>8</sup> Si veda il Fondo Nazionale per la tutela dei beni storici: <https://forum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer>  
<https://forum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer>

<sup>9</sup> "We will use and, if we discard it, throw away as much 'stuff' in the next 25 years as in the entire history of industrialization." Michael Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, Second Edition (Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2013), 81.

<sup>10</sup> "Because of the different rates of change of its components, a building is always tearing itself apart." Stewart Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built* (London, UK: Penguin, 1995).

<sup>11</sup> Ibid.

er, in many cases, this strategy is based on the capacities of materials themselves. As architecture adapts more substantially to mitigate the adverse effects of climate change, resource depletion, and biodiversity loss, the public will likely develop an enhanced visual literacy regarding the use of environmentally attuned material approaches in design. The list of strategies provided in this article is merely the outline of what could be a much longer and more thorough study; however, it will hopefully clarify how architects can emphasize the pursuit of visible green.

#### NOTES

<sup>1</sup> E.H. Gombrich, *The Sense of Order: A Study in the Psychology of Decorative Art*, London, UK: Phaidon, 1979, 1.

<sup>2</sup> "Energy Future: Think Efficiency," American Physical Society, September 2008: 52.

<sup>3</sup> Jun Aoki interviewed in Blaine Brownell, *Matter in the Floating World: Conversations with Leading Japanese Architects and Designers* (New York: Princeton Architectural Press, 2011), 158.

<sup>4</sup> See Lance Hosey, *The Shape of Green: Aesthetics, Ecology, and Design* (Washington, DC: Island Press, 2012), 6.

<sup>5</sup> Mathis Wackernagel & William Rees, *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 1996), 118.

<sup>6</sup> Ryan Mitchell, "What is the tiny house movement," *The Tiny Life*, August 8, 2009. <https://thetinylife.com/what-is-the-tiny-house-movement/>

<sup>7</sup> Atelier Bow-Wow, *Pet Architecture Guide Book Vol 2* (Tokyo: World Photo Press, 2002).

<sup>8</sup> See the National Trust for Historic Preservation: <https://fo->



<sup>12</sup> “For the first time in history, we can and should build pretty much anything out of carbon that we coaxed from the air”. Bruce King, ed., *The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2017), 1.

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> <http://www.shinrin-yoku.org/shinrin-yoku.html>.

<sup>15</sup> <https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-green-walls-to-life>.

<sup>16</sup> “Maximizing natural conditioning in ways specific to each climate, and minimizing energy and water resource extraction and pollution”. [https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality\\_o](https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o).

<sup>17</sup> “Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth,” “L’uso dell’aria condizionata è uno dei fattori chiave della crescita della domanda elettrica mondiale” International Energy Agency, May 15, 2018. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>.

<sup>18</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution* (World Economic Forum, 2016).

<sup>19</sup> INVISIBLE green – considerations such as embodied energy, material sources, chemical content, and so forth – has become a more familiar agenda, partly because these factors are easier to regulate and measure... But VISIBLE green – form, shape, and image – can have an even greater impact on both conservation and comfort” *The Shape of Green*, 6.

[rum.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer](http://www.savingplaces.org/connect/community-home/digestviewer/viewthread?MessageKey=61d731e7-23ed-436c-aa74-75695f4a5a67&CommunityKey=d701af53-86f6-40a0-888d-ab43303f575a&tab=digestviewer)

<sup>9</sup> Michael Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, Second Edition (Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2013), 81.

<sup>10</sup> Stewart Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They’re Built* (London, UK: Penguin, 1995).

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> Bruce King, ed., *The New Carbon Architecture: Building to Cool the Climate* (Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2017), 1.

<sup>13</sup> Ibid.

<sup>14</sup> <http://www.shinrin-yoku.org/shinrin-yoku.html>.

<sup>15</sup> [https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-](https://blog.aboutamazon.com/sustainability/bringing-the-spheres-green-walls-to-life)

[green-walls-to-life](https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o).

<sup>16</sup> [https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality\\_o](https://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/indoor-environmental-quality/indoor-environmental-quality_o).

<sup>17</sup> “Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth” International Energy Agency, May 15, 2018. <https://www.iea.org/newsroom/news/2018/may/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-dema.html>.

<sup>18</sup> Klaus Schwab, *The Fourth Industrial Revolution* (World Economic Forum, 2016).

<sup>19</sup> *The Shape of Green*, 6.