

Dottorato di Ricerca in Architettura XXXV ciclo  
Architecture: Theory and Design

#### ABSTRACT ITA

La sperimentazione intende fornire un contributo avanzato e innovativo al tema teorico-applicativo, attraverso la sperimentazione progettuale in tre scenari che rispondono alle diverse condizioni contestuali, senza la necessità di modificare la materia che compone il prodotto, ma intervenendo in maniera sistemica sull'eco-design del prodotto innovato secondo forma, struttura ed integrazioni.

Gli strumenti parametrici nel modello ACD offrono un'importante interfaccia digitale per migliorare i metodi di valutazione per migliorare gli aspetti di sostenibilità del progetto in modo olistico. Il quadro proposto consente di includere tutti i requisiti rigenerativi dell'intero sistema considerando le emissioni di CO2 incorporate, la produzione e il consumo di energia durante la fase operativa, e allo stesso tempo di controllare e migliorare la riciclabilità di tutti i suoi componenti.

In conclusione, questa indagine ha dimostrato un primo tentativo di integrare strumenti di progettazione e produzione in ambiente parametrico dal regenerative design per la neutralità climatica, all'additive manufacturing.

#### ABSTRACT ENG

The design experimentation will provide an advanced and innovative contribution to the theoretical-applicative theme, utilizing three scenarios that respond to different contextual conditions in order to provide an advanced and innovative contribution. By systemically altering the eco-product design based on its shape, structure, and additions, rather than modifying the material making up the product, the product can become more eco-friendly. Through the parametric tools in the ACD model, it is possible to improve evaluation methods to improve the sustainability aspects of the project in an integrated manner. Using this framework, all of the regenerative requirements of the building can be taken into account. The goal here is to include CO2 emissions, energy production and consumption during the operational phase while at the same time ensuring that all components of the building are recyclable. As a result of this investigation, it has been demonstrated that parametric design and AM tools can be integrated into a parametric environment for climate-neutral design.

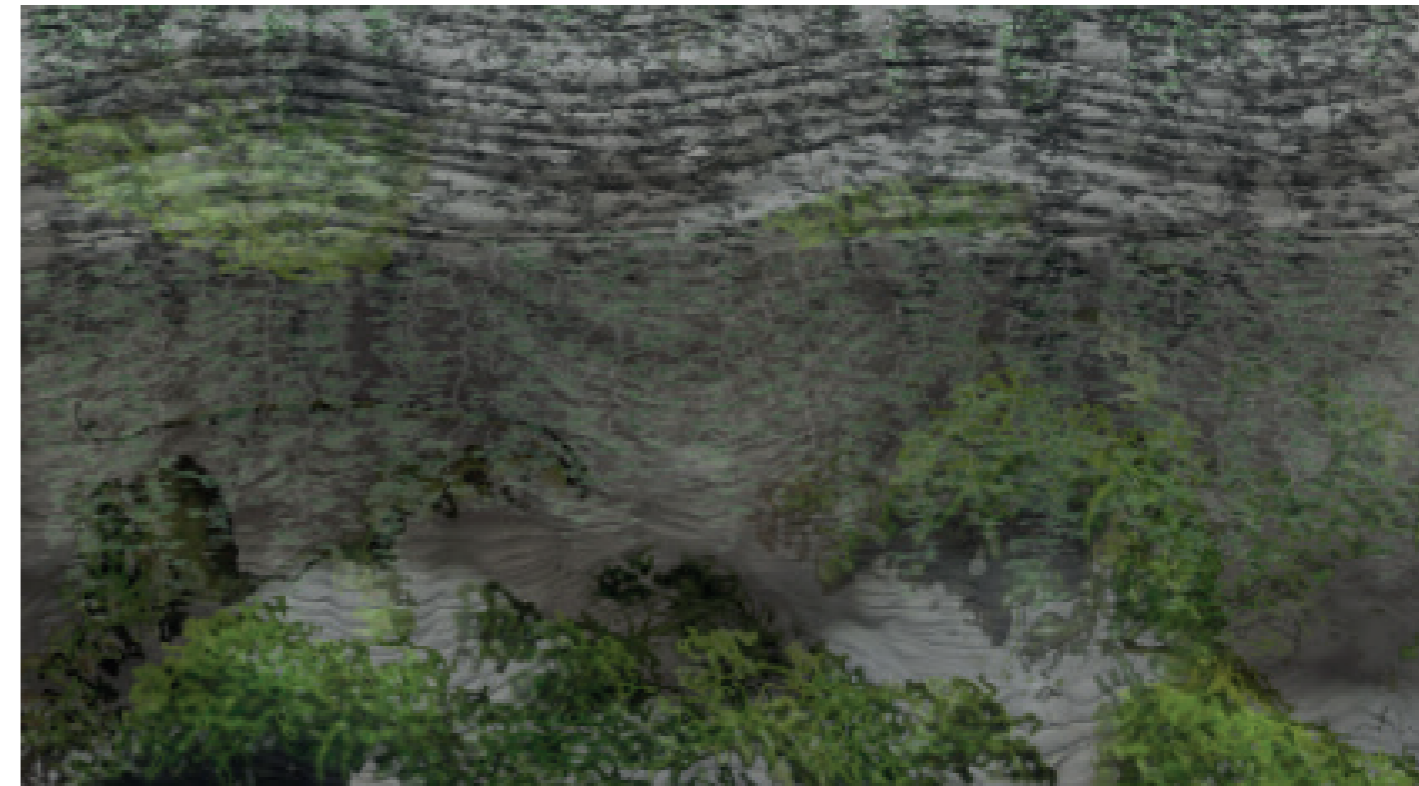
Domenico Lucanto

Processi circolari e tecnologie abilitanti per l'upcycling dei sistemi innovati di frontiera

d  
A r  
c h Dottorato di Ricerca in Architettura

## Domenico Lucanto PROCESSI CIRCOLARI E TECNOLOGIE ABILITANTI PER L'UP-CYCLING DEI SISTEMI INNOVATI DI FRONTIERA

Advanced Circular Design per il prototipo Green Responsive System





Dottorato in Architettura  
Dottorato in Diritto ed Economia  
Dottorato in Ingegneria dell'Informazione  
Dottorato in Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali

coordinatore  
prof. Paolo Fuschi

Collegio dei docenti  
Dottorato di Ricerca in Architettura  
XXXV ciclo

Francesca Fatta (coordinatore)  
Aragona Stefano  
Arena Marinella  
Barrile Vincenzo  
Bevilacqua Carmelina  
Bonsignore Carmelo Peter  
Calabrò Francesco  
Cardullo Francesco  
Carrà Natalina  
Colistra Daniele  
De Capua Alberto  
Della Spina Lucia  
Fallanca Concetta  
Fatta Francesca  
Fuschi Paolo  
Gattuso Domenico  
Giglio Francesca  
Ginex Gaetano  
Gioffrè Vincenzo  
Hopkins Andrew James  
Impollonia Nicola  
Lauria Massimo  
Lucarelli Maria Teresa  
Manfredi Tommaso  
Marcianò Claudio  
Marino Domenico  
Martinelli Flavia  
Martorano Francesca  
Massimo Domenico Enrico

Mediati Domenico  
Milardi Martino  
Mistretta Marina  
Molica Bisci Giovanni  
Morabito Valerio Alberto  
Moraci Francesca  
Musolino Mariangela  
Nava Consuelo  
Neri Gianfranco  
Passalacqua Francesca  
Pisano Aurora Angela  
Pucinotti Raffaele  
Pultrone Gabriella  
Raffa Venera Paola  
Rocca Ettore  
Russo Antonello  
Sarło Antonella Blandina Maria  
Scamardì Giuseppina  
Sofi Alba  
Taccone Antonio  
Tornatora Rosa Marina  
Villari Alessandro  
Garcia Fuentes Josep Maria  
Garcia Nofuentes Juan Francisco  
Jakob Michael  
Janeiro Pedro António  
Martinez Ramos Maria Roser  
Olivieri Francesca

In copertina  
Indicazione dell'immagine di copertina

SCUOLA DI DOTTORATO  
Università Mediterranea di Reggio Calabria

DIPARTIMENTO  
Architettura e Territorio

DIPARTIMENTO  
Patrimonio Architettura e Urbanistica

DOTTORATO DI RICERCA  
Architettura  
Architecture: Theory and Design

S.S.D. ICAR/12  
XXXV CICLO

# PROCESSI CIRCOLARI E TECNOLOGIE ABILITANTI PER L'UP-CYCLING DEI SISTEMI INNOVATI DI FRONTIERA

Advanced Circular Design per il prototipo Green Responsive System

Dottorando  
Domenico Lucanto  
Tutor  
prof.ssa Consuelo Nava  
Co-tutor  
prof.ssa Marina Mistretta  
Supervisor  
prof. Alessandro Melis

Coordinatore del dottorato  
prof.ssa Concetta Fallanca

#### Note biografiche

Domenico Lucanto, nato a Crotona, Architetto, iscritto al XXXV Ciclo di Dottorato in Architettura presso il Dipartimento – dArTe, dell'Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, nel 2022 "Visiting PhD student" presso la New York Institute of Technology. Membro e Coordinatore della Sezione Prototyping del Centro di Ricerca ABITAlab di Reggio Calabria, diretto dalla Prof.ssa Arch. Consuelo Nava. Gli interessi scientifici che in ambito disciplinare trattano la Cultura Tecnologica del Progetto Ambientale gravitano intorno alla grande area degli approcci sostenibili alla progettazione ambientale.

Nello specifico le attività condotte in ambito accademico e progettuale, declinate poi nella sperimentazione, riguardano la progettazione ecologica rigenerativa e la prototipazione circolare di componenti, materiali e sistemi costruttivi attraverso l'ottimizzazione del ciclo di vita e della fase operativa dell'edificio con approccio parametrico.







Domenico Lucanto

PROCESSI CIRCOLARI E  
TECNOLOGIE ABILITANTI PER L'UPCYCLING  
DEI SISTEMI INNOVATI DI FRONTIERA  
Advanced Circular Design per il prototipo Green Responsive System

# Indice

14 Nomenclature

18 Mappa del progetto di ricerca e delle attività di laboratorio

21 Introduzione: le traiettorie di ricerca

31 Premessa: la sperimentazione progettuale applicata

## **PARTE 1 - Posizionamento scientifico e tecnico della ricerca di frontiera**

36 Capitolo 1: Discussione in ambito disciplinare della cultura tecnologica del progetto

1.1 Processi circolari per la transizione ecologica nel settore delle costruzioni

1.2 Architettura 5.0: Gestione circolare e processi d'innovazione legati all'ottimizzazione del ciclo di vita delle componenti

1.3 Off-site technologies: trasferimento dei processi digitali ai processi costruttivi. Il caso dei sistemi e componenti per le facciate di involucri innovativi.

APPENDICE 1: Repertorio dei casi di Architettura 5.0

89 Capitolo 2: Discussione in ambito di innovazione e sostenibilità

2.1 Progettare il ciclo di vita in architettura

2.2 Oltre la prestazione: impatti ambientali, materiali da costruzione e fabbricazione digitale

2.3 Architettura ibrida: un approccio bio-based per nuove configurazioni tra natura ed ambiente costruito

2.4 L'approccio proto-tipologico al progetto per la sperimentazione

APPENDICE 2: Repertorio dei casi di Architettura Ibrida

123 Capitolo 3: Discussione sui temi dell'upcycling alle differenti scale dei processi trasformativi

3.1 Ecologia Radicale: L'estrazione urbana di nuovi materiali da costruzione

3.2 Upcycling Design: l'approccio circolare al "reclaim" in architettura

3.3 Exaptation tecnologica in architettura: il progetto della cooptazione dei componenti tecnologici

3.4 Il progetto dell'upcycling per l'aumento della prestazione ecologica ed energetica e dei componenti di sistemi tecnologici

APPENDICE 3: Repertorio dei casi di Upcycling Design/Reclaim in Architettura

## PARTE 2 - Metodologie Operative per l'Advanced Circular Design (ADC)

### 159 Capitolo 4: Advanced Circular Process

- 4.1 Life Cycle Thinking:  
l'approccio metodologico e operativo per il controllo degli impatti ambientali e dei bilanci energetici
- 4.2 Design computazionale nei processi circolari:  
tools e strategie digitali per l'ottimizzazione del progetto tecnologico
- 4.3 TESTING METODOLOGICO
  - 4.3.1 Per una metodologia operativa ADC: costruzione e simulazione di un framework per l'innovazione di processo nel progetto circolare

### 189 Capitolo 5: Advanced Circular Design

- 5.1 ADC in ambiente digitale:  
Regenerative digital design e digital LCA tool per il progetto di componenti e sistemi tecnologici e produzione di prototipi con sistemi robotici e di additive manufacturing
- 5.2 TESTING OPERATIVO
  - 5.2.1 Trasferimento tecnologico nelle applicazioni con simulazioni progettuali (seminari ABITAlab)
  - 5.2.2 l'esperienza della prototipazione full-scale (c/o laboratori del New York Institute of Technology)

## PARTE 3 - Sperimentazioni progettuali proto-tipologiche sugli ambiti applicativi della ricerca

### 219 Capitolo 6: Upcycling e Architettura 5.0 negli scenari di transizione climatica

- 6.1 Circolarità per la Resilienza: per la definizione di un nuovo paradigma  
PROTOTIPOLOGIA 1: "Resilience in Transition"  
(wall/opera 2 alla XVII Biennale di Venezia, Padiglione Italia)
- 6.1 Circolarità per la Resilienza: verso l'applicazione di Soluzioni tecnologiche NBS  
PROTOTIPOLOGIA 2: "Green Parking ad Alta Resilienza"  
(progetto-prototipo per test in situ della ricerca competitiva PVCupcycling)

- 257 Capitolo 7: I sistemi responsivi di frontiera: dal "green wall" per involucri al "liminal space" in ambito urbano
- 7.1 Liminal Space: Impatti ambientali e concept per la sperimentazione
  - 7.2 Sistemi tecnologici naturali: Innovazione radicale nell'utilizzo di miceli
    - PROTOTIPOLOGIA 3:  
"Progetto dell'involucro verde di un edificio ibrido"  
(sperimentazione didattica per l'Atelier di Tesi c/o ABITAlab)
  - 7.3 Sistemi tecnologici responsivi
  - 7.4 PROTOTIPOLOGIA 4:  
"Progetto ecophigital green system per il liminal space in ambito urbano"  
(progetto per il dimostratore di facciata verde nel quartiere Arco a Matera per la ricerca competitiva URGES)

#### **PARTE 4 - Sperimentazione progettuale per il prototipo G.R.S.**

- 301 Cap. 8. Dal progetto MVP al prototipo G.R.S.: riferimenti teorici, metodo, progetto, prototipo
- 8.1 Riferimenti teorici nel passaggio dall'MVP al GRS
  - 8.2 Formulazione sperimentale per il trasferimento della metodologia TRL
    - ATTIVITA' DI LABORATORIO A \_ dal TRL 0 al TRL 4 (tabulati progettuali)  
Presentazione e discussione dei risultati illustrati del Workshop GRS e del TRLlab  
(Atelier di Tesi ABITAlab)
- 341 Cap. 9. Validazione del prototipo G.R.S.:
- 9.1 Configurazione tecnologica e morfologica e modellazione digitale del prototipo, integrazione in scenari progettuali di frontiera, domini di profili energetico-ambientali
  - 9.2 Prodotto della sperimentazione progettuale:  
Costruzione del Workflow di processo e delle informazioni per il sistema GRS / Liminal Space in ACD
  - 9.3 Prodotto della sperimentazione prototipale:  
Realizzazione dei componenti per il sistema GRS/Liminal Space in ACD  
ELABORATI GRAFICI E ATTIVITA' DI MANUFACTURING
- 369 Cap.10. Valutazione della sperimentazione progettuale e competitività dei risultati
- 10.1 Predisposizione di una check list di brevetto per il sistema innovato di frontiera
  - 10.2 Riferimenti di tracciabilità sulla S3 Smart Strategy della Calabria sulla traiettoria Edilizia Sostenibile: riferimenti al programma S3/ 14-20 e proiezioni sulla S3/ 21-27
- 378 Apparato bibliografico generale
- 384 Riferimenti bibliografici per temi trattati



**NEW  
YORK  
TECH**

Le attività di studio e le esperienze di ricerca e di trasferimento alla didattica, che hanno contribuito ai tre anni di ricerca dottorale, si sono svolte all'interno di ABITAlab dArTe UNIRC.

Le attività di sperimentazione tra i laboratori di ABITAlab e della NYIT - New York Institute of Technology per il periodo di studio all'estero svolto da. 20.04.2021 al 20.10.2022



La ricerca è stata finanziata con una borsa di studio per il XXXV ciclo c/o la scuola di dottorato dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, dip. PAU dArTe, in Architecture: Theory and Design, con i fondi del POR Calabria 2014-20 S3 Smart Strategy per la traiettoria Edilizia Sostenibile.

## **Nomenclature**

ACD  
Advanced Circular Design

AD  
Algorhythmic Design

ADP  
Advanced Design Process

AM  
Additive Manufacturing

BM  
Biomimicry

CE  
Circular Economy

CO<sub>2</sub>  
Carbon Dioxyde

CTC  
Cradle to cradle

DF  
Daylight Factor

ENVI-met  
Environmental Metrics

EA  
Evolutionary Algorithms

EPW  
EnergyPlus Weather files

FDM  
Filament Deposit Modeling

GA  
Genetic Algorithm

GH  
Grasshopper  
GHG  
Green House Gasses

GRM  
Green Responsive Model

GRS  
Green Responsive System

GWP  
Global Warming Potential

I/O  
Indoor / Outdoor

LCA  
Life Cycle Assessment

LCI  
Life Cycle Inventory

LCT  
Life Cycle Thinking

LDM  
Liquid Desposit Modeling

LS  
Liminal Space

LW  
Living Wall

MCI  
Material Circularity Indicator

MFA  
Material Flow Analysis

MRT  
Mean Radiant Temperature

MOO  
Multi-Objective Optimization

MVP  
Minimum Viable Product

PD  
Parametric Design

PLCA  
Parametric Life Cycle Assessment

SHGC  
Solar Heat Gain Coefficient

STL  
Standard Triangle Language

TRL  
Technology Readiness Level

UHI  
Urban Heat Island

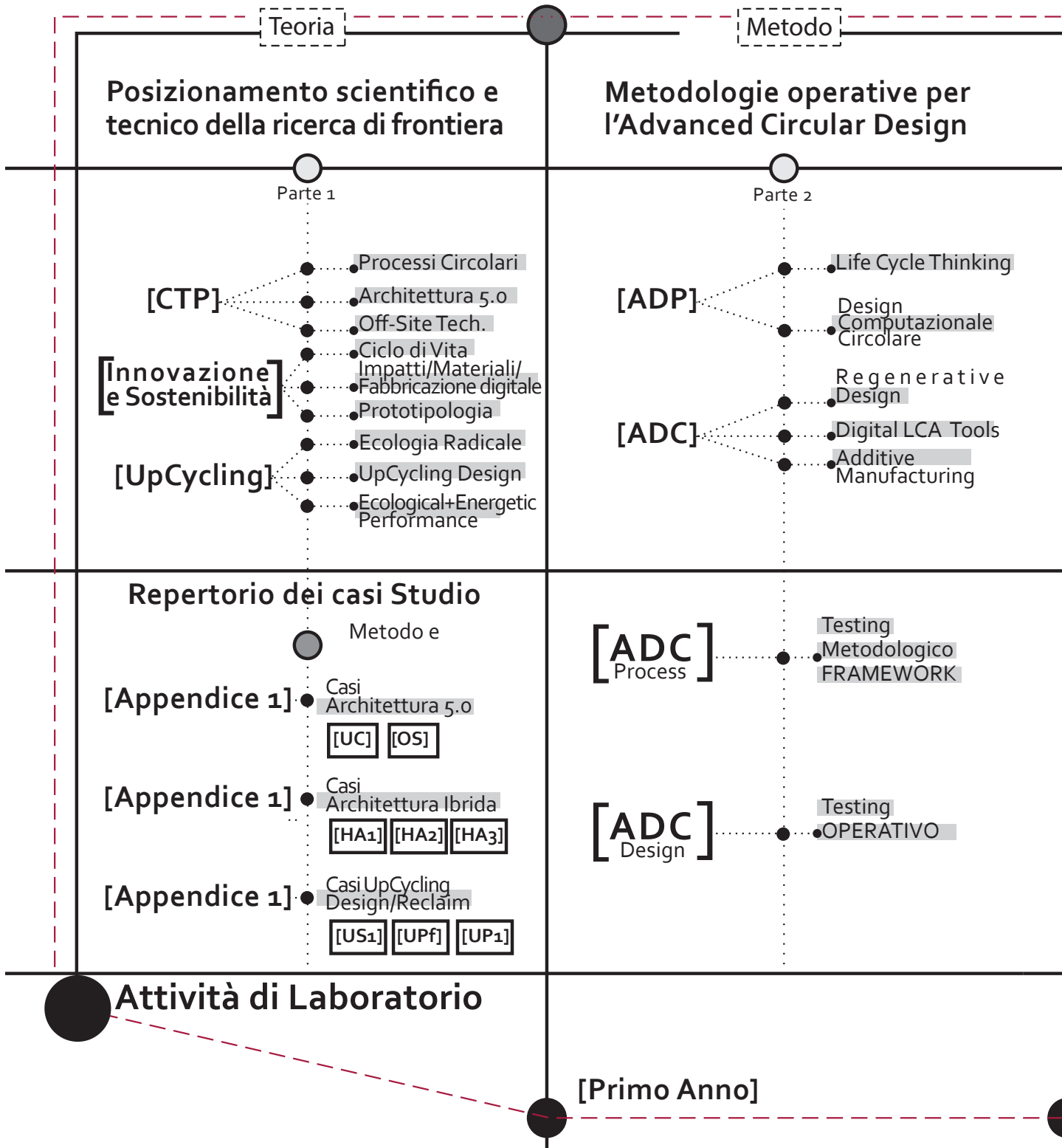
UTCI  
Universal Thermal Control Index

VGS  
Vertical Greening System

VPL  
Visual Programming Language



Mappa del progetto di ricerca e delle attività del triennio di dottorato



Sperimentazione Progettuale

Sperimentazione progettuale prototipologiche sugli ambiti applicativi della ricerca

Sperimentazione progettuale per il prototipo GRS

Parte 3

Parte 4

[UPCYCLING e Architettura 5.0]

[Da MVP a GRS]

[Sistemi di frontiera Responsivi LS]

[Validazione GRS]

- Life Cycle Thinking
- Design Computazionale Circolare
- Regenerative Design
- Digital LCA Tools
- Additive Manufacturing

- Metodo e Sperimentazione TRL
- Prototipazione di Componente
- Prototipazione di Sistema

[Attività in ABITAlab]

[Prototipologie]

[Attività di prototipazione]

- [#1] Resilience in Transition
- [#2] Green Park. High Resilience
- [#3] Green Envelope
- [#4] EcoPhigital Device

- WorkFlow Operativo e Digitale
- Trasferimento sul prototipo GRS scala 1:2
- Cantiere sperimentale sul prototipo GRS scala 1:1 c/o REDEL

[Periodo di Studio All'estero]

[NYIT]

[Secondo Anno]

[Terzo Anno]



## Introduzione: le traiettorie di ricerca

### *Tema della ricerca*

Gli ambiti tematici indagati si collocano, secondo un approccio tipico della “ricerca di frontiera”, all’interno del settore della produzione edilizia e della costruibilità dell’architettura, descrivendop la sua capacità di innovarsi in maniera sostenibile, attraverso il trasferimento di modelli e processi circolari e delle tecnologie abilitanti riferite all’advanced design.

Al fine di trasferire la teoria e i modelli applicativi dell’economia circolare ai processi circolari nel settore delle costruzioni e più in generale delle trasformazioni dell’ambiente costruito, occorre “innovare” e compiere scelte radicali, definendo i nuovi paradigmi progettuali e i loro settori di applicazione.

Non è infatti possibile occuparsi di design per l’“upcycling”, fermandosi alla fase di componente (tipico del riciclo), ma occorre spingere l’innovazione fino alla fase “di performance di sistema”.

Quindi attraverso il “progetto avanzato” dell’unità tecnologica proposta per la sperimentazione, progettare e prototipare modelli circolari per la produzione industriale di “sistemi e componenti tecnologici” provenienti da processi in “upcycling” realizzabili con tecniche “off-site”.

L’oggetto della sperimentazione sui componenti del Green Responsive System (G.R.S.) riguarda il progetto avanzato e circolare di un sistema di “moduli verdi” per realizzare chiusure verticali e orizzontali di involucro e componenti integrati nello spazio urbano, con un forte carattere responsivo.

Per tale ragione si assume l’idea della necessità di un progetto e di una prototipazione del componente industriale “di frontiera” (edificio e terzo ambiente), configurante un sistema continuo applicato all’involucro edilizio e al suo intorno ambientale, quale per es. la copertura dei suoli per aumentarne la permeabilità e altre prestazioni d’uso (Fig.1).

Il sistema progettato dovrà avere nel suo design una grande versatilità e scalabilità per il contesto in cui sarà integrato e la compatibilità con altri sistemi “rigenerativi” di controllo della qualità dell’aria e luminosa e di gestione del sistema dell’acqua e del suo uso, oltre che di sistemi più evoluti di monitoraggio del livello di comfort indoor e outdoor.

Una soluzione capace di ibridare materia prima seconda (organica ed inorganica) di differenti filiere del rifiuto e dello scarto, esprimendo le qualità dell’upcycling di processo in un ecodesign evoluto di prodotto.

Fig.1 – Schema per la definizione delle qualità del sistema di frontiera Parete / Suolo (fonte: modello a cura di D.Lucanto, 2020)



### Stato dell'arte

Lo stato dell'arte riferito al trasferimento dei modelli circolari ai processi industrializzati per l'edilizia sostenibile, e ancor di più ai temi "dell'upcycling nei processi off-site" (Fig. 2), è ancora poco indagato, e con prodotti scientifici perlopiù rintracciabili nella ricerca di settore e pubblicati in ambito internazionale.

Inoltre il carattere emergente dagli studi e dalle sperimentazioni, evidenzia la necessità di individuare riferimenti progettuali e scientifici in esperienze che vadano oltre i confini della ricerca disciplinare, puntando a un tipo di esperienza incrementale nelle sperimentazione e interdisciplinare nella letteratura. Pertanto la proposta di questa ricerca, intende procedere nel documentare lo stato dell'arte secondo gli indirizzi propri della "ricerca europea di frontiera" (Cfr. Parte 1) registrando quanto rilevato in letteratura (M. Celi, 2015) dal primo anno del progetto di ricerca, soprattutto per i risultati ottenuti dalla sperimentazione e con una rilettura critica dei nuovi paradigmi da discutere. Nell'indagare il modello dell'Advanced Circular Design, lo studio condotto delimita il campo di ricerca sulle questioni riferite "alla gestione delle risorse ed al loro trasferimento come materie prime seconde in progetti innovati di upcycling, destinati all'edilizia sostenibile in off-site", con un particolare approfondimento interdisciplinare dai settori della tecnologia dell'architettura (con riferimento al settore ERC di nuova formulazione PE8\_11 Environmental engineering, e.g. sustainable design, waste and water treatment, recycling, regenera-on or recovery of compounds, carbon capture & storage), della chimica dei materiali (Advanced Materials – KET's Definition in H2020) e dell'ingegnerizzazione dei sistemi costruttivi innovati per l'edilizia Off-Site (Advanced Manufacturing – KET's Definition in H2020).

I topics stessi, al fine di riformulare nuovi paradigmi con riferimento ad Upcycling e Off-Site, attingono i loro punti di partenza dal confronto tra quanto discusso in termini di innovazione continua, nei processi di advanced design, come formulata nella sua definizione culturale da M.Celi, e di innovazione radicale, nei suoi avanzamenti di contributo allo scenario progettuale e operativo con la teoria, il metodo ed il progetto illustrati nelle lezioni 4 e 5 di "Ipersostenibilità e Tecnologie abilitanti" da C. Nava (2019).

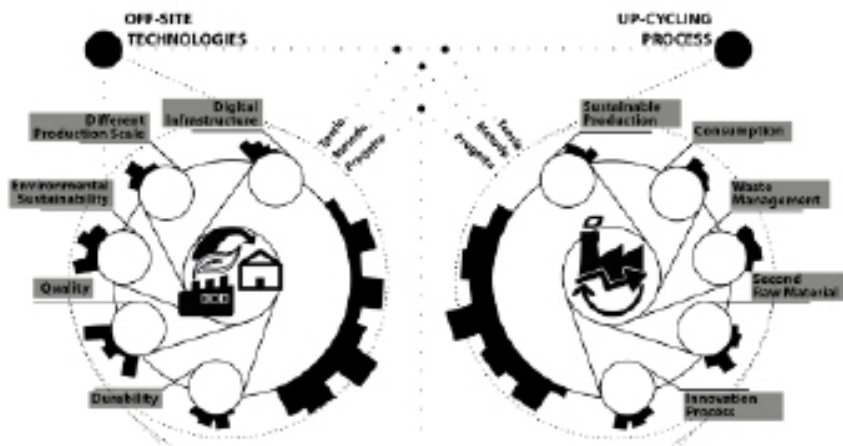


Fig.2 - Off-Site Technologies e UpCycling process, i requisiti fondamentali (fonte: modello a cura di D.Lucanto, 2020)

In prima istanza, lo scenario di riferimento culturale e tecnologico si trasferisce al settore produttivo del settore edilizio industriale, indagando in due ambiti fondamentali per una costruzione completa dello stato dell'arte:

-Lo studio di progetti e processi circolari alla scala di componente e di sistema, riguardanti i concetti di upcycling ed urban mining, per la raccolta di dati e di definizione della loro interpretazione, al fine di costruire di un modello applicabile a verificare la stessa proposta di sperimentazione successiva (letteratura interdisciplinare, es. sperimentazioni e progetti di Overtreders W, Felix Heisel e Dirk E. Hebel, Arup Studio.);

- l'indagine condotta sulle "tecnologie di fine vita" a scala di componente ed edificio, riferibili ai casi di recycle e trasferibili ad un modello più avanzato per l'upcycling, nei sistemi completi in off-site, con riferimento ai nuovi processi di L.C.A. (letteratura disciplinare, es. studi e pubblicazioni C.Nava, M.Lavagna, R.Giordano, I.Paoletti, M. Mistretta). Si aggiunge un contemporaneo ambito di approfondimento, riferito alla teoria e alla prassi nella costruibilità e innovazione dell'Architettura, che definiremo Architettura 5.0, con riferimento alle recenti opere e sperimentazioni che integrano i temi della circolarità all'approccio sostenibile al progetto alla scala di edificio, attraverso i processi digitali avanzati.

L'intento perseguito anche con la ricerca, è quello di superare l'attuale limite applicativo dei sistemi tecnologici integrati di cui si ha esperienza con riferimento a progetti già realizzati e che hanno realizzato in upcycling (Fig. 3a) componenti di involucro, legandosi al concetto di durabilità (del componente) e di durata (dell'edificio). Così come emerge da esempi di architetture contemporanee progettate per la realizzazione, si tratta sempre di edifici "temporanei" (padiglioni), la cui smontabilità dell'edificio coincide con il ciclo di vita dei componenti o quasi. (Fig.3b). Si ritiene importante quindi lavorare a livello di design su la variabile "tempo" e "ciclo di vita" dal materiale, al sistema tecnologico, all'edificio. (nella sua configurazione architettonica e tipo-morfologica). Ancora, la ricerca attraverso i temi delle sperimentazioni su più contesti a livello urbano, studia la possibilità di sistemi innovati di integrarsi con altri sistemi innovativi per la permeabilizzazione dei suoli e lo stoccaggio della CO<sub>2</sub> (evoluzione del progetto PVCupcycling green parking) (Fig.4).

Fig.3a - CRA-Carlo Ratti Associati, Italo Rota Building Office – Padiglione Italia, EXPO 2020, Dubai.



Fig.3b - Bureau SLA and Overtreders W, People's Pavillon, Dutch Design Week 2017, Eindhoven.



Per recepire tali avanzamenti e per trovare in riferimenti più globali, altri contributi utili alla definizione dello stato dell'arte, si deve operare l'interpretazione critica con trasferimento conoscitivo di alcuni degli obiettivi (SDGs) dell'Agenda 2030, in particolare, con riferimento al Goal 3 – Salute e benessere, Goal 9 - Imprese, innovazione ed infrastrutture; Goal 12 - Consumo e Produzione Responsabile; Goal 13 - Lotta ai Cambiamenti Climatici; delle traiettorie Green Deal H2020 (call area 3: industry for a clean and circular economy); delle traiettorie del nuovo Horizon Europe (cluster 4. Digital, Industry e Space).

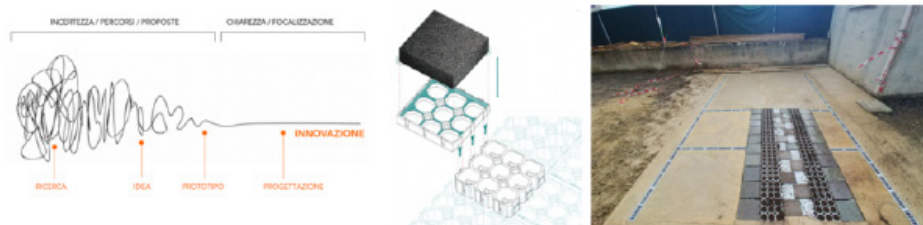


Fig. 4 - Il progetto di ricerca dall'innovazione del componente all'innovazione di sistema nel progetto PVC UpCycling (fonte: PMopenlab srls)

### Approccio disciplinare e ambiti di discussione

La disciplina della "cultura tecnologica del progetto ambientale" declina il suo approccio attraverso l'individuazione di due traiettorie di ricerca applicata:

- L'avanzamento culturale e sperimentale sui temi indagati, nel rapporto tra tecnologie abilitanti, economia circolare e progetto sostenibile (Cfr. Cap. 1), rintraccia il suo focus tematico sulla "transizione ecologica" e intende trasferirlo al settore delle costruzioni, attraverso un modello di tipo circolare per la produzione industriale di componenti per l'edilizia sostenibile e la costruibilità dell'Architettura 4.0, provenienti da processi di upcycling della materia prima-seconda, nell'ibridazione di materiali di scarto - rifiuto o di sfrido, di filiere produttive differenti.

- Il tema dell' "upcycling" e delle "tecnologie di fine vita", per modelli circolari, nei loro riferimenti progettuali connessi ai campi di applicazione del "prodotto di consumo" (componenti per design oggetti, prodotti per infrastrutture, etc), trovano una consolidata applicazione come naturale evoluzione del concetto di riciclo (Cfr. Cap. 2). Ma per il settore delle costruzioni e dei processi industrializzati, occorre spingere il modello circolare oltre il consolidato concetto di "ciclo di vita" del rifiuto e delle sue tecnologie "cradle to cradle" e innovare tutto il processo di progettazione e produzione, riferendosi all'ecodesign del prodotto - componente, attraverso la risposta delle sue prestazioni una volta che lo stesso è inserito in un sistema completo (unità tecnologica dell'edificio) e dichiara il suo profilo energetico-ambientale in un LCA tracciabile;

- le varie declinazioni di unità tecnologiche progettate e prototipate in differenti scenari, con riferimento ad un involucro evoluto ad alta sostenibilità e biodiversità (Cfr. Cap.3), dovrà rispondere a requisiti sia di tipo tecnologico - morfologico, sia di tipo energetico - ambientale, nonché ecologico con riferimento all'azione sulla qualità dell'aria e allo stoccaggio della CO<sub>2</sub>, riferendosi quindi alla progettazione alla scala di componente (blocco, modulo, piastra, configurabile con l'ibridazione della materia prima-seconda dei settori individuati), unitamente alle parti costituenti il sistema in off-site (sistemi di sostegno, di giunzione, di supporto, di sottostruttura, altri dispositivi integrati).

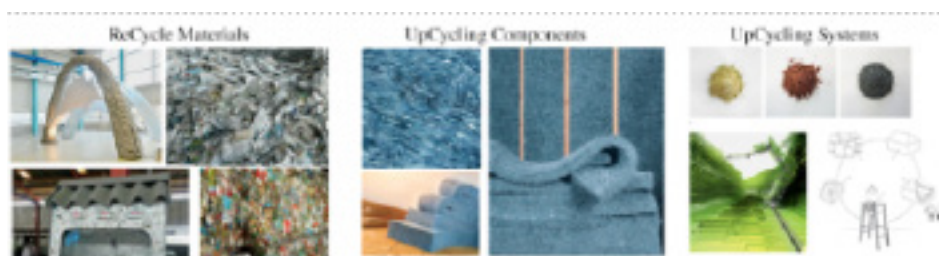


Fig.5 - Il processo di UpCycling misurato nelle sue tre dimensioni Materia, Componente, Sistema

### *Parametri progettuali e informazioni tecniche dell'apparato dei casi studio*

La sperimentazione intende fornire un contributo avanzato e innovativo al tema teorico-applicativo, attraverso la sperimentazione progettuale in tre scenari che rispondono alle diverse condizioni contestuali, senza la necessità di modificare la materia che compone il prodotto, ma intervenendo in maniera sistemica sull'eco-design del prodotto innovato secondo forma, struttura ed integrazioni.

In tal senso, la ricerca necessita di un apparato di casi studio e progetti riferibili, per la costruzione degli indicatori prestazionali necessari a costruire un impianto di riferimenti per il progetto, con l'approccio interscalare: alla scala di materia, alla scala di prodotto, alla scala di sistema. Vengono quindi catalogati in: - Appendice 1, Repertorio dei casi di Architettura 5.0; - Appendice 2, Repertorio dei casi di Architettura Ibrida; Appendice 3, - Repertorio dei casi di Upcycling Design/Reclaim in Architettura.

### *Appendice 1 - Repertorio dei casi di Architettura 5.0*

#### 1. Innovative material.

La scala del componente o materia è quella con i maggiori esempi con riferimento all'economia circolare, in quanto nell'approccio industriale la circolarità consente il risparmio (soprattutto economico) di risorse (materie prime ed energia).

Gli esempi scelti riguardano materiali/ prodotti con contenuto di riciclato sia di tipo pre-consumo (scarti di lavorazioni industriali, scarti di segheria, scarti delle produzioni agricole, ecc.) sia di tipo post-consumo (plastica riciclata, metalli riciclati, ecc.).

L'obiettivo è quello di rintracciare una case history rappresentativa di materiali che abbiano in sé la capacità di avere un afflusso di scarti verso il settore edilizio proveniente da altri settori, in ottica di simbiosi industriale.

#### 2. Up-Cycling Product.

All concetto di UpCycling riprende il concetto di valore ecologico e lo considera come una qualità da rintracciare nei componenti dedicati all'architettura e all'edilizia sostenibile capaci, attraverso la loro trasformazione di aumentare le loro prestazioni in tutto il ciclo di vita.

Nel considerare le prestazioni abbinate al valore ecologico, si rintracciano tutti quelle esperienze nel campo della progettazione avanzata, caratterizzati da un forte livello di innovazione tecnologica, capaci di interpretare i concetti espressi nella definizione di Architettura 5.0. Ovvero: l'innovazione radicale nei processi di gestione del ciclo di vita; i processi di Design Computazionale per la Early Design Phase.

#### 3. Circular Off-Site Solutions.

I casi studio presentati ed esaminati in questa sezione riprendono i concetti legati all'innovazione dei sistemi costruttivi in off-site elaborati nel paragrafo di riferimento.

In questo senso la lettura critica dello stadio dell'arte rintraccia quei sistemi industrializzati per la realizzazione di sistemi di facciate che rappresentano un forte carattere innovativo, perchè legati strettamente alla traduzione dei principi dell'economia circolare in sistemi costruttivi avanzati. Speculativamente si valutano progetti recenti e che sono già nella loro fase di concept indirizzati all'utilizzo di tecnologie innovative per la fase di costruzione, e che abbiano, nella letteratura di riferimento, gli elementi necessari per valutarne gli indicatori prestazionali presentati nell'introduzione dell'appendice di seguito descritti.

### *Appendice 2 - Repertorio dei casi di Architettura Ibrida*

#### 1. Understand Nature

Le relazioni reciprocamente vantaggiose richiedono un'apertura all'apprendimento e alla scoperta di punti in comune e differenze con un obiettivo di fondo: Capire i sistemi naturali per migliorare i sistemi tecnologici.

#### 2. Simulate Nature

Per emulare alcune proprietà ed efficienze che si trovano in natura, è necessario comprenderne gli aspetti non umani. I designer stanno, infatti, ridefinendo il raw materials con le loro nuove prospettive e applicazioni dei materiali di scarto tradizionali. Riconoscono il valore intrinseco di questi materiali e li rimuovono dal flusso di rifiuti, aggiungendo potenziale creativo e diversità e trasformandoli in risorse. Si rintracciano in particolare i processi che sottolineano il ruolo della natura come dimostratore, intercettando i nutrienti per la Terra al termine del loro ciclo di vita.

### 3. Nature Facilitate Design

L'architettura ibrida che supporta, guida e assiste l'interazione e la crescita utilizzando una varietà di processi che facilitano l'integrazione dei processi naturali e ne permettono la proliferazione là dove non sarebbe possibile. Alcuni dei lavori più innovativi sono stati nel settore della biofabbricazione, un processo produttivo in cui batteri, lieviti, cellule e funghi vengono sfruttati come fabbriche per coltivare prodotti.

### 4. Nature Augment Design

Sfruttare l'attività metabolica di nuovi materiali, come alghe batteri ecc ha portato a nuovi metodi non inquinanti ed efficienti dal punto di vista energetico, nonché per coltivare mattoni di cemento. Indipendentemente da come vengono prodotti o da quanto tempo è necessario per portarli a compimento, condividono la dipendenza dal processo di creazione della natura. Come possiamo sviluppare materiali, oggetti che possano migliorare l'ambiente costruito per migliorare non solo l'esistenza umana, ma la natura stessa? L'obiettivo è di rintracciare forme reattive che possano migliorare i processi di gestione e mitigare gli impatti nel nostro ambiente.

## *Appendice 3, - Repertorio dei casi di Upcycling Design/Reclaim in Architettura*

### 1. UpCycling Shaping

UpCycling Shaping: Tra Forma e Struttura, come capacità di avere un sistema autoportante assolutamente svincolato da requisiti di resistenza e stabilità dal contesto in cui è applicato.

### 2. UpCycling Product

La capacità di utilizzare materie ibride ed innovative, ovvero nell'analisi di tutte le caratteristiche che definiscono la qualità del prodotto, i suoi attributi innovativi che all'interno del processo circolare qualificano il progetto in Up-Cycling.

### 3. UpCycling Performance

UpCycling Performance: Tra Forma e Prestazione, con riferimento alle prestazioni di tipo energetico ambientale, e nella capacità di assorbire ed integrare altri componenti per elevare la qualità delle prestazioni innescando processi di simbiosi industriale per l'Up-Cycling. Nelle tre appendici riferite alla scala urbana e alla scala di edificio sostenibile si approfondisce il rapporto tra forma e prestazione, nella responsabilità quale misura delle prestazioni del sistema e della capacità di adattamento e mitigazione.

La simbiosi industriale si realizza dunque attraverso le alternative studiate, sia attraverso la capacità di attivare e di accogliere quei sistemi di integrazione eventualmente già presenti sul mercato, sia sui prodotti di sperimentazione che possono essere utili al progetto del sistema responsivo.

Quando queste sono riferite alle prestazioni energetico ambientali l'analisi è condotta attraverso il confronto con il sistema oggetto della sperimentazione; quando l'analisi sui sistemi responsivi riguarda l'integrazione dei prodotti e componenti innovativi si valuta la compatibilità e l'adattabilità in ottica di simbiosi industriale.

L'obiettivo del controllo sull'impatto ambientale riferito ad un modello avanzato di sperimentazione prototipologica verso sistemi capaci di innovarsi innovando i processi in off-site, rintraccia quelli che vengono definiti come i requisiti fondamentali per l'edilizia off-site, (C.Nava, 2019) i quali conferiscono il carattere innovativo nello scenario competitivo della filiera al quale si riferisce.

#### *La metodologia operativa l'ADC*

Gli strumenti parametrici nel modello ACD (fig.6) offrono un'importante interfaccia digitale per migliorare i metodi di valutazione per migliorare gli aspetti di sostenibilità del progetto in modo olistico. Il quadro proposto consente di includere tutti i requisiti rigenerativi dell'intero edificio considerando le emissioni di CO<sub>2</sub> incorporate, la produzione e il consumo di energia durante la fase operativa, e allo stesso tempo di controllare e migliorare la riciclabilità di tutti i suoi componenti. [6]

Un'analisi sperimentale nel corso di Sustainable Innovation Design di è stata condotta per dimostrare le associazioni esistenti tra la pratica del design circolare e gli aspetti rigenerativi del design da questi documenti nell'ambiente Grasshopper (Cfr. Cap. 4). Da questa analisi si può notare che, sebbene vi sia un'evidente connessione tra le qualità termiche dell'ambiente costruito, il miglioramento dei consumi energetici e l'aspetto climatico a scala globale.

Un processo rigenerativo di ottimizzazione reattiva dei componenti e dei sistemi dell'edificio deriva naturalmente da approcci di progettazione basati sulle prestazioni in un ambiente parametrico (Cfr. Cap. 5).

Aggiungendo strumenti di valutazione parametrica agli strumenti performativi, l'approccio proposto mira a dimostrare che è possibile effettuare un confronto sufficiente per l'ottimizzazione delle parti in una prospettiva circolare avanzata già durante la fase iniziale di progettazione. [7] Verranno compiuti sforzi per includere tutti i dispositivi tecnologici e i sistemi di configurazione formale in grado di offrire prestazioni migliori come unità di stoccaggio dell'anidride carbonica (Cfr. Cap. 6), sia riducendo al minimo gli impatti del ciclo di vita sia attraverso la cattura e lo smaltimento dei tassi di emissione. [8]

*I requisiti di applicazione: n.4 Sperimentazione progettuale/prototipologie*

Il metodo che sostiene l'avanzamento culturale e scientifico, al quale fanno riferimento gli obiettivi della ricerca applicata, segue i principi dell'advanced design di tipo progettuale-operativo e l'approccio produttivo di tipo "proto-tipologico", da validare in ambiente di laboratorio tecnologicamente rilevante. (TRL-5)

Secondo F. Heisel e D. Hebel la teoria proto-tipologica [9] introduce un radicale cambio di paradigma per produrre e innovare i materiali d'uso per la costruzione.

Coniata unendo i termini "prototipo" e "tipologia", la proto-tipologia rappresenta un'applicazione su vasta scala per migliorare l'innovazione in termini di sostenibilità ed efficienza delle risorse (Fig. 7).

Approccio olistico questo approccio consente di scoprire tutti gli aspetti connessi e affrontare le incognite di una specifica domanda, ma allo stesso tempo fa parte di una serie di test più ampia e sistematica di tipologie così diverse con caratteristiche simili, ma parametri variabili. Durante un intenso esperimento di laboratorio per determinare il funzionamento delle facciate verdi come soluzione passiva di risparmio energetico, il clima mediterraneo è stato preso in considerazione. Allude in particolare a esperimenti con facciate verdi e drappi verdi (Cfr. Cap. 7).

Questa tipologia è stata scelta per la semplicità di montaggio e smontaggio, la facilità di integrazione nell'edificio e la minima necessità di manutenzione. Per supportare un ecosistema sano, le aree naturali e i corridoi sono progettati e gestiti su una scala che va dal materiale al componente.

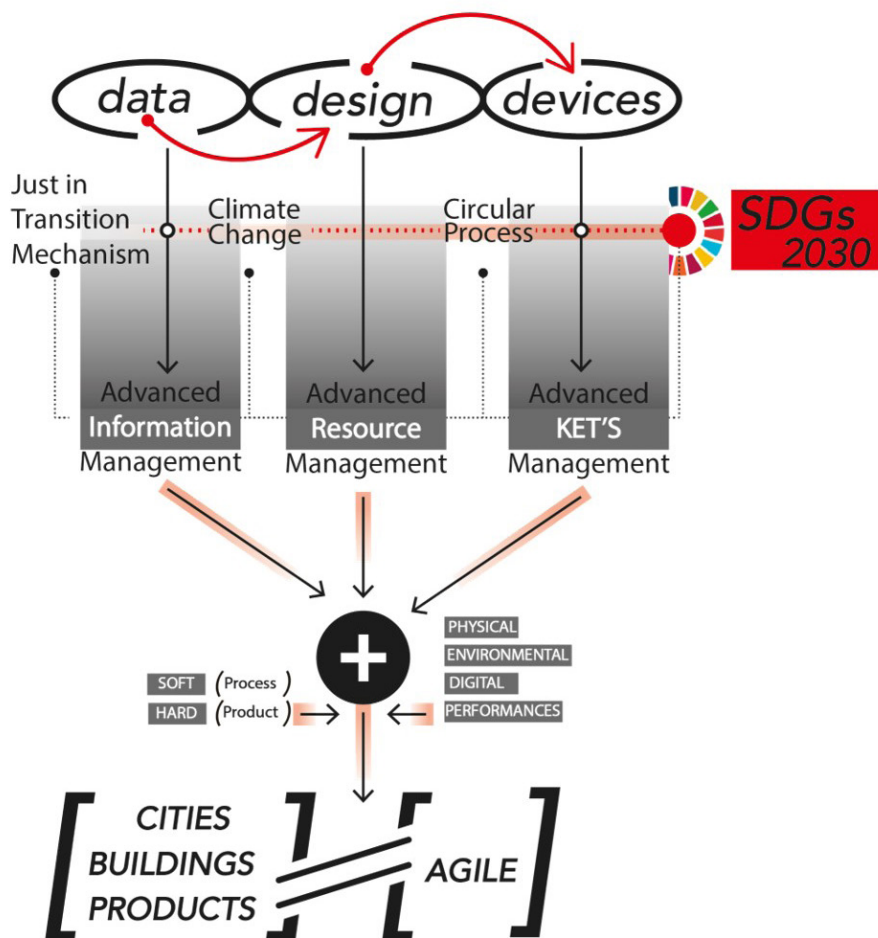


Fig. 6. Advanced Sustainable Design Model (fonte: C.Nava, 2019)

Attraverso la lettura delle 4 Prototipologie si dimostra il livello di superamento della qualità e delle prestazioni di un prodotto proveniente da un processo di upcycling. Si evidenzia attraverso l'approccio sperimentale un superiore processo di eco-design, beneficiando anche della contabilità ambientale attraverso tecnologie abilitanti di prodotto e della valutazione della sostenibilità nei processi avanzati e circolari. Questo tipo di processo deve trovare quasi sempre la sua validazione in forti campi di prova, in grado di lavorare su filiere di prodotto ibride, sui suoi profili materiale, ambientale, energetico e chimico; dimostrando volontà di intercettare modelli di simbiosi industriale e istruire scenari progettati con alti livelli di specializzazione. Il significato e il linguaggio dei prodotti "upcycling" sono tanto radicali quanto l'innovazione provata, quindi la dimensione dell'obsolescenza del prodotto non è vista come un calo delle prestazioni, ma come l'aspettativa del nuovo e successivo prodotto, più avanzato. Per declinare l'UpCycling attraverso la definizione degli scenari di transizione climatica in Architettura 5.0 è necessario descrivere gli aspetti applicativi del metodo definito e sottolineare la trasferibilità del modello attraverso la rilettura critica delle sperimentazioni proposte.

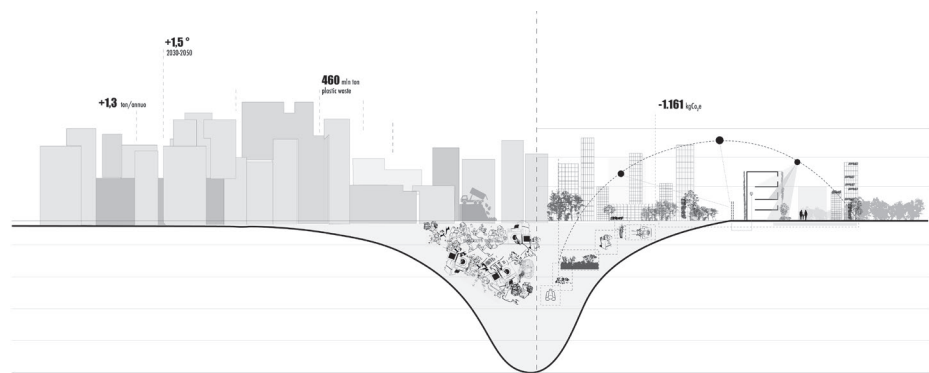


Fig.7 - Advanced design for resilient Scenarios (fonte: F.Filice, studente Atelier Tesi dArTe 2021-2022, resp. C.Nava)



## Premessa: la sperimentazione progettuale applicata

### *Oggetto della sperimentazione*

Nell'ambito della cultura tecnologica del progetto sostenibile la sperimentazione sul componente/sistema innovato intende trasferire nel progetto dell'unità tecnologica un modello di tipo circolare per la produzione industriale di prodotti provenienti da progetti di Up-Cycling e riproducibili con tecniche e tecnologie di tipo Off-Site.

Come evidenziato nello studio di C. Nava sulla definizione del ruolo e delle prestazioni del sistema di involucro:

"L'involucro di fatto svolge un importante ruolo per la prestazione di efficienza complessiva, rispondendo alla domanda di attività della facciata, attraverso il rapporto tra superficie opaca e superficie vetrata e tra struttura e stratificazione del pannello isolante. La pelle invece, mutevole nei differenti scenari, può assolvere al demandato compito di protezione sui fronti, ma soprattutto rappresentare un ruolo figurativo di compatibilità con il contesto." (C. Nava, 2019)

L'oggetto della sperimentazione sul componente Green Responsive System tratta il tema della progettazione circolare di un sistema di "moduli verdi" per realizzare chiusure verticali e orizzontali con un forte carattere responsivo.

Il valore attribuito al progetto non riguarda solo la risposta della prestazione energetica ambientale, ma è definito dalla capacità di adattarsi ed innovarsi aggiungendo valore (Up-Cycling) nella risposta che offre nel sistema ambientale a tutte le scale del progetto, dal materiale al componente, e dal componente al sistema.

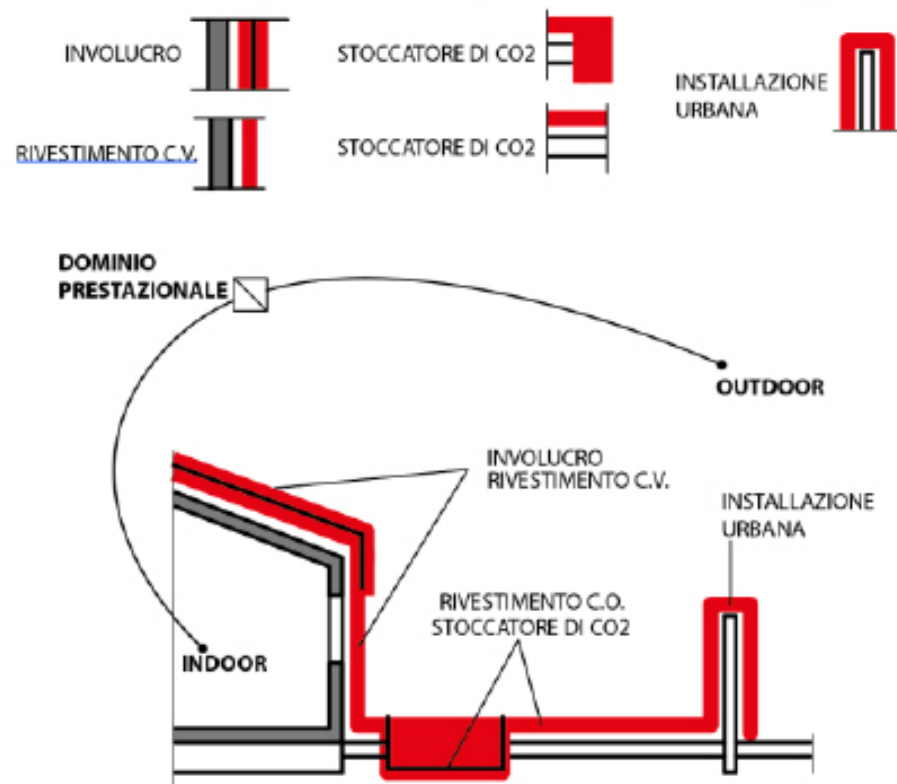


Fig.1 – Schema per la definizione delle qualità del Liminal Space (fonte: modello a cura di D.Lucanto, 2020)

### *Gli scenari di Sperimentazione progettuale nelle applicazioni*

Confrontarsi con i temi del cambiamento climatico diventa prioritario per rispondere alla crisi ambientale divenuta la vera questione globale e locale da affrontare.

Lo scenario delineato nell'ultimo report dall'IPCC, consolidato dal suo recente riconoscimento governativo all'interno della COP 26, si pronuncia senza filtri riguardo la storia e le possibili evoluzioni di tale questione.

L'incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub> e degli altri Green House Gasses (GHG) è sicuramente il fattore che più di tutti determina gli scenari di impatto per ogni cambiamento climatico. Le ragioni evidenziate nella descrizione del dominio prestazionale qualificano il sistema di frontiera come spazio prestazionale capace di dare risposte sia alla scala urbana sia alla scala di edificio.

Il Liminal SPace, quindi, assume una funzione spaziale precisa, come spazio prestazionale "in between", dove il sistema fisico-tecnologico svolge il ruolo di attivatore della performance ambientale.

In tale particolare e urgente scenario, ogni tipo di trasformazione attivata per aumentare la qualità della vita dell'abitare e quindi i processi rigenerativi, che riguardano l'architettura e la città, deve guardare alla capacità di adattamento di ogni azione nei suoi processi, dal design alle realizzazioni a "zero impatto".

Nel contributo di seguito illustrato ci si sofferma in particolare, sulla capacità del design circolare di attivare processi virtuosi di controllo e gestione di tali trasformazioni, si presenta l'esperienza in corso del progetto di Design Avanzato Circolare applicato al sistema ambientale di frontiera, con una sperimentazione prototipale denominata "Green Responsive System (G.R.S.)" (Fig. 2).

La capacità che il prototipo/modello è chiamato ad ottimizzare riguarda le prestazioni misurate sull'unità ambientale di riferimento, considerando le relazioni tra l'intorno ambientale e l'organismo edilizio, innovando il componente attraverso l'utilizzo in Up-Cycling di nuovi materiali da costruzione (Fig. 3).

L'accezione "green", di cui si dota la denominazione del prototipo oggetto della sperimentazione, intende allargare il campo della sperimentazione verso tutti quei sistemi di natura biologica che permettono di realizzare materiali, componenti e sistemi per l'architettura bioecologica con un alto profilo ambientale e con un carico ambientale vicino allo zero, che grazie alla cooptazione funzionale delle sue componenti ne aumenta le capacità di configurazione, come stoccatrici di CO<sub>2</sub> e come mitigatore di emissioni di gas climalteranti nell'ambiente.

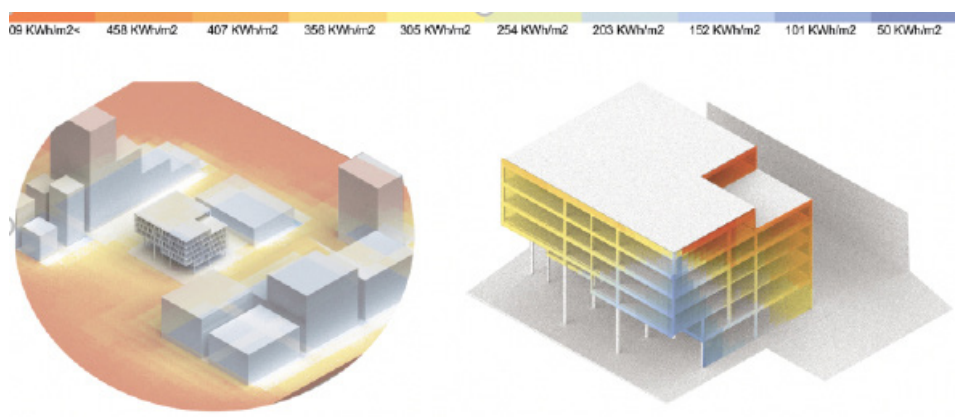


Fig. 2 – Visualizzazione Parametrica basata sui dati climatici relativi ai Dati di Radiazione Solare forniti dal database OpenStreetMap Sperimentazione su organismo edilizio tipo, considerando i dati climatici relativi alla città di New York. (fonte: elaborazioni ABITALab per il PhD di D. Lucanto, 2021)

L'argomento proposto nella discussione punta ad illustrare il metodo, il progetto e la teoria (C. Nava, 2019) dell'advanced circular design in ambito sperimentale, focalizzando l'attenzione sull' up-cycling di componenti di involucro "green" realizzati in off-site, progettando e definendo il contributo di innovazione della frontiera<sup>3</sup> in scenari di ambiente costruito, in contesti differenti, dai sistemi urbani a quelli edilizi dell'architettura in transizione.

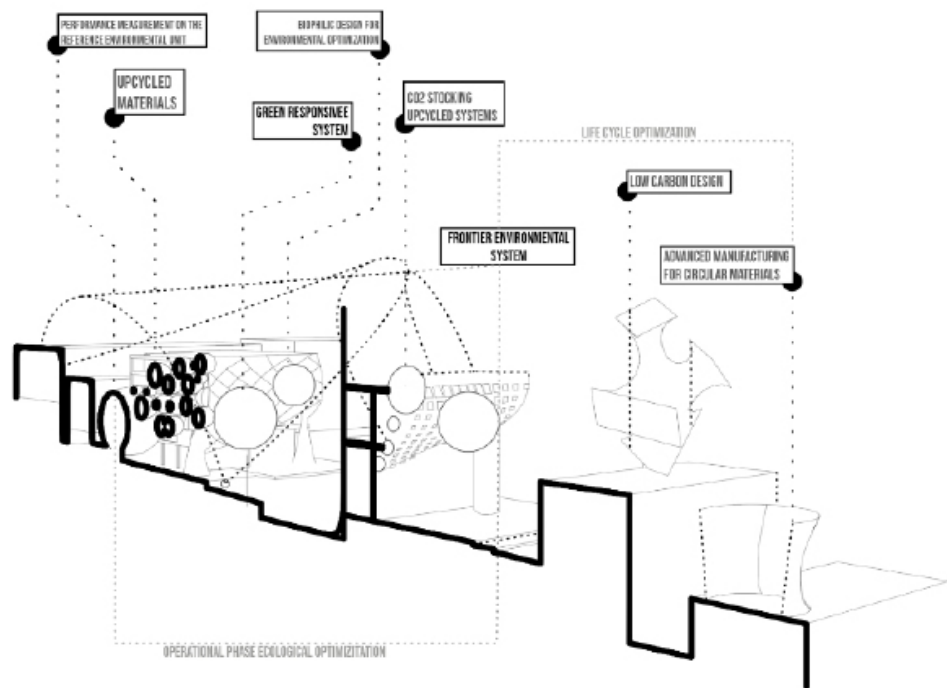


Fig. 3 – Advanced Circular Design Discourse. Diagramma illustrativo sulle prestazioni ambientali del sistema di frontiera. (fonte: elaborazioni ABITALab per il PhD di D. Lucanto, 2022)

### *Caratteri innovativi della sperimentazione e Circular Design Process.*

Questo tipo di sistema di involucro verde, Green Responsive System, affronta il tema generale della frontiera, sistema complesso fisico-ambientale di cui il concetto spaziale riferito alla sola performance dell'involucro, ma alla sua capacità di restituire una prestazione ambientale di qualità svolgendo un ruolo attivo nella mediazione tra gli spazi interni ed esterni dell'ambiente costruito.

Lo spazio "In Between" definisce il dominio della prestazione dove misurare la performance del sistema. L'unità tecnologica all'interno dello spazio prestazionale definito dagli spazi di mediazione indoor/outdoor e dagli ambienti di prossimità, sia a scala di edificio sia alla scala urbana, diventa quindi un sistema capace di rispondere a requisiti sia di tipo tecnologico-morfologico, sia di tipo energetico-ambientale, nonché ad offrire una prestazione ecologica riferita agli aspetti legati al miglioramento della qualità dell'aria e allo stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

Quali sono i caratteri essenziali e di quali attributi si deve dotare il processo ed il progetto del componente di frontiera Green Responsive System?

Il processo di definizione del dominio descrive il sistema di frontiera come "dispositivo di mediazione tra indoor e outdoor", il quale deve poter essere misurato sulle qualità energetico-ambientali e fisiche. Questo trova le sue caratteristiche essenziali nella capacità del sistema verde di tipo responsivo di attivare tutti gli attributi di prestazione (livelli di qualità).

"Il tema del rivestimento affrontato nei suoi termini materici e tipologici, assume requisiti di sostenibilità con riferimento alla produzione industriale con cui diviene prodotto, ma certamente per le caratteristiche tecniche di proprietà proprie, assolve al ruolo di componente capace di contribuire alle prestazioni dell'intero sistema" (C. Nava, 2019).

La risposta a tale questione può risiedere nell'indagine sui caratteri della configurazione di tipo generativa, definendo nella Parte 4 il processo ed i risultati della sperimentazione progettuale per il G.R.S..

Uno dei passaggi più importanti della metodologia definita dal Green Responsive Model è la definizione del Minimum Viable Product (MVP), necessario per avviare il processo di sperimentazione integrando con il minimo impiego di risorse possibile l'idea di concept in dei pre-prototipi dal carattere innovativo (Cfr. Cap. 8). Il capitolo oggetto della prima sperimentazione apre la rilettura critica dei tabulati progettuali per il passaggio dall'MVP al TRL 0 e si chiude con la presentazione e discussione dei risultati illustrati del Workshop GRS e del TRLlab Atelier di Tesi ABITAlab dArTe.

La validazione del prototipo G.R.S. necessita di un ulteriore passaggio progettuale (cfr. Cap. 9) per la definizione dei livelli prestazionali attesi e definiti. La sperimentazione continua con la configurazione tecnologica e morfologica del Green Responsive System all'interno del Liminal Space. In questo senso la modellazione digitale del prototipo punta all'integrazione in scenari progettuali di frontiera, attraverso la proposta di un nuovo Workflow parametrico originale per l'ottimizzazione prestazionale secondo il modello dell'Advanced Circular Design.

### Riferimenti bibliografici

- Alini, L. (2021). Architecture between heteronomy and self-generation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 21-32. <https://doi.org/10.36253/techne-10977>
- Celi, M., & Elena, F. (2015). Advanced design practices for sharing futures: a focus on design fiction. In *THE VALUE OF DESIGN RESEARCH 11th International European Academy of Design Conference*, April 22-24th 2015 (pp. 1-13). FRA
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Mistretta, M. (2014). Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. *Energy and Buildings*, 72, 371-381.
- IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Ellen MacArthur Foundation (2018). *Towards the Circular Economy*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15
- Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering construction materials through prototypological research. *Biomimetics*, 4(3), 56.
- Losasso, M. (2021). Circular transition: scenarios for the future of design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (22), 7-9. <https://doi.org/10.36253/techne-11532>
- Lucanto, D. (2022). Advanced Circular Design, a Life Cycle Approach. In *INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives* (pp. 1870-1878). Springer, Cham.
- McDonough, M. Braungart *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (1st ed.), North Point Press, New York (2002) Google Scholar
- Morton, T. (2007). *Ecology without nature: Rethinking environmental aesthetics*. Harvard University Press
- Naboni, E. & Havinga, L. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*, Eurac Research, Bolzano
- Nava, C., Melis, A. (2021). A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 103-111.
- Nava, C. (2019). *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo e Progetto*, Aracne ed., Roma, 334-422
- Nava, C. (2022). *RECYCLING OR RECLAIMING? FROM THE ECOLOGICAL PARADIGM TO DESIGN EXPERIMENTS OF TRANSITION*. 1. 21-27.
- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing
- Tedeschi, A., & Lombardi, D. (2018). The algorithms-aided design (AAD). In *Informed Architecture* (pp. 33-38). Springer, Cham.
- Verganti, R. (2009). «Design driven innovation : changing the rules of competition by radically innovating what things mean /», Routledge, Londra

Parte 1  
Posizionamento scientifico e tecnico della  
ricerca di frontiera

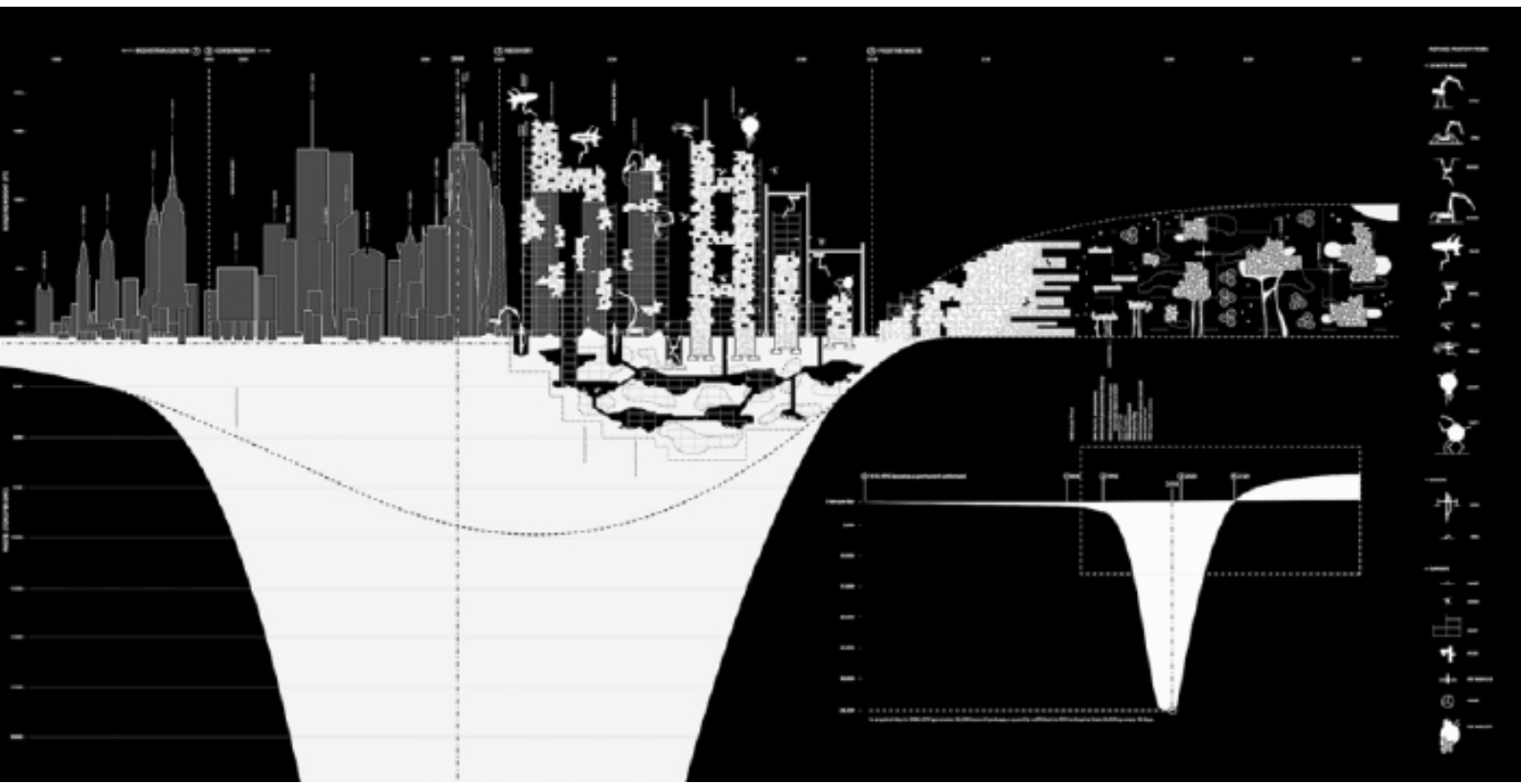
## Capitolo 1

# Discussione in ambito disciplinare della cultura tecnologica del progetto

### Abstract

The first chapter, in its articulation, contributes to build the scientific-cultural positioning of the doctoral research, identifying those topics that in the development and experimental application concern the discipline of the Architectural Ecological Design for the Built Environment (PE8\_11 Environmental engineering, e.g. sustainable design, waste and water treatment, recycling, regeneration or recovery of compounds, carbon capture & storage). The aim is to transfer into the architectural field the apparatus of definitions that helps to elaborate a circular economy taxonomy in the design field. Those requires an in-depth study "in the scientific field of technological design" to enable "those models and methods borrowed from different cultural contexts" also for the advanced project of the technological system that will be investigated in the experimentation. The study conducted refers to the transdisciplinary theoretical apparatus and methodology applied to the contribution in frontier research of the theme of circular processes transferred to the production of materials, components, and systems for sustainable architecture in transition. The scientific contribution of the research also refers to some trajectories referred to in lessons 4 and 5 of the text "Hypersustainability and enabling technologies" by C. Nava, both in the evolution of critical methodology and in the use of tools.

History and future of  
garbage in New York  
City, Building From  
Waste 2002.



## 1.1 Processi circolari per la transizione ecologica nel settore delle costruzioni

"Le distanze non separano lo sguardo dalle osservazioni che si associano alle diversità del disegno per tipologia di veduta, per esplorazione della visione, per posizione di un punto strategico che è contrassegnato dall'ampiezza di uno scatto angolare"  
[Manovich 2022, p. 73]

### *Definizione del tema*

Confrontarsi con i temi del *cambiamento climatico* diventa prioritario per rispondere alla crisi ambientale divenuta la vera questione globale e locale da affrontare. Lo scenario delineato nell'ultimo report dall'IPCC, consolidato dal suo recente riconoscimento governativo all'interno della COP 26, si pronuncia senza filtri riguardo la storia e le possibili evoluzioni di tale questione. L'incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub> e degli altri Green House Gasses (GHG) è sicuramente il fattore che più di tutti determina gli scenari di impatto per ogni cambiamento climatico [1].

Gli scenari evolutivi elaborati dall'IPCC vedono cinque possibili condizioni, basate su diversi livelli di emissioni future, che si tradurranno in un riscaldamento di 1,5 gradi o più entro il 2040, superando così la soglia limite per il mantenimento della biodiversità.

L'ambiente costruito nella complessità del suo funzionamento *contribuisce per oltre il 40% alla produzione di emissioni di CO<sub>2</sub>* e probabilmente negli ultimi 10 anni tale peso ha anche la responsabilità di altri impatti diretti su sistemi naturali.

Nello stesso report viene esplicitata la necessità di innovare le tecnologie di rimozione del carbonio per sequestrare quanta più CO<sub>2</sub> possibile dall'atmosfera, come soluzione possibile per evitare che si superi la soglia dei 2 gradi.

L'economia circolare (CE) sta guadagnando sempre più attenzione come mezzo per affrontare i problemi associati alle economie lineari.

I *processi circolari* si pongono all'interno di questo contesto come lo strumento di *transizione da un modello di economia lineare a uno circolare*. In questo studio non viene fatta alcuna distinzione tra le singole fasi di questa transizione e le tecnologie emergenti, che insieme alle tecnologie abilitanti favoriscono l'innovazione circolare dei processi produttivi. Di conseguenza, si assume che le metodologie di gestione dei rifiuti possano essere classificate come necessarie al fine di portare a termine questa transizione.

Alla luce di ciò, la *riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>* nell'ambito dello sviluppo della gestione dei rifiuti e del passaggio dall'economia lineare a quella circolare diventa un fattore chiave per la transizione ecologica, anche attraverso la transizione digitale.

La Ellen MacArthur Foundation ha definito la CE come un sistema economico nel 2013 - e l'ha rivista nel 2015 - così definendola: "*Un'economia circolare è quella che è riparativa e rigenerativa da progetto. Questa sottolinea la distinzione tra cicli tecnici e biologici, mantenendo prodotti, componenti, e materiali sempre al massimo della loro utilità e valore*" [2].

L'energia e i materiali sono consumati maggiormente dal settore edile in Europa. Se si considera il loro intero ciclo di vita (estrazione dei materiali, produzione, trasporto, costruzione, fase di utilizzo e fine vita), "*gli edifici rappresentano circa il 50% di tutto il consumo di energia, il 40% delle emissioni di gas serra, il 50% dell'estrazione di materie prime, e il 30% del consumo di acqua*" [3]. Inoltre, l'industria delle costruzioni ha generato il 36% dei rifiuti solidi europei per l'anno 2016 (ultime statistiche attualmente disponibili). La società europea sta costruendo uno stock antropogenico a livello economico a un ritmo di circa 10 tonnellate pro capite all'anno con un tasso di consumo significativamente maggiore rispetto alla demolizione e agli scarti. Si aggiunge alle 400 tonnellate pro capite già presenti (340 tonnellate sono utilizzate per beni, edifici e infrastrutture e 60 tonnellate sono nelle discariche) [4].

Nella successione degli argomenti trattati si intende:

-ripercorrere le tendenze nello sviluppo e nella diversità di definizioni intercettate nella letteratura di carattere multidisciplinare;

-avere una panoramica sui processi riferiti alla gestione delle risorse rifiuto o scarto ed al loro trasferimento come materie prime seconde;

-identificare le lacune negli esempi proposti e nella letteratura rispetto al contributo che questi operano nella transizione ecologica nel settore delle costruzioni.

A causa della recente formazione disciplinare dei temi trattati, la letteratura riferita alla disciplina della Tecnologia dell'Architettura (ICAR-12) è ancora carente e povera di esempi pratici nello studio del traferimento dei principi legati alla CE nei settori produttivi architettura e alla trasformazione dell'ambiente costruito. Ma successivamente alcuni casi raccontano del trasferimento dei temi in ambito di trasformazione dell'ambiente costruito, dall'architettura della *transizione all'UpCycling d sistemi e componenti per l'architettura* (cfr. cap. 2 del presente studio di ricerca).

La selezione dei casi e della letteratura, operata in questo capitolo, restituisce un quadro sinottico fondato sulla metodologia L.C.A. Il confronto critico è basato sullo studio dei processi industriali, considerando la prestazione ecologica aumentata dall'utilizzo di materiali provenienti da scarti o rifiuto (from Waste to Gate): Dall'esperienza condotta all'interno del corso accademico di Cultura Tecnologica della Progettazione (della Prof.ssa C. Nava), la rilettura critica proposta intende rintracciare quei progetti/casi studio che rispondono ai principi di circolarità, assumendo come criterio di scelta l'impiego di materiali che innovano il loro processo di approvvigionamento fornendo un esempio immediatamente riconoscibile sui processi di trasformazione, ottimizzazione della durabilità ed efficacia progettuale.

In architettura l'approccio circolare rende quindi evidente la necessità di adeguare il cambio di paradigma nella lettura con la stesura di nuove strategie e nuovi metodi da associare in ambito disciplinare alla cultura tecnologica del progetto ambientale.

I processi circolari che si intende trasferire e discutere in seguito, sono orientati all'utilizzo di *tecniche costruttive, tecnologie abilitanti e progetti che operano in up-cycling* su risorse provenienti da scarti o rifiuti, per la realizzazione di componenti innovati di frontiera, che possano aumentarne il loro "valore ecologico" [5], intervenendo sullo sviluppo dei suoi *attributi prestazionali* ed utilizzando i vantaggi degli strumenti di progettazione computazionale.

In questo senso sono stati esaminati approcci progettuali basati sull'aumento delle prestazioni ecologiche, intese come capacità di stoccare Co2.

Le ricerche condotte in ambito multidisciplinare all'interno del centro di ricerca ABITALab chiariscono gli aspetti fisico-tecnici legati all'innovazione bioecologica degli edifici per la valutazione degli aspetti prestazionali.

Inoltre si assume come riferimento disciplinare quanto espresso nelle definizioni di *paradigma radicale bioecologico* declinato da C. Nava ed A. Melis [5] attraverso cui la ricerca di valore nelle esperienze sperimentali positive in grado di misurare l'azione innovativa che questi operano nei processi di transizione ecologica.

L'impianto teorico di riferimento viene allargato alle definizioni in ambito disciplinare che comprendono la *qualificazione del progetto architettonico* [6], in quest'ottica i processi che indirizzano la transizione circolare, includendo le interazioni tra ecologia e società, nello scambio tra bioeconomia e assetti del territorio, tra sistema antropico e sistema naturale intervenendo sulle *capacità prestazionali* influenzano il paesaggio e l'ambiente costruito.

*Una nuova tassonomia per l'economia circolare*

La sostenibilità applicata al "design" è una materia ampiamente studiata e un dominio consolidato. Dalla metà del ventesimo secolo, vari pionieri nella pratica progettuale riferita ad un organicismo spesso radicale, come Buckminster Fuller e Viktor Papanek anticipato e sostenuto alcuni fondativi aspetti della sostenibilità per l'apprendimento e la pratica "del design" [7]. Nel 2016, Ceschin e Gaziulusoy [8] hanno presentato una revisione completa dello sviluppo storico del Design for Sustainability (Dfs) (Fig. 1) e hanno ampiamente illustrato come l'ambito del design abbia allargato il suo glossario di definizioni, evidenziandone il "passaggio dall'approccio insulare, all'innovazione nella progettazione del sistema."

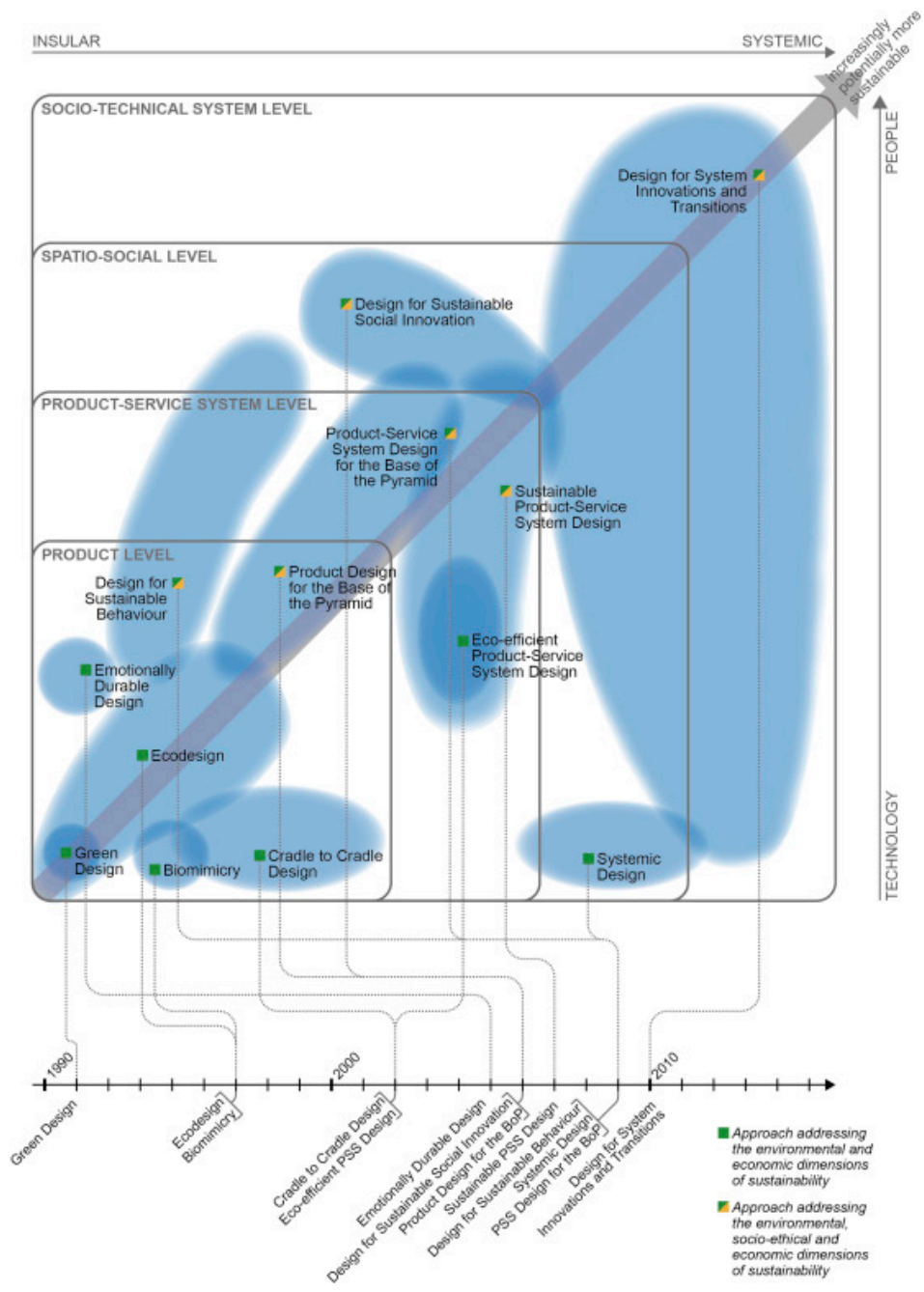


Fig. 1. The Dfs Evolutionary Framework with the existing Dfs approaches mapped onto it. The timeline shows the year when the first key publication of each Dfs approach was published (fonte: F. Ceschin Evolution of Design For Sustainability)

Gli approcci alla progettazione sostenibile hanno progressivamente ampliato la loro attenzione dall'affrontare inizialmente la sostenibilità come intervento puntuale (migliorare ad esempio la riciclabilità o l'efficienza di un prodotto) ad approcci sistemici come il prodotto-servizio di quei sistemi per la sostenibilità, che comportano un elevato grado di complessità.

Come rintracciato nelle prime sperimentazioni riguardanti la progettazione ecologica, l'approccio maggiormente adottato era sempre quello di ridurre l'impatto ambientale riprogettando le qualità singole dei prodotti, intervenendo così sulla qualità del prodotto per favorire la riduzione dei rifiuti, il suo riciclo e la durata (Fig.2).

Consolidata questa metodologia l'evoluzione conseguente che ha subito il campo della progettazione ecologica, fu quella di perseguire l'imitazione degli aspetti biologici dei materiali organici e dei processi della natura per intervenire in favore della sostenibilità nei sistemi di produzione-consumo dei prodotti.

Due importanti framework rappresentativi di questa convinzione sono *il design cradle-to-cradle (CTC)* e *il design biomimetico (BM)*.

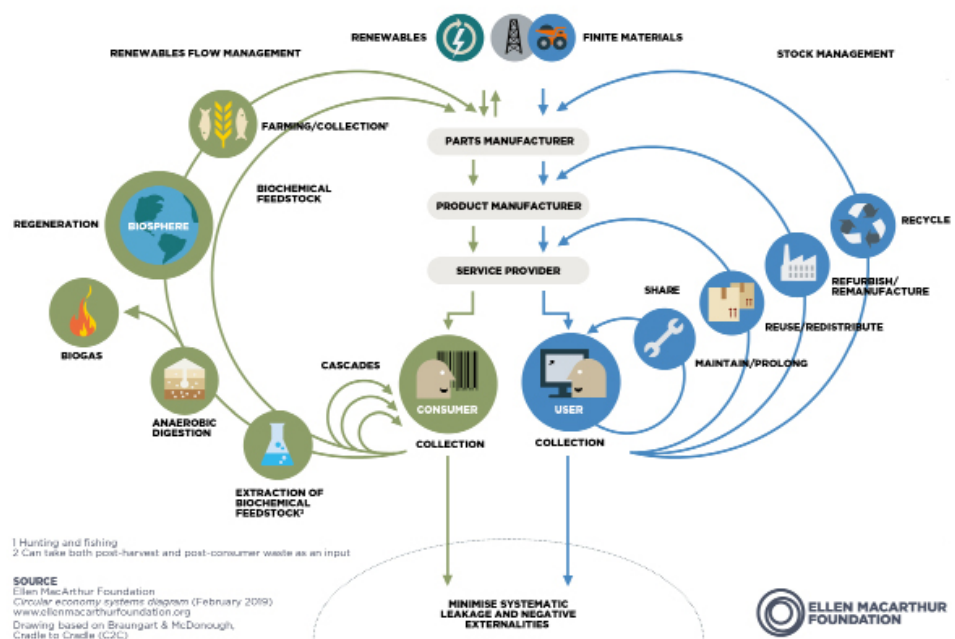


Fig. 2. Ellen MacArthur Foundation. Circular Economy Diagram (Febbraio 2019)

Il CTC è stato sperimentato e sostenuto dall'architetto William McDonough e dal chimico Michael Braungart sulla base del concetto di eco-efficacia [9]. L'*eco-efficacia* pone l'accento su un approccio rigenerativo (piuttosto esauriente) da parte dell'industria. È reso operativo con il quadro "rifiuti uguali al cibo" che definisce due tipi di nutrienti: biologici e tecnologici. Il presupposto alla base della progettazione del CTC è che se questi nutrienti vengono utilizzati in circuiti aperti (per i nutrienti biologici) o chiusi (per i nutrienti tecnologici), la società umana può continuare la produzione, il consumo e la crescita economica indefinitamente. Il potenziale del design CTC nel consentire l'innovazione radicale e nel creare un cambiamento di mentalità nelle azioni progettuali verso il raggiungimento della sostenibilità è stato riconosciuto come il suo valore principale [10].

D. Sumter in tal ambito ha studiato il "*cambiamento nel ruolo dei progettisti*" e ha evidenziato come le abilità e le competenze specifiche debbano orientarsi "*nell'anticipare i cicli di utilizzo futuri dei prodotti, nel valutare gli impatti ambientali e nel collaborare più ampiamente con le parti interessate in favore di una più ampia simbiosi industriale*" [11].

## BOX 1 Circular Process in CTP

*UT2\_ La sostenibilità come disegno ambientale e progetto delle risorse:  
«[...] La seconda questione, [rilegge] il rapporto inter-scalare tra modelli di funzionamento e risposta negli impatti, [...] con alti livelli di innovazione e integrazione fisica e del ciclo di vita, secondo le nuove istanze ambientali.» (C.Nava, estratto su UT2 dal programma del corso CTP 21-22)*



### CREDITS

Progetto **Icon House**  
Progettisti **Paillard + Jumeau – Périphériques Architects**  
Luogo **Montreuil**  
Anno **2002**

### Fonti

- Arkelipo n. 36/2009 p. 58
- <http://www.afja-architecture.com/icon-house>



Fonte: ph. <http://www.afja-architecture.com/icon-house>  
Drawings. Arkelipo n. 36/2009 p. 58



**UT2 - La sostenibilità come disegno ambientale e progetto delle risorse**  
**UT3 - L'innovazione come qualità dell'architettura ad alte prestazioni**

| Codice progetto: **CS30**



### CREDITS

Progetto **Prysman Group Headquarters**  
Progettisti **Maurizio Varratta Architetto**  
Luogo **Milano**  
Anno **2017**  
**Certificazione LEED Platinum**

### Fonte

- Arkelipo n. 120/2018, p. 70



Fonte: ph. <https://www.pinterest.nz/pin/527061962632761278/>  
<https://www.isanfesi.com/en/portfolio/2621-2/>  
<https://it.prysmangroup.com/store/operations/all-interno-del-nuovo-smart-working-headquarter-di-prysman>  
Drawings Arkelipo n. 120/2018, p. 70



**UT2 - La sostenibilità come disegno ambientale e progetto delle risorse**  
**UT3 - L'innovazione come qualità dell'architettura ad alte prestazioni**

| Codice progetto: **CS33**

Questo anche sottolineando come nella letteratura corrente sia ormai ampiamente riconosciuto il ruolo chiave che la cultura progettuale avrà nella transizione verso un modello circolare<sup>2</sup>. J. Kanters ha discusso gli "esempi limitati di progettazione circolare su scala edilizia" e ne sottolineava "l'accresciuto livello di complessità degli edifici rispetto ai prodotti di consumo", in particolare per quanto riguarda la proprietà e il numero di attori coinvolti la progettazione degli edifici. A questo proposito, gli architetti possono svolgere un ruolo fondamentale ruolo nella transizione verso un CE collegando diversi attori, ma loro richiedono una conoscenza materiale più profonda e capacità di leadership da soddisfare questo ruolo [12]. Kozminska ha esaminato "la circolarità di processo nella progettazione architettonica" attraverso la quale si afferma che "il processo di progettazione circolare differisce in modo significativo dall'approccio progettuale standard."

All'interno del processo è necessaria una commistione interdisciplinare all'interno del processo di progettazione dovrebbe comprendere il ciclo di vita dei materiali al fine di considerare e definire i "metodi futuri di manutenzione, smontaggio e riutilizzo di materiali da costruzione" [13].

Più attuale nella discussione in corso, è il fenomeno relativamente nuovo "dell'Urban Mining" questo prevede il recupero di composti ed elementi da prodotti di scarto o edifici dismessi che contengono materiali di valore, o aumentando il valore di materiali privi di capacità intrinseche attraverso l'upcycling.

I materiali possono essere recuperati da quei bacini di rifiuti per produrre nuovi beni, inclusa la città stessa. Le ex discariche dentro e intorno alle nostre città vengono ora valorizzate utilizzandole nello stesso modo in cui le miniere sono state utilizzate per secoli.

Tra i maggiori studiosi di questo fenomeno vi sono Ilka Ruby e Andreas Ruby, questi sostengono che le materie prime non si trovano più in un regno "naturale" [14], ma sempre più in un regno "culturale" quale può essere l'edificio, come definito nel loro testo "Mine the City": "Le risorse materiali della costruzione si stanno esaurendo sempre più alle loro origini naturali, mentre si accumulano inversamente all'interno degli edifici. Gli edifici diventano miniere in se stessi come le miniere diventano vuote".

Per loro, la città è un contenitore per edifici e miniere allo stesso tempo, necessaria per la propria riproduzione. In ambito disciplinare i processi di Urban Mining sono riferiti alla produzione della *resilienza territoriale ed urbana* per ripristinare quello che M. Russo definisce equilibrio ambientale.

La gestione regolamentata dei flussi materici in entrata, attraverso i processi di riciclo, reclaim ed upcycling, ed in uscita, attraverso l'innovazione del progetto avanzato e circolare, favoriscono "un pensiero ed un progetto di città che parta dalla consapevolezza del suo essere parte di un contesto ciclico-naturale piuttosto che redditizio-incrementale" [15].

L'obiettivo della lettura critica proposta nel Box 1 è quindi quello di identificare in progetti esistenti, le migliori pratiche e suggerire modi per migliorare gli aspetti legati alla circolarità e alla costruibilità dell'architettura. Si intendono evidenziare gli aspetti prestazionali progettati o tradotti esclusivamente per il settore edile e delle costruzioni, il caso dell'Icon House introduce i temi riferibili alla costruibilità della facciata che integra i sistemi per il rinverdimento verticale. In questo modo, la circolarità si concentra su approcci a circuito chiuso, efficienza, produttività delle risorse ed efficienza delle risorse rispetto all'integrazione con i sistemi di natura vegetativa. In aggiunta agli aspetti dell'economia circolare, il valore può essere considerato anche nelle prestazioni fisico tecniche come nel caso del Prysmian Group Head Quarter, con le falde del tetto rivolte a nord, la luce naturale entra negli edifici per uffici, ma non viene portato calore extra; le persiane (che si aprono e si chiudono) permettono agli uffici di rinfrescarsi naturalmente in estate. Le falde del tetto esposte a sud hanno persiane controllate meccanicamente per fornire un'illuminazione naturale evitando la luce solare diretta e il calore aggiuntivo.

### Panoramica sulla gestione dei rifiuti e degli scarti come risorse

Utilizzando quanto affermato nella stesura della nuova tassonomia legata all'economia circolare in architettura, i materiali da costruzione, nonché i rifiuti provenienti da altre filiere produttive diverse da quella dell'edilizia possono circolare in una città in un ciclo tecnologico continuo.

È possibile ottenere un metabolismo sostenibile dei materiali da costruzione nelle aree urbane attraverso l'uso di politiche, strumenti, infrastrutture e pianificazione urbana appropriati, ma diventa soprattutto necessario fornire una panoramica su come questi possono essere utilizzati e/o trasformati.

Nel 2018 nell'UE sono state trattate circa 2.169 milioni di tonnellate di rifiuti. Ciò non include i rifiuti esportati, ma include il trattamento dei rifiuti importati nell'UE. Gli importi riportati non sono quindi direttamente confrontabili con quelli relativi alla produzione di rifiuti.

La Figura 3 mostra lo sviluppo del trattamento totale dei rifiuti nell'UE, nonché per le due principali categorie di trattamento – recupero e smaltimento – nel periodo 2004-2018 [16].

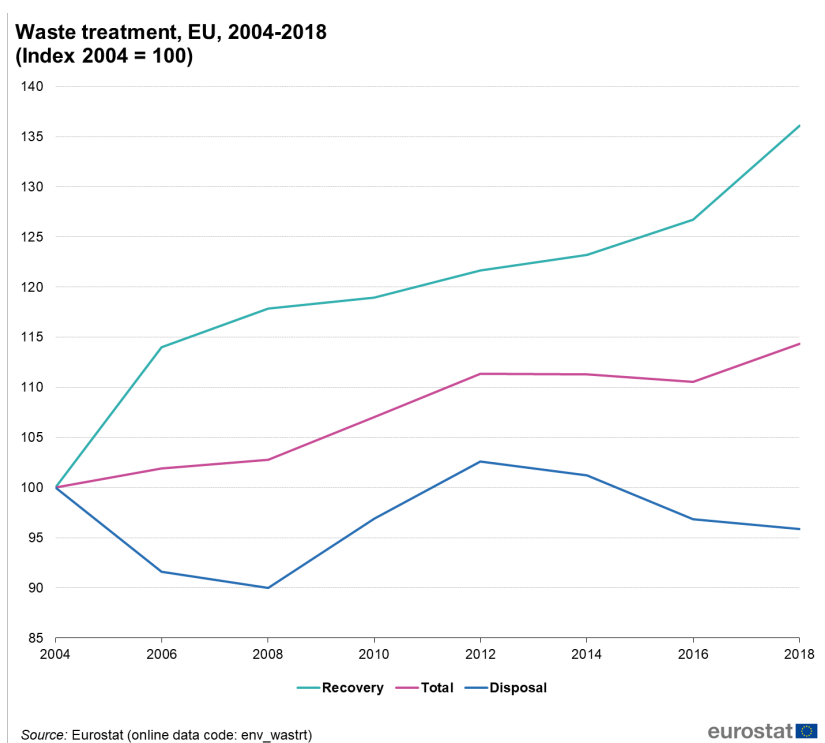


Fig. 3. Waste treatment, EU, 2004-2018 (Index 2004 = 100) (Fonte: Eurostat, env\_wastrt)

La quantità di rifiuti recuperati, ovvero riciclati, utilizzati per il riempimento (utilizzo di rifiuti in aree scavate a fini di bonifica dei versanti o messa in sicurezza o per scopi ingegneristici in ambito paesaggistico) o inceneriti con recupero energetico è cresciuto del 33,9% da 870 milioni di tonnellate nel 2004 a 1 184 milioni di tonnellate nel 2018; di conseguenza, la quota di tale recupero nel trattamento totale dei rifiuti è aumentata dal 45,9 % nel 2004 ed al 54,6 % nel 2018. La quantità di rifiuti oggetto di smaltimento è diminuita da 1 027 milioni di tonnellate nel 2004 a 984 milioni di tonnellate nel 2018, un diminuzione del 4,2%. La quota di smaltimento nel trattamento totale dei rifiuti è diminuita dal 54,1 % nel 2004 al 45,4 % nel 2018 [17].

L'innovazione delle pratiche di Riciclo e di UpCycling nell'industria delle costruzioni traduce i principi dell'Economia Circolare (CE), aumentando la capacità di smaltire risorse prove-

nienti da fonti di scarto e rifiuto, e realizzand la transizione da un modello lineare per la produzione industriale, ad un modello circolare basato sui concetti della simbiosi industriale. Riferendosi agli studi condotti Kate Raworth [18], il paradigma della CE impone come attività di base la rigenerazione dei prodotti piuttosto che il loro smaltimento alla fine della loro vita.

Le attività volte a migliorare l'efficienza e la produttività in termini di performance ambientali vengono racchiuse collettivamente nella definizione di strategie circolari [18].

I target fissati dal GOAL 12 dell'agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (SDGs) intercettano i concetti e le pratiche legate alla CE [19]. Innovare il ciclo di vita, ridurre e valorizzare i rifiuti nel concetto di materia prima seconda porterà a una diminuzione della domanda di materiali finiti vergini. Pertanto, le strategie circolari possono essere utilizzate per sfruttare la capacità altrimenti sottoutilizzata delle risorse [20]<sup>3</sup>.

Ma lo sguardo da adottare nella trattazione dei rifiuti come materia prima seconda e nella loro trasformazione come materiali, componenti e sistemi per l'architettura circolare, viene definito da M.F. Minervino "epistemologico" <sup>4</sup> che necessita dunque di una visione che costruisce dottrine, teoria e ricerca. L'esempio applicativo della transizione circolare adottata sia nell'industria del packaging, sia nelle esperienze artistiche contemporanee diventano emblematiche ed offrono un visione esaustiva tanto del portato concettuale necessario all'approccio da adottare, quanto dei limiti e delle possibilità che questi processi portano con se. *Per i nostri tentativi di comprensione significativa e per le pratiche presenti e future di archiviazione, i rifiuti sono e restano strutturalmente importanti tanto quanto l'oblio per la memoria* [21].

Si cerca quindi di fornire una migliore comprensione di come l'utilizzo di risorse provenienti da fonti di rifiuto o di scarto interpreta ed implementa i concetti di CE.

In un metabolismo urbano sostenibile e circolare, i materiali possono essere prodotti continuamente senza sfruttare le risorse naturali. I materiali esistono sotto diverse forme senza mai diventare rifiuti, il che rappresenta una sfida per produttori e designer.

Con nuovi processi di produzione, nuove tecniche, processi di costruzione e nuovi linguaggi architettonici che incorporano upcycling, rigenerazione e riutilizzo, i flussi di materiali vergini vengono ridotti i processi circolari possono diventare una pratica comune.

Riferirsi all'approccio epistemologico permette di rintracciare l'insieme di studi e pratiche consolidate che riprendono e giustificano il trasferimento dei processi circolari nella tecnologia dell'architettura.

La gestione olistica attraverso la mappatura territoriale di rifiuti di cicli edilizi elaborata da A. Monsù Scolaro, L. Marchi, S. Corridori, "introduce un approccio innovativo nella valorizzazione dei rifiuti provenienti da filiere diverse da quell'architettura" <sup>4</sup>.

Si evidenzia come in ambito disciplinare i processi di simbiosi industriale vengono definiti come capaci di abilitare il riutilizzo di questi ultimi nell'industria edile e di favorire l'ottimizzazione dei flussi materici [22].

A questo proposito la definizione del concetto di "Superuse" di S. Baiani e P. Altamura definisce gli step all'interno del progetto tecnologico finalizzata alla "valorizzazione progettuale degli scarti locali alla riduzione dell'energia incorporata nei materiali impiegati, all'eliminazione dei consumi e delle emissioni per la produzione e il trasporto di materiali nuovi ed all'attivazione di processi di economia circolare a piccola scala" [23]. Questo tipo di approccio ha permesso nell'elaborazione della ricerca la realizzazione di un portale open-source denominato *Harvest-Map*. Le piattaforme digitali aperte diventano in quest'ottica uno strumento fondamentale per la gestione dei rifiuti ed il loro trasferimento come materia prima seconda <sup>5</sup> in progetti di UpCycling, queste offrono una panoramica sia sulle disponibilità materiche in evidenza, sia sullo stato dell'arte relativo alle pratiche di trasformazione del rifiuto, come sistema aperto in condivisione (cfr cap. 3.2).

## 1.2 Architettura 5.0: Gestione circolare e processi d'innovazione legati all'ottimizzazione del ciclo di vita delle componenti

Con la definizione di Architettura 5.0, si indaga intorno ad un nuovo paradigma, l'articolazione della disamina punta ad individuare nella descrizione dei progetti avanzati, la traduzione dei processi di costruzione più innovativi nel trasferimento delle pratiche circolari per la transizione ecologica del settore dell'Edilizia Sostenibile.

Il quadro proposto sostiene il concetto di *UpCycling Design* e ne delinea le sue due principali qualità: "l'innovazione tecnologica circolare" dei processi di produzione che operano nell'ambiente costruito; il "design computazionale avanzato", nel trasferimento dei processi circolari in sistemi costruttivi evoluti.

La discussione si focalizza sul rapporto tra ambiente costruito, profili energetici ed ecologici, restituendo un quadro di rilettura di esperienze architettoniche che ottimizzano il riutilizzo di componenti costruttivi, capaci di valorizzare il "potenziale materico" dell'oggetto di indagine in tutto il loro ciclo di vita [24].

Diversi processi creativi sono stati utilizzati dagli architetti nel corso del 20° e 21° secolo per esplorare il riutilizzo e il riciclo. Tra i primi, John Habraken è stato in grado di superare i limiti fissati dalla logica di riciclo e della funzione originale dei prodotti per aumentare il valore dell'oggetto progettato nella fase post consumo.

Pioneristico può essere considerato il caso della bottiglia di birra che è stata sviluppata da Habraken per essere riutilizzata come mattone a prezzi accessibili per la costruzione di case dopo il consumo [25] (Fig. 4 sx).

Nell'opera di Michael Reynolds si possono rintracciare diversi approcci alla pratica del progetto ecologico e del costruire sostenibile, tra queste la più rappresentativa è sicuramente la Thumb House, costruita nel 1972 (Fig. 4 dx).



Fig. 4. Da sx a dx:  
HEINEKEN WOBO  
by John Habraken  
(1963 / glass / variable)  
Thumb House by Miche-  
al Reynolds  
(fonte: web)

L'architetto ha esplorato un nuovo concetto di fine-vita che enfatizza l'autosufficienza delle risorse (ad esempio, acqua, energia) e utilizza i rifiuti da discariche vicine come materiale da costruzione primario.

Nel panorama contemporaneo i ricercatori di Overtreders W, Arup-Global Advisory, Design, Planning & Engineering e molti altri stanno sviluppando prototipi a grandezza reale e sviluppando nuovi approcci per la costruzione di componenti e materiali che nella loro flessibilità funzionale interpretano i principi della progettazione circolare.

#### *Innovazione radicale nei processi di gestione del ciclo di vita*

L'economia circolare implica un cambio di paradigma nel modo in cui le organizzazioni si relazionano tra loro e nel modo in cui le componenti e i sistemi si interfacciano.

Si deve quindi cercare di soddisfare le esigenze commerciali che emergono nel mercato dopo aver incorporato le nuove conoscenze elaborate nell'ambito del progetto tecnologico sia nel sistema produttivo che "nell'offerta di nuovi prodotti o servizi" [25].

La strategia di innovazione dominante nel progetto di un componente deve guidare questi processi [26]. Sebbene la letteratura fornisca interpretazioni diverse sugli step necessari che compongono questa fase viene richiesto uno sforzo maggiore per allargare il campo al quale ci si vuole riferire.

La frequenza delle "innovazioni incrementali e radicali" [22]<sup>5</sup> può essere spiegata da diverse combinazioni di fattori ambientali, organizzativi, di processo e gestionali che quindi devono essere gestite in modo diverso [27]. Una delle chiavi per raggiungere la sostenibilità ambientale dei processi produttivi nell'edilizia sostenibile è ridurre al minimo il consumo di energia. A questa tradizionale strategia si devono necessariamente aggiungere altri livelli prestazionali sui quali misurare il valore ambientale dei prodotti architettonici, ovvero la riduzione al minimo dell'uso delle risorse naturali e la massimizzazione del potenziale di riciclaggio. Gli edifici, i componenti e i sistemi costruttivi innovati a basso consumo energetico dipendono fortemente sia dall'energia incorporata sia dalla qualità e dalla quantità di materiali utilizzati nella fase di costruzione. Quando si considera l'analisi del ciclo di vita, l'energia incorporata e l'energia operativa sono entrambe incluse. Studi condotti nella comunità internazionale hanno dimostrato che l'energia consumata nella fase operativa rappresenta l'85-95% dell'energia totale consumata dalle abitazioni in un'ipotesi di vita utile di 50 anni [28]. Questo aspetto viene studiato attraverso l'esame di due casi studio per rispondere alla prima domanda di ricerca, che si concentra sui tipi di innovazioni che possono essere utilizzate per creare edifici sostenibili che contengano il concetto di innovazione radicale (cfr. Cap.5).

Come risultato di questi studi, le emissioni di CO<sub>2</sub> sono state ridotte, la componente tecnologia è stata migliorata, i processi produttivi sono stati resi più sostenibili e sono stati sviluppati aspetti sociali. Le innovazioni architettoniche individuate sono per lo più legate alle caratteristiche tecnologiche degli edifici (es. materiali usati, sistemi costruttivi, prestazioni in regime adiabatico), e contribuiscono quindi alla comprensione del valore delle scelte progettuali di sostenibilità [29], verso una nuova architettura della transizione, che non produce scarti. Da qui si fonda il concetto di *Architettura 5.0*, in cui il profilo ecologico e quello digitale si ibridano. Informare progettisti, responsabili politici, partecipanti al settore, nonché società di gestione e consulenza su queste opportunità strategiche resta importante per esplorare ulteriormente *il livello di qualsiasi innovazione* [30], verso una nuova architettura della transizione circolare, perché senza scarti e che potremmo denominare *Architettura 5.0*, in cui il profilo ecologico e digitale si integrano.

L'architettura in questo contesto, in maniera 'mumfordiana' [31], può ancora esprimere un "riflesso dei cambiamenti che vogliamo affrontare nella società" essendo responsabile della comunicazione di tali cambiamenti rispondendo in modo appropriato alle esigenze sociali emergenti.

### Processi di Design Computazionale per la Early Design Phase

Ricerche esistenti sulla valutazione del ciclo di vita [32], [33] e sulle procedure di progettazione sostenibile [34] indicano che le attuali metodologie di progettazione presentano un grave difetto in quanto le informazioni necessarie per stimare l'impatto climatico di un edificio sono disponibili solo durante le ultime fasi di progettazione. In particolare, durante la fase esecutiva, dove le scelte progettuali hanno poco margine di cambiamenti e i costi delle modifiche sono elevati [35].

Diviene importante quindi confinare le condizioni per ottimizzare l'impatto ambientale in fase di concept design. L'impatto climatico nel progetto architettonico può essere ridotto attraverso metodologie ben precise che permettono di ridurre le emissioni di gas climalteranti in tutto il ciclo di vita.

L'obiettivo è quello di avere *diverse alternative progettuali* dell'oggetto di sperimentazione elaborate nella prima fase di progettazione (Early Design Phase), parametrizzando i dati dello stesso sul life cycle assesstement, considerando le capacità prestazionali e cercando di massimizzare il potenziale dei *componenti innovati* [36] (Fig. 5).

La sintesi trova la sua naturale evoluzione nelle applicazioni all'advanced circular design, progettato come algoritmo rigenerativo da utilizzare per l'up-cycling di materiali, componenti e sistemi costruttivi innovati per l'architettura<sup>6</sup>.

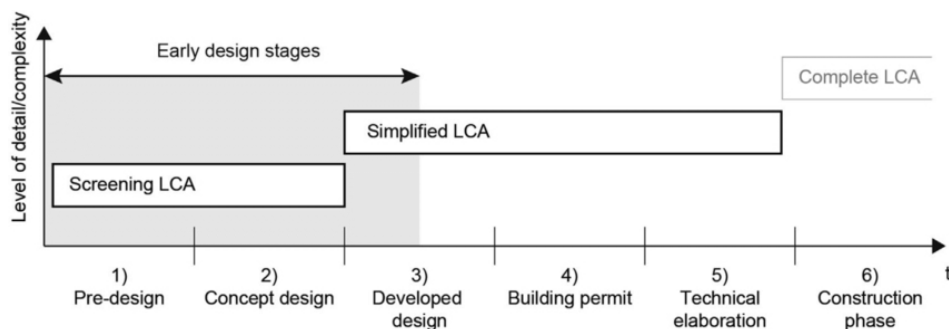


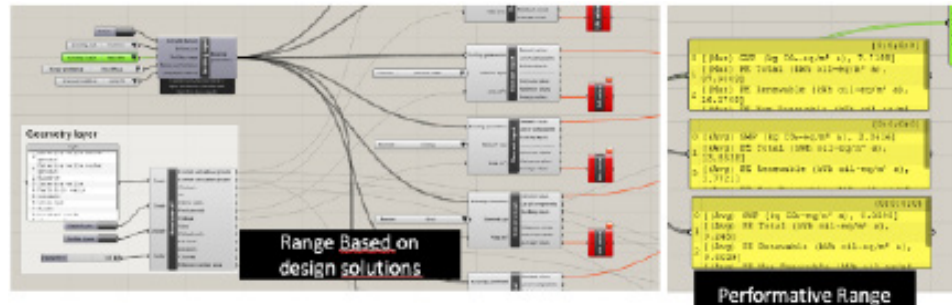
Fig. 5. Relationship between design stages and types of LCA studies employed in the construction industry (Meex, Hollberg, Knäpen, Hildebrand, & Verbeeck, 2018)

L'approccio di progettazione algoritmica parametrica (Grasshopper) viene declinato in questo senso per estendere le capacità geometriche del software, incrementando in particolare la capacità di gestire e interfacciare in modo formale materiali, componenti e sistemi capaci di interfacciarsi sia con sistemi di natura biologica per il rinverdimento verticale sia con componenti con elevate capacità prestazionali.

La sintesi degli approcci di progettazione basati sulle prestazioni coadiuvata in ambiente parametrico si riversa naturalmente in un processo rigenerativo di ottimizzazione responsiva di componenti e sistemi costruttivi, ciò che di fatto realizza l'*advanced circular design* [37]. L'approccio proposto ha lo scopo di dimostrare che si può fornire un confronto sufficiente per l'ottimizzazione delle parti in ottica circolare avanzata già nella *early design phase*, aggiungendo agli strumenti performativi, gli strumenti valutativi parametrici degli impatti. Questo tipo di studio avviene confrontando il funzionamento dei plug-in di Grasshopper Cardinal LCA e Bombyx 2.0 (Fig. 6).

Questi, accedendo a database open-source internazionali<sup>7</sup>, effettuano una analisi L.C.A. di tipo semplificata e permettono di quantificare, visualizzare ed ottimizzare in sequenza algoritmica gli impatti su tutto il ciclo di vita degli edifici, avendo un riscontro oggettivo dal confronto dei valori in termini di CO<sub>2</sub>eq/Kg, determinando l'ottimizzazione sul GWP<sup>8</sup> [38]. La progettazione computazionale applicata all'edilizia è uno dei settori chiave per la transizione verso un'economia circolare, che contribuirà a risolvere una delle più grandi sfide dell'umanità, l'inquinamento ambientale globale. Una volta definito l'impianto base degli indicatori per quantificare gli impatti ambientali si introduce una metodologia orientata ad

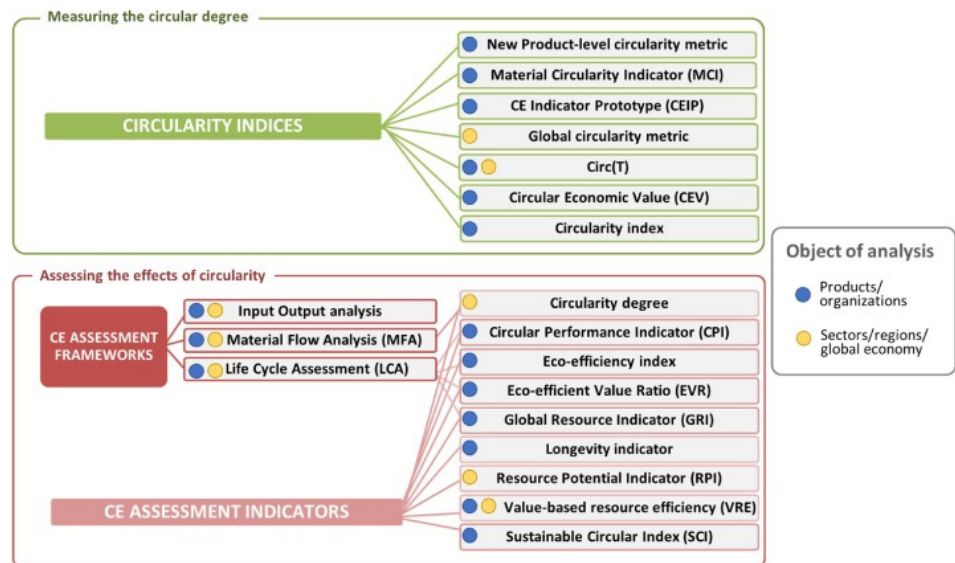
Fig. 6. Confronto degli algoritmi per LCA parametrico Bombyx dx e Cardinal LCA sx. (fonte: D.Lucanto, 2022)



esprimere il giudizio sulla circolarità ed il potenziale di sequestro e stoccaggio della CO<sub>2</sub>. La combinazione degli indicatori Material Circularity Indicator (MCI) e Life Cycle Assessment (LCA) (Fig. 7) [39] nelle pratiche di economia circolare negli edifici, adottata con un approccio sistemico, consente di correlare le prestazioni (salute, biodiversità e protezione delle risorse) con i mezzi (recupero dei materiali). Le pratiche di economia circolare sono valutate utilizzando l’LCA alla scala di un progetto tecnologico.

Inoltre, evidenzia i limiti dell’LCA e sottolinea la necessità della ricerca per migliorare la valutazione dell’esaurimento delle risorse e la contabilizzazione del carbonio biogenico negli strumenti LCA per la progettazione ecocompatibile. Nonostante sia uno dei più grandi indicatori circolari attualmente in uso, l’MCI e l’MFA non valutano con successo l’impatto ambientale delle pratiche circolari quando utilizzate a livello di progetto. Nel processo di progettazione ecocompatibile, gli indicatori di circolarità dovrebbero integrare gli indicatori LCA. In questo senso bisognerebbe stabilire obiettivi ambientali per un progetto piuttosto che obiettivi di circolarità, in modo che i progettisti possano utilizzare la circolarità insieme ad altri mezzi per raggiungere questi obiettivi manifestando un interesse nella scelta e nell’attuazione di azioni e strategie circolari rispettose dell’ambiente<sup>9</sup>.

Fig. 7. Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics  
Author links open overlay panel  
Blanca-CoronaLiShenDeniseReikeJesúsRosalesCarreónErnstWorrell



### 1.3 Off-site technologies: trasferimento dei processi digitali ai processi costruttivi. Il caso dei sistemi e componenti per le facciate di involucri innovativi.

La questione riferita ai processi più contemporanei di "prefabbricazione aperta ed evoluta" pone questione di teoria e di metodo proposte da C. Nava nella lezione di "Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti", che rinviano ai cinque principi per la progettazione "off-site: l'infrastruttura digitale, il controllo interscalare dei processi di produzione; la sostenibilità ambientale, la qualità e la durata" [40].

I metodi di costruzione in Off-Site possono essere classificati in tre gruppi in base al livello di prefabbricazione [41]: Costruzione convenzionale (CC), Sistema misto (MS) e Sistema di costruzione industrializzato (IBS). L'assemblaggio e la costruzione di edifici utilizzando l'IBS implica l'utilizzo di componenti strutturali prefabbricati fabbricati fuori sede. Il sistema prefabbricato e l'IBS sono riconosciuti come "metodi efficienti per ridurre al minimo i tempi e i costi di costruzione" [42]. Nella Costruzione Convenzionale, il Sistema Misto incorpora nuove tecniche di costruzione intervenendo sull'efficienza con cui i rifiuti da costruzione vengono utilizzati, generati, riutilizzati e riciclati. Dal punto di vista ambientale, IBS e MS sono state le soluzioni più vantaggiose.

Lo studio del dettaglio e la cura del disegno dei maestri che hanno anticipato alcune questioni, poi utili all'eco design dell'upcycling (durabilità, disassemblaggio ed exaptation delle componenti) può essere affiancato e reso contemporaneo da progetti che operano l'avanzamento tecnologico necessario tanto all'evoluzione dei paradigmi della disciplina, quanto ai processi per il "design for manufacturing" [43].

Storicamente utilizzando tecnologie digitali come la modellazione virtuale, la stampa additiva e il taglio laser è ora possibile produrre componenti edilizi altamente personalizzati nelle fabbriche, segnando il culmine di quasi due secoli di industrializzazione edile restia all'industrializzazione diffusa dei suoi processi produttivi.

Il rapido progresso nella produzione meccanizzata e nei metodi di trasporto ha portato i componenti da costruzione in ghisa e legno a diventare convenienti durante la rivoluzione industriale. I designer hanno anche imparato a usare il ferro come materiale da costruzione durante questo periodo.

Furono i modernisti dell'inizio del XX secolo, tra cui Walter Gropius, Mies van der Rohe, Frank Lloyd-Wright e Le Corbusier, a portare avanti la forma architettonica con il loro uso audace di acciaio e materiali in cemento, dando vita a edifici leggeri ed eleganti che sfidavano allora strutture monumentali attuali. La facciata continua in tale contesto costruttivo è una delle forme architettoniche che più di tutti fino ad oggi interpreta i dettami della prefabbricazione aperta.

Nonostante la prefabbricazione e la produzione in serie, il sistema costruttivo Domino (Fig. 8) di Le Corbusier permette di mantenere un grande controllo nella gestione dello spazio modulabile, prefabbricando su livelli, l'opera Domino non limita la capacità dell'architetto di influenzare il disegno del progetto complessivo.

Il potere dell'architetto sul progetto, suggerisce Habraken, dovrebbe essere limitato per conto del cliente, essendo il cliente caratterizzato su tre livelli: il livello del tessuto, il livello del supporto e il livello del riempimento [44].

Non c'è dubbio che l'edilizia industrializzata, che esiste da molto tempo, ha ancora molti dei problemi rilevati dai primi ricercatori ancora oggi. Sulla scia dell'innovazione di Habraken e Prouve, la modularizzazione continua a suscitare interesse, così come le case prefabbricate di Frank Lloyd-Wright quando ha iniziato a spedirle. Anche se l'architettura si è evoluta, i progetti delle case Citrohan e Domino di Le Corbusier rimangono parti essenziali di riferimento per l'industria edile di oggi. La convinzione di Fuller per la modularizzazione si è sviluppata nel sistema di pannelli e telai spaziali inventato da Wachsmann e Gropius. Di conseguenza, Habraken ha sviluppato quei primi concetti in quella che potrebbe essere

definita l'attuale era dell'edilizia industrializzata negli anni '70. Il modello *Tropical House* (Fig. 8) stato progettato da Prouvé come prototipo per alloggi economici e facilmente assemblabili per le colonie africane della Francia. Assemblati nelle officine francesi di Prouvé, i componenti sono stati trasportati smontati in Africa nella stiva di un aereo.

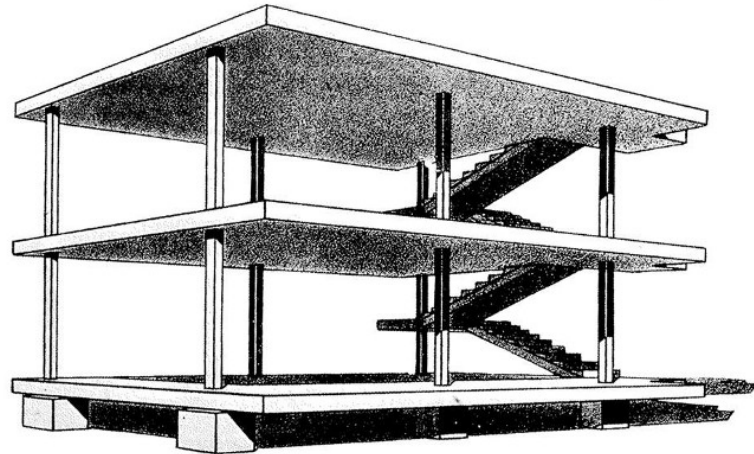


Fig. 8. Domino House -  
Le Corbusier - 1924-35

Con un portico a forma di forcella sostenuto da acciaio piegato, la casa si basa su un semplice sistema a griglia di un metro. Fatta eccezione per gli elementi strutturali più grandi, tutti i componenti sono realizzati in alluminio. Per facilitare la movimentazione facile da parte di due uomini, nessun pezzo è più lungo di 13 piedi, che corrisponde alla capacità della macchina di rullata. Inoltre, nessun pezzo è più pesante di 220 libbre [45]. Negli ultimi anni i dibattiti nazionali e internazionali si sono concentrati sullo sviluppo di nuovi strumenti di prefabbricazione per rigenerare le città esistenti in modo sostenibile dal punto di vista economico e ambientale.



Fig. 9. Jean Prouvé -  
*Tropical House*. - Replica  
del Prototipo

L'indirizzo tematico è orientato allo sviluppo di processi produttivi innovativi che siano sostenibili, economicamente fattibili e con un impatto minimo sull'ambiente. Per raggiungere questo obiettivo è necessario un nuovo paradigma di industrializzazione, capace di catturare varietà ed efficienza attraverso l'uso delle nuove tecnologie. Questi obiettivi sono inoltre presenti nelle traiettorie espresse a livello europeo.

Rispetto ai metodi tradizionali di costruzione in loco, la costruzione off-site per rispondere alle nuove istanze ambientali, deve essere migliorata in modo da ridurre i costi ed *interpretare i più innovativi concetti legati alla circolarità delle risorse e alla neutralità climatica.*

La costruzione off-site permette di ridurre lo spreco di risorse e consente il riutilizzo dei componenti di costruzione, nonché dei materiali in conformità con altre industrie e pratiche di economia circolare, in altre località.

Questi concetti trovano riscontro nella trattazione disciplinare sulla cultura tecnologica del progetto, riguardante nello specifico i temi dell'industrializzazione dei processi costruttivi, e dell'innovazione dei sistemi costruttivi a secco.

Paolo Civero sottolinea *"la necessità di promuovere una progettazione architettonica integrata e coordinata, di spiccata connotazione tipologica e tecnologica, si può risolvere solo attraverso scelte tecniche operate secondo una logica di processo, frutto di una condivisione dei saperi e delle esperienze di ogni attore coinvolto."*

La sperimentazione condotta nel sistema CCCabita si pone come un ottimo approfondimento progettuale per lo studio delle qualità tecnologiche che caratterizzano i sistemi in off-site [46].

Per realizzare i concetti legati all'economia circolare, l'additive manufacturing (AM) è uno dei pilastri dell'Industria 4.0. Questa tecnologia consente la prototipazione rapida e la riduzione al minimo dei rifiuti [46].

In ottica integrativa possibile valutare questa tecnologia con *"quadri standardizzati"* al fine di attirare l'accettazione industriale, come nel settore edile. Attraverso l'uso della produzione additiva, la costruzione off-site può innovarsi ed essere resa più efficiente e realizzare il trasferimento dei processi digitali ai processi costruttivi.

La rilettura critica illustrata in appendice permette di restituire un quadro completo sulle pratiche di progettazione del dettaglio architettonico secondo modelli di produzione del progetto e di costruzione contemporanei: una sintesi di tecnologie che configurano i sistemi costruttivi complessi, in configurazione aperte.

*I cinque elementi riconoscibili per la costruzione fuori sede sono: infrastruttura digitale, produttività, diverse scale di produzione, sostenibilità ambientale, qualità e sicurezza insieme. Infine, ma non meno importante, in termini di filiera industrializzata, l'affidabilità dei prodotti, la tracciabilità dei componenti, la manutenzione programmabile, nonché il contenimento dei costi energetici. Diventano obiettivi estremamente importanti per il controllo del ciclo di vita del prodotto o del prodotto.*

Se ne deduce che il cambio di paradigma proposto nel confronto tra i cinque elementi per la caratterizzazione dell'Off-Site espressi da C. Nava ed il framework PBS (Fig. 10) [47] orienta gli sforzi per una maggiore produttività nelle costruzioni off-site, in ottica di efficientamento prestazionale, il che diventa condizione necessaria per introdurre innovazioni e miglioramenti in tutti i micro settori che ne influenzano i processi, tra cui metodologie, strumenti e macchine.

Spostando i processi produttivi dalle tradizionali tecniche costruttive in situ, l'obiettivo diventa utilizzare la forza lavoro e i macchinari in un ambiente controllato senza interferenze esterne a beneficio di una maggiore produttività e qualità.

Il framework studiato come modello integrativo introduce il processo necessario ad integrare la *"mappatura del flusso di valore (VSM)"* con una innovazione circolare della linea di produzione (PBS), il controllo delle prestazioni messo in atto dalla linea di produzione av-

viene attraverso "indicatori chiave di prestazione (KPI)", questo tipo di analisi permette di valutare la soluzione proposta per migliorare le prestazioni e visualizzare le possibili implementazioni future della soluzione proposta, considerando anche la riduzione del gado di complessità su una linea di produzione che comprende processi avanzati di AM.

È possibile ridurre la complessità di un sistema costruttivo complesso suddividendolo in parti o moduli più piccoli da riprodurre in ambiente industrializzato. Quando si tratta di modularizzare un prodotto, due fattori sono importanti: "l'indipendenza dei moduli" e le "interfacce tra i moduli" [48]. La modularizzazione ha il vantaggio che il prodotto finale può avere una varietà di forme e funzioni mentre la progettazione e la produzione di componenti e moduli all'interno di un sistema costruttivo possono essere condivisi da più configurazioni aperte. Un processo di configurazione sostituisce il processo di progettazione, in cui viene selezionata una serie di varianti di modulo dalla gamma di soluzioni proposte per adattare il componente alle prestazioni ambientali alle quali si intende rispondere [49].

I sistemi costruttivi in off-site incorporano lo sviluppo di moduli al loro interno, pur mantenendo le interfacce tra di loro.

Nel settore edile, lo sviluppo dei sistemi costruttivi in combinazione con l'automazione della progettazione ha cambiato gli obiettivi ed il sistema di performance ambientali, sia rispetto la riduzione delle emissioni nella fase operativa sia in termini di consumo di risorse, sia di risparmio energetico in fase operativa. Si cerca inoltre di includere lo sviluppo di strumenti di configurazione che possano favorire l'avanzamento della produzione industriale nei laboratori di fabbricazione digitale, caratterizzati da processi di innovazione continua, e che restituiscano un panorama di innovazione in continua evoluzione, che tradotto nella pratica sperimentale, sostenuta da un apporto scientifico nel campo della progettazione tecnologica, delineano i caratteri di nuovo approccio alla costruibilità dell'architettura in transizione verso i più urgenti approcci operativi alla decarbonizzazione e alla neutralità climatica.

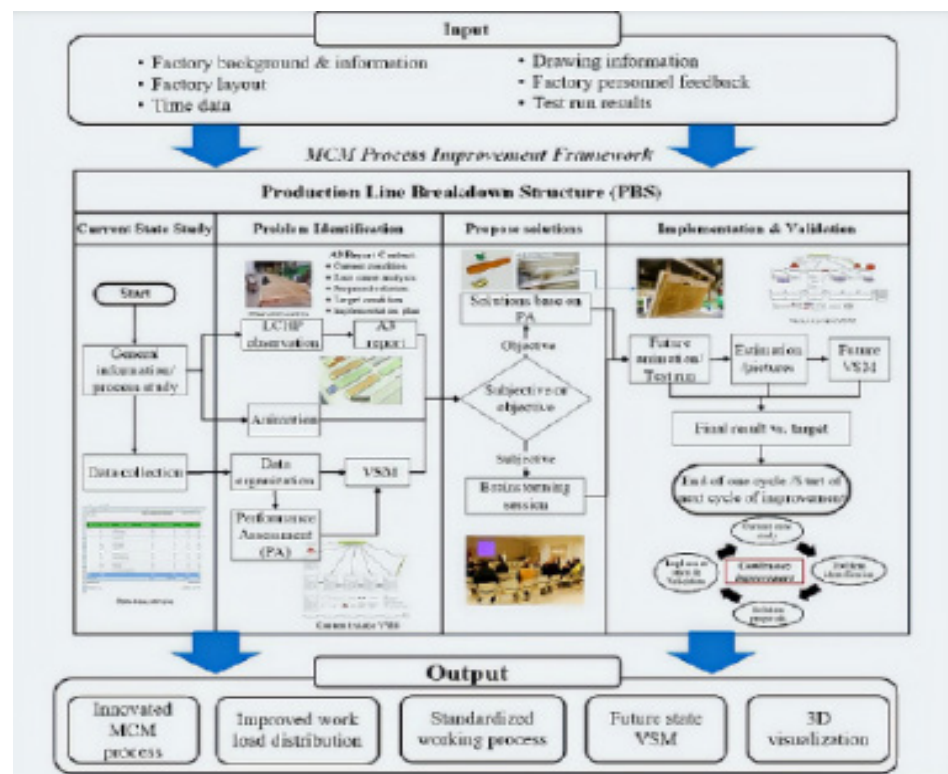


Fig. 10. Process-Oriented Framework to Improve Modular and Offsite Construction Manufacturing Performance  
 Youyi Zhang; Zhen Lei, A.M.ASCE; SangHyeok Han, A.M.ASCE; Ahmed Bouferguene; and Mohamed Al-Hussein, M.ASCE

È sempre utile sottolineare che il settore edile contribuisce per oltre il 35% alle emissioni globali durante l'intero ciclo di vita di una struttura. In ogni fase del processo di costruzione, dall'estrazione delle materie prime alla demolizione, le emissioni vengono prodotte sotto forma di carbonio incorporato o operativo [50]. La modernizzazione e la sostenibilità nella progettazione degli edifici possono portare a una *riduzione delle emissioni di carbonio utilizzando materiali provenienti da fonti di scarto o rifiuti interpretando i concetti di economia circolare applicati con tecniche costruttive off-site* [51].

L'obiettivo della seconda lettura in BOX 2 è quello di cercare di mantenere uno sguardo su tecniche e tecnologie applicate su progetti esistenti, che traducano i principi della pre-fabbricazione avanzata in architetture con delle capacità elevate in termini di prestazioni ambientali.

Per la standardizzazione dei componenti di involucro, vengono innovati gli aspetti di industrializzazione e i quadri di valutazione della circolarità dei componenti tecnologici utili a replicare questi principi.

Si rintraccia tra gli aspetti legati all'innovazione sociale l'uso di processi legati all'industrializzazione dei processi avanzati che rimodula gli standard attuali praticati nella regione specifica dove si trova il progetto.

Il caso della Community Library progettata in Sri-Lanka dal Robust Architecture Workshop, esprime le capacità di adattamento dei processi industrializzati nel contesto nel quale operano. Questo processo innova ancora nel progetto con la manifestazione dell'intenzione principale, ovvero quella di voler progettare un edificio compatibile con le competenze e le circostanze della forza lavoro data, nonché di migliorare le competenze del lavoro per ottenere risultati migliori.

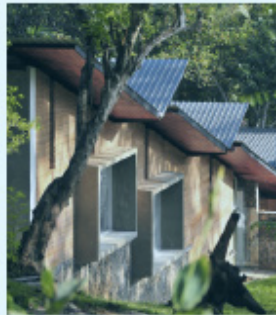
Poiché l'edificio è costruito senza danneggiare il terreno roccioso del sito, l'intervento delle tecniche Off-Site è leggibile nelle colonne d'acciaio. Queste elevate da terra conferiscono all'edificio un aspetto galleggiante e, soprattutto, consentono il mantenimento dei percorsi di drenaggio naturali nonostante l'intervento dell'edificio.

La visione offerta da questa lettura si pone come un riferimento primario per i profili dei sistemi tecnologici in Off-Site, in questo ambito il progetto per lo Sport Center in Turro della Peira interviene nella rigenerazione urbana con un'infrastruttura verde.

La struttura è in legno massello ed è efficiente dal punto di vista energetico ed autosufficiente. Una delle ragioni per la scelta del sistema prefabbricato in legno lamellare ed è espressione delle ottime caratteristiche del legno in relazione al suo ciclo di vita. Inoltre, sono state valutate anche le sue buone prestazioni meccaniche, la sua leggerezza e i suoi brevi tempi di costruzione per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità dei sistemi e dei materiali costruttivi per l'ottenimento della certificazione LEED Platinum. In tre delle facciate dell'edificio, una galleria verde filtra la luce e protegge dai raggi solari. Il sistema di coltivazione idroponico, è stato scelto per la sua leggerezza, durata, capacità di ritenzione idrica e facilità di installazione.

## BOX 2 Off-Site Design in CTP

UT<sub>3</sub> - *L'innovazione come qualità dell'architettura ad alte prestazioni:*  
 «[...] La terza questione, riferita al "ruolo dell'innovazione nei processi culturali della tecnologia", con riferimento al progetto complesso e sostenibile, [...] al modo con cui la sperimentazione e la ricerca ha guidato l'evoluzione delle filiere produttive di componenti, materiali, sistemi, unitamente all'evoluzione dei processi digitali in tutte le fasi realizzative del processo e del progetto.»  
 (C.Nava, estratto su UT<sub>2</sub> dal programma del corso CTP 21-22)

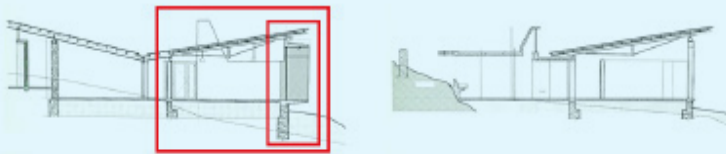


### CREDITS

Progetto **Community Library**  
 Progettisti: **Robust Architecture Workshop**  
 Luogo: **Ambepussa, Sri Lanka**  
 Anno: **2015**

### Fonte

- [Arkelipo n. 136/2020](#), p. 40  
 (c/o [Biblioteca Centrale Architettura](#))



Fonte: <http://www.arsant.org/project/ambepussa-cultural-public-facilities-ambepussa-community-library/>  
 Drawings Arkelipo n. 136/2020



UT<sub>2</sub> - *La sostenibilità come disegno ambientale e progetto delle risorse*  
 UT<sub>3</sub> - *L'innovazione come qualità dell'architettura ad alte prestazioni*

| Codice progetto: **CS41**



### CREDITS

Progetto **Sport Center in Turro de la Peira**  
 Progettisti: **Anna Noguera e Javier Fernandez**  
 Luogo: **Barcelona, Spagna**  
 Anno: **2018**  
**Certificazione energetica LEED Platinum**

### Fonte

- [Arkelipo n. 141/2020](#), p. 68  
 (c/o [Biblioteca Centrale Architettura](#))

- [https://www.archdaily.com/922095/sports-center-in-turo-de-la-peira-anna-noguera-plus-javier-fernandez?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/922095/sports-center-in-turo-de-la-peira-anna-noguera-plus-javier-fernandez?ad_source=search&ad_medium=projects_tab)



Fonte: [https://www.archdaily.com/922095/sports-center-in-turo-de-la-peira-anna-noguera-plus-javier-fernandez?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/922095/sports-center-in-turo-de-la-peira-anna-noguera-plus-javier-fernandez?ad_source=search&ad_medium=projects_tab)  
 Arkelipo n. 141/2020, p. 68



UT<sub>2</sub> - *La sostenibilità come disegno ambientale e progetto delle risorse*  
 UT<sub>3</sub> - *L'innovazione come qualità dell'architettura ad alte prestazioni*

| Codice progetto: **CS47**

*Il caso dei componenti e sistemi per le facciate di involucri innovativi*

Il modello di sperimentazione illustrato in Fig. 11, ripercorre le prime due fasi del T.R.L. (cfr cap. 8). Questo approccio riporta la progettazione come forma operativa di un processo progettuale avanzato [52] (Celi M., 2015) di un componente industriale di frontiera, strutturando un framework che spiega le relazioni scaturite nella progettazione di sistemi di involucro innovativo tra le tecnologie abilitanti, l'economia circolare e la progettazione off-site. Per "componenti industriali di frontiera per l'edilizia sostenibile" si intendono quei sistemi di involucro, che non riguardano solo la pelle dell'edificio o l'impianto strutturale, ma l'intero sistema tecnologico-ambientale, con riferimento a tutte le prestazioni ed energia-requisiti ambientali, con particolare attenzione alla morfologia e costituzione dei materiali per i componenti e al loro ciclo produttivo.

La frontiera come "dispositivo sensibile" esprime la sua natura innovativa nell'Advanced Design definita dal processo circolare, nell'applicazione i temi dell'innovazione radicale [23], definisce il contesto fisico-ambientale e declinando il tema dell'UpCycling su tutte le componenti di frontiera industriale.

Specificando i requisiti prestazionali e le qualità tecnologiche che il dispositivo deve possedere, tutti i caratteri sono sottoposti ad una fase sperimentale anche in una sorta di innovazione continua, qualificando l'approccio sistemico al superamento degli aspetti strettamente legati alla sua evoluzione tecnologica.

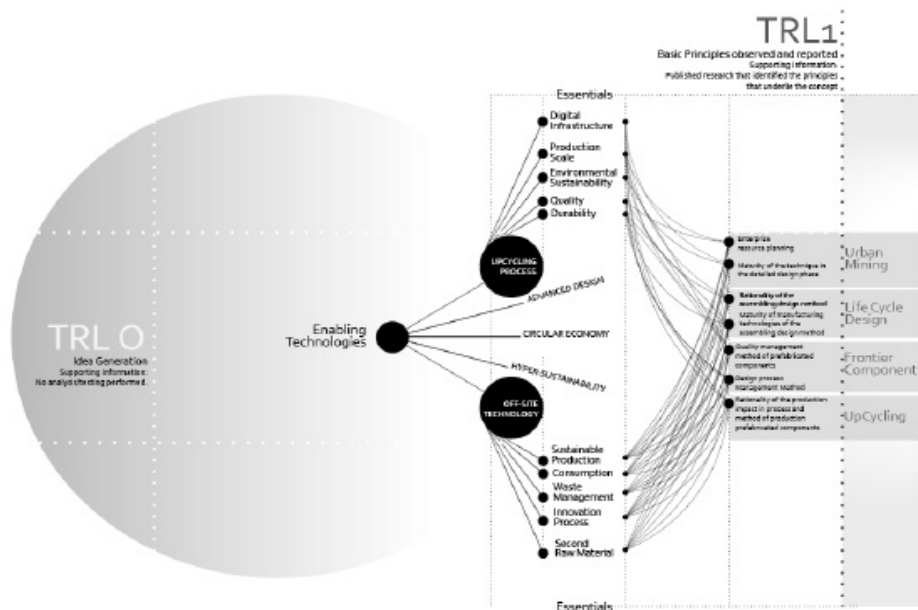


Fig. 11. Process-Oriented Framework to Improve Modular and Offsite Construction Manufacturing Performance (fonte: Youyi Zhang; Zhen Lei, A.M.ASCE; SangHyeok Han, A.M.ASCE; Ahmed Bouferguene; and Mohamed Al-Hussein, M.ASCE)

Come precedentemente anticipato uno degli aspetti tecnologici maggiormente approfonditi, attraverso l'utilizzo di tecniche e tecnologie off-site, è stato la produzione di componenti e sistemi facciata, di involucro e di pelle dell'organismo edilizio. La prefabbricazione o *sistema di costruzione industrializzato* (IBS) di sistemi di facciata è definito come un processo innovativo di costruzione di componenti che utilizzano un sistema industrializzato di produzione di massa. Secondo S. Avesani specialmente nel progetto di un componente di facciata in Off-Site e la complessità aumenta il suo livello tanto quanto il livello aumenta le sue potenzialità [51]. Uno degli indirizzi maggiormente indagati negli ultimi anni riguarda sicuramente l'innovazione radicale in ottica ecologica di componenti e sistemi per facciate progettate e realizzate in off-site. Tuttavia le carenze evidenziate da M. Zairul in letteratura

*"dimostrano che nonostante il crescente interesse per l'argomento, non è riportato in letteratura alcun documento di revisione che combini sia i prefabbricati che i principi dell'economia circolare. C'è anche la necessità di adattare i concetti coinvolti nella letteratura CE alla costruzione e di applicare una terminologia più sistematica. Il motivo per cui lo studio è ancora piuttosto lento è in parte dovuto alla mancanza di consapevolezza tra i responsabili politici e all'assenza di incentivi politici" [52].*

Ciò che ne deriva da questo studio è una possibile traiettoria di indirizzo per cercare di colmare il gap terminologico e di significato che ne scaturisce.

Da qui l'interesse per rintracciare in ricerche di carattere innovativo e di progetti realizzati o di sperimentazione industriali quelle caratteristiche che qualificano i componenti di involucro in off-site come "atti"<sup>9</sup> a caricarsi di quelle tecnologie che potrebbero favorire la *transizione ecologica nel settore delle costruzioni*, adottando quei processi circolari che ne aumenterebbero il valore ecologico.

I contributi pratici sono il miglioramento o l'introduzione di nuove opportunità nel settore, l'esplorazione di un'ingegnerizzazione ecologica (cfr. Cap. 2.3) e l'adozione di processi circolari (Carbon Zero e Zero Waste) per *costruzioni più sostenibili* e il suggerimento di un nuovo modo di fare affari negli edifici prefabbricati con integrazione CE.

Se dal punto di vista tecnologico l'innovazione dei processi costruttivi in off-site favorisce quegli aspetti di riciclabilità e disassemblaggio, necessari alla qualificazione circolare dei componenti appartenenti al ciclo tecnico del settore delle costruzioni, dal punto di vista delle prestazioni fisico-ambientali la ricerca è da tempo ormai orientata allo studio e allo sviluppo di quei sistemi responsivi capaci, in regime adiabatico, di offrire delle prestazioni rispondenti alle condizioni ambientali misurate nel tempo.

Già nel 2011 M. Sala evidenziava *la necessità di sviluppare un sistema di facciata capace di garantire prestazioni energetiche flessibili [...] proporre nuovi modelli d'involucro dinamico che contribuiscano alla riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio, rendendolo strettamente dipendente dalle condizioni climatico-ambientali esterne, e sono costituiti da componenti che ne incrementano la capacità di variare conformazione in relazione alla necessità di regolare i flussi di energia termica, luminosa, sono ora passanti [53].*

Potremmo dire che la prefabbricazione avanzata riferisce, quando abbinata a processi circolari ed ad elementi di involucro per l'innovazione dell'organismo edilizio alla produzione di elementi e parti in una fabbrica e il loro trasporto al cantiere per una rapida installazione. Tradizionalmente, ogni processo nel settore edile è fortemente influenzato da errori umani o difficoltà e condizioni del sito, ma questo rischio è stato affidato ad efficienti operazioni automatizzate. Il suo principale vantaggio, quindi, è che consente un processo controllato, preciso e affidabile con meno elementi di rilavorazione (e meno sorprese). In un mondo in rapida evoluzione, la costruzione Off-Site sta cambiando radicalmente il design architettonico, attraverso la prefabbricazione avanzata, gli edifici possono eliminare metodi rigidi, altamente invasivi e rischiosi che danneggiano l'ambiente e non possono adattarsi alle diverse condizioni. In risposta alle sfide ambientali, economiche e sociali, gli architetti possono integrare tecnologie digitali, precise e collaborative.

Tra le tecnologie digitali capaci di interpretare i concetti legati all'economia circolare, l'additive manufacturing (AM), uno dei pilastri dell'Industria 4.0, si pone come capace di agevolare la transizione ecologica nel settore delle costruzioni. Questa tecnologia consente la prototipazione rapida e la riduzione al minimo dei rifiuti.

Lo studio propone in questo senso di integrare questa tecnologia con quadri standardizzati al fine di attirare l'accettazione industriale, come nel settore edile. Attraverso l'uso della *produzione additiva*, la costruzione off-site può innovarsi ed essere resa più efficiente e realizzare il trasferimento dei processi digitali ai processi costruttivi.

La rilettura critica permette di restituire un quadro completo sulle *pratiche di progettazione del dettaglio architettonico* secondo modelli di produzione del progetto e di costruzione contemporanei: una sintesi di tecnologie che configurano i sistemi costruttivi complessi, in configurazione aperte.

Ma una delle principali sfide che il settore deve affrontare è l'implementazione dell'industrializzazione e della prefabbricazione al fine di ridurre i costi e l'impatto ambientale.

Comparando i concetti espressi nell'ambito della progettazione off-site riferiti all'analisi del ciclo di vita, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- l'aumento della *durabilità* delle strutture riduce significativamente i relativi *impatti ambientali*; il *riutilizzo degli elementi strutturali* e non ha un'influenza maggiore sulle categorie di impatto valutate, ovvero il *potenziale di riscaldamento globale* e *l'energia incorporata*;

- i processi circolari possono essere utilizzati per "*risparmiare materiale, ridurre gli sprechi, prolungare la vita del prodotto e ridurre le emissioni di carbonio*" [50];

- nei processi di produzione paralleli, *gli sprechi vengono ridotti* durante il processo produttivo attraverso *principi legati* all'utilizzo di materiali riciclati e/o in *upcycling* reperiti in loco, e grazie all'utilizzo di energia di derivazione naturale.

Da qui se ne deduce che è possibile superare le barriere relative al disassemblaggio, all'adattabilità e al riutilizzo dei componenti prefabbricando componenti edilizi con sistemi aperti.

Inoltre, sebbene la catena di approvvigionamento dei componenti edilizi riutilizzati non sia stata ancora sviluppata, le piattaforme di gestione, i processi di etichettatura ambientale e i dispositivi di tracciamento sono tecnologie promettenti che consentirebbero agli edifici di diventare banche di materiali alla fine del loro ciclo di vita.



Fig. 12. Refugio VIPP /  
VIPP. Image Courtesy  
of VIPP

## Appendice 1: Repertorio dei casi di Architettura 5.0

Nell'ampio contesto riferito alla trasformazione di sottoprodotti industriali, sono valutati progetti e ricerche esemplificative sul paradigma avanzato di "architettura 5.0". Questi rintracciano materiali riutilizzati e riciclati, componenti avanzati in UpCycling, e sistemi costruttivi avanzati in off-site che comprendono un alto livello di innovazione tecnologica sia nel design, sia nell'industrializzazione dei processi circolari e che catalogano in maniera differente i progetti illustrati nelle sezioni.

### Innovative Materials

La scala del componente o materia è quella con i maggiori esempi con riferimento all'economia circolare, in quanto nell'approccio industriale la circolarità consente il risparmio (soprattutto economico) di risorse (materie prime ed energia).

Gli esempi scelti riguardano materiali/ prodotti con contenuto di riciclato sia di tipo pre-consumo (scarti di lavorazioni industriali, scarti di segheria, scarti delle produzioni agricole, ecc.) sia di tipo post-consumo (plastica riciclata, metalli riciclati, ecc.).

L'obiettivo è quello di rintracciare una case history rappresentativa di materiali che abbiano in sé la capacità di avere un afflusso di scarti verso il settore edilizio proveniente da altri settori, in ottica di simbiosi industriale.

### UpCycled components

Il concetto di UpCycling riprende il concetto di valore ecologico e lo considera come una qualità da rintracciare nei componenti dedicati all'architettura e all'edilizia sostenibile capaci, attraverso la loro trasformazione di aumentare le loro prestazioni in tutto il ciclo di vita.

Nel considerare le prestazioni abbinate al valore ecologico, si rintracciano tutti quelle esperienze nel campo della progettazione avanzata, caratterizzati da un forte livello di innovazione tecnologica, capaci di interpretare i concetti espressi nella definizione di Architettura 5.0. Ovvero: l'innovazione radicale nei processi di gestione del ciclo di vita; i processi di Design Computazionale per la Early Design Phase.

### Circular Off-Site Solutions

I casi studio presentati ed esaminati in questa sezione riprendono i concetti legati all'innovazione dei sistemi costruttivi in off-site elaborati nel paragrafo di riferimento.

In questo senso la lettura critica dello stadio dell'arte rintraccia quei sistemi industrializzati per la realizzazione di sistemi di facciate che rappresentano un forte carattere innovativo, perchè legati strettamente alla traduzione dei principi dell'economia circolare in sistemi costruttivi avanzati. Speculativamente si valutano progetti recenti e che sono già nella loro fase di concept indirizzati all'utilizzo di tecnologie innovative per la fase di costruzione, e che abbiano, nella letteratura di riferimento, gli elementi necessari per valutarne gli indicatori prestazionali presentati nell'introduzione dell'appendice di seguito descritti.

## Indici Prestazionali per la lettura critica del Repertorio

### *(1) innovazione nei processi di trasformazione*

Le soluzioni per il settore edile basate su materiali di scarto hanno un grande potenziale, indipendentemente dai loro limiti funzionali, le loro prestazioni vengono aumentate quando si considerano materiali provenienti da filiere diverse da quelle strettamente legate all'industria delle costruzioni.

La misura dell'innovazione nei processi di trasformazione avviene valutando il controllo dell'approvvigionamento energetico in fase di produzione, alla quota parte di energia rinnovabile utilizzata in tutto il ciclo di vita.

Il progresso di valutazione fa riferimento agli studi effettuati e disponibili di L.C.A. che certificano gli indicatori di sostenibilità in GWP.

### *(2) potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Il potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico del materiale, componente, o sistema analizzato utilizza il Material Circularity Indicator ai quali si fa riferimento nel paragrafo . La valutazione avviene utilizzando lo strumento Circularity Indicators sviluppato da Granta Design, integrato con MI:Product Intelligence, valuta i rischi ambientali, normativi e della catena di approvvigionamento per i loro prodotti e progetti.

Oltre a fornire il risultato MCI per ciascun componente, il calcolatore fornisce anche il risultato per il prodotto nel suo insieme. Questo tipo di analisi interscalare, permette di identificare quali parti influenzano l'MCI complessivo [54].

### *(3) capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Per la valutazione delle emissioni di Carbonio si fa riferimento sia alla questione delle "emissioni evitate" in fase di produzione, anche riferite all'indicatore (i), sia al potenziale di stoccaggio che considera lo studio condotto da Ingrid Paoletti [55] nel quale viene teorizzata la seguente espressione:

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67$

In merito a questa si tiene conto che "r è la densità del prodotto e 3,67 è il peso molecolare dell'anidride carbonica rispetto al carbonio. I parametri ambientali, in relazione alla definizione di prodotto biogenico, riportano nella prima colonna la percentuale di biomassa (BC) contenuta; nella seconda il contenuto di carbonio (CC) che serve per quantificare quanto carbonio e, di conseguenza, CO<sub>2</sub> è catturata all'interno del prodotto invece di essere rilasciata in atmosfera".

### *(4) prestazioni fisico-tecniche*

Le prestazioni fisico-tecniche indicano le qualità fisiche dell'oggetto di studio e valutano la composizione materica. Si utilizza per l'analisi in questione la conducibilità termica espressa in W/mK, il peso specifico del materiale espresso in Kg/m<sup>3</sup> e la resistenza al fuoco facendo riferimento alla normativa utilizzata dall'ente sviluppatore in fase di testing, quando disponibile.

Blue planet concrete  
 patent: Blue Planete S.r.l  
 www.blueplanetsystems.com

**Descrizione Generale**

Il conglomerato cementizio "Blue Planet Concrete" si pone come un ottimo esempio di processo virtuoso per l'incremento delle prestazioni ambientali, inglobando nel processo di innovazione le tecnologie per il cosiddetto "sequestro permanente" di CO<sub>2</sub>.

L'up-cycling viene registrato nell'utilizzo della tecnologia di mineralizzazione di CO<sub>2</sub> brevettata dall'azienda di San Francisco Blue Planet, questa permette di catturare e sequestrare in modo permanente la CO<sub>2</sub> proveniente da qualsiasi fonte di emissione.

Il processo prevede un sistema di cattura molto preciso, questo infatti può utilizzare CO<sub>2</sub> estratta da qualsiasi fonte, in qualsiasi concentrazione, e trasformarla in aggregati per l'edilizia.

Tanto che ogni tonnellata dell'aggregato prodotto permette di smaltire permanentemente 440 kg di CO<sub>2</sub>, impedendole di fuoriuscire o accumularsi nell'atmosfera, l'eventuale necessario approvvigionamento di CO<sub>2</sub> può essere considerato uno dei limiti di questa sperimentazione.

L'estrazione meccanica di quest'ultima infatti non sarebbe allo stesso livello del sistema brevettato, non sarebbe sufficiente a coprire la quota necessaria a mitigare in modo significativo le emissioni su scala globale.

**Letture critica**

(i) *innovazione nei processi di trasformazione:*

Il range di GWP è stato stimato in **356 kg CO<sub>2</sub>eq. - 400 kg CO<sub>2</sub>eq.**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Composito

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 50%

MCI: 0,67 (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

**1.9 gigatons di CO<sub>2</sub> per anno**

(capacità accertata dal produttore)

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Densità: **240 kg/m<sup>3</sup>**

Resistenza a compressione: 6000 MPa

Percentuale di riflessione dei raggi solari: 7%

**The world's highest, safest and strongest stacking solution**

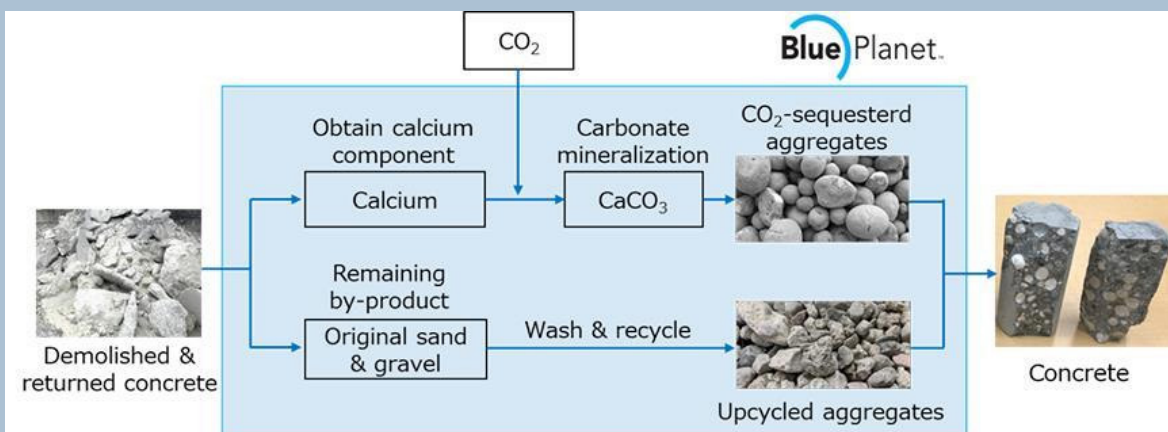
Blockwell is able to provide a stacking solution that rises well above any other. The unique interlocking design allows blocks to be installed to a height of over 10 meters, almost double the height of any other block provider.

	Conventional Block	Virtus Concrete Block
<b>Materials Used</b>	Quarried materials like sand and stone	Recycled stone, fill, cement waste and sodium silicate (extract from recycled materials)
<b>Carbon Savings</b>	0 kgCO <sub>2</sub> /block	305.4 kgCO <sub>2</sub> /block
<b>Cost Savings</b>	High cost due to traditional concrete	Reduced cost (-80%) due to easy assembly and stacking

RESOURCE  
 Stock di CO<sub>2</sub> trasformata

MANUFACTURER e DESIGNER  
 Blue Planet, San Francisco, CA, USA

PRODUCT DIRECTORY  
 Aggregate; Concrete



CRT Glass Tiles  
 patent: Fireclay tile  
[www.fireclaytile.com/](http://www.fireclaytile.com/)

**Descrizione Generale**

Il vetro del tubo catodico è uno dei rifiuti elettronici più difficili da riciclare, la difficoltà deriva da una percentuale consistente di piombo presente nella sua composizione chimica (5/6 g per Kg).

L'elettronica di oggi non utilizza molti di questi tubi, ma i televisori e i monitor dei computer che li utilizzano costituiscono il 43% di tutti i rifiuti elettronici. A causa della composizione chimica del materiale e dell'obsolescenza della tecnologia utilizzata circa 20 milioni di unità obsolete vengono immagazzinate nei centri di riciclo e nelle discariche ogni anno.

La piastrella in vetro CRT può essere utilizzata all'interno o all'esterno, pur essendo progettata per resistere ai rigori di un cantiere commerciale. Per separare le sezioni anteriore, centrale e posteriore del vetro, l'azienda di produzione collabora con un'azienda locale di riciclaggio dei rifiuti elettronici.

Dopo la cernita del vetro, le piastrelle vengono colate in stampi e viene aggiunto un pigmento bianco per schiarire il tubo di vetro originale e ottenere un colore grigio chiaro chiamato "fosforo".

**Lettura critica**

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in **70 kg CO(2)kg**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Vetro riciclato

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 50%

**MCI: 0,67** (0 < MCI < 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

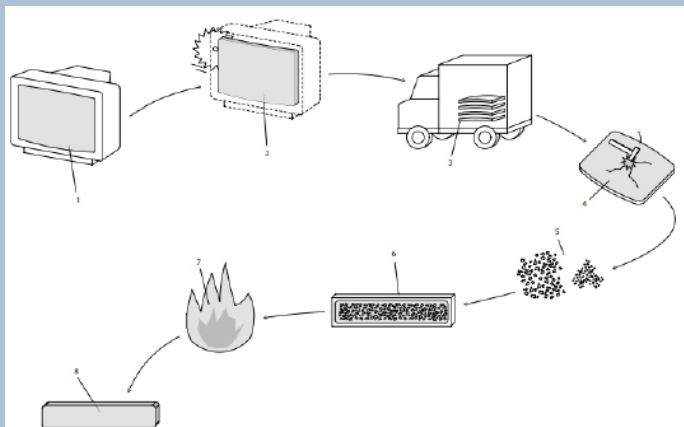
Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 = 0$

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Spessore standard: 9,5 mm

Densità: **65 kg/m³**

Resistenza a compressione: 900 MPa



**RESOURCE**

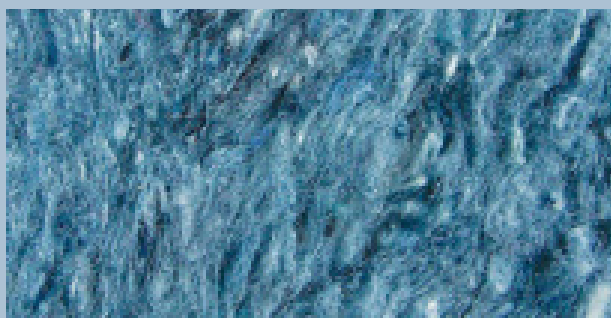
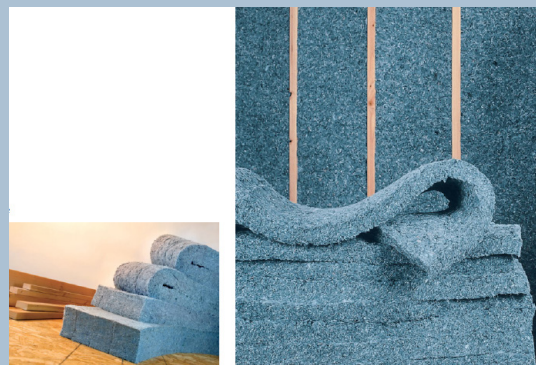
Vetro proveniente da tubi catodici  
 MANUFACTURER AND DESIGNER  
 Fireclay Tile, San Francisco, CA, USA  
 PRODUCT DIRECTORY  
 Mattoni, piastrelle



UltraTouch Denim  
patent: Blue Planete S.r.l  
www.blueplanetsystems.com

#### Descrizione Generale

I rifiuti provenienti dal settore tessile in particolare da denim e jeans sono una risorsa praticabile per future applicazioni edili grazie alle sue eccellenti proprietà, che possono essere estese a una seconda vita come materiale da costruzione di alta qualità. La maggior parte del denim viene riciclato nei progetti fai-da-te o nei negozi di seconda mano. L'azienda Bonded Logic sintetizza la logica dell'UpCycling nella realizzazione del prodotto UltraTouch Denim, un materiale isolante prodotto industrialmente. L'efficace assorbimento acustico e le prestazioni termiche dei nuovi prodotti sono dovuti alle loro qualità intrinseche del materiale, che vengono innovate in un nuovo utilizzo. Come parte del processo di produzione, il denim viene separato da qualsiasi altro tessuto, cerniere, bottoni e hardware. Oltre a tritare il denim, un secondo trasformatore districa le strisce, riportando il tessuto al suo stato di fibra originale. Per rendere l'isolante ignifugo e resistente a muffe e funghi, questa materia prima viene trattata con un borato in un grande forno, tale miscela viene poi mescolata con altre fibre naturali (80% denim, 20% nuovo materiale).



[IM-3]

## Innovative Materials

#### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in  
**11,97 - 16,65 kg(2) kg CO(2)eq. ton(-1)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Fibre tessili di cotone riciclate 80%

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 0,49xKg** (0 < MCI > 1)

Composizione del materiale: Fibre tessili sintetiche riciclate 20%

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 0,40** (0 < MCI > 1)

**MCI (Total): 0,46** (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

$Stoccaggio\ di\ carbonio = r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 15,83\ kg/m^3 \times 0,3 \times 0,8 \times 3,67 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 13,94 Kg/m<sup>3</sup>**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Spessori standard: 51 / 89 / 140 / 203 mm

Densità **15.83–21.32 kg/m<sup>3</sup>**

Conduttività termica: **0.125–0.03 W/m<sup>2</sup>K**

#### RESOURCE

Scarti provenienti da Jeans e rifiuti di Jeans

MANUFACTURER e DESIGNER

Bonded Logic Inc., Chandler, AZ, USA

PRODUCT DIRECTORY

Insulating

PVC UpCycling  
Redel S.r.l.  
www.pvcupcycling.com/

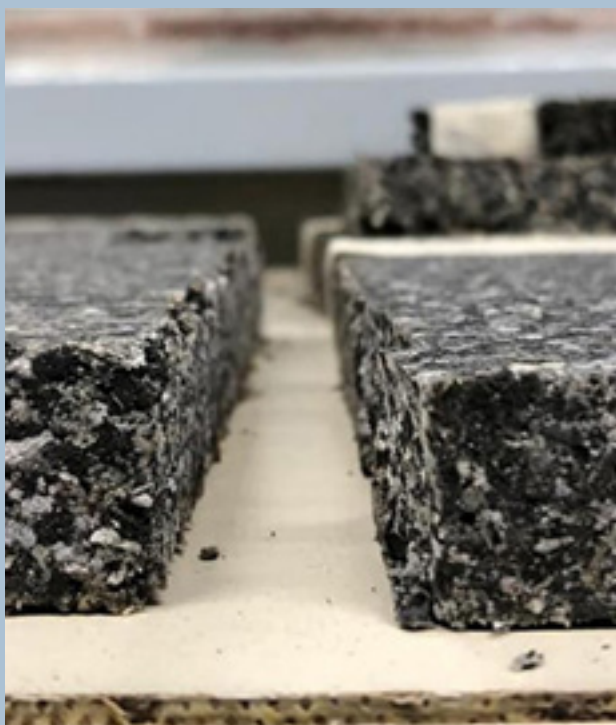
#### Descrizione Generale

PVC Upcycling è un progetto che ha come obiettivo il recupero delle componenti in PVC di cavi elettrici provenienti dallo smantellamento di impianti elettrici (de-manufacturing) e al loro riciclo in prodotti a basso impatto ambientale (re-manufacturing).

Il progetto realizza l'UpCycling dei cavi elettrici costituiti principalmente da metalli (rame e alluminio) e PVC, con l'obiettivo di operare l'upcycling delle componenti in plastica in potenziali materie prime seconde, macinato e granuli, e in nuovi prodotti per l'edilizia sostenibile.

Nell'ambito del progetto per l'UpCycling sono state studiate tre diverse applicazioni: Malte cementizie rinforzate con compound proveniente da guaine protettive di cavi elettrici, Mattonelle utilizzate per il rivestimento Green Parking ad alta resilienza.

Il progetto dell'UpCycling avviene sia nell'intervento sulla filiera del processo, sia nella realizzazione di una serie di prodotti dall'elevato valore ecologico. L'obiettivo principale è quello di facilitare l'azienda promotrice nella transizione ad un modello circolare, diversificando le possibili uscite attraverso azioni precise e puntuali finalizzate all'UpCycling del PVC dei cavi elettrici.



## [IM-4] Innovative Materials

#### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione:*

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Material Family: Composite

Source: Recycled

Regenerative percentage: 100%

Collection Rat: 90%

**MCI: 0,85** ( $0 < \text{MCI} > 1$ )

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

-

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

DENSITY - 1.7/2.2 kg/m<sup>3</sup>

COMPRESSION STRENGTH 6000 MPa

#### PROJECT DATA

RESOURCE: Concrete + PVC  
MANUFACTURER e DESIGNER

Finanziato nell'ambito del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (Por Calabria 2014-2020), il progetto PVC Upcycling è gestito da R.ED.EL. SRL, azienda italiana operante nella costruzione e manutenzione di impianti elettrici di media-bassa tensione, in collaborazione con l'Università della Calabria, ENEA e PMopenlab.

#### PRODUCT DIRECTORY

Malte cementizie, Pavimentazione e rivestimenti per esterno.



## Wood foam

patent: Fraunhofer Institute  
www.wki.fraunhofer.de

## Descrizione Generale

La wood-foam è un materiale leggero a base di legno con una trama a poro aperto costituito da legno finemente macinato (40 - 280 kg / m<sup>3</sup>).

Di conseguenza, non dipendono dagli adesivi sintetici per la loro forza in quanto si basano sulle proprietà leganti del legno. In altre parole, le schiume sono realizzate interamente da risorse rinnovabili. L'isolamento termico e le proprietà fisiche di questi materiali hanno mostrato risultati promettenti. A seconda della densità, le resistenze di compressione vanno da 20 kPa a 190 kPa al 10% di pressione. Anche la conduzione del calore dipende dalla densità, con velocità di conduzione inferiori a 0,04 W / mK per le densità basse. Valori simili si trovano anche nei pannelli isolanti in fibra di legno e polistirene. Il legno espanso si distingue come materiale particolarmente sostenibile e naturale quando si tratta di calcolare gli equivalenti di CO<sub>2</sub> dannosi per il clima o le impronte di carbonio. Offre un'alternativa alle schiume polimeriche sintetiche.

## Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in  
**1.56 kg CO<sub>2</sub>(e)eq. ton(-1)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Materiale di derivazione naturale

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 21.32 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \times 1 \times 3,57 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 38,05 Kg/m<sup>3</sup>**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Spessori standard: 51 / 89 / 140 / 203 mm

Densità: **40-250 kg/m<sup>3</sup>**

Conducibilità Termica: **0.04 W/m<sup>2</sup>K**



## RESOURCE

**Scarti di lavorazione del legno**

MANUFACTURER e DESIGNER

Fraunhofer, Freiburg im Breisgau, Germany, DE

PRODUCT DIRECTORY

Insulating, Packaging, lightweight boards.

Mycelium

patent: Opensource Practice  
www.blueplanetsystems.com

Descrizione Generale

Nei funghi, i miceli sono le sottili fibre simili a radici che scorrono sotto terra, che possono essere coltivate in forme specifiche, formandosi in diversi modi da coltivare in un tempo relativamente breve per l'elaborazione di componenti per l'architettura ed il design.

Negli ultimi anni, le industrie dell'architettura e delle costruzioni si sono interessate a questo materiale organico al 100%.

Il micelio può anche essere utilizzato per produrre una tavola composita (Myc-board) senza la pericolosissima formaldeide. Il micelio permette di coltivare mobili che possono essere facilmente riciclati. Come con altri prodotti a base di micelio, il mattone di micelio viene creato aggiungendo micelio ai rifiuti delle colture. Una volta versato negli stampi, il micelio viene coltivato ed essiccato creando così un materiale robusto che impiega circa cinque giorni per asciugarsi. I mattoni di micelio sono ancora lontani dal diventare un materiale da costruzione praticabile e diffuso grazie alla loro resistenza alla compressione di 30 psi invece di 4000 psi

La resistenza del calcestruzzo è notevolmente inferiore. Un metro cubo di mattone di micelio pesa 43 kg, mentre un metro cubo di cemento pesa 2400 kg.

Lettura critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in  $2.09 \times 10^{-1} \text{kg CO(2)eq. ton(-1)}$

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

MCI: 1 (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

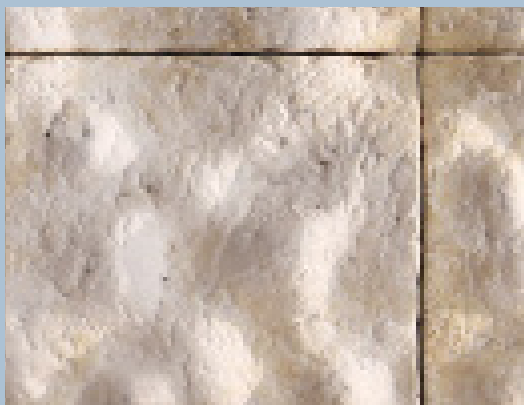
$= 28 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \times 1 \times 3,57 =$

$= \text{Stoccaggio di carbonio} = 69,05 \text{ Kg/m}^3$

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

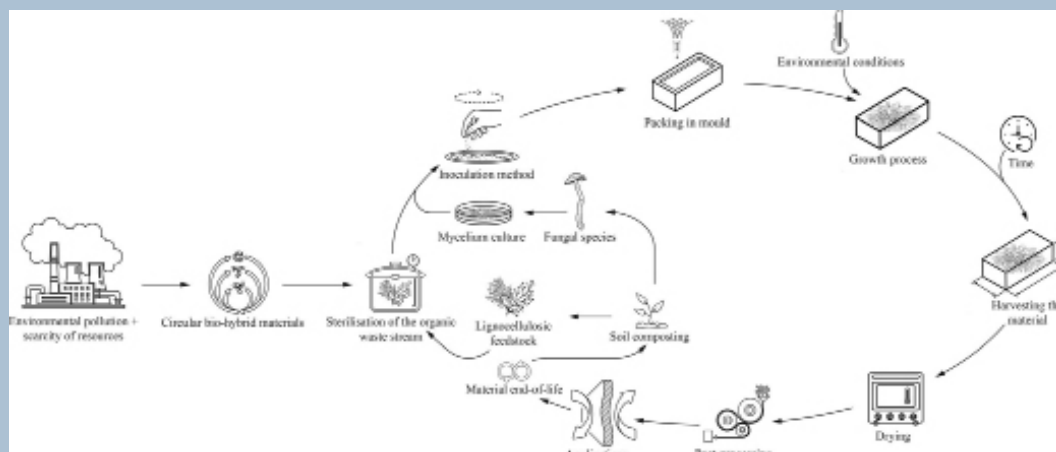
Densità: 160 and 280 kg/m<sup>3</sup>

Conducibilità termica: 0.05 – 0.07 W/mK.



RESOURCE  
Fungi Roots

PRODUCT DIRECTORY  
Insulating, Bricks, Biobased materials for 3D printing



## GrowLay

patent: patent pending by Kai Parthy  
www.lay-filaments.com

### Descrizione Generale

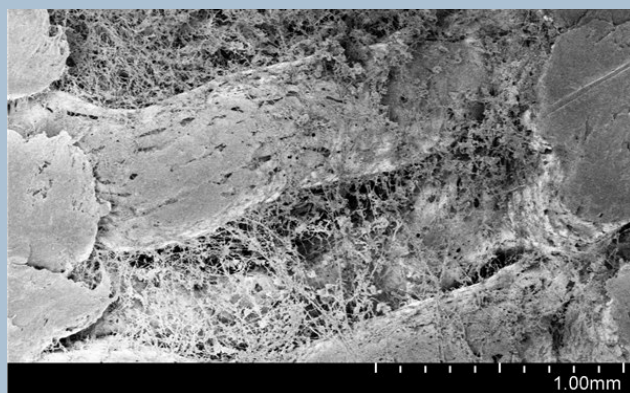
Il processo di UpCycling che abilita il GROWLAY è la capacità di fungere da mezzo di crescita per i vegetali attraverso la sua porosità e i microcapillari che costituiscono il materiale.

Il GROWLAY è un materiale utilizzato per realizzare filamenti per stampa 3D che incorpora materiale cellulare naturale derivato dal legno che funge da alimento per ogni elemento vegetale che viene inserito nel pezzo.

Un pezzo realizzato con una stampante 3D FDM e il filamento GROWLAY è in grado di assorbire acqua, fertilizzante liquido o qualsiasi nutriente che sarà fondamentale per nutrire la radice dell'ortaggio che si desidera coltivare.

Nei pezzi realizzati con questo materiale il muschio cresce allo stesso modo dei sassi o degli alberi, con la stessa facilità e velocità. La muffa cresce anche, attraverso i capillari delle cellule aperte, formando il micelio.

Può essere facilmente stampato da qualsiasi stampante 3D FDM attuale grazie alla sua buona rigidità, resistenza alla trazione e adeguata stabilità termica.



### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in

$2.09 \times 10^{-1} - 4.94 \times 10^{-1} (2) \text{kg CO}_2 \text{eq. ton}^{-1}$

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: Processi di natura biologica

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

MCI: 1 ( $0 < \text{MCI} > 1$ )

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot \text{CC} \cdot \text{BC} \cdot 3,67 =$

$= 28 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \times 1 \times 3,57 =$

$= \text{Stoccaggio di carbonio} = 69,05 \text{ Kg/m}^3$

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Densità:  $150 \text{ kg/m}^3$

Conducibilità termica:  $0.05 - 0.07 \text{ W/mK}$ .

### RESOURCE

Scarti di natura organica, fibre di legno e miceli

MANUFACTURER e DESIGNER

Lay filaments by Kai Parthy, Germany, DE

PRODUCT DIRECTORY

IPackaging, lightweight boards, Architecture components for vertical greening

Lolla di riso  
 patent: OpenSource Practice  
 www.ricehouse.it/

**Descrizione Generale**

Come sottoprodotto del processo di mondatura del risone, la lolla di riso è un sottoprodotto del processo agricolo utilizzato per trasformare il riso crudo in risone.

Nonostante la sua composizione chimica sia simile al legno, ha un alto contenuto di silice, che lo rende più resistente a muffe e insetti rispetto al legno.

Oltre al suo basso valore di conducibilità termica, ha un'ottima capacità isolante grazie alla sua elevata massa termica. Oltre a fornire un ambiente naturalmente sano, la buccia è anche un eccezionale isolante acustico, che contribuisce anche a un ambiente più sano. Attraverso l'utilizzo del prodotto semplice, il sistema applicativo può essere configurato in base alle proprie esigenze. Non ci sono additivi leganti o acqua nella lolla di riso dopo che è stata spolverata. Sotto forma di sacchi, può essere comodamente posato a terra con un sistema di posa in opera in loco, oppure può essere soffiato ad aria compressa da pompe di soffiaggio meccanizzate. Il processo che realizza l'UpCycling di questo materiale è definito dalla sua carbonizzazione. Dopo la carbonizzazione, la lolla di riso appare nera, che ha l'effetto di assorbire il calore e idratare. Può essere utilizzato per migliorare la temperatura e l'umidità del suolo, promuovere la crescita delle piante e ridurre i danni da freddo, se ne può ricavare un ottimo materiale isolante e può essere utilizzato come purificatore dell'aria. Il carbonio della buccia di riso è poroso e ha una buona permeabilità all'aria, che può migliorare l'apporto e la resa intervenendo sul ciclo dell'ossigeno.



**Lettura critica**

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in  $22.09 \times 10^{-1} \text{kg CO(2)eq. ton(-1)}$

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: Processi di natura biologica

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** ( $0 < \text{MCI} > 1$ )

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 125 \text{ kg/m}^3 \times 0,08 \times 1 \times 3,67 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 35,70 Kg/m<sup>3</sup>**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Densità: **125 kg/m<sup>3</sup>**

Conducibilità termica: **0.051 W/mK.**

**RESOURCE**

Scarti derivanti la lavorazione del Riso

**PRODUCT DIRECTORY**

Insulating, Bricks, Biobased materials for 3D



## UcYcled Plastic Wall

project source: MERISTEN WALL  
bioDigital matter lab

### Descrizione Generale

Realizzato in occasione della Biennale di Design a Venezia nel 2021, il Meristen Wall interpreta l'UpCycling attraverso l'utilizzo del Design Computazionale. Il Design parametrico dell'oggetto infatti porta con se diverse innovazioni sia nella fase di progetto, sia nella produzione, sia nei suoi aspetti evolutivi. Esistevano numerosi sistemi di produzione additiva, ma la maggior parte di essi non era in grado di gestire il muro a causa delle sue dimensioni. La stampante utilizzata per realizzare l'UpCycling è stata la 3D VX4000 di VoxelJet con un piatto di stampa di 4 x 2 x 1 metro, è risultata la scelta migliore per il progetto. Una profonda infiltrazione di resina ricavata dallo stesso materiale è stata effettuata da Sandhelden al fine di rafforzare le parti in termini di stabilità e resistenza alla trazione. A causa del delicato spessore della parete di 0,5 mm, le parti erano altamente sensibili e potevano essere facilmente rotte. L'upcycling si concretizza grazie al design della parte esterna di muro, questa infatti funge da habitat per l'integrazione con sistemi vegetativi di varia specie, aumentando il valore ecologico del componente sperimentato. Il prototipo è dotato di apparecchi elettrici e di illuminazione standard del settore, nonché di tubi PEX per tubi dell'acqua. L'accumulo di calore e i livelli di umidità sono controllati dalla ventilazione distribuita integrata nel design.



[UC-1]

## UpCycled components

### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in:

**20.8 kg CO<sub>2</sub>(e)eq. ton(-1)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Recycled Plastic (PLA): 1kg

Material Family: Plastic

Source: Recycled

Regenerative percentage: 100%

Collection Rat: 100%

**MCI: 0,84 (0 < MCI > 1)**

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 0**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

-

### RESOURCE

**Recycled PLA**

MANUFACTURER e DESIGNER

bio Digital Matter LAB, New York, NY, USA

PRODUCT DIRECTORY

Lightweight Green Wall

[UC-2]

## UpCycled components

### DUSTYRELIEF

project source: MUNICIPALITY OF BANGKOK  
New-territories / R&Sie(n)

#### Descrizione Generale

Il progetto Dustyrelief sfrutta lo smog come una risorsa introducendo un processo di trasformazione percettiva di questo materiale di scarto.

Per raccogliere questa ricca risorsa, la facciata è costituita da una rete metallica che attraverso un meccanismo elettrostatico attrae le particelle di polvere dall'aria circostante.

Questo apparato incolla insieme i piccoli elementi di scarto, formando un sorta di pelle che nella sua fase finale coprirebbe l'intera struttura dell'edificio.

L'involucro funge da catalizzatore tra l'ambiente altamente controllato della galleria d'arte e le condizioni esterne a volte pericolose.

Il processo di UpCycling viene concepito nei fattori che influenzano la sua trasformazione e nella sua configurazione operativa.

Il progetto per il futuro museo B-mu si nutre della contrapposizione climatica tra l'energia protuberante dell'ambiente urbano e l'interno somnesso e soggetto alle procedure di condizionamento museale.

#### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

-

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Dust: 1kg

Material Family: Natural Material

Source: Biological

Regenerative percentage: 100%

Collection Rat: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

Metal Net: 1Kg

Material Family: Metal

Source: Recycled

Regenerative percentage: 100%

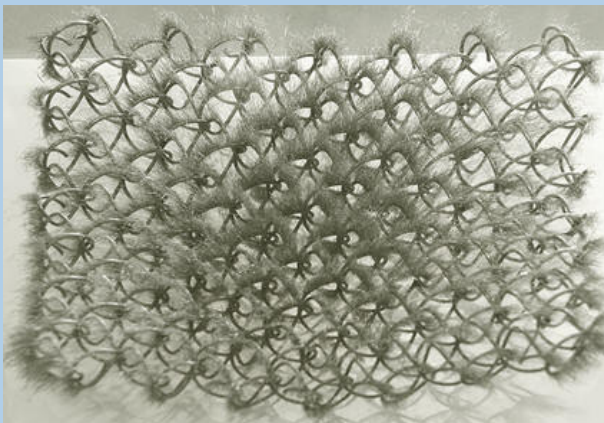
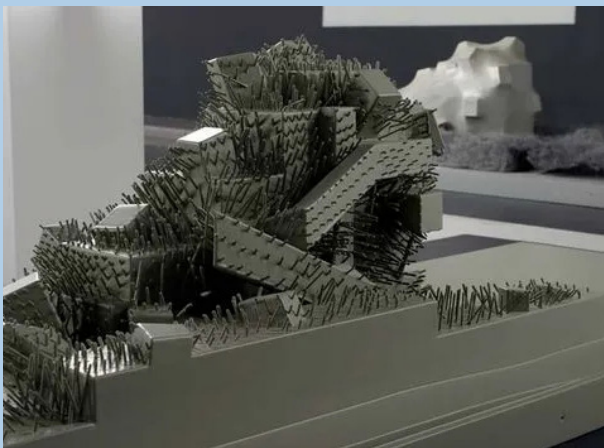
Collection Rat: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

**MCI (Total): 0,93** (0 < MCI > 1)

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

-



#### RESOURCE

**Polveri sottili, smog.**

**MANUFACTURER e DESIGNER**

**New Territories, Paris, France, FR**

**PRODUCT DIRECTORY**

**Rivestimento esterno**



## POLLI-BRICK

project source: MUNICIPALITY OF BANGKOK  
New-territories / R&S(e)(n), Paris, France

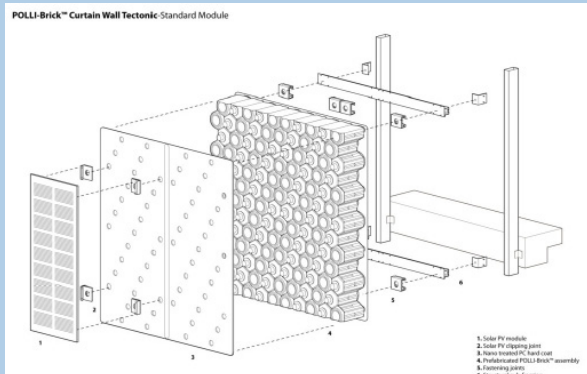
POLLI-BRICK introduce un nuovo modello di consumo e riutilizzo del del PET di scarto proveniente da contenitori. L'UpCycling è effettuato attraverso il design della nuova bottiglia grazie al quale le bottiglie in plastica riciclata ottengono una seconda vita nel ciclo tecnico come elemento costruttivo.

Oltre ad essere traslucide, isolanti, leggere e riciclabili meccanicamente, le bottiglie in PET possono essere utilizzate come materiali da costruzione.

Con il suo primo utilizzo come borraccia, il POLLI-Brick può essere utilizzato come materiale da costruzione. I designer della bottiglia hanno cambiato la sua forma rotonda in una forma modulare a nido d'ape che la rende estremamente resistente per contenitori per bevande, oltre che pratica per la costruzione.

L'infinita ripetizione possibile del POLLI Brick non gli consente di incastrarsi in modo sicuro, infatti è necessaria una struttura a telaio per supportare un sistema composto da più bottiglie.

I mattoni POLLI sono stati utilizzati per creare una facciata insolita per l'Esposizione Internazionale della Flora del 2010 a Taipei, Taiwan. Le bottiglie sono posizionate all'interno di una struttura a telaio metallico e rinforzate con pannelli di plastica che controllano l'emissione di luce UV e il vento.



[UC-3]

## UpCycled components

### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il range di GWP è stato stimato in  
**181 -2 56 kg CO(2)eq. ton(-1)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Recycled Natural Fiber: 1kg

Material Family: Natural Material

Source: Biological

Regenerative percentage: 100%

Collection Rat: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

= **Stoccaggio di carbonio = 0**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Densità: 2300 kg/m<sup>3</sup>

### RESOURCE

Recycled PET bottle

MANUFACTURER e DESIGNER

Far Eastern Group and MINIWIZ, Taipei, Taiwan

MINIWIZ, Taipei, Taiwan

PRODUCT DIRECTORY

Lightweight Green Wall



New Wilderness in the City  
project source: Printing Life in the Scheme  
UrbanReef Lab, Delft, NL.

L'architetto e designer computazionale Max Latour ha collaborato al progetto Printing with life in the Scheme Experiment. Insieme a Pierre Oskam nell'omonimo laboratorio ha creato questi "Urban Reefs" stampati in 3D utilizzando argilla, micelio, caffè, semi e polpa di carta.

Il progetto traduce l'UpCycling intervenendo sulla possibile collaborazione tra natura e tecnologia come una sorta di ecosistema che facilita l'interazione biologica in città. Lo Scheme Experiment è stato un'installazione per la sperimentazione e la sperimentazione dell'Urban Reef. Durante la Dutch Design Week 2021, la start-up ha mostrato oggetti con semi di trifoglio che sono germogliati in giovani piante.

Per il momento sono stati realizzati due oggetti che dovrebbero dare nuova vita tra la pietra. Zoo Reef assomiglia a un'ecocattedrale simile a un drago con la sua forma organica ed è principalmente destinata alle fontane verdi nelle aree urbane. L'oggetto ha strutture stampate in 3D con un labirinto di vari spazi. Diversi microclimi si creano differenziando anche l'orientamento in relazione a sole, vento e pioggia. Rain Reef è un collettore di pioggia stampato in 3D dalla forma stravagante che disconnette un pluviale dalla fogna ed è costituito da un materiale poroso. La complessa geometria assicura che venga assorbita quanta più acqua possibile e che la varietà di microclimi aumenti la potenziale area di crescita per la vegetazione. L'acqua piovana stimola la biodiversità e crea un cuscinetto. Per ottimizzare questo, il collettore di pioggia anticipa le previsioni del tempo tramite sensori integrati.

#### Letture critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Recycled Natural Fiber: 1kg

Material Family: Natural Material

Source: Biological

Regenerative percentage: 100%

Collection Rat: 100%

MCI: 1 (0 < MCI < 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 28 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \times 1 \times 3,67 =$

$= \text{Stoccaggio di carbonio} = 69,05 \text{ Kg/m}^3$

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

-



#### RESOURCE

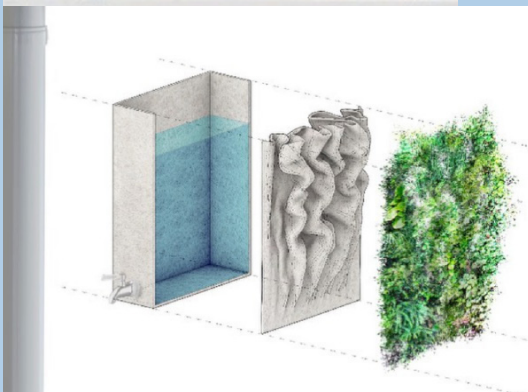
3D Printed Mycelium

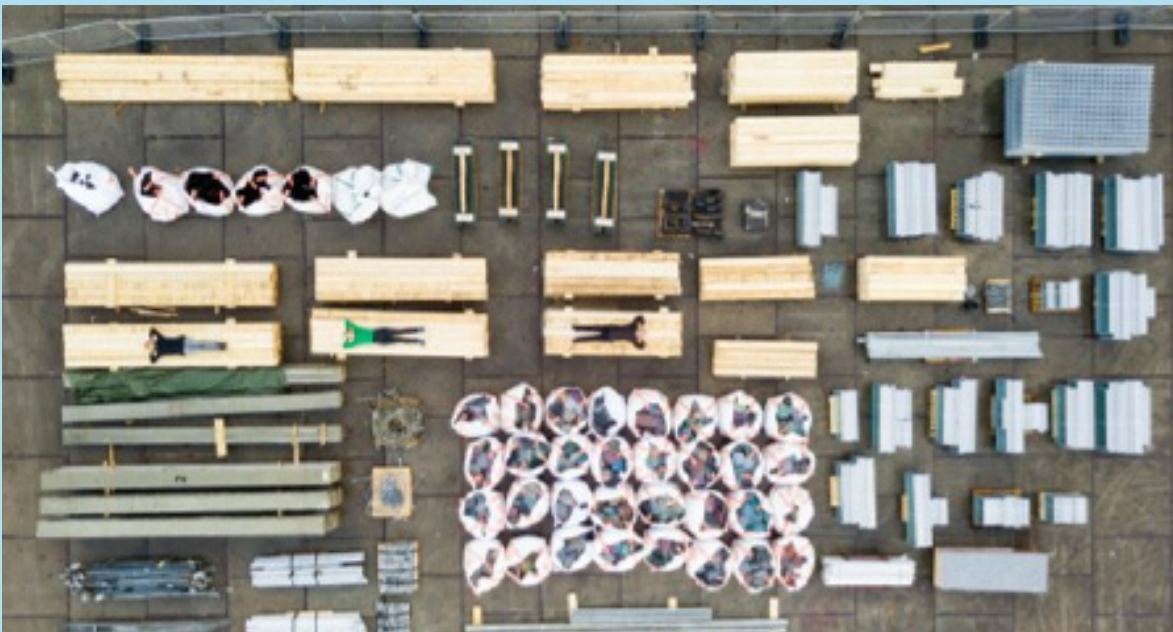
MANUFACTURER e DESIGNER

UrbanReef Lab, Delft, NL

PRODUCT DIRECTORY

Lightweight Green Wall





**Le chiusure verticali ed orizzontali**

**L'involucro / Il rivestimento**

**La struttura Portante**

100% galvannead steel structure

steel slit panel

primary load-bearing structure high strength

secondary structure

perforated metal panels

reinforced concrete foundation plate

perforated glass partition walls w/ aluminium frame

THE PEOPLE PAVILION  
patent: Blue Planete S.r.l  
Dutch Design Week, Eindhoven, NL, 2017

[OS-1]

## Circular Off-Site Solutions

### Descrizione generale

I progettisti del Bureau SLA e Overtreders W. hanno contribuito in modo radicale all'avanzamento della progettazione sostenibile, dando vita ad un edificio circolare al 100%.

Creato in occasione della Dutch Design Week del 2017, non solo recupera una notevole quantità di rifiuti plastici, ma non compromette in maniera irreversibile nessun materiale da costruzione in fase di cantiere e nessuna risorsa viene portata a discarica dopo la dismissione.

I designers colgono l'occasione in fase progettuale, per superare la logica del riciclo e dell'edificio unicamente come espediente dimostrativo, realizzando una sorta di contenitore pronto ad accogliere un nuovo modello d'innovazione che realizza di fatto "l'UpCycling dell'intero sistema, ambientale, energetico e funzionale"

Il People Pavilion si pone l'obiettivo di fornire una traiettoria per il settore delle costruzioni, sulla gestione e sulle scelte sostenibili di materiali provenienti da processi virtuosi e su come gli stessi realizzano beni e servizi per un "progetto circolare".

Ma il padiglione vuole fondare "un nuovo paradigma", nel suo tempo di vita e successivamente nella narrazione dei processi che innesca, ovvero nella necessità di un cambio radicale nel pensiero architettonico, che sposti l'innovazione verso un modello circolare nella gestione delle risorse ma che riesca, in modo significativo, ad azzerare l'impatto ambientale dell'industria delle costruzioni, già in fase progettuale con scelte provenienti da una posizione radicale.

### Off-Site Circular Innovation

La struttura progettata in collaborazione con Arup, comprende 12 pali di fondazione in cemento armato rinforzato, sui quali poggia la struttura intelaiata, questa formata da 19 telai di travi in legno non piallato di dimensioni standard.

L'innovativo sistema di incastro delle componenti si serve di 350 cinghie di tensionamento in acciaio, che vincolano la struttura senza intaccare l'integrità delle travi praticando forature o attraverso l'utilizzo di colle e resine.

La copertura è stata recuperata e noleggiata da una società di forniture edili, così come la facciata vetrata posta a livello di suolo che, recuperata dopo la dismissione dell'edificio del BOL.com, tornerà ad occupare il suo posto all'interno di un nuovo edificio per uffici.

Le mattonelle in PVC, rappresentano il carattere che identifica la "figurabilità" del manufatto, dandone una sua rappresentazione anche alla scala urbana, divengono iconiche, sia per quanto incidono nell'estetica dell'edificio, sia per il processo che ne giustifica l'esistenza.

### Letture critiche

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **1.85 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

#### Piastrelle

Composizione del materiale: Materiale di natura plastica

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1**

#### Metal Grid

Composizione del materiale: Metallo

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 0,90 (0 < MCI < 1)**

#### Wood Structure

Composizione del materiale: Legno Lamellare

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI < 1)**

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

-

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

U value, 0.16 W/m<sup>2</sup>K

### Dati prestazionali su emissioni per componente (Parametric LCA Calculator)

**Skin [Metal Grid + Plastic Tiles]** (234 m<sup>2</sup>)

[GHG Total 91.3 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]

**Struttura 52.9** (141 m<sup>3</sup>)

[GHG Total 180.1 kg CO<sub>2</sub>-eq]



### Descrizione generale

Nell'ambito del London Design Festival 2016, Arup Associates ha creato un prototipo di The Circular Building, il primo edificio nel Regno Unito progettato per soddisfare i principi dell'economia circolare, in cui "tutti i componenti sono implementati e utilizzati al massimo delle loro potenzialità e per durata del loro ciclo di vita, creando al contempo un ambiente confortevole ed estetico per l'utente. Arup ha chiesto a Lindapter di sviluppare connessioni in acciaio per fissare i pannelli del tetto, i pannelli delle pareti e i supporti per vetrate dell'edificio circolare al telaio in acciaio strutturale. Lindapter ha progettato e prodotto una connessione trave Clamp su misura composta da morsetti in acciaio di tipo B e una piastra metallica stretta. Il morsetto per trave marcato CE ha consentito all'appaltatore di allineare rapidamente i pannelli in posizione, prima di serrarli con strumenti manuali standard. Nonostante sia stato costruito su un sito vincolato nel centro di Londra, l'intero progetto è stato completato entro otto settimane dalla fase di progettazione e due settimane dalla fase di costruzione.

### Off-Site technological aspects

Il team di progettazione e gli ingegneri hanno lavorato a stretto contatto per perfezionare l'applicazione delle tecniche di costruzione prefabbricate e produrre dettagli basati su un'ingegneria finemente sintonizzata piuttosto che su fissaggi meccanici. In questo modo, il team è stato in grado di costruire un sistema di pareti SIP (SIP) autoportante, smontabile e a basso spreco (utilizzando il rivestimento Accoya) utilizzando connessioni a morsetto riutilizzabili tra gli elementi della parete e gli elementi del telaio in acciaio riciclato, inoltre al rivestimento e al decking in legno trattato termicamente da fonti sostenibili.

### Letture critiche

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **4.63 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

#### Riv. Esterno

Composizione del materiale: Legno Allcoy

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1**

#### Riv. Interno

Composizione del materiale: PLYwood

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

#### Struttura

Composizione del materiale: Acciaio

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

#### Isolante

Composizione del materiale: Fibra di legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

U value, 0.92 W/m<sup>2</sup>K

### Dati prestazionali su emissioni per componente (Parametric LCA Calculator)

**Rivestimento [Int.+ Est] (252m<sup>2</sup>)**

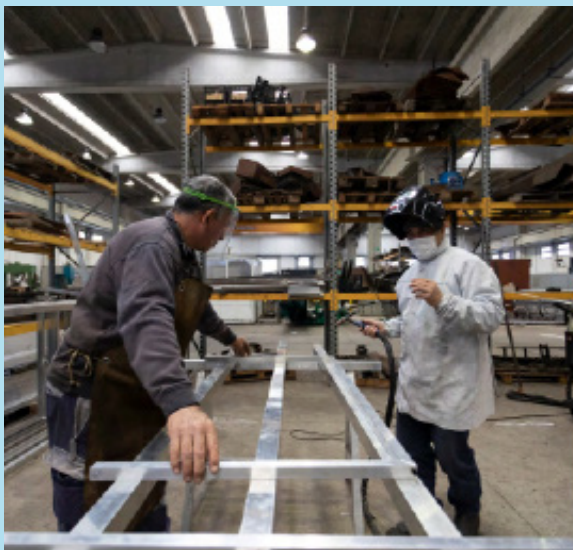
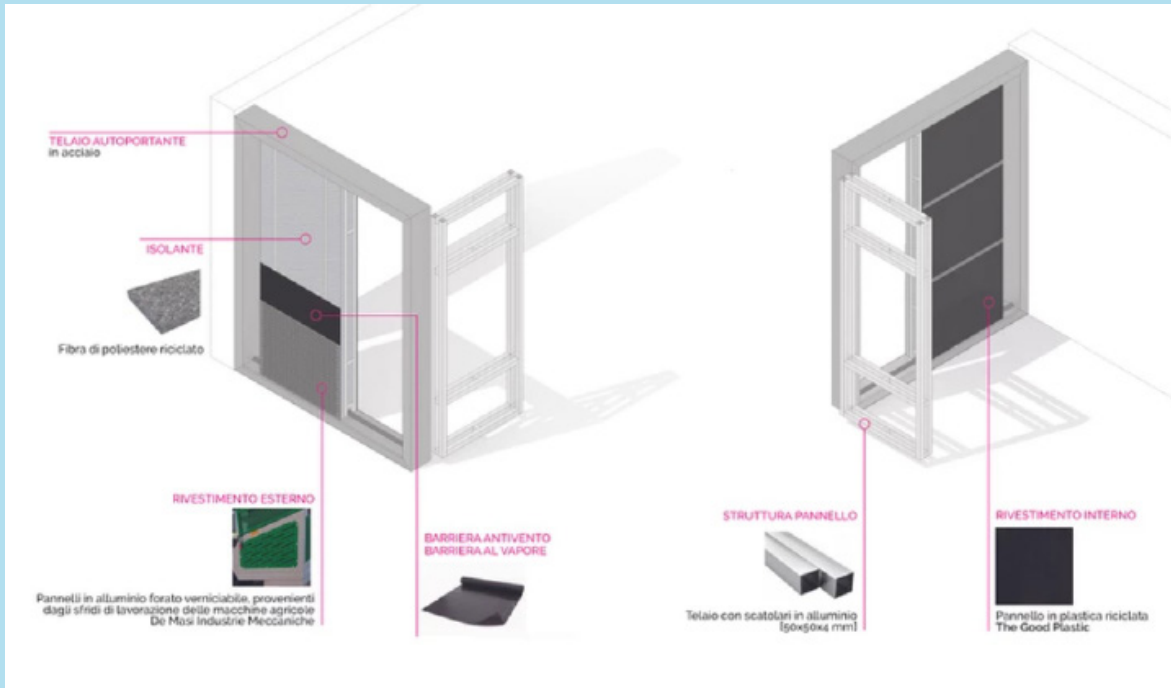
[GHG 95 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]

**Struttura (40 m<sup>3</sup>)**

[GHG 1436.5 kg CO<sub>2</sub>-eq]

**Isolante (252 m<sup>2</sup>)**

[GHG 11,2 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]



### Descrizione generale

Home S2 è un modulo abitativo a doppia sicurezza (ambientale e sismica), trasportabile con carico ordinario e realizzato in off-site seguendo i principi dell'industrializzazione evoluta applicata alla metalmeccanica avanzata alte qualità di abitabilità e prestazioni energetiche, versatile su differenti superfici e accessibile. Oltre alle prestazioni fisiche tecniche l'approfondimento dei processi circolari si esprime anche nella capacità di configurare con più moduli dei veri e propri distretti energetici autosufficienti, con risposte efficaci in caso di emergenza (sismica e migratoria), quartieri urbani e periurbani temporanei per piani di riqualificazione, insediamenti a supporto di investimenti produttivi-agricoli.

### Off-Site technological aspects

Il modulo abitativo S2-Home presenta una struttura modulare. Per mantenere un profilo ambiente basso e per migliorare la leggerezza della struttura sono stati scelti componenti di telaio in alluminio riciclabile e componenti per la stratificazione provenienti dal riciclo delle plastiche, sia per il rivestimento, per l'isolante per la protezione al vapore e al vento. Dal punto di vista delle prestazioni viene realizzato un pacchetto di involucro, oggetto di brevetto, capace di termoregolare i livelli di comfort, in tutte le zone climatiche di riferimento e con clima estremi, basandosi esclusivamente sul contributo delle prestazioni del suo sistema involucro.

Il sistema di frontiera RE\_uP è "un involucro adattivo" che in maniera rigenerativa capace di rispondere a requisiti differenti contesti con condizioni climatiche differenti. Lo stesso sistema è a sua volta tutto riciclabile per abbassare il consumo di CO<sub>2</sub> e adottare un processo circolare nel suo funzionamento.

La sua caratteristica di produzione in Off-Site, di fatto lavora non su una unica produzione di modelli, ma su più alternative di modelli e soluzioni "a misura", superando così tutti i vincoli che vedono nei sistemi di involucro forti interdipendenze tra telai, stratificazioni, rivestimenti e strutture di supporto.

### Letture Critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **8.40 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

#### Riv. Esterno

Composizione del materiale: Legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Riv. Interno

Composizione del materiale: Legno PLYwood

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Struttura

Composizione del materiale: Alluminio

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 0,85** (0 < MCI > 1)

#### Isolante

Composizione del materiale: Fibra di PET riciclato

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

-

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

U value, 0.73 W/m<sup>2</sup>K

### Dati prestazionali su emissioni per componente (Parametric LCA Calculator)

**Rivestimento [Int.+ Est]** (252m<sup>2</sup>)

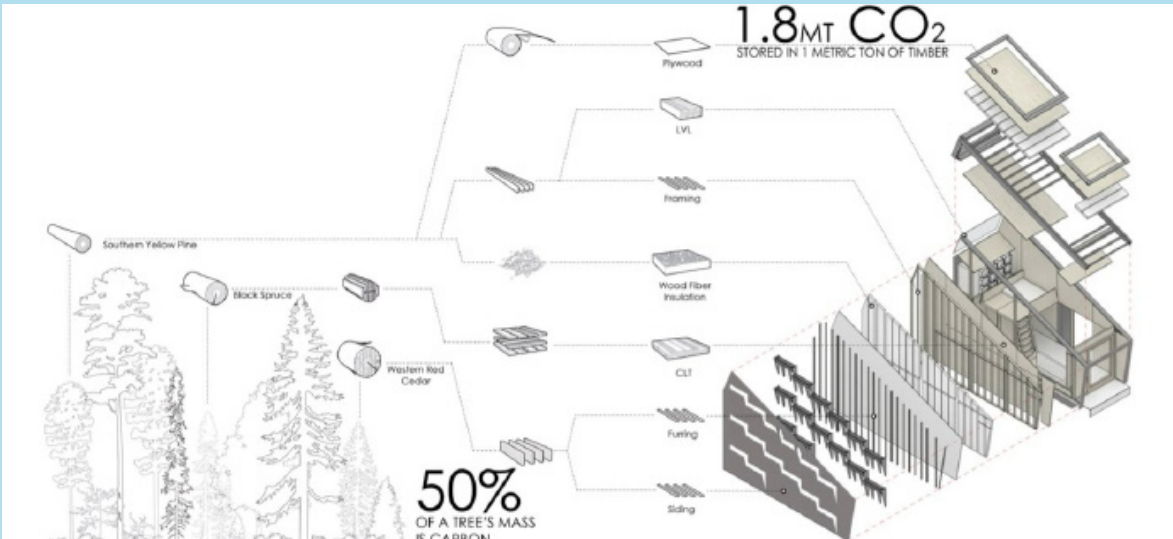
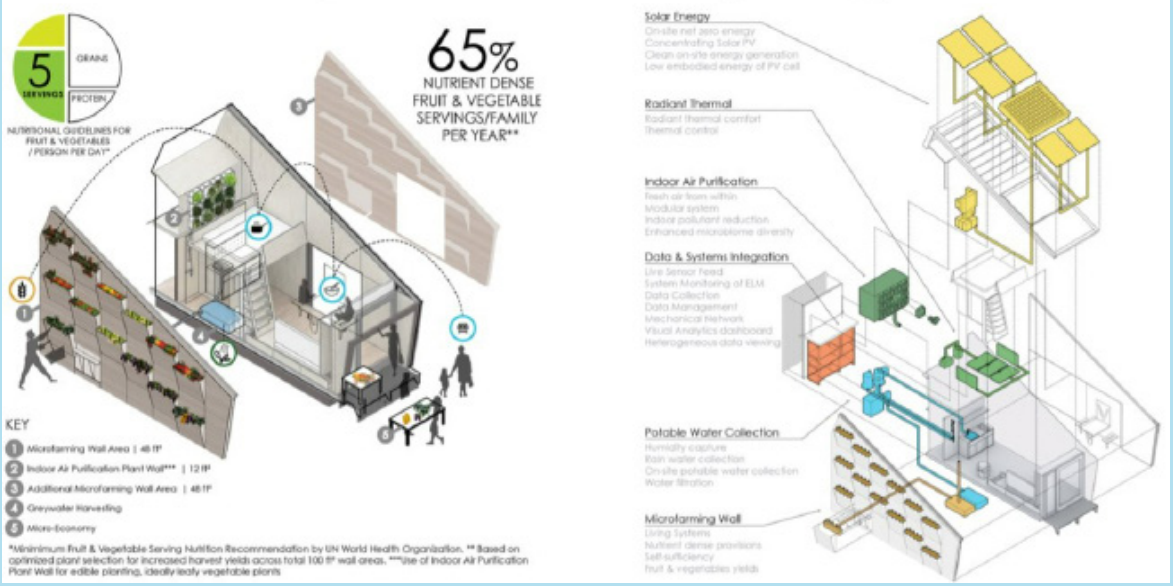
[GHG 70 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]

**Struttura** (40 m<sup>3</sup>)

[GHG 90.1 kg CO<sub>2</sub>-eq]

**Isolante** (252 m<sup>2</sup>)

[GHG 44.8 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]



Ecological Living Modul  
Gray Organschi Architecture, Center for Ecosystems  
Yale, New Haven, Connecticut, USA

[OS-4]

## Circular Off-Site Solutions

### Descrizione generale

L'Ecological Living Module, o EDM, è stato concepito da Gray Organschi Architecture e dal Center for Ecosystems in Architecture di Yale, entrambi con sede a New Haven, nel Connecticut. Commissionato dai programmi UN Environment e UN Habitat, il prototipo di abitazione ha lo scopo di affrontare le questioni abitative sia da un punto di vista sociale che ambientale.

I componenti dell'edificio sono stati prefabbricati in Off-Site nel corso di quattro settimane e poi trasportati all'ONU su camion. L'edificio è stato assemblato in tre giorni da un team di 16 membri. Progettata per ospitare fino a quattro persone, l'abitazione contiene un soppalco, un'area salotto, una cucina e un bagno con doccia e compostaggio. L'edificio è alto 4,9 metri nel punto più alto e aiuta a tirare l'aria calda verso l'alto e verso l'esterno attraverso le prese d'aria.

Tutta l'elettricità dell'edificio è generata da una combinazione di pannelli fotovoltaici convenzionali e un "Sistema di facciata solare concentrato integrato" sviluppato dalla collaborazione di ricerca globale HeliOptix.

### Off-Site technological aspects

L'ELM è prefabbricato in un impianto di produzione Off-Site e trasportato tramite camion al cantiere, arrivando come un container compatto da 8' x 8' x 22'. Una volta che l'ELM è posizionato sulle sue fondamenta leggere, il gruppo del tetto ruota su una cerniera in acciaio per creare uno spazio interno a doppia altezza di 16 piedi con un soppalco integrato. I pannelli prefabbricati vengono quindi fissati a mano. Se messo in produzione industriale su larga scala, l'ELM potrebbe essere prefabbricato a meno di \$ 50.000 per unità.

L'impronta di carbonio ridotta dell'ELM e i sistemi off-grid contribuiscono in ottica circolare a risolvere le questioni critiche per gli obiettivi di sviluppo sostenibile globale: la riduzione del fabbisogno energetico limita le risorse finanziarie necessarie per produrre alloggi; i materiali rinnovabili a base biologica preservano i paesaggi rurali e le risorse limitate; e se aggregato su scala globale, lo sviluppo residenziale a basse emissioni di carbonio ha il potenziale per ridurre drasticamente gli effetti del cambiamento climatico.

### Letture Critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **8.40 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

#### Riv. Esterno

Composizione del materiale: Legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Riv. Interno

Composizione del materiale: Legno PLYwood

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Struttura

Composizione del materiale: Legno Lamellare

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 30%

**MCI: 0,85** (0 < MCI > 1)

#### Isolante

Composizione del materiale: Fibra di legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

-

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

U value, 0.56 W/m<sup>2</sup>K

### Dati prestazionali su emissioni per componente (Parametric LCA Calculator)

**Rivestimento [Int. + Est]** (252m<sup>2</sup>)

[GHG 70 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]

**Struttura** (40 m<sup>3</sup>)

[GHG 90.1 kg CO<sub>2</sub>-eq]

**Isolante** (252 m<sup>2</sup>)

[GHG 44.8 kg CO<sub>2</sub>-eq x m<sup>2</sup>]

## Note

1. Quando si fa riferimento ai processi "from waste to ogate" si intende studiare gli impatti ambientali dovuti alla fase di costruzione di edifici che utilizzano risorse provenienti da fonti di riciclo. Questa considera l'approvvigionamento materico e l'energia necessaria all'estrazione.

Nell'appendice a fine capitolo vien proposto un quadro metodologico per sviluppare gli indici ambientali per le fasi di produzione, costruzione e per quantificare la capacità di stoccaggio di CO<sub>2</sub>.

L'LCA parziale copre il ciclo di vita "dalla culla al cancello" degli edifici del case study, inclusa la fase di produzione dei materiali e la fase di costruzione. In altre parole, la LCA eseguita considerando la fase in questione permette di includere i materiali e l'energia associati alla produzione di materie prime seconde all'edificio finito ed escludere i materiali e l'energia associati alle fasi di utilizzo e fine vita.

2. Nel marzo 2022 la Commissione ha pubblicato il primo pacchetto di misure per accelerare la transizione verso un'economia circolare, nell'ambito del Piano d'Azione per l'Economia circolare. Le proposte includono il potenziamento dei prodotti sostenibili, la responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde, la revisione della regolamentazione dei prodotti da costruzione.

"La transizione verso un'economia circolare è essenziale negli sforzi per ridurre la dipendenza dall'approvvigionamento di materie prime e creare una crescita sostenibile. EIT RawMaterials sblocca il potenziale della simbiosi industriale applicando una prospettiva sistemica e rivitalizzando il capitale umano nel settore delle materie prime attraverso la progettazione di soluzioni e la chiusura dei circuiti dei materiali". (Nuovo piano d'azione per l'economia circolare (2022/2077(INI))

3. La metodologia così impostata per la quantificazione degli impatti contribuisce alla declinazione dei target dell'SDG 12 sui temi trattati nell'applicazione progettuale.

In particolare questi riferiscono:

Al target 12.2, "raggiungere la gestione sostenibile e l'uso efficiente delle risorse naturali", rafforzando e comunicando la conoscenza e la base scientifica per l'efficienza delle risorse e SCP;

Alla composizione dei materiali e dei sistemi costruttivi nel target 12.4 per la gestione ottimale delle sostanze chimiche e dei rifiuti al fine di ridurre al minimo i loro impatti negativi sulla salute umana e sull'ambiente;

Alle azioni elencate nel target 12.6 per incoraggiare le aziende ad adottare pratiche sostenibili innovando le soluzioni tecnologiche.

4. *Epistemologico agg. [der. di epistemologia] (pl. m. -ci). – Che concerne l'epistemologia, cioè la filosofia della scienza, e in senso più ampio la conoscenza dei metodi delle scienze e dei principi secondo i quali la scienza costruisce sé stessa: dottrina, teoria e.; una ricerca (o questione) interessante dal punto di vista epistemologico. (Treccani).*

Nei confronti dei rifiuti può essere qui riportata anche un'altra forma di sguardo, che può essere definito epistemologico. I rifiuti rappresenterebbero, in questo caso, una via altra e parallela per comprendere la realtà e lo stato in cui versa il mondo che ci circonda, una sorta di strumento conoscitivo nei confronti della società esistente.[17]

5. *L'introduzione del concetto di "innovazione radicale" (derivante dalla sintesi dell'innovazione radicale e dell'innovazione dettata dal mercato) è fondamentale per la sostenere il vantaggio competitivo delle sperimentazioni nel campo della sostenibilità dipendenti dalla ricerca e dallo sviluppo tecnologico. [22]*

6. *"La Commissione Europea ha più volte ribadito come l'implementazione dei processi di riutilizzo e riciclo e la valorizzazione delle Materie Prime Secondarie (MPS) potrebbero favorire la crescita dei mercati e aumentare la competitività delle imprese della filiera edilizia. La gestione efficiente dei residui dei cicli edili emerge dunque come strategia potenzialmente molto efficace per accelerare la conversione del settore verso la circolarità. [...]*

*La mappatura e conoscenza di scarti e rifiuti è anche alla base dei processi produttivi in Simbiosi Industrial, che presuppone la condivisione delle risorse e la valorizzazione dei rifiuti tra filiere produttive per limitare gli impatti ambientali e favorire il decoupling economico dei settori produttivi."*

7. L'avanzamento proposto dall'ADC fa riferimento a quelle innovazioni che avvengono attraverso meccanismi rigenerativi, ovvero recupero energetico, forniture circolari, costruzione efficiente, ubicazioni di prodotti sostenibili e localizzazione chimica; condivisione, sia attraverso meccanismi di manutenzione e riparazione, consumo collaborativo e condivisione, piattaforme per l'offerta di prodotti quali servizi, upcycling e servizi di dematerializzazione.

In senso il progetto dell'UpCycling viene definito attraverso da un algoritmo elaborato in Grasshopper che tiene conto di tutte le qualità sopracitate, di cui si troveranno riferimenti specifici nel Cap. 4 di questo studio.

8. Di recente sono stati compiuti molti progressi nella modellazione dei sistemi a supporto dell'LCA, in particolare nella restituzione open-source dei database di inventario del ciclo di vita (LCI).

Numerosi fra questi sono stati studiati e utilizzati per la lettura critica dello stato dell'arte e per la sperimentazione proposta.

**Materials / Processes:** OpenLCA Nexus (<https://nexus.openlca.org/databases>);ecoinvent Database (<https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>); GABI (<https://gabi.sphera.com/databases/>); QUARTZ (<http://quartzproject.org/p/CP175-a01#cp>);

**Building Materials:**

The International EPD System (<https://www.environdec.com/library/>); ÖKOBAUDAT ([https://www.oekobaudat.de/no\\_cache/en/database/search.html](https://www.oekobaudat.de/no_cache/en/database/search.html)); KBOB (<https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/die-kbob/plattform-oekobilanzdaten-im-baubereich.html>);

**Components:**

Bauteil Katalog (<https://www.bauteilkatalog.ch/desktopdefault.aspx/tabid-0/httpstatus-404/>);

9. GWP. Il Global Warming Potential (GWP) è definito come "la forza radiativa cumulativa degli effetti sia diretti che indiretti, su un orizzonte temporale specifico risultante dall'emissione di una massa unitaria di gas relativa a un gas di riferimento." [1].

L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) è stata scelta come gas di

riferimento per essere coerente con le linee guida dell'Intergovernmental Panel on Climate Change.

Ogni gas ha uno specifico potenziale di riscaldamento globale (GWP), questo "consente di confrontare la quantità di energia che le emissioni di 1 tonnellata di gas assorbono in un determinato periodo di tempo, solitamente un tempo medio di 100 anni, rispetto alle emissioni di 1 tonnellata di CO<sub>2</sub>."

8. L'innovazione continua (CI) è diventata uno dei temi più indagati nel campo della gestione dell'innovazione.

"È un processo che ben si presta a favorire la discontinuità e l'innovazione. È un processo iterativo sperimentale che opera successivamente per risolvere i problemi nei mercati caratterizzati da turbolenza, incertezza e interazioni complesse. Si definisce la generazione dell'errore come parte di un processo di apprendimento produttivo e non dovrebbe sempre essere evitato o soppresso.

10. Il termine in questione fa riferimento agli studi di S. J. Gould sull'Exaptation, la sua definizione letteraria diventa utile d'anticipare i termini dell'exaptation tecnologica:

"Noi suggeriamo che tali caratteri, evolutisi per altri usi (o per nessuna funzione del tutto) e in seguito «cooptati» per il loro impiego attuale, siano chiamati ex-aptations. Essi sono utili per il loro ruolo attuale, quindi «atti» (apud), ma non sono stati progettati dall'evoluzione per quello e quindi non sono «ad-atti» (ad-aptus). Essi devono il loro contributo alla sopravvivenza a caratteristiche presenti per altre ragioni e sono quindi utili (aptus) in virtù della (ex) loro forma, ovvero exaptus. Le suture nei mammiferi sono un exaptation per il parto. In termini di funzionamento, gli adattamenti hanno funzioni, mentre gli exaptations hanno effetti. Il fenomeno generale e statico dell'essere utile per la sopravvivenza (fit, fitness) dovrebbe essere chiamato aptation, non adattamento. In conclusione, l'insieme generale degli aptations esistenti in ogni momento è costituito da due sottoinsiemi parzialmente sovrapposti: il sottoinsieme degli ad-aptations e il sottoinsieme degli exaptations.

## Riferimenti bibliografici

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Ramā (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
2. Ellen MacArthur Foundation (2018). *Towards the Circular Economy*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation.
3. European Commission, data available at <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>; Google Scholar
4. Sandanayake, M.S. (2022) Environmental Impacts of Construction in Building Industry—A Review of Knowledge Advances, Gaps and Future Directions. *Knowledge* 2022, 2, 139–156. <https://doi.org/10.3390/knowledge2010008>
5. Nava, C. & Melis, A.. (2021). A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 103-111.
6. Losasso, M. (2021). Circular transition: scenarios for the future of design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (22), 7-9. <https://doi.org/10.36253/techne-11532>
7. Papanek, Victor J. (1984). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. New York: Van Nostrand Reinhold Co
8. Ceschin F., Gaziulusoy I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions, *Design Studies*, Volume 47
9. Braungart et al., 2007 M. Braungart, W. McDonough, A. Bollinger Cradle-to-cradle design: Creating healthy emissions – A strategy for eco-effective product and system design *Journal of Cleaner Production*, 15 (13–14) (2007), pp. 1337-1348, [10.1016/j.jclepro.2006.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003)
10. McDonough W. , Braungart M.: *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (1st ed.), North Point Press, New York (2002) Google Scholar
11. Sumter, D.; de Koning, J.; Bakker, C.; Balkenende, R. Circular Economy Competencies for Design. *Sustainability* 2020, 12, 1561. <https://doi.org/10.3390/su12041561>
12. Kanters, J. Circular Building Design: An Analysis of Barriers and Drivers for a Circular Building Sector. *Buildings* 2020, 10, 77. <https://doi.org/10.3390/buildings10040077>
13. Koźmińska, U. (2015). *Building materials: from waste to resource*.
14. Ruby, I., Ruby, A. (2010). *Mine The City in RE-INVENTING CONSTRUCTION*, Ruby Press
15. Russo M.(2018) , "Rethinking resilience, design the city through its metabolism", *Techne*, no. 15, pp. 39-44,
16. Waste treatment, EU,2004-2018 Index 2004 = 100) Fonte: Eurostat (env\_wastrt)
17. Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.
18. Minervino, M. F. (2021). What's left. Globalised "crap". *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (22)
18. Monsù Scolaro, A., L. Marchi, and S. Corridori. "Mapping of Building Cycle Waste for Scenarios of Industrial Symbiosis". *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, no. 22, July 2021, pp. 131-9,
19. Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77-95.
20. Baiani, S., & Altamura, P. (2018). Waste materials superuse and upcycling in architecture: design and experimentation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 16, 142-151. <https://doi.org/10.13128/Techne-23035>
21. Yang, J.; Ogunkah, I.C.B. A Multi-Criteria Decision Support System for the Selection of Low-Cost Green Building Materials and Components. *J. Build. Constr. Plan. Res.* 2013, 1, 89–130. [CrossRef]
22. Habraken, N.J. *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw*; Stichting Architecten Research, Eindhoven 1961.
23. Verganti, R. (2009). «Design driven innovation : changing the rules of competition by radically innovating what things mean /». Routledge
24. Gohoungodji P., Amara N. (2022). Historical roots and influential publications in the area of innovation in the creative industries: A cited-references analysis using the Reference Publication Year Spectroscopy. *Applied Economics* 54:12, pages 1415-1431.

25. Kennedy, R. (2020). *Strategic Management*. Blacksburg, VA: Virginia Tech Publishing. <https://doi.org/10.21061/strategicmanagement> CC BY NC-SA 3.0
26. Turki A. and Phelan P. (2020). "Modeling and Forecasting End-Use Energy Consumption for Residential Buildings in Kuwait Using a Bottom-Up Approach" *Energies* 13, no. 8: 1981. <https://doi.org/10.3390/en13081981>
27. de Almeida Barbosa F., Jacqueline, Domingues A.M., de Almeida Africano N., Mattos Deus R. and Aparecida Gomes Battistelle R. (2022). "Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities" *Infrastructures* 7, no. 3: 43. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7030043>
28. Lee, Yoo Hwan, and Young Wook Seo. 2018. "Strategies for Sustainable Business Development: Utilizing Consulting and Innovation Activities" *Sustainability* 10, no. 11: 4122. <https://doi.org/10.3390/su10114122>
29. Mumford Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance
30. Montana, F., Kanafani, K., Wittchen, K.B., Birgisdottir, H., Longo, S.; Cellura, M., Riva Sanseverino, E. Multi-Objective Optimization of Building Life Cycle Performance. A Housing Renovation Case Study in Northern Europe. *Sustainability* 2020, 12, 7807. <https://doi.org/10.3390/su12187807>
31. Chastas P., Theodosiou T., Bikas D. (2016). Embodied energy in residential buildings towards the nearly zero energy building: a literature review
32. Monica L., Bessi A., Meneghelli A. e Moschini P. (2019). «The Environmental Dimension of Detailed Design. Experiences and Future Perspectives». *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment* 138–46.
33. Van Gemert, S. (2019). MPG-ENVIE: A BIM-based LCA application for embodied impact assessment during the early design stages. 10.13140/RG.2.2.16144.66567.
34. Meex, Hollberg, Knapen, Hildebrand, & Verbeeck (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design
35. Hollberg A. (2016). "A parametric method for building design optimization based on Life Cycle Assessment," Bauhaus University Weimar.
36. -Hollberg, Deepshi Kaushal, Saso Basic, Galimshina A. and Habert G. (2020), A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase. online. World Sustainable Built Environment Conference pp.052018 Bristol: IOP Publishing.
37. Rigamonti, L., Mancini, E. Life cycle assessment and circularity indicators. *Int J Life Cycle Assess* 26, 1937–1942 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01966-2>
38. Nava, C. (2019). *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo e Progetto*, Aracne ed., Roma, 334-422.
39. Jin, Ruoyu & Shang, Gao & Cheshmehzangi, Ali & Aboagye-Nimo, Emmanuel. (2018). A Holistic Review of off-site Construction Literature Published between 2008 and 2018. *Journal of Cleaner Production*. 202. 1202-1219. 10.1016/j.jclepro.2018.08.195.
40. Abd Razak, M.I.; Khoiry, M.A.; Wan Badaruzzaman, W.H.; Hussain, A.H. (2022). DfMA for a Better Industrialised Building System. *Buildings* 2022, 12, 794. <https://doi.org/10.3390/buildings12060794>
41. Sotomayor S., Alberto N., Caiazzo F. and Alfieri V. (2021). "Enhancing Design for Additive Manufacturing Workflow: Optimization, Design and Simulation Tools" *Applied Sciences* 11, no. 14: 6628. <https://doi.org/10.3390/app11146628>
42. Morado Nascimento, Denise & Habraken, N.. (2012). N. J. Habraken explains the potential of the Open Building approach in architectural practice. *Open House International*. 37. 5-13. 10.1108/OHI-04-2012-0001.
43. Rubin, R. (2005). Preserving and Presenting Prefab: Jean Prouvé's Tropical House. *Future Anterior*, 2(1), 30-39.
44. Sepasgozar, Samad ME, Anqi Shi, Liming Yang, Sara Shirowzhan, and David J. Edwards. "Additive manufacturing applications for industry 4.0: A systematic critical review." *Buildings* 10, no. 12 (2020): 231.
45. Process-Oriented Framework to Improve Modular and Offsite Construction Manufacturing Performance Youyi Zhang; Zhen Lei, A.M.ASCE; SangHyeok Han, A.M.ASCE; Ahmed Bouferguene; and Mohamed Al-Hussein, M.ASCE
46. Krause, Dieter, Nico Gebhardt, Erik Greve, Jan Oltmann, Johann Schwenke, and Johanna Spallek. "New trends in the design methodology of modularization." In 11th IDE Workshop, vol. 5, no. 7. 2017.
47. Wynn, D.C., Clarkson, P.J. Process models in design and development. *Res Eng Design* 29, 161–202 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>
48. Civiero P. (2012). Sistemi costruttivi industrializzati per l'edilizia residenziale. *TECHNE* ISSN 2239-0243.

49. Bonoli, A., Zanni S. and Serrano-Bernardo F. (2021). "Sustainability in Building and Construction within the Framework of Circular Cities and European New Green Deal. The Contribution of Concrete Recycling" *Sustainability* 13, no. 4: 2139. <https://doi.org/10.3390/su13042139>
50. D.A.; Assimakopoulos, M.N. Circular Environmental Impact of Recycled Building Materials and Residential Renewable Energy. *Sustainability* 2022, 14, 4039. <https://doi.org/10.3390/su14074039>
51. Kamar, A. M., Abd Hamid, Z., & Azman, N. A. (2011). Industrialized building system (IBS): Revisiting issues of definition and classification. *International journal of emerging sciences*, 1(2), 120.
52. Celi, M., & Elena, F. (2015). Advanced design practices for sharing futures: a focus on design fiction. In *THE VALUE OF DESIGN RESEARCH 11th International European Academy of Design Conference*, April 22-24th 2015 (pp. 1-13). FRA.
53. Zairul M. (2021). A thematic review on Industrialised Building System (IBS) publications from 2015-2019: Analysis of patterns and trends for future studies of IBS in Malaysia - *Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities*, 2021
54. Sala, M., & Romano, R. (2011). Building envelope innovation: smart facades for non residential buildings. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(2), 158-169. <https://doi.org/10.13128/Techne-9938>
55. Saidani M., Yannou B., Yann Leroy, Cluzel F., Kendall A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207.
55. OB Carcassi, I Paoletti, LE Malighetti (2021). Reasoned catalogue of biogenic products in Europe. An anticipatory vision between technical potentials and availability. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 63-70
56. Robert E. Cole (2002) From continuous improvement to continuous innovation, *Total Quality Management*, 13:8, 1051-1056, DOI: 10.1080/09544120200000001



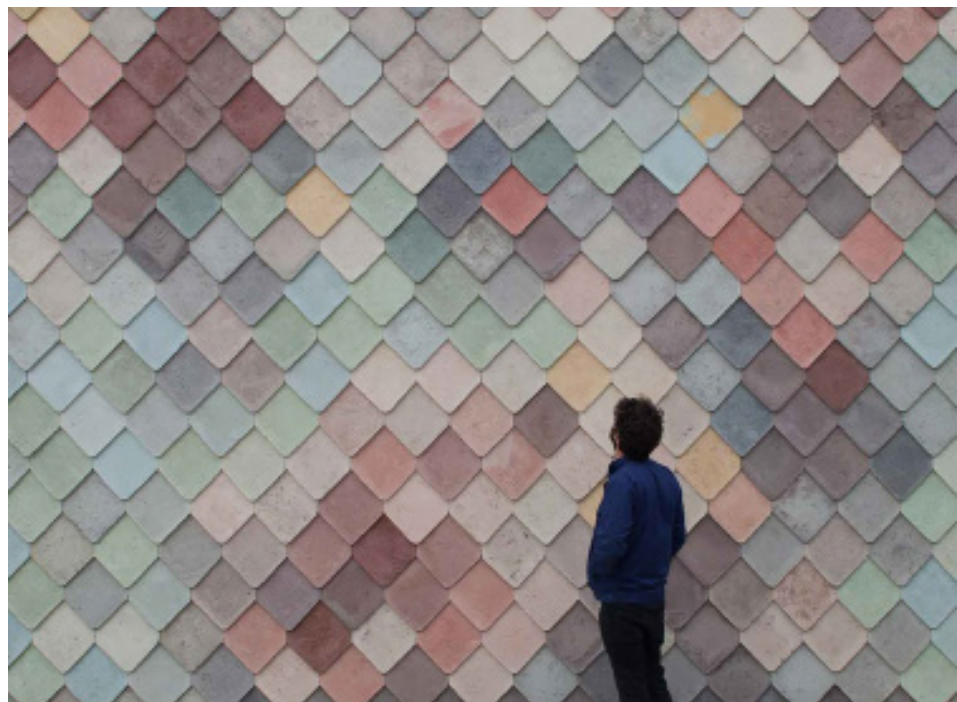


## Discussione in ambito di innovazione e sostenibilità

### *Abstract*

Consolidating a system of design strategies for the management of performance indicators informed by characteristics of sustainability and innovation is considered once the reference cultural and scientific apparatus.

The experiences that emerges from the reading of the proposed case studies become necessary to recognize all the abilities of the process related to the enabling technologies, which innovate the upcycling project. The investigation and practice of the technological functions that influence the performance in the design phase for the most part concern the aspects related to the realization with the use of simulation and digital manufacturing techniques, which operate evolutionary management in the use phase (Responsive Consumption) and optimize the disposal of reusable building components (Advanced Disassembling). "It is about learning, listening, and talking about the new meanings and languages of radical innovation, their power of seduction, insights into market trends, the hybridization between local and global, the nature of obsolescence, and reinterpretations for a revolution in production contexts" (C.Nava, A. Melis, 2021).



Facade of The People  
Pavilion - Overtreders  
W - Dutch Design Week  
2017 - Eindhoven, NL

## 2.1 Progettare il ciclo di vita in architettura

Il focus che esprime la trattazione che indaga intorno ai temi sul “progettare il ciclo di vita in architettura” esplora modelli che supportano una valutazione interdisciplinare delle prestazioni, con l’obiettivo di mostrare come le tecniche di ottimizzazione computazionale (Parametric Design) (cfr. Cap. 4.1.2, Cap. 4.2.2) [2], possono aiutare a raggiungere obiettivi di progettazione rigenerativa, aperta, implementabile, accoppiabile nei suoi stati “di simulazione predittiva” verso la definizione dell’*Advanced Circular Design* (argomento trattato nella seconda parte di questo studio).

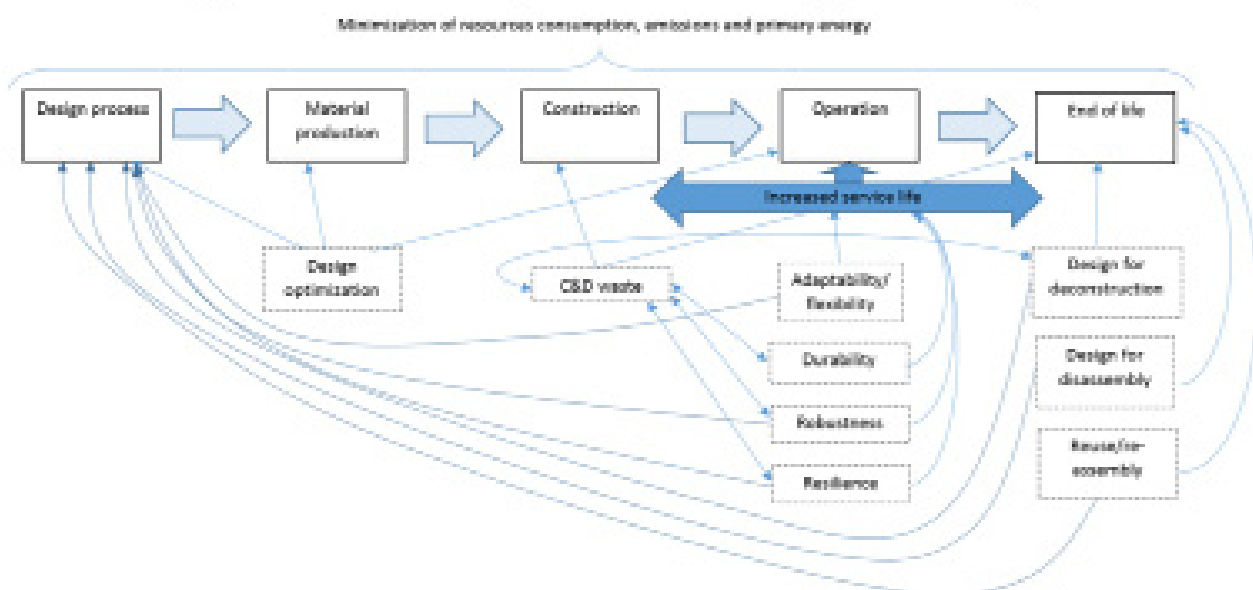
Ripercorrendo l’avanzamento proposto dall’approccio del “*Regenerative Digital Design*” [1], si mettono le basi per un cambiamento radicale di prospettiva, che nella definizione dei principi fondamentali del design rigenerativo, si concentra su nuovi strumenti digitali e strumenti “*tools*” che ne supportano la fase progettuale.

Le fasi della progettazione del ciclo di vita individuano i processi operativi che permettono di definire i confini del sistema, per la valutazione degli impatti ambientali, la cui successione riprende le definizioni convenzionali: production stage; construction phase; use; end of life; la cui caratterizzazione delle fasi viene estesa nelle definizioni convenzionali, alle tecnologie avanzate di prototipazione, progettazione digitale parametrica, e gestione computazionale degli impatti.

Il *Life Cycle Thinking*<sup>3</sup> legato agli aspetti teorici della progettazione circolare trova la sua forma come un quadro teorico di concetti sostenibili, che si traducono nella realizzazione di un modello algoritmico digitale esportabile.

Il campo sperimentale proposto può fungere da approccio progettuale in grado di definire le implicazioni progettuali dell’LCA, come innovazione del sistema tecnologico che interfaccia il loro modello per l’ottimizzazione della progettazione dei componenti architettonici. I *passaggi chiave* che devono essere seguiti per ottenere il metodo di progettazione circolare avanzato sono riferiti al modello Parametrico LCA (Fig.1), che anticipa il modello *Parametrico per l’analisi dei fattori ambientale* [3].

Fig. 1. Passaggi chiave di un LCA Parametrico - [3]



Il quadro metodologico secondo la correlazione tra gli input e la fase di progetto e sviluppo, attraverso l'utilizzo di software parametrici incorpora l'innovazione di un elenco di soluzioni progettuali per il miglioramento ecologico basato sul Life Cycle Impact.

La *teoria, il metodo ed il progetto* della progettazione circolare avanzata in un contesto sperimentale, sottolineano i possibili aspetti di innovazioni che legano la strategia di ottimizzazione del ciclo di vita attraverso una metodologia di tipo parametrico [4].

Con un approccio basato sulle prestazioni operato nello stesso ambiente parametrico si orienta il progetto all'ottimizzazione dei fattori legati al contesto ambientale, dove il progetto è inserito.

Non è un compito facile raccogliere i dati necessari e produrre risultati generalizzabili perché tipicamente l'industria delle costruzioni si pone come un sistema produttivo altamente "decentralizzato" a causa di diversi tipi di materiali, specifiche del sito, metodi di assemblaggio, ecc., rendendo difficile la compilazione dei dati e la produzione di LCA, si evidenziano delle incertezze intrinseche ad esso<sup>2</sup>.

Per questo motivo, l'LCA non è una metodologia "applicabile con efficacia all'edificio" completo, che utilizza misurazioni assolute o misure in termini assoluti, ma una metodologia predittiva delle migliori soluzioni tecnologiche, tuttavia risulta maggiormente adatta all'applicazione su materiali, componenti e sistemi costruttivi. Invece l'LCA può essere utilizzato come "strumento per confrontare la performance relativa tra le opzioni", il che è quindi utile per perfezionare le decisioni di progetto [5].

#### Strategie computazionali avanzate per la gestione circolare

Il livello di innovazione è misurato dall'utilizzo di plug-in ottimizzati criticamente per delimitare la qualità dei dati di output, riferiti sia al L.C.A. che al contesto ambientale [6].

Il contributo riporta alcune attività teoriche e sperimentali condotte, nelle quali tali condizioni sono rappresentative, queste infatti offrono all'avanzamento terico un fondamentale contributo all'evoluzione dei principi relativi alla sostenibilità ambientale in architettura, in ottica di transizione ecologica, e all'innovazione dei suoi processi progettuali e costruttivi, per la transizione digitale<sup>3</sup>. Gli ultimi decenni sono stati testimoni di una rivoluzione scientifica nel campo dell'architettura che ha portato a una profonda comprensione del rapporto "tra forma e sostenibilità" che i sistemi naturali possono assumere quando sono inseriti in contesti urbani.

Le città di oggi, così come le strutture, i materiali e il design delle loro aree, mostrano una mancanza di integrazione con i sistemi biologici e naturali, che è certamente dannoso per le caratteristiche climatiche di queste aree [7], ma anche con riferimento agli impatti globali.



Fig. 2. HoneyBee and LadyBug mapping of the measured performances. source: <https://ladybug.tools>



Fig. 3. Evaluation example of Eddy3D (fonte: Eddy3D developers)

Attraverso questi quadri applicativi si intende fornire un contributo alla ricerca di frontiera in cui i paradigmi teorici e sperimentali vengano innovati e trasferiti per operare lo scenario di *transizione ecologica e digitale nel settore dell'architettura*, sia a scala edilizia che urbana.

In questo senso, *l'innovazione proposta* non si basa solo sull'uso sovrapposto di plug-in per l'analisi del ciclo di vita e plug-in per l'ottimizzazione dei fattori di contesto ambientale.

Nello studio di questi principi si assumono i precetti teorici *"sull'evoluzione del design per la sostenibilità"* proposti nelle definizioni di Ceschin [8] e nello studio dei sistemi prestazionali del ciclo di vita e delle prestazioni fisico-ambientali proposte sui temi della progettazione rigenerativa, di cui si fa già riferimento nel capitolo 1 di questo studio (paragrafo) [9].

Poiché sono pochi i riferimenti relativi al trasferimento dei principi dell'economia circolare in parametri numerici assumibili in un sistema di *Algorithm Aided Design* [10], la ricerca proposta cerca di interpretare, per avere una visione esaustiva dell'arco computazionale, le tematiche per la valutazione della sostenibilità in ambiente parametrico (P.L.C.A.) [11].

La revisione della letteratura incorpora tutti i dispositivi tecnologici e digitali che nei sistemi di configurazione formale sono in grado di offrire un incremento delle prestazioni come unità di accumulo di CO<sub>2</sub>, sia minimizzando gli impatti sul ciclo di vita, sia attraverso sistemi di cattura e smaltimento del tasso di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Gli aspetti digitali, legati all'ottimizzazione dei fattori ambientali, vogliono sottolineare l'importanza e la possibilità di studiare plug-in, workflow e metodologie non esclusivamente come risposte alle problematiche delle isole di calore urbane (UHI) ma come strategie per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente costruito [12].

La temperatura, l'umidità relativa e la velocità del vento sono utilizzate come nodi limite per ottimizzare il modello nel contesto in cui viene inserito.

La radiazione solare e le caratteristiche climatiche vengono studiate tramite simulazioni su Grasshopper utilizzando il plug-in LadyBug Legacy. La radiazione solare viene emessa sulle superfici a seconda del loro orientamento, dell'inclinazione e dell'ombreggiatura. (Fig. 2)

Attraverso il plug-in HoneyBee [13], (Fig. 2) in cui sono state inserite le stesse geometrie di facciata, viene controllato il funzionamento adiabatico in base alla configurazione fisica del sistema e al livello di esposizione della parte studiata. Le velocità dell'aria in prossimità del canyon viene studiata con il codice CFD EDDY 3D [14] (Fig. 3).

Per determinare i parametri ottimali nell'ambiente di Grasshopper, in primo luogo, sono da considerate le *variabili geometriche e performative*. Le *variabili geometriche* comprendono la forma esterna, la composizione e le configurazioni che determinano la capacità di integrare un ambiente biologico nella sua fase evolutiva. La *variabile performativa* è considerata sia come conseguenza della forma geometrica, sia come risultato dato dai materiali utilizzati.

## 2.2 Oltre la prestazione: impatti ambientali, materiali da costruzione e fabbricazione digitale

"Gli attributi di prestazione con cui qualsiasi sistema tecnologico, che abilitano processi efficaci di funzionamento e di risposta alle esigenze espresse, devono trovare scenari di qualità aggiunta su cui esprimere le proprie capacità, su più livelli e relazioni".

(C. Nava, 2019).

### *L'approccio metodologico per il controllo degli impatti ambientali e dei bilanci energetici*

La valutazione del ciclo di vita mediante il metodo LCA è sicuramente l'approccio più efficace per valutare la quantificazione degli impatti ambientali dei processi produttivi, inoltre è regolato dalle norme UNI EN ISO 14040. Gli studi condotti sugli approcci semplificati per la valutazione degli impatti ambientali [15], hanno permesso di riesaminare la costruzione degli strumenti LCA con un approccio parametrico.

Nonostante alcune lacune nella disponibilità di fonti e casi studio, dovute al carattere innovativo e alla recente costituzione dello specifico settore, in questa trattazione si cerca di introdurre i temi da tenere in considerazione per una possibile presentazione sperimentale che sia comprensibile e confrontabile con i risultati.

La carenza di studi su approcci semplificati, inoltre, mette in evidenza il carattere sperimentale dello studio condotto nell'applicazione di questo tipo di metodologia.

Durante la progettazione della fase di ottimizzazione, lo studio è stato condotto in ambiente parametrico confrontando il funzionamento dei plug-in Grasshopper Bombyx (Fig. 4) [16] e Cardinal LCA (Fig. 5) [17].

I risultati LCA sono normalmente presentati sotto forma di carichi ambientali aggregati o impatti relativi all'unità funzionale, in entrambi i casi i valori possono essere misurati in modo riproducibile utilizzando l'unità  $CO_2eq/Kg$ .

Considerato che le caratteristiche di questo approccio parametrico alla LCA possono comprendere diverse variazioni in base alle scelte metodologiche, questo approccio può semplificare in futuro lo sviluppo di un'analisi dettagliata per il Life Cycle Assessment, in questo caso orientata alla certificazione delle prestazioni ambientali.

Gli studi sono per lo più comparativi secondo la UNI EN ISO 14040, le categorie generali di impatti ambientali da considerare in una LCA riprendono le normali fasi di utilizzo secondo normativa, integrando tutti quegli aspetti legati alla digitalizzazione degli impatti, all'innovazione nei materiali da costruzione e le possibili implicazioni sulle sperimentazioni per la fabbricazione digitale.

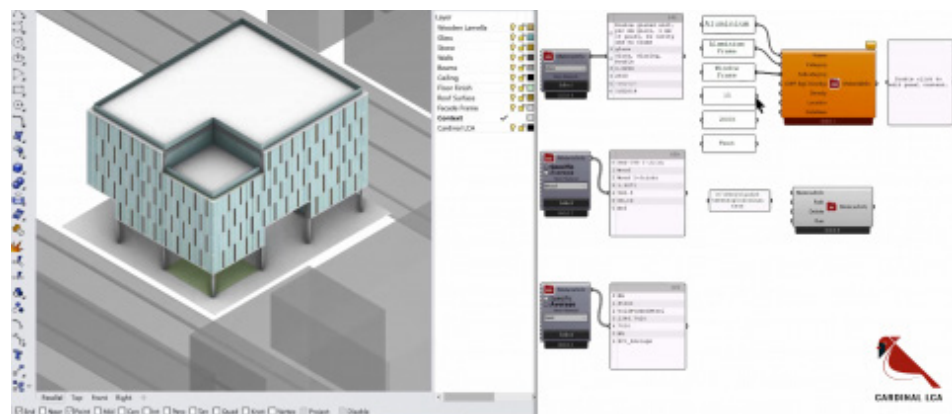


Fig. 4. Evaluation example of Cardinal LCA - source: Food4rhino.com

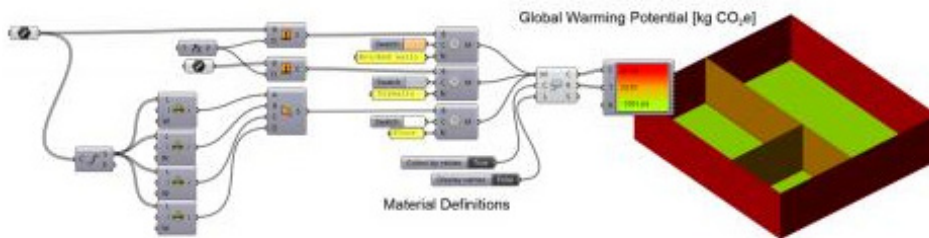


Fig. 5. Bombyx Evaluation Example. (fonte: ETH)

Le fasi dell'analisi del ciclo di vita individuano i processi operativi che consentono di definire i confini dello studio per la valutazione degli impatti ambientali, "la cui successione di fasi riprende le definizioni convenzionali di Life Cycle Assessment: Fase di produzione; Fase di costruzione; Uso; End of Life. Queste verranno adeguatamente rilette considerando l'approccio parametrico" [18] che integra nel framework illustrato in figura 6 l'automazione dei processi tipica dei modelli industrializzati avanzati, che fanno uso di big data per nel processo di validazione.

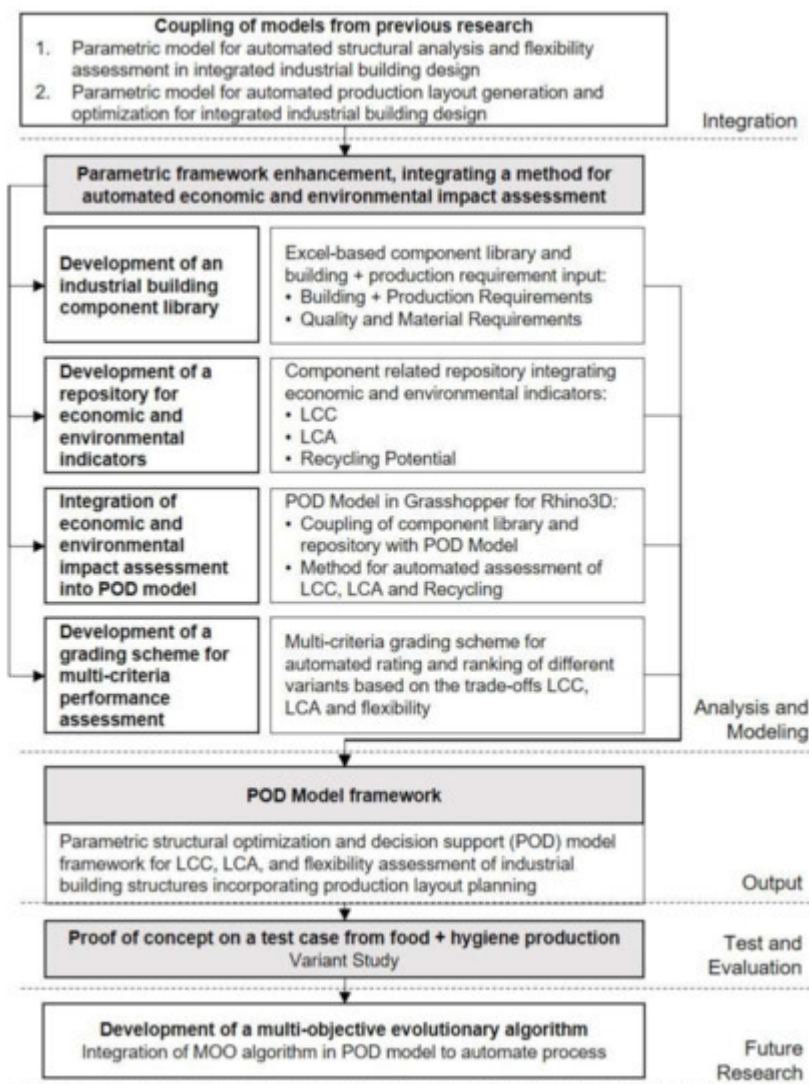


Fig. 6. Overview of the research design and the scope of the Parametric LCA [18]

### *BigData e sostenibilita ambientale*

Viene discussa l'integrazione dei big data, come sistema di generazione delle informazioni, illustrando il valore aggiunto del tracciamento dei flussi globali e locali di dati relativi a clima, ecosistema, flussi di materiali, emissioni, salute umana e parametri fisiologici individuali.

Si aggiunge questo tipo di sintesi per dimostrare che le informazioni ottenute dai big data sugli edifici possono essere estremamente utili per arricchire il "repository" di conoscenze esistente sulla modellazione energetica degli edifici. Inoltre, considerando il sempre crescente sviluppo di edifici intelligenti e città intelligenti basate sull'IoT, il paradigma della ricerca basata sui big data diventerà un supplemento essenziale ai metodi di ricerca scientifica esistenti nel settore edile.

Analogamente a quanto illustrato, i dati in questione misurati possono essere ottenuti da esperimenti e misurazioni digitali in ambiente parametrico, in modo da assumere il tipico carattere predittivo che concerne alla *Early Design Phase*, per poi essere confrontati con rilievi in loco e sensori IoT [19].

La simulazione delle prestazioni dell'edificio è sempre stata parte integrante del processo di progettazione e diventa un elemento fondamentale per la simulazione predittiva e la raccolta di dati sensibili in fase di progetto.

Le simulazioni delle prestazioni degli edifici basate su principi fisici possono fornire input dettagliati per la simulazione prestazionale degli edifici o ottimizzare l'intero processo di simulazione con i progressi nei big data.

Il fatto che il digitale, in tutte le sue forme, sia già ampiamente intrecciato con il mondo fisico è dimostrato dal cambiamento radicale di prospettiva nell'approccio digitale può fornire una conoscenza valida quando si entra nell'era postdigitale, il che significa che il digitale è già intrecciato con il mondo fisico.

Gli strumenti digitali sono sempre più utilizzati nelle pratiche creative e nel contesto dello studio. Da questo prospettiva, l'esperienza del coinvolgimento nella progettazione nell'elaborazione dei dati fisici ed ambientale dimostra come la tecnologia sarà adattata e innovata come parte delle pratiche di progettazione. La digitalizzazione porta molti nuovi strumenti per il maker, che cambia il tradizionale stretto legame con i materiali e sembra aumentare la distanza tra il produttore e il materiale. Tuttavia, il pieno potenziale della tecnica e l'uso del materiale che la digitalizzazione consente sono poco esplorati dai designer e artisti, e solo una parte della ricerca si concentra sul contesto dello studio quando si tratta di fare con, per ad esempio, stampanti 3D.

### Ottimizzazione dei fattori di contesto

Quando si considera lo studio degli aspetti ambientali e come questi influenzano l'intorno ambientale, Radiance ed EnergyPlus vengono utilizzati come strumenti di simulazione per l'illuminazione diurna e l'individuazione dei carichi termici *ai fini dei processi di ottimizzazione dei fattori di contesto*. Questi, incorporati negli strumenti di simulazione Ladybug e HoneyBee, come EnergyPlus sono tra i più affidabili e oltre a riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, illuminazione e carichi energetici, sono anche in grado di effettuare simulazione degli effetti dei cambiamenti climatici basata sulla modellazione dei dati.

Questi strumenti sono considerati come plugin per le analisi dei fattori che influenzano il contesto fisico-ambientale, in Grasshopper, un linguaggio di programmazione grafica a cui si accede in Rhino [20].

Grasshopper è uno strumento di progettazione parametrica basato su script Python, questo consente l'implementazione di diversi algoritmi per la progettazione parametrica tramite un'interfaccia di programmazione visiva.

*Si intende qui porre le basi teoriche per la stesura di un workflow basato su un algoritmo definito tramite Grasshopper (cfr. Cap. 10).*

Si considera ai fini esemplificativi l'algoritmo implementato nella sperimentazione condotta presso il centro di ricerca ABITAlab per il progetto di ricerca coordinato da C. Nava "Mare Mostrum". [21] Lo studio in questione si inserisce in una più ampia ricerca condotta e diretta da M. Ricci per l'Accademia dei Lincei: MedWays - Le vie del mediterraneo. [21] L'algoritmo in questione è stato utilizzato per controllare parametricamente i fattori legati al contesto ambientale di una zona costiera Calabrese (Fig.8)<sup>3</sup>.

L'obiettivo in fase progettuale consente di condurre sia l'analisi dell'irraggiamento solare che il calcolo dell'impatto ambientale per ottimizzare la forma dell'edificio secondo due funzioni: massimizzazione dell'irraggiamento solare raccolta sull'involucro dell'edificio; minimizzazione delle emissioni incorporate a causa dei materiali da costruzione impiegati.

I calcoli vengono eseguiti per tutte le configurazioni di progetto. I dati di output, in forma di

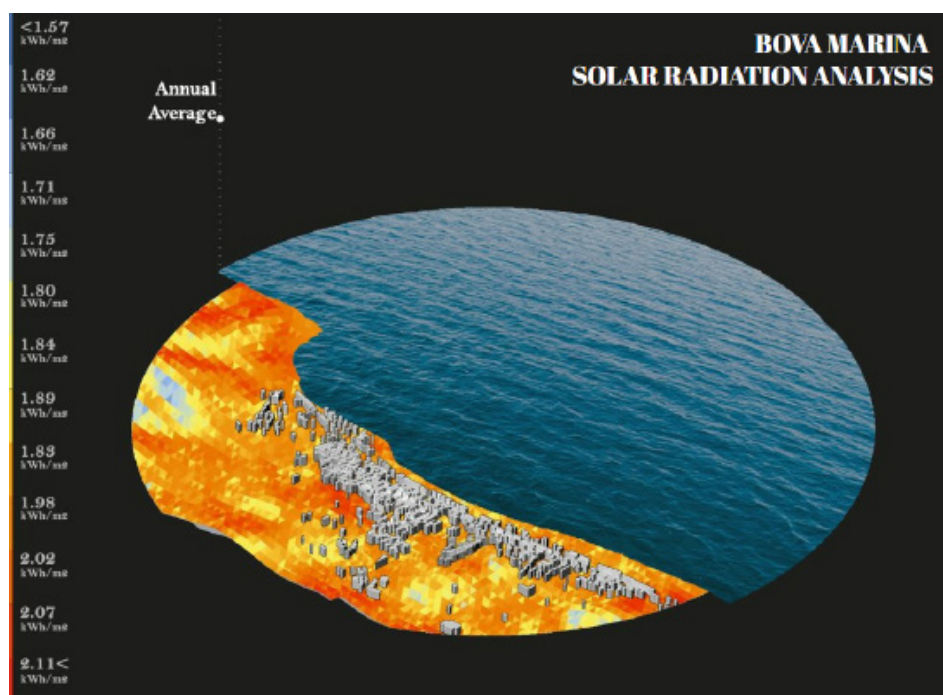
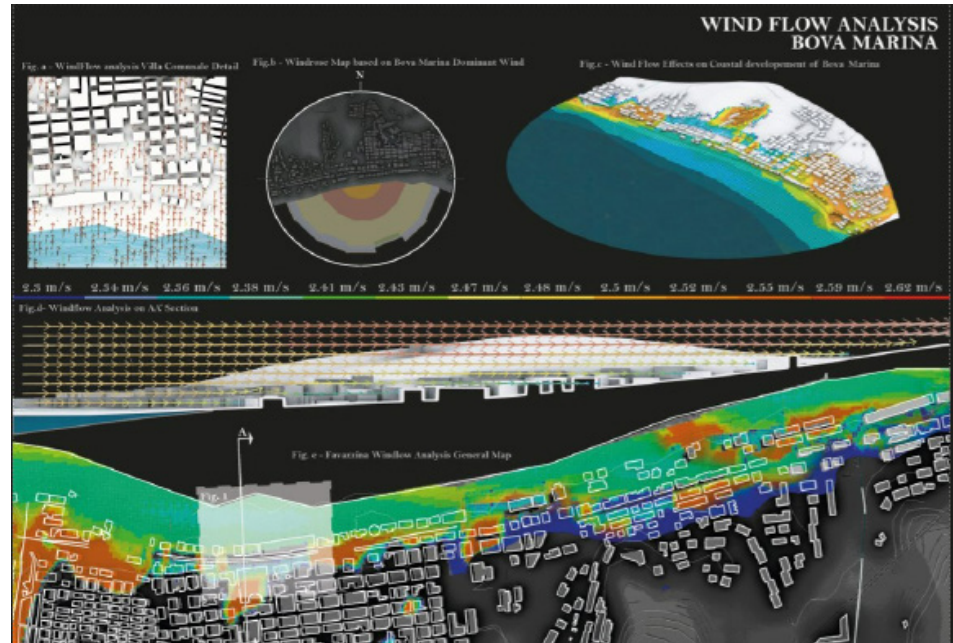


Fig. 7. Parametric Visualization based on climatic data relating to Solar Radiation Data provided by the OpenStreet Map database. Data are processed via the LadyBug plugin on Grasshopper] (fonte: ABITAlab elaborations for Medways, 2021)

Fig. 8. The measurement of the effects of the winds on the coasts was carried out experimentally, verifying the flows using the CFD eddy3d modeling software performed on Grasshopper. The images are intended to represent the areas to be subjected of actions for the CC impacts mitigation. Figure a) highlights the relationship between the windflow over the inhabited center considering the prevailing winds (shown in fig. b). The fig. c) and figure e) give an overall image of the impact situation, in section the analysis of one of the areas most exposed to prevailing winds. (fonte: ABITAlab elaborations for Medways, 2021)



progetto e le prestazioni considerate per controllare la geometria in ogni fase del flusso di lavoro sono mostrati nella Figura 9. Considerando il potenziale ruolo dei *caratteri intrinseci alla morfologia del territorio* nel risparmio energetico, l'obiettivo di questo lavoro è quello di proporre un algoritmo in grado di ottimizzare lo "Skylight Floor area Ratio" <sup>4</sup> in relazione alle prestazioni energetiche. In questo documento l'algoritmo proposto utilizza diversi strumenti di simulazione e ottimizza i risultati di tali simulazioni. Si utilizza il linguaggio Python all'interno di Grasshopper per scrivere script ed ottenere risultati di illuminazione diurna da Ladybug e Honeybee e consegnarli al software EnergyPlus per simulazioni energetiche. Per valutare le prestazioni di illuminazione diurna, il fattore di illuminazione "global horizontal radiation" <sup>5</sup> come metrica di illuminazione diurna. Oltre all'integrazione di strumenti per l'illuminazione diurna e l'energia, abbiamo implementato Python per scrivere un metodo di ottimizzazione della discesa del gradiente per trovare una configurazione ottimale ottimale (Fig. 10).



Fig. 9. ABITAlab elaborations for Medways (fonte: Graphic design elaboration on A.R. Palermiti's photo in Bova Marina)

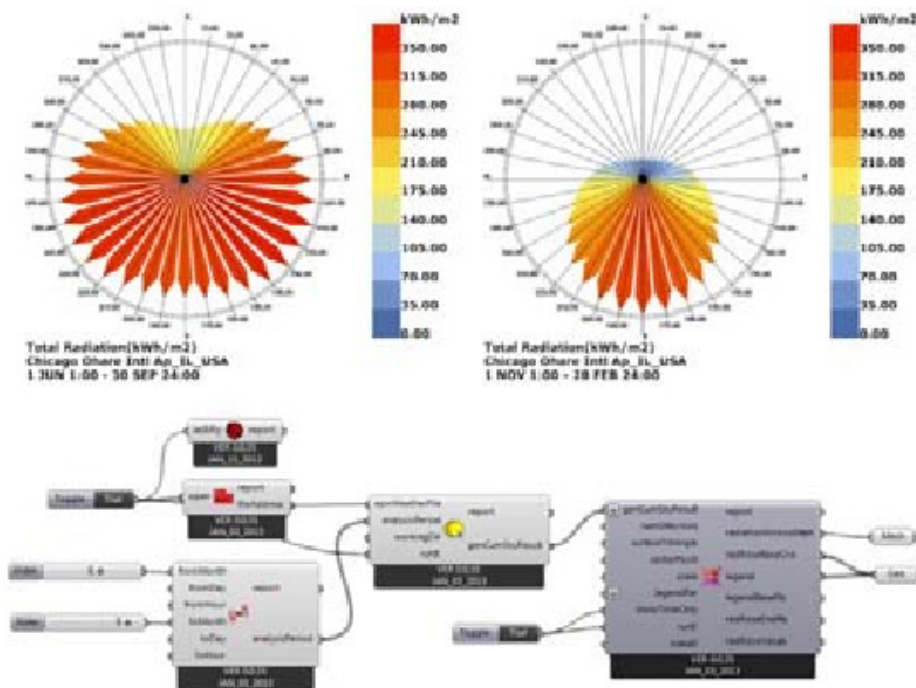


Fig. 10. Simulazione degli aspetti ambientali legati allo scenario in cui si svolge la sperimentazione. (fonte: D.Lucantò, 2021)

La rilettura delle tecnologie abilitanti attraverso questa esperienza presenta essenzialmente tre diversi processi per raggiungere un rapporto interdisciplinare con le prestazioni ambientali attraverso la progettazione parametrica e l'ottimizzazione dei fattori di contesto.

La *Progettazione assistita da algoritmi* per identificare i caratteri per la cosiddetta cooptazione dei componenti; il secondo è *l'approccio progettuale basato sulla simulazione predittiva* per generare il modello delle prestazioni; la sintesi trova la sua naturale evoluzione *nelle applicazioni ad un disegno circolare avanzato*, concepito come un algoritmo rigenerativo da utilizzare per l'ottimizzazione dei fattori ambientali attraverso l'analisi di tutte le componenti che ne influenzano le prestazioni. [22] L'approccio di progettazione algoritmica parametrica che viene eseguito in diversi approcci evidenzia la rilevanza del sistema nella capacità di gestire e interfacciare in modo formale materiali, componenti e sistemi in grado di interfacciarsi sia con aspetti ambientali che con l'ottimizzazione dei componenti in termini di capacità prestazionali. La fase operativa prevede l'utilizzo di plug-in che interagiscono nello spazio parametrico di Grasshopper. Nello specifico, gli strumenti LadyBug, HoneyBee ed Eddy3D rendono conto lo stato performativo del contesto in cui l'oggetto della sperimentazione è inserito. Nel dettaglio questi descrivono gli aspetti endogeni legati alla composizione e al funzionamento del componente/sistema (HoneyBee) ed analizzano gli aspetti ambientali legati allo scenario in cui si svolge la sperimentazione (Fig. 11) e permette di effettuare accurate simulazioni su scenari prestazionali (Ladybug, Eddy3D) [23].

Gli approcci progettuali basati sulle prestazioni simulate in un ambiente parametrico riversano il loro portato di informazioni in un *processo rigenerativo di ottimizzazione reiterativa dei componenti e dei sistemi dell'edificio, che di fatto raggiunge un design circolare avanzato, permettendo al sistema di andare oltre la prestazione*. L'approccio proposto mira quindi a dimostrare che già un confronto sufficiente può essere fornito dall'ottimizzazione delle parti in una prospettiva circolare avanzata già nelle prime fasi di progettazione. Ciò che se ne deriva è che aggiungendo agli strumenti performativi, gli strumenti di valutazione parametrica degli impatti, l'approccio risultante permette una progettazione olistica e rispondente in tutte le sue parti agli standard prestazionali per la riduzione degli effetti e la riduzione delle cause dei Cambiamenti Climatici. *L'approccio parametrico per l'analisi del Ciclo di Vita*.

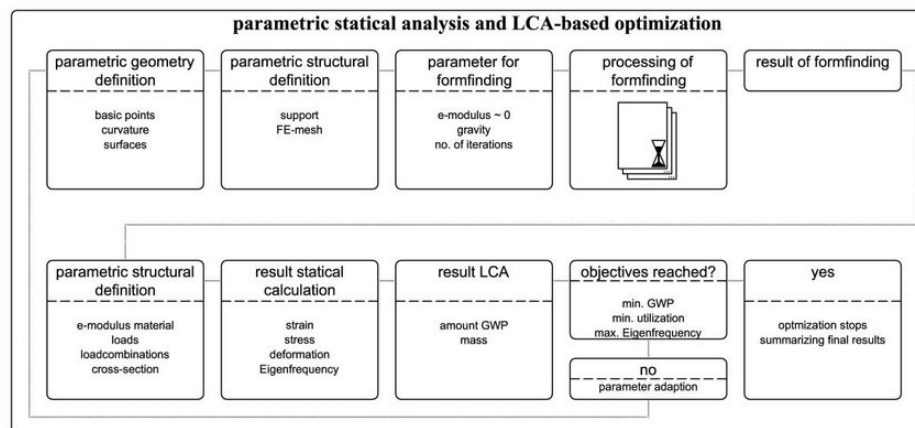


Fig. 11 Parametric statics and LCA-based optimization of shell structures

Prima di riferire sulle fasi che occorrono nelle procedure di Parametric LCA (PLCA) occorre fornire una definizione esaustiva di PLCA.

L'utilizzo di un modello parametrico dell'LCA permette, in poche parole, di valutare prima che sia stata effettuata la scelta definitiva dei materiali, i fattori che maggiormente influenzano gli impatti del ciclo di vita, valutando e confrontando le diverse geometrie dell'edificio ed il loro impatto ambientale.

Basato su Rhinoceros, il modello LCA parametrico viene creato utilizzando Grasshopper3D. È anche possibile disegnare la geometria in Rhinoceros e poi trasferirla in Grasshopper3D. L'editor dei materiali di Grasshopper3D definisce il materiale e lo spessore, il database combinato viene importato, incorporando tutte le certificazioni relative ai materiali disponibili. Per calcolare l'apporto energetico, e conseguentemente la quota parte di energia rinnovabile utilizzata, viene utilizzato un metodo semplificato sviluppato da Lichtenheld et al. (2015) [2]. Il calcolo della domanda di energia operativa e dell'impatto fisico è completamente integrato in Grasshopper, rendendo superflue l'esportazione e la reimportazione dei dati nella successione delle fasi. In questo modo lo strumento parametrico è in grado di calcolare l'LCA in tempo reale. I risultati vengono visualizzati nella finestra di Rhinoceros e contemporaneamente esportati in un foglio di calcolo.

Con questa premessa si può passare alla definizione delle fasi dell'analisi PLCA, queste non differiscono da quelle di una "tradizionale" LCA, normata, vengono semplicemente trasferite in un ambiente parametrico.

Nella prima fase, vengono definiti gli obiettivi e lo scopo dello studio, le unità funzionali e i confini del sistema. Gli equivalenti funzionali dell'oggetto della sperimentazione, sia esso un componente, un sistema costruttivo o un interno edificio, sono definiti come "requisiti funzionali e/o tecnici quantificati per un edificio o un sistema assemblato (parte di opere) da utilizzare come base di confronto" [25]. Un confronto equo per una valutazione appropriata richiede che entrambi gli edifici soddisfino gli stessi criteri di progettazione [26]. L'ambito e l'obiettivo dello studio di ricerca determineranno se una LCA parziale viene condotta coprendo solo una parte delle fasi del ciclo di vita di un prodotto, nonché particolari attività/composti all'interno delle fasi. Utilizzando il database che i plug-in mettono a disposizione, calcoliamo gli input e gli output associati all'inventario del ciclo di vita (LCI). Sulla base dell'analisi dell'inventario, viene condotta una valutazione parametrica dell'impatto del ciclo di vita (PLCIA) (Fig. 11) per valutare gli impatti ambientali dei componenti inseriti nella stratificazione, durante le loro fasi del ciclo di vita [27]. La fase LCIA genera un insieme di potenziali fattori da ottimizzare. Una misura di valutazione dell'impatto ambientale come il GWP viene generata durante la fase LCIA ed interpretata nell'ultima fase dello studio LCA [28].

### Ottimizzazione dei fattori che influenzano il ciclo di vita

Uno degli obiettivi principali che si intende perseguire nell'elaborazione di questo studio è quello di studiare e restituire in forma aggiornata un metodo per l'ottimizzazione della progettazione di edifici con un impatto ambientale positivo, basato sulla valutazione del ciclo di vita (LCA). La sfida è fare in modo che questo sia applicabile nel processo di progettazione parametrica ed implementabile con altri strumenti legati alla progettazione ambientale che, come precedentemente enunciato, diventa una delle caratteristiche necessarie che consentono di spingere il processo di progettazione avanzata "oltre le prestazioni".

La caratteristica unica di PLCA è che *considera gli impatti ambientali sia operativi che incorporati*. Questo permette di avere una visione olistica sui processi gestiti (Fig. 11) ed efficiente per l'ottimizzazione della progettazione ambientale in quanto offre una combinazione analitica sia dei flussi materici conseguenti alle scelte adottate, sia dei flussi energetici che le stesse comportano. L'idea che il dispendio energetico sia il nemico è un falso pretesto per il cambiamento.

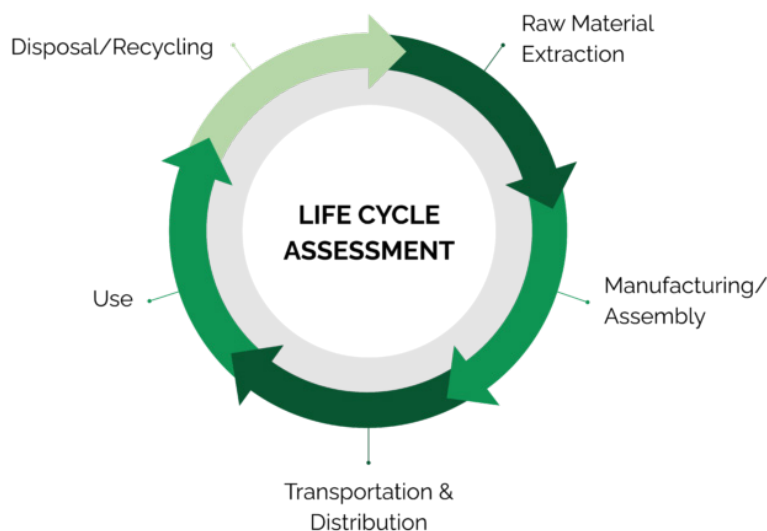


Fig. 12. Life Cycle Assessment modeling tool (fonte: <https://stich.culturalheritage.org/life-cycle-assessment-explained/>)

L'obiettivo dovrebbe essere quello di creare l'architettura più utile e produttiva riducendo al minimo gli impatti negativi. Usare l'energia non è intrinsecamente un'azione negativa. L'attenzione alla riduzione categorica della domanda di energia, senza considerare il modo in cui tale energia viene utilizzata, non ne caratterizza appieno l'impatto.

Il risultato è un'eccessiva semplificazione che pone limiti assoluti alle opzioni di progettazione senza riconoscere il valore più sfumato dell'energia nei diversi stati di realizzazione. Emblematico in questo senso diventa il caso del Superbonus 110%, [30] un'agevolazione introdotta dal decreto-legge "Rilancio" del 19 maggio 2020 che permette ai cittadini italiani di usufruire di una detrazione fiscale pari al 110% delle spese effettuate, per eseguire gli interventi di efficientamento energetico e di messa in sicurezza della propria abitazione.

L'applicazione di questa strategia si è tradotta in un processo a-critico, dove gli interventi, in ambito energetico si sono limitati, all'applicazione sovrapposta di uno strato isolante con lo scopo di ridurre i consumi energetici aumentando esclusivamente le prestazioni termo-igrometriche dell'edificio oggetto di intervento. Un muro costruito con un materiale composito ultra-isolante e complesso, avrà sicuramente delle prestazioni fisico tecniche elevate, ma porterà con sé anche una significativa energia incorporata. Potrebbe essere necessario procurarsi materiali ad alte prestazioni da lontano e l'installazione potrebbe richiedere uno sforzo aggiuntivo. Poiché l'isolamento richiede determinati spessori, la quantità di materiale può essere elevata.

### 2.3 Architettura Ibrida: un approccio bio-based per nuove configurazioni tra natura ed ambiente costruito

#### Architettura Ibrida

Il trasferimento in architettura di una nuova *tassonomia riferita all'economia circolare* (cfr Cap. 1.1) e al suo trasferimento al progetto sostenibile necessita di un approfondimento transdisciplinare che si faccia carico di quei modelli e metodi mutuati da diversi contesti, culturali e produttivi che permettano di garantire le esigenze legate alla condizione dell'abitare urbano contemporaneo e assicurare alle generazioni future una disponibilità adeguata e sostenibile di risorse naturali e artificiali capaci di gestione "a ciclo chiuso" (Fig. 14) [31]<sup>6</sup>.

Gli argomenti contribuiscono nell'apparato teorico transdisciplinare ad individuare i caratteri capaci di declinare i processi circolari riferiti alla produzione di materiali, componenti e sistemi per l'architettura e che guidino la tanto conclamata transizione ecologica e digitale nel settore delle costruzioni, delineando così l'*approccio bio-based*.

La capacità che l'approccio è chiamato ad esprimere, nella sua nuova configurazione, *riguarda le prestazioni misurate sull'unità ambientale di riferimento* [32], considerando le relazioni il rapporto tra natura ed ambiente costruito, innovando il progetto tecnologico attraverso l'utilizzo in Up-Cycling di nuovi materiali da costruzione. La crescente consapevolezza delle tematiche ambientali in architettura e lo sviluppo di requisiti di progettazione e prestazionali associati all'attuazione degli obiettivi di sostenibilità [33] ha inevitabilmente un impatto sull'edilizia, sull'architettura, sul design urbano e sullo sviluppo del nostro ambiente costruito nel suo insieme. La progettazione rispettosa dell'ambiente si riflette sia nelle prestazioni ecologiche sempre più efficienti delle strutture sia nella crescente gamma di soluzioni tecnologie associate. Si riflette anche nell'espressione estetica di tali progetti [34]. Di conseguenza, i quadri di progettazione circolare identificano il design biofilico, l'estetica della sostenibilità, il design rigenerativo e l'innovazione tecnologica basata sull'innovazione radicale come gli approcci più performativi progettuali per l'integrazione delle tematiche relative alla salute umana e alla sostenibilità ambientali [35].

"Il concetto di ibrido riferito all'ambito architettonico fonda le sue radici nel concetto dell'*ibridazione genetica derivata dalla biologia*". Si riferisce quindi a una sovrapposizione, o combinazione di elementi che non sono per loro natura unificabili. Inoltre, si tratta di uno stato in cui ogni elemento è combinato e un elemento non può dominare gli altri (Fig. 13) [36].

Allo stesso modo, l'architettura ibrida emerge quando viene applicata per scopi diversi da quelli originariamente previsti, riprendendo i concetti di esattazione [37] (cfr. Cap. 3.3).

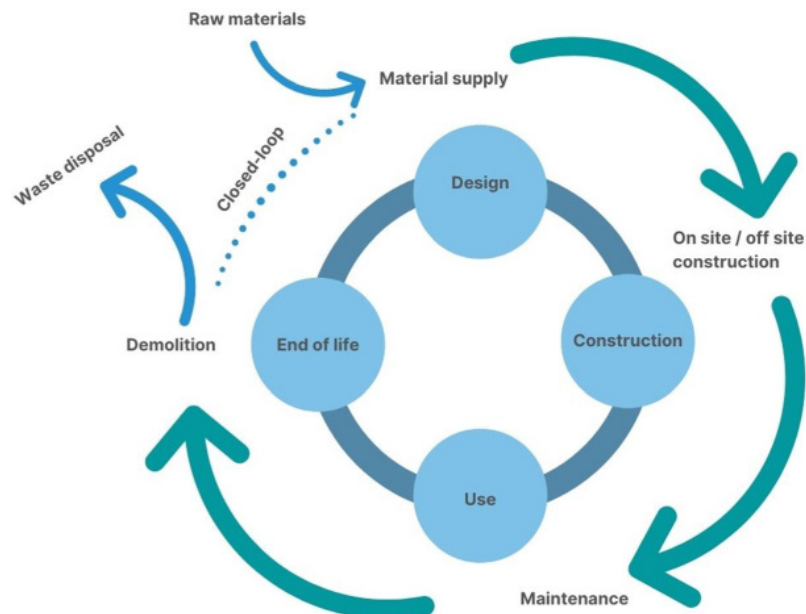


Fig. 13. Life cycle of building and life cycle of construction materials vs. circular economy and supply chain (fonte: Spišáková, Marcela, Tomáš Mandičák, Peter Mésároš, and Matej Špak. 2022. "Waste Management in a Sustainable Circular Economy as a Part of Design of Construction")

### Bio-Based Architecture and Design

Con riferimento ai temi fondativi della *cultura tecnologica del progetto*, il termine di ibridazione è riferibile al sistema edilizio che comprende "la combinazione o l'uso simultaneo di unità di elaborazione tecnologica all'interno di un edificio in modo che operi alla sua massima efficienza, evidenziando al contempo l'efficienza e le prestazioni dell'edificio basate sulla sostenibilità" [38] nel loro funzionamento attivo e passivo.

Come risultato dell'informatizzazione digitale, i fattori fisici e digitali dell'architettura si stanno combinando e i confini e i domini delle configurazioni che i componenti e i sistemi per l'architettura possono assumere diventano sempre più complessi, ma soprattutto tendono ad imitare i processi naturali<sup>7</sup>.

Identificare il design biofilico come una componente critica del design sostenibile e rigenerativo permette di elevare le dimensioni esperienziali di natura, luogo, salute e benessere per le persone, le altre specie e il pianeta, e amplia le esplorazioni del design oltre il tradizionale [39].

Il *Bio-Based Design* definisce la creazione di una connessione simbiotica tra natura ed ambiente costruito, i principi chiave del design biofilico, infatti, trattano l'approccio olistico al design che metta al centro le relazioni scaturite nel progetto con l'ecosistema che lo circonda.

L'obiettivo principale che questo approccio al design si pone è quello di aumentare la resilienza dei sistemi antropici, questo processo viene misurato da indicatori quali i livelli di diversità biologica, il miglioramento del ciclo dei nutrienti, la regolazione idrologica, e altri servizi ecosistemici essenziali alla proliferazione dei sistemi naturali. L'applicazione della progettazione biofilica può alterare le condizioni ambientali di un edificio o del paesaggio a breve termine, ma a lungo termine, dovrebbe sostenere una comunità naturale ecologicamente solida e sostenibile (Fig. 14).

Il focus sul *regenerative design positivo*, intercetta i temi dell'architettura ibrida nell'espressione delle sue qualità *intrinsecamente ecologiche*, consentendo di considerare sia il consumo di energia in fase operativa sia le emissioni di gas serra in fase di produzione.

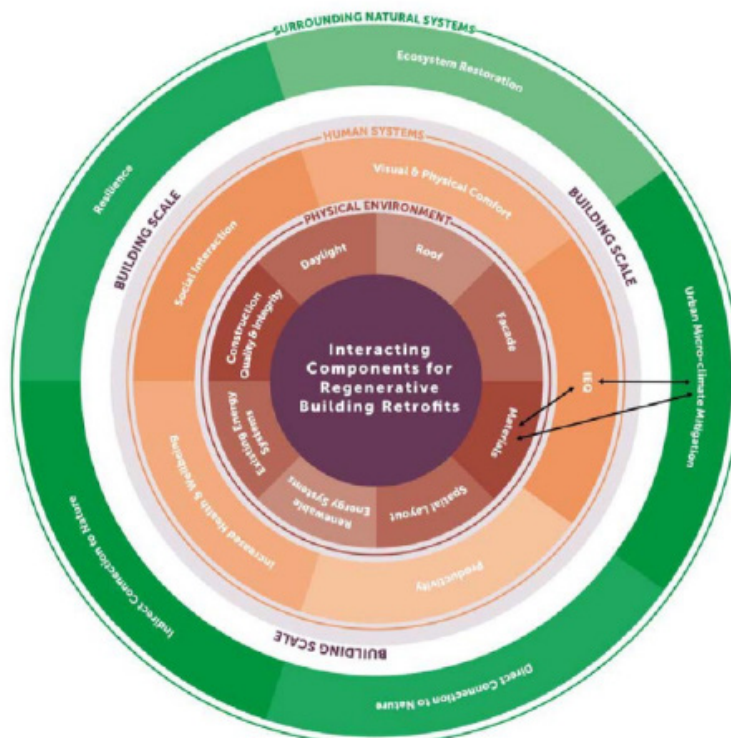


Fig. 14. Potential interacting components for regenerative building retrofits. (fonte: Developed from Bill Reed, 2007 [10])

Il design biofilico cerca inoltre di sostenere la produttività, il funzionamento e la resilienza dei sistemi naturali. L'alterazione dei sistemi naturali si verifica inevitabilmente a seguito di importanti costruzioni e sviluppi edilizi. Inoltre, tutti gli organismi biologici trasformano l'ambiente naturale mentre lo abitano.

Le varie ricerche scientifiche del gruppo di ricerca Baubotanik (Fig. 15) mirano a stabilire regole semplici per tradurre l'alterazione positiva dei sistemi naturali realizzando strutture ibride "*tecno-vegetali*", portanti e a sviluppare Baubotanik come un sistema costruttivo capace di interpretare i principi botanici e risponde alle condizioni ambientali. L'innovazione circolare nel ciclo di "costruzione" non si conclude con il completamento della costruzione quindi è necessario concettualizzare una configurazione iniziale e un processo di sviluppo. Questa configurazione iniziale non è solo una costruzione tecnica, ma anche la struttura "scheletrica" di una pianta baubotanica, un organismo vivente ingegnerizzato artificialmente [40].



Fig. 15. Project  
Baubotanik Tower  
Experimental structure  
Wald-Ruhestetten,  
GER.2009.  
Design:  
Ferdinand Ludwig mit  
Cornelius Hackenbracht

I processi biologici, sia naturali che ingegnerizzati, vengono considerati come valide alternative alle tecnologie convenzionali nella progettazione biofilica dell'architettura.

Gli esempi presentati nei casi studio riportati in appendice e discussi nel testo riguardano i sistemi, che oltre ad innovare la fabbricazione digitale con processi organici, in modo da ottenere risparmi di materiale ed energia, riducono al contempo il loro impatto ambientale, assumendo un ruolo proattivo nell'ambiente costruito.

Nei casi studio presentati in appendice sono stati presentati esempi di sistemi e fabbricazione localizzata utilizzando processi organici al fine di ridurre il consumo di materiale ed energia, nonché l'impatto ambientale.

Nonostante molti di questi progetti abbiano importanti capacità di essere replicati a grande scala, alcuni di questi sono realizzati su scala ridotta rispetto a un contesto architettonico o urbano.

L'attenzione che si cerca di dare riguarda come questi sistemi siano capaci di mitigare l'eredità dannosa della rivoluzione industriale fondata sul carbonio, che ha portato agli attuali standard di produzione, consumo e smaltimento mettendo le basi per una nuova rivoluzione industriale che consideriamo in atto [41].

*"In questo contesto comincia infatti ad emergere un nuovo concetto di creazione di valore che innova il concetto di riduzione delle emissioni e risparmio energetico adottando un pensiero più olistico sull'intero ciclo di vita di un oggetto"* [42].



Fig. 16. Neri Oxman and The Mediated Matter Group. Exposition at MoMa: Design and the Elastic Mind - Paola Antonelli 2018.

A catalog of material experiments spanning four years of research shows the range of aesthetics and behaviors we have been able to elicit in medium-to-large-scale prints via performative geometric toolpaths, generative design, bio-composite distributions, and variable fabrication parameters. (fonte: Photo of The Mediated Matter Group. Courtesy The Mediated Matter Group)

## 2.4 L'approccio proto-tipologico al progetto per la sperimentazione

La definizione dell'approccio prototipologico nella pratica sperimentale della ricerca nel campo dell'architettura e del design necessita di una visione multidisciplinare riguardante l'articolazione delle terminologie adatte ai temi trattati ed alla prassi scaturita dall'approccio olistico alla progettazione circolare.

*"Nato dall'unione dei termini prototipo e tipologia, la prototipologia rappresenta un'applicazione sus scala reale, questo approccio rappresenta un'esperienza e una prova in sé per scoprire in modo efficace e olistico tutti gli aspetti connessi e affrontare le incognite di una specifica domanda, ma allo stesso tempo è parte di una serie di test più ampia e sistematica di tipologie così diverse con caratteristiche simili, ma parametri variabili"* [43].

Lo scopo di questo approccio è progettare e costruire continuamente una serie di prototipi al fine di scoprire nell'avanzamento sperimentale diversi ed inaspettati sviluppi nella trattazione dell'argomento, considerando il carattere evolutivo identificato sia nel metodo di sperimentazione, sia nella catalogazione dei casi studi presi in esame, sia nella definizione degli output della sperimentazione progettuale.

*"Così come il prototipo anticipa un prodotto ancora da sviluppare, la proto-tipologia rappresenta una configurazione tipologica in perenne stato di evoluzione. Mentre una tipologia convenzionale definisce un modello generico da organizzazione, che diventa specifico attraverso la sua applicazione, la prototipologia è specifica fin dall'inizio. D'altra parte, non diventa mai veramente generico poiché continua a trasformarsi attraverso le informazioni che riceve. In quanto materia di apprendimento flessibile, si adatta alle mutevoli esigenze di programmi e utenti. Quindi, una prototipologia non è un modello, ma una fase transitoria di un processo evolutivo e, quindi, sempre in anticipo rispetto al suo tipo"* [44].

Diventa fondamentale, una volta chiarita la definizione di prototipologia, interpretare il metodo con il quale si intende definire la serie di prototipi oggetto della sperimentazione. L'avanzamento sperimentale che permette di ordinare le fasi attraverso le quali stressare la teoria, il metodo ed il progetto segue l'applicazione del T.R.L (Technology Readiness Level) [45].

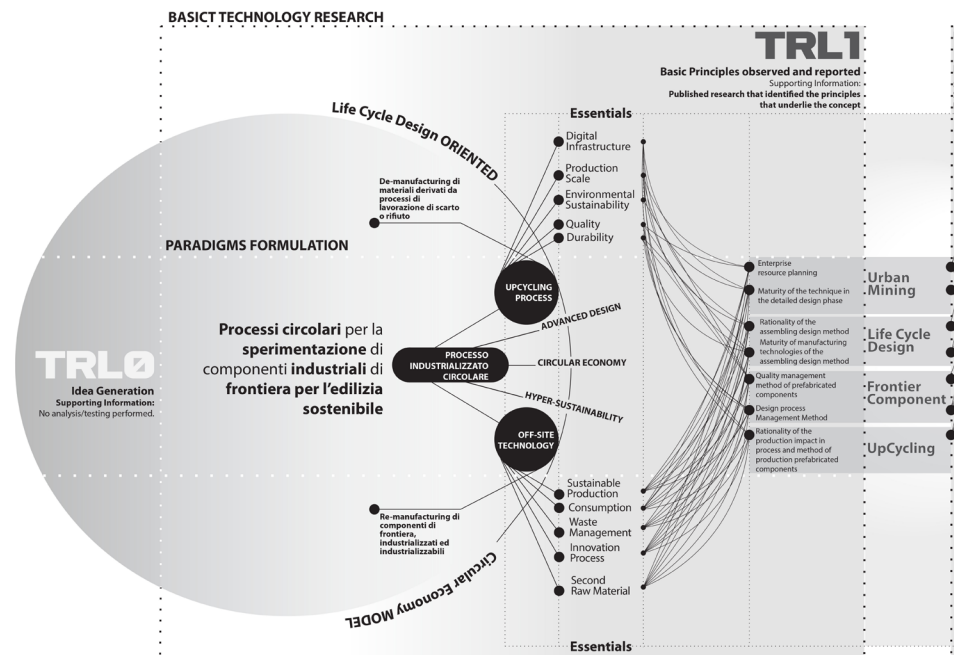


Fig. 18 a. TRL Oriented Process (Part 1). (fonte: D. Lucanto, 2020)

Il carattere speculativo tipico dell'approccio prototipologico consente nella combinazione con il metodo TRL di avere sempre una validazione oggettiva dei livelli di maturità tecnologica raggiunti. Appunto le misurazioni utilizzate in questa metodologia servono a valutare la maturità tecnologica di una tecnologia prima che venga incorporata in un sistema (Fig. 18). La traduzione nella pratica sperimentale architettonica come strumento di gestione, viene utilizzato da program manager, project manager e altri nel campo della gestione delle acquisizioni per valutare la maturità di una tecnologia. Gli avanzamenti proposti valutano il grado di soddisfazione di una serie di criteri per determinare il livello di affidabilità tecnologica (TRL) dei prototipi proposti [46]. Questo approccio permette di evidenziare nella successione delle fasi gli aspetti legati specificando sin dall'inizio il grado di approfondimento richiesto, al fine di innovare in maniera incrementale gli aspetti prestazionali pertinenti alle tematiche ambientali, come la circolarità delle risorse ed il consumo energetico in tutto il ciclo di vita dei componenti, influenzate nel progetto da tutte le tecnologie progettanti messe in campo [47].

Come risultato della lettura delle prototipologie, si identificano diversi progetti che traducono i principi legati all'innovazione e alla sostenibilità.

L'esempio di una prototipologia costruita con compositi a base di micelio è mostrato nella figura 2, così come il suo ruolo nel processo di ricerca. L'espedito in questione descrive vari approcci e introduce diversi spunti alla revisione e all'aggiornamento della letteratura sui temi per aiutare a fornire una lettura esaustiva della relazioni scaturite in ambito sperimentale su tutte le componenti di carattere innovativo che intendono perseguire i principi di circolarità fissati nel cap. 1.7 Viene anche utilizzato per identificare esperimenti che sostituiscono processi industriali o meccanici con processi biologici, che sono più rispettosi dell'ambiente e richiedono meno materiale ed energia [48]. Nel capitolo 6 si restituirà a questo proposito una sperimentazione che interpreta nella rilettura delle esperienze i concetti qui espressi. Le domande alle quali si intende rispondere nella sperimentazione sorgono dallo studio sollevate dalle strutture, dai prototipi e dai loro aspetti evolutivi.

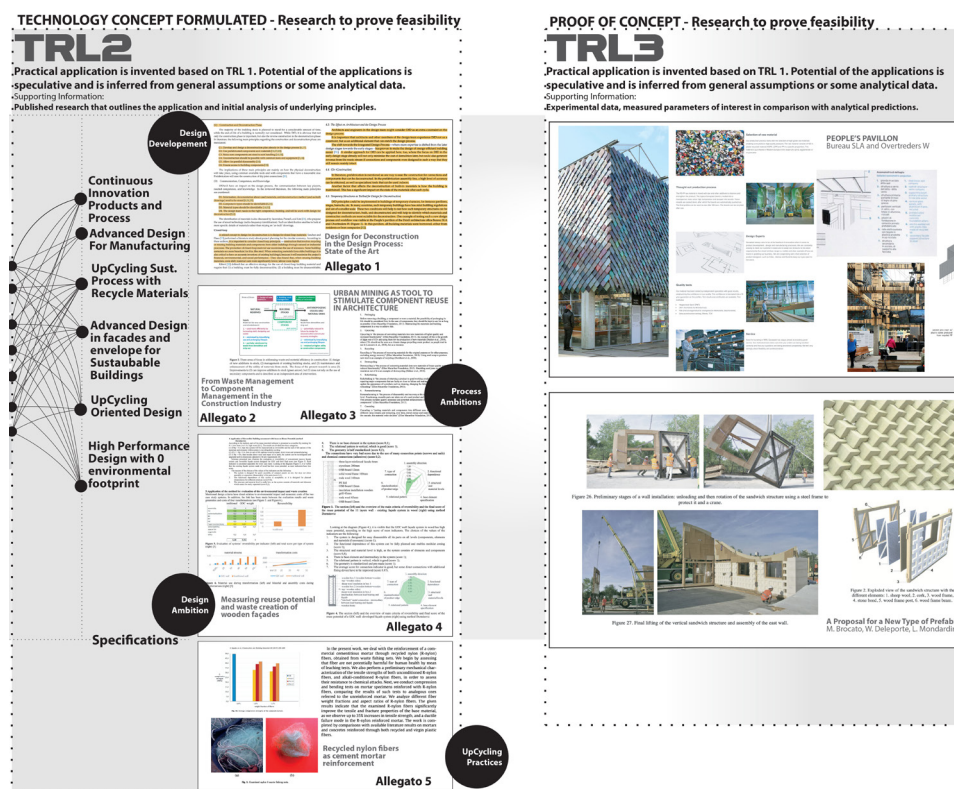


Fig. 18 b. TRL Oriented Process (Part 2) D. Lucanto 2020.



Al visioning di un GRS  
realizzato attraverso  
sperimentazione su MI-  
Djourney, D. Lucanto  
2022.

#### *Appendice 2 : Repertorio dei casi di Architettura Ibrida*

All'interno delle pratiche di traduzione dei principi della biologia in architettura, che nel design viene definita biomimetica, l'appendice restituisce una visione complessiva delle pratiche di architetture ibride dove è possibile rintracciare le applicazioni biologiche direttamente ai prodotti e ai processi esistenti per sviluppare materiali migliori, anche utilizzando organismi sintetici per controllarne la loro capacità di restituire una prestazione ecologica avanzata.

I quattro progetti inclusi nella sintesi del repertorio riflettono le potenzialità che l'architettura ibrida assume quando si confronta con i principi del design biofilico.

Un atteggiamento positivo è essenziale per trovare soluzioni che consentano all'uomo di convivere con la natura e la biosfera. Proprio come gli sforzi di base hanno svolto un ruolo importante nel cambiamento sociale, il lavoro investigativo e la documentazione degli scienziati hanno portato a scoperte notevoli.

Attualmente, il nostro pianeta deve affrontare così tante sfide che una disciplina non può gestirle tutte. Il design è il ponte. In altre parole, traduce idee e scoperte scientifiche in applicazioni pratiche. Design e scienza sono entrambe discipline che si sono più volte incrociate nel tempo. La lettura critica proposta riprende alcune delle categorie di lettura utilizzate per la mostra Triennale della Cooper Hewitt organizzata presso il Cube Design Museum. La suddivisione delle architetture ibride in macro settori permette di indirizzare la lettura verso quei sistemi capaci di intervenire in maniera sistemica, e allo stesso tempo puntuale, nel trovare soluzioni che consentano all'uomo di agire nella tecnosfera convivendo con la natura e la biosfera.

### **Understand Nature**

Le relazioni reciprocamente vantaggiose richiedono un'apertura all'apprendimento e alla scoperta di punti in comune e differenze con un obiettivo di fondo: Capire i sistemi naturali per migliorare i sistemi tecnologici.

### **Simulate Nature**

Per emulare alcune proprietà ed efficienze che si trovano in natura, è necessario comprenderne gli aspetti non umani. I designer stanno, infatti, ridefinendo il raw materials con le loro nuove prospettive e applicazioni dei materiali di scarto tradizionali. Riconoscono il valore intrinseco di questi materiali e li rimuovono dal flusso di rifiuti, aggiungendo potenziale creativo e diversità e trasformandoli in risorse. Si rintracciano in particolare i processi che sottolineano il ruolo della natura come dimostratore, intercettando i nutrienti per la Terra al termine del loro ciclo di vita.

### **Nature Facilitate Design**

L'architettura ibrida che supporta, guida e assiste l'interazione e la crescita utilizzando una varietà di processi che facilitano l'integrazione dei processi naturali e ne permettono la proliferazione là dove non sarebbe possibile. Alcuni dei lavori più innovativi sono stati nel settore della biofabbricazione, un processo produttivo in cui batteri, lieviti, cellule e funghi vengono sfruttati come fabbriche per coltivare prodotti.

### **Nature Augment Design**

Sfruttare l'attività metabolica di nuovi materiali, come alghe batteri ecc ha portato a nuovi metodi non inquinanti ed efficienti dal punto di vista energetico, nonché per coltivare mattoni di cemento. Indipendentemente da come vengono prodotti o da quanto tempo è necessario per portarli a compimento, condividono la dipendenza dal processo di creazione della natura. Come possiamo sviluppare materiali, oggetti che possano migliorare l'ambiente costruito per migliorare non solo l'esistenza umana, ma la natura stessa? L'obiettivo è di rintracciare forme reattive che possano migliorare i processi di gestione e mitigare gli impatti nel nostro ambiente.

## Indici Prestazionali per la lettura critica del Repertorio

### *(1) innovazione nei processi di trasformazione*

Le soluzioni per il settore edile basate su materiali di scarto hanno un grande potenziale, indipendentemente dai loro limiti funzionali, le loro prestazioni vengono aumentate quando si considerano materiali provenienti da filiere diverse da quelle strettamente legate all'industria delle costruzioni.

La misura dell'innovazione nei processi di trasformazione avviene valutando il controllo dell'approvvigionamento energetico in fase di produzione, alla quota parte di energia rinnovabile utilizzata in tutto il ciclo di vita.

Il progresso di valutazione fa riferimento agli studi effettuati e disponibili di L.C.A. che certificano gli indicatori di sostenibilità in GWP.

### *(2) potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

Il potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico del materiale, componente, o sistema analizzato utilizza il Material Circularity Indicator ai quali si fa riferimento nel paragrafo . La valutazione avviene utilizzando lo strumento Circularity Indicators sviluppato da Granta Design, integrato con MI:Product Intelligence, valuta i rischi ambientali, normativi e della catena di approvvigionamento per i loro prodotti e progetti.

Oltre a fornire il risultato MCI per ciascun componente, il calcolatore fornisce anche il risultato per il prodotto nel suo insieme. Questo tipo di analisi interscalare, permette di identificare quali parti influenzano l'MCI complessivo. [54]

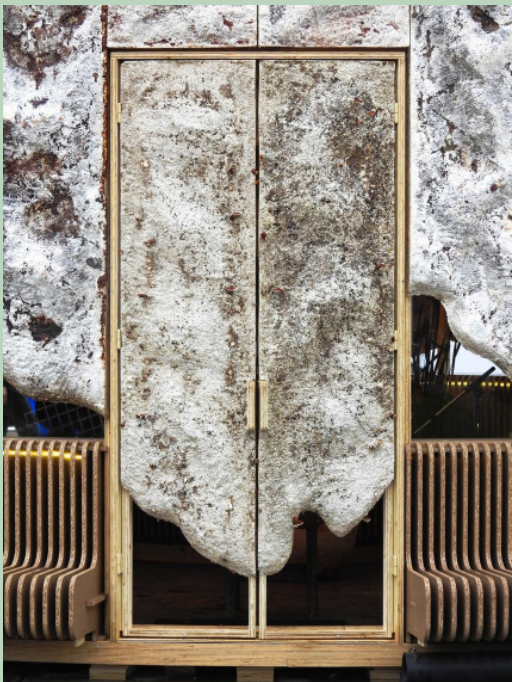
### *(3) capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Per la valutazione delle emissioni di Carbonio si fa riferimento sia alla questione delle "emissioni evitate" in fase di produzione, anche riferite all'indicatore (i), sia al potenziale di stoccaggio che considera lo studio condotto da Ingrid Paoletti [55] nel quale viene teorizzata la seguente espressione:  $\text{Stoccaggio di carbonio} = r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67$

In merito a questa si tiene conto che "r è la densità del prodotto e 3,67 è il peso molecolare dell'anidride carbonica rispetto al carbonio. I parametri ambientali, in relazione alla definizione di prodotto biogenico, riportano nella prima colonna la percentuale di biomassa (BC) contenuta; nella seconda il contenuto di carbonio (CC) che serve per quantificare quanto carbonio e, di conseguenza, CO<sub>2</sub> è catturata all'interno del prodotto invece di essere rilasciata in atmosfera. "

### *(4) prestazioni fisico-tecniche*

Le prestazioni fisico-tecniche indicano le qualità fisiche dell'oggetto di studio e valutano la composizione materica. Si utilizza per l'analisi in questione la conducibilità termica espressa in W/mK, il peso specifico del materiale espresso in Kg/m<sup>3</sup> e la resistenza al fuoco facendo riferimento alla normativa utilizzata dall'ente sviluppatore in fase di testing, quando disponibile.



The Growing Pavilion  
Pascal Leboucq e Krown Design  
Dutch Design Week, Eindhoven, Netherland, NL.

[HA-1]

## Hybrid Architecture

Dopo la Dutch Design Week è stato presentato il Growing Pavilion, un padiglione realizzato con pannelli costituiti da Miceli sostenuti da una struttura in legno.

Progettata da Pascal Leboucq, designer e scenografo, e Krown Design, studio specializzato nella progettazione sostenibile, la struttura proposta è interamente realizzata con materiali biodegradabili.

Nel rispetto dei principi di circolarità i pannelli sono rivestiti da una sostanza biologica che era già stata utilizzata dagli Incas in Messico per proteggere le loro strutture ed è stata applicata ai pannelli una volta che ultimato il processo di crescita del micelio.

I pannelli di micelio sono molto leggeri e sono ben isolati in termini di temperatura e suono. Ogni pannello può essere riparato o riutilizzato altrove una volta smontata la struttura.

È possibile rimuovere i pannelli dalla struttura in legno e riutilizzarli in futuro. Per il pavimento dell'ambiente interno viene utilizzato un tipo di canna, mentre per i sedili vengono utilizzati materiali di scarto agricolo.

I designer si sono concentrati principalmente sull'enfatizzare l'uso circolare di materiali di origine biologica, molto spesso presenti, ma non esaltati dal punto di vista estetico o poco conosciuti.

L'utilizzo dei miceli permette di creare forme estremamente organiche e leggere, ma relativamente incontrollabili, rendendo semplice ed efficace la sua applicazione al mondo del design.

Nonostante il padiglione si presenti come un prototipo dal forte carattere sperimentale, i suoi creatori intendono progettare strutture che resistano alle intemperie per diversi anni senza deteriorarsi. Per quanto riguarda l'isolamento termico e acustico, i pannelli hanno prestazioni soddisfacenti e uno strato protettivo applicato successivamente rende i pannelli impermeabili.

Con l'installazione del padiglione sono stati esposti altri progetti legati alla crescita e alla sostenibilità, tra cui collezioni di abbigliamento a base di alghe e kombucha, oltre a panchine disposte nell'area circostante, create dagli alberi caduti durante una delle tempeste che ha colpito Eindhoven.

### Letture critica

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **4.63 (Kg CO2-eq / m2)**

(2) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

**MCI: 1**

#### Rivestimento in Miceli

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Struttura in Legno

Composizione del materiale: Legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

(3) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 28 \text{ kg/m}^3 \times 0,7 \times 1 \times 3,67 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 69,05 Kg/m<sup>3</sup>**

(4) *prestazioni fisico-tecniche*

U value, 0.52 W/m<sup>2</sup>K

### Project credits:

Research team:

Pascal Leboucq Concept: Pascal Leboucq & Lucas De Man & Eric Klarenbeek (Klarenbeek & Dros)

Design Team:

Pascal Leboucq, Diana van Bokhoven, Emiel Rietvelt, Lucas De Man, Jasper van den Berg, Amber Bloos, Dona Popovici, Naomi Jansen, Anne Caesar van Wieren, Bente Konings, Wouter Goedheer, Bas van Rijnsoever, Isil Vos, Jip Verwiel

Academic Partner:

Stichting Doen, Brabant C, BPD cultuurfonds & Prins Bernhard Cultuur Fonds



Mutual AID  
Pnat e Stefano Mancuso  
Venice XVII Biennale, Venice, Italy, IT.

[HA-2]

## Hybrid Architecture

Nel Padiglione Italia della XVII Biennale di Architettura di Venezia, Stefano Mancuso e Pnat hanno realizzato la mostra Mutual Aid for the Resilient Communities. Come caso di studio su come vivere armoniosamente fuori terra, il lavoro indaga la complessità dei sistemi di cooperazione all'interno delle strutture biologiche proposte.

La struttura proposta è costituita da un sistema vegetativo, collegato e nutrito da una rete micorrizica. Più specie vegetali possono essere collegate dal micelio di una singola micorrizica. Questo processo genera uno scambio simultaneo. Il micelio e la pianta non devono necessariamente essere classificati come più potenti o migliori l'uno dell'altro. Così come trilioni di batteri che vorticano tra di loro, entrambi gli organismi dipendono l'uno dall'altro per sopravvivere. Le piante danno ciò che possono, il micelio prende ciò di cui ha bisogno. Dando una prospettiva macro su questo scambio, possiamo vedere quanto sarebbe più facile vivere insieme se adottassimo lo stesso approccio con tutti i nostri concittadini.

Piuttosto che enfatizzare la competizione sulla cooperazione, la sperimentazione risponde alle teorie neo-darwinista della sopravvivenza del più adatto.

L'obiettivo della sperimentazione proposta all'interno dell'installazione è che una strategia di mutuo soccorso e condivisione di risorse, come acqua, energia, cibo e aria pura, possa essere ampiamente applicata a scala urbana.

La rete vegetativa costituisce un filtro botanico all'interno del Padiglione che serve a purificare l'aria all'interno. L'aria è costretta a fluire attraverso una rete sotterranea agli elementi più piccoli, diffondendo così l'aria pura in tutta l'installazione. L'idea è quella di proporre un paesaggio urbano in cui piante ed edifici siano indistinguibili e dove gli edifici non solo non influiscano negativamente sull'ambiente, ma ne traggano effettivamente beneficio.

L'intero sistema è monitorato da una rete di sensori che restituisce in tempo reale i dati relativi allo stoccaggio della CO<sub>2</sub> e alla qualità dell'aria.

### Letture critiche

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **4.63 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(2) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

**MCI: 1**

#### Rivestimento in Miceli

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

#### Struttura in Legno

Composizione del materiale: Legno

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

(3) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

*Stoccaggio di carbonio = r · CC · BC · 3,67 =*

*= 220 kg/m<sup>3</sup> × 0,6 × 1 × 3,67 =*

*= **Stoccaggio di carbonio = 128,43 Kg/m<sup>3</sup>***

(4) *prestazioni fisico-tecniche*

-

### Project credits:

*Research team:*

*Stefano Mancuso (Direttore LINV – Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale) Elisa Azzarello, Camilla Pandolfi e Elisa Masi, e i designer Antonio Girardi e Cristiana Favretto.*

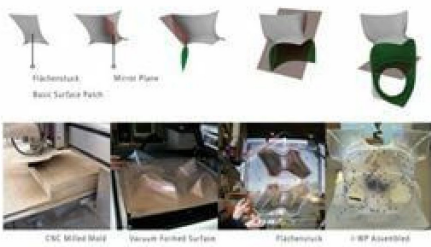
*Design Team:*

*PNAT, Stefano Mancuso*

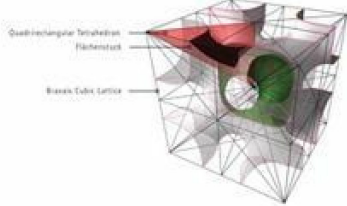
*Academic Partner:*

*Laboratorio LINV, Università degli Studi di Firenze, Italia, IT*

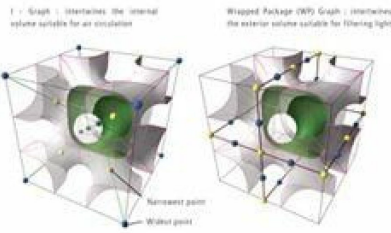
**48 Fold Symmetry for Maximum Fabrication Cost Efficiency**



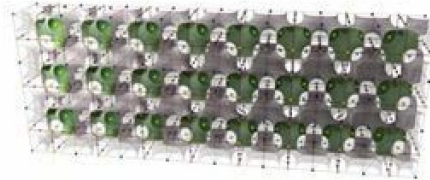
**Minimum Material to Area Ratio and Maximum Weight to Strength Ratio**



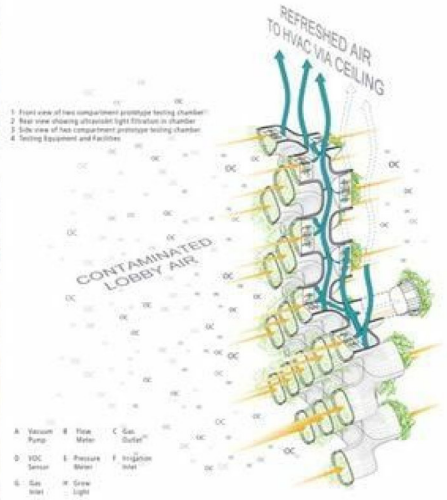
**Bi-Continuous Space Partitioning for Enhanced Airflow Capacity**



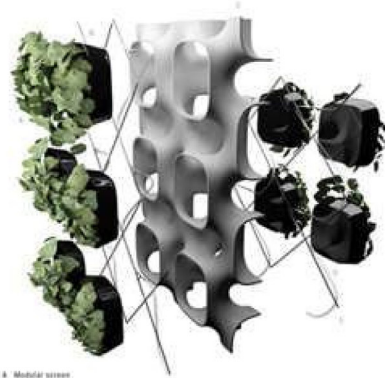
**Highly Stable and Dense Packing (Modularity)**



Architectural Performances of Minimal Surfaces



The Active Phyto-mediated Wall System synthesized the amplified cleaning capacity of over thousands of an active system with the large-scale building integration of passive strategies to create a bio-mechanical dust filtration system. The geometry of the structural medium minimizes material requirements and increases the system efficiency by maximizing the exposure of the root biomass. The flexibility of the modular assembly and scalability of the system enables it to be architecturally integrated in a wide range of building scales and formologies.



ADP System Components  
 A. plants  
 B. active bio and phytoremediation  
 C. structural medium  
 D. irrigation and system support  
 E. frame

Active Phytoremediation Wall System  
Center for Architecture Science and Ecology  
New York-Northern New Jersey-Long Island, NY-NJ-PA

[HA-3]

Hybrid Architecture

Il Center for Architecture Science and Ecology, una collaborazione tra Rensselaer Polytechnic Institute e Skidmore, Owings & Merrill, ha creato un nuovo prototipo che riduce i carichi energetici e migliora la qualità dell'aria interna con i sistemi HVAC esistenti.

Le piante idroponiche sono ospitate in capsule che insite in un sistema di "green wall" attiva dei processi di fitodepurazione.

Invece di essere sepolte nel terreno, le radici delle piante vengono esposte, aumentando la loro capacità di purificazione dell'aria dal 200 al 300 per cento.

La struttura per la coltura idroponica costituisce una sorta di condotta di aspirazione per l'aria esausta e/o satura di elementi gassosi nocivi.

Una serie di mini getti favorisce il flusso d'aria attraverso il condotto di aspirazione perforato. In questo modo, i rizomi sulle radici possono digerire le tossine presenti nell'aria come COV, particolato e altri inquinanti biologici e chimici senza rendere tossica la pianta stessa (cosa che si verifica quando le tossine vengono assorbite solo attraverso le foglie).

Quando l'aria pulita esce da ogni capsula, viene reintrodotta nell'ambiente tramite gli stessi condotti.

Le capsule di di plastica termo-formati in sottovuoto consentono il massimo flusso d'aria per radicare i rizomi utilizzando un materiale minimo.

#### Letture critica

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **5.63 (Kg CO2-eq /m<sup>2</sup>)**

(2) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

**MCI: 1**

#### Pods

Composizione del materiale: Plastica

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

#### Impianto

Composizione del materiale: Plastica

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 0 %

Peercentuale di riciclo: 0 %

**MCI: 0,34** (0 < MCI > 1)

(3) *capacità di sequestro e risparmio di CO2*

*Stoccaggio di carbonio = r · CC · BC · 3,67 =*

*= 220 kg/m<sup>3</sup> × 0,6 × 1 × 3,67 =*

*= Stoccaggio di carbonio = 128,43 Kg/m<sup>3</sup>*

(4) *prestazioni fisico-tecniche*

-

#### Project credits:

*Research team:*

*Anna Dyson (CASE director, director of the Built Ecologies graduate program at RPI); Jason Vollen (associate professor, RPI, CASE); Ted Ngai (assistant professor, RPI, CASE); Lupita Montoya (assistant professor of mechanical engineering, RPI); Paul Mankiewicz (biologist/plant scientist, director, Gaia Institute)*

*Design Team:*

*Gary Haney (design partner); Peter Magill (managing partner); Rob Rothblatt (senior designer); Joseph Sacco (project manager); Carl Brown (technical coordinator); Julie Hiromoto (project team)*

*Academic Partner:*

*Center for Architecture Science and Ecology (a collaboration between Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) and Skidmore, Owings & Merrill), New Jersey-Long Island, NY-NJ-PA*



BIT.BIO.BOT  
EcoLOGIC Studio  
Venice XVII Biennale, Venice, Italy, IT.

[HA-4]

## Hybrid Architecture

Nella sfera urbana post-pandemia, lo spazio sperimentale mette alla prova la convivenza tra umani e non umani. In questa installazione, architettura avanzata e microbiologia si combinano per creare un habitat artificiale per la coltivazione di microalghe nel regno urbano. La Spirulina Platensis, denominata microalga blu-verde, e la Chlorella SP sono le colture viventi che alimentano la biotecnologia di BIT.BIO.BOT.

Nel frattempo, il giardino verticale costituisce un modello intensivo di allevamento di alghe verticali tra il rivestimento vivente e lo spazio di convivium. 10 litri di colture di microalghe sono alloggiati in ogni sezione del giardino realizzata in vetro borosilicato di qualità da laboratorio e componenti in bioplastica stampati in 3D.

Con l'obiettivo di fornire un esempio chiaro verso la neutralità carbonica in architettura, il giardino verticale produce attivamente alghe per assorbire CO<sub>2</sub> a una velocità pari a tre grandi alberi maturi. In quanto organismo simbiotico, EcoLogicStudio vede l'architettura come una relazione simbiotica tra organismi umani e non umani.

Nel Giardino Verticale una fitta fascia di rispetto è dedicata a un modello intensivo di allevamento di alghe verticali tra il Living Cladding e il Convivium. La struttura spita 15 Bio-Bombole su una struttura in acciaio inox alta tre metri, completamente reversibile.

L'installazione Bit.Bio.Bot è così chiamata perché combina strategie di progettazione computazionale (bit) con tecniche di fabbricazione (bot) per "implementare un protocollo di coltivazione microbiologica collettiva" (bio).

*"Cities are evolving into intelligent super-organisms and shall become capable of searching for opportunities of co-evolution within the urban sphere, both for their human and non-human citizens."*

### Letture critica

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **9.34 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(2) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

**MCI: 1**

#### Struttura in metallo

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: da Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

#### Spirulina

Composizione del materiale: Materiale di derivazione Biologica

Approvvigionamento: Vergine

Potenziale rigenerativo: 100%

Peercentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

#### Contenitori in plastica per spirulina

Composizione del materiale: Plastica

Approvvigionamento: Vergine

Potenziale rigenerativo: 0%

Peercentuale di riciclo: 30%

**MCI: 1 (0 < MCI > 1)**

(3) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

*Stoccaggio di carbonio = r · CC · BC · 3,67 =*

*= 28 kg/m<sup>3</sup> × 0,7 × 1 × 3,67 =*

*= Stoccaggio di carbonio = 69,05 Kg/m<sup>3</sup>*

(4) *prestazioni fisico-tecniche*

-

### Project credits:

*Ecologic studio*

*Claudia Pasquero and Marco Poletto, ecoLogicStudio (London, UK).*

*Design Team:*

*Claudia Pasquero, Marco Poletto with Eirini Tsomokou, Oscar Villarreal, Claudia Handler, Korbinian Enzinger, Terezia Greskova, Alessandra Poletto, Emiliano Rando.*

*Academic Partner:*

*The Synthetic Landscape Lab at Innsbruck University, Austria.*

## Note

1. Il concetto di Life Cycle Thinking sarà ampiamente discusso nel Cap. 4 della presente Tesi. Ai fini della lettura se ne restituisce una definizione sintetica maturata nella stesura dello stesso capitolo: Il "Life Cycle Thinking" (LCT) è definito come l'approccio metodologico per la valutazione delle alternative in prodotti, servizi e tecnologie. Questa metodologia abilita la valutazione degli impatti ambientali durante tutto il ciclo di vita dell'oggetto di studio. L'adozione di questo approccio permette di tenere in considerazione ogni parte di cui si compone il sistema oggetto di studio, tenendo conto degli impatti ambientali di prodotti e processi durante l'intero ciclo di vita.

2. Le incertezze alle quali si fa riferimento fanno emergere le difficoltà che si possono affrontare quando ci si cimenta con l'LCA applicata ad un intero organismo edilizio [47].

*"Carenze nella definizione dell'obiettivo LCA e dello sviluppo dell'ambito.*

*Sulla base delle descrizioni dello standard ISO 14040, le informazioni di base devono essere fornite nella fase generale di definizione dell'obiettivo LCA e dell'ambito, come unità funzionale, confine del sistema e requisiti di qualità dei dati (ISO14040 2006). Sebbene lo standard ISO 14040 sia adatto a qualsiasi sviluppo LCA, non ci sono requisiti specifici per ogni componente della definizione di obiettivo e ambito. Nella letteratura attuale, i ricercatori definiscono l'obiettivo e l'ambito in base alle esigenze specifiche e alla disponibilità di dati nei singoli studi, che di solito hanno presupposti, regole di interruzione e limitazioni diverse. Pertanto, è difficile confrontare i risultati LCA a livello di edificio a causa delle variazioni nella configurazione dell'unità funzionale, nei confini del sistema, nel periodo di studio di riferimento, ecc.*

*Poca chiarezza sulla complessità della struttura dell'edificio*

*Anche le variazioni nelle strutture edilizie tra i diversi casi di studio creano incertezza per i risultati dell'LCA. È stato affermato che la struttura in calcestruzzo ha un impatto maggiore rispetto alla struttura in legno negli edifici residenziali. Ci sono forse più di 60 materiali e 1000 prodotti in un singolo edificio. Le variazioni nei materiali e le regole di cut-off nei diversi casi di studio rendono difficile il confronto dei risultati LCA."*

4. "Skylight Floor area Ratio" 4 in relazione alle prestazioni energetiche. In questo documento l'algoritmo proposto utilizza diversi strumenti di simulazione e ottimizza i risultati di tali simulazioni. Si utilizza il linguaggio Python all'interno di Grasshopper per scrivere script ed ottenere risultati di illuminazione diurna da Ladybug e Honeybee e consegnarli al software EnergyPlus per simulazioni energetiche. Per valutare le prestazioni di illuminazione diurna, il fattore di illuminazione

5. Global horizontal Radiation: "Quantità di energia solare (integrata nel tempo) attenuata da tutti i costituenti dell'atmosfera e cadente su una superficie orizzontale della Terra. L'irraggiamento orizzontale globale integra le componenti dirette, diffuse e riflesse dell'energia solare [Wh. m-2]." (<https://inspire.ec.europa.eu/codelist/Solar-PotentialValue/globalHorizontalIrradiation:1#:~:text=Definition%3A,m%2D2%5D>.)

6. Ciclo Chiuso (Closed Loop): "In una catena di approvvigionamento a circuito chiuso, le aziende riutilizzano i propri scarti di produzione per creare nuovi prodotti. Questo è un modo sostenibile per preservare le risorse e risparmiare energia.

*Le strategie di riduzione dei rifiuti e l'uso ottimale delle risorse disponibili sono fondamentali per l'attuazione di*

*successo di un approccio a circuito chiuso, che consente ai produttori di utilizzare meglio i prodotti a fine vita (EOL) ed eliminare gli sprechi. Scopri di più sui servizi di gestione della catena di fornitura di GEP e sulle soluzioni software per la catena di fornitura." (<https://www.gep.com/knowledge-bank/glossary/what-is-closed-loop-supply-chain#:~:text=In%20a%20closed%2Dloop%20supply,preserve%20resources%20and%20save%20energy.>)*

7. Molti dei metodi progettuali applicati dalle attuali avanguardie architettoniche sono riconducibili a una delle idee più antiche e influenti della storia dell'architettura: il concetto di organicismo nelle sue diverse declinazioni. L'idea di base dell'organicismo, di prendere a modello la natura, è uno dei concetti estetici più antichi e fondamentali nell'arte occidentale e nella teoria dell'architettura.

*"La biomimetica è più che riprodurre un oggetto o un sistema naturale. Né si tratta semplicemente di progettare qualcosa di considerato "verde" o sostenibile. È prima di tutto un attento esame di un organismo o di un ecosistema, quindi un'applicazione consapevole dei principi di progettazione sottostanti che si trovano nella soluzione naturale. L'apprendimento sulla natura è una cosa e imitare la natura è un'altra. La natura ha modelli testati nel tempo e soluzioni intorno a noi, e la Biomimetica è lo studio e l'applicazione di soluzioni naturali alle sfide design" [48].*

## Riferimenti bibliografici

1. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Ramā (eds.)]. Cambridge University Press. In Press
2. Naboni, E. & Havinga, L. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*, Eurach Research
3. Gervasio, H. and Dimova, S., *Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings*, EUR 29123 EN, Publications Office of the European Union, 2018, ISBN 978-92-79-79973-0, doi:10.2760/10016, JRC110082
4. Nava, C. (2019). *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo e Progetto*, Aracne ed., Roma, 334-422.
5. Vandenbroucke, Mieke & Galle, Waldo & Temmerman, Niels & Debacker, Wim & Paduart, Anne. (2015). Using Life Cycle Assessment to Inform Decision-Making for Sustainable Buildings. *Buildings*. 5. 536-559. 10.3390/buildings5020536
6. Araújo, M.B. & C. Rahbek (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science* 313(5792): 1396-1397
7. Kharvari, F. (2020). An empirical validation of daylighting tools: Assessing radiance parameters and simulation settings in Ladybug and Honeybee against field measurements. *Solar Energy*, 207, 1021-1036
8. Kastner, Patrick & Dogan, Timur. (2021). Eddy3D: A toolkit for decoupled outdoor thermal comfort simulations in urban areas. *Building and Environment*. 108639. 10.1016/j.buildenv.2021.108639
9. Pieragostini, C. & Mussati, M. & Aguirre, P. (2012). On process optimization considering LCA methodology. *Journal of environmental management*. 96. 43-54. 10.1016/j.jenvman.2011.10.014.
10. Ceschin F., Gaziulusoy I. (2016) Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions, *Design Studies*, Volume 47
11. Ricci, A., Ponzio, C., Fabbri, K., Gaspari, J., & Naboni, E. (2021). Development of a self-sufficient dynamic façade within the context of climate change. *Architectural Science Review*, 64(1-2), 87-97.
12. Tedeschi, A., & Lombardi, D. (2018). The algorithms-aided design (AAD). In *Informed Architecture* (pp. 33-38). Springer, Cham
13. Hollberg, Alexander & Ebert, Marcel & Schütz, Stephan & Cicek, Burhan & Gump, Rainer & Ruth, Jürgen. (2016). Application of a parametric LCA tool in students' design projects
14. Shimoda, Yoshiyuki. (2003). Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment. *Building Research and Information - BUILDING RES INFORM*. 31. 222-230. 10.1080/0961321032000097647
15. Institution, British. (2006). *BS EN ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*
16. Basic, Saso & Hollberg, Alexander & Galimshina, Alina & Habert, Guillaume. (2019). A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment – Bombyx project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 323. 012112. 10.1088/1755-1315/323/1/012112
17. Wulf, Christina, Jasmin Werker, Christopher Ball, Petra Zapp, and Wilhelm Kuckshinrichs. 2019. "Review of Sustainability Assessment Approaches Based on Life Cycles" *Sustainability* 11, no. 20: 5717. <https://doi.org/10.3390/su11205717>
18. Silva, Diogo. (2021). Life Cycle Assessment (LCA)—Definition of Goals and Scope. 10.1007/978-3-030-78044-9\_3
19. Zatta, Elisa & Condotta, Massimiliano. (2022). Assessing the sustainability of architectural reclamation processes: an evaluation procedure for the early design phase. *Building Research & Information*. 1-18. 10.1080/09613218.2022.2093153
20. shehab, ayman & Hosny, Samir & El-Daly, Hazem. (2022). Classification of Parametric Design Tools. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*. 17. 390-405. 10.21608/ajuej.2022.216826
21. Ricci, M. (2022). *MedWays Open Atlas*. LetteraVentidue Edizioni S.r.l, ISBN 978-88-6242-735-7
22. Ali, Shidrati. (2022). Real-time optimal parametric design using the assess-predict-optimize strategy/
23. Freitas, Jader & Cronemberger, Joara & Soares, Raí. (2019). Using Rhinoceros Plugins Grasshopper And Ladybug To Assess BiPV Façades In Brasília.. 4467-4472. 10.26868/25222708.2019.211121
24. Lichtenheld, T., Klüber, N. et al. Parametric real-time energy analysis in early design stages: a method for residential buildings in Germany. *Energ. Ecol. Environ*. 3, 13–23 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0056-9>
25. Ding, Grace. (2014). . Life cycle Assessment (LCA) of sustainable building materials, an overview. 10.1533/9780857097729.1.38
26. Amal Kamal Mohamed Shamseldin, (2017). Evaluate the continuity of meeting items requirements when assessing buildings environmentally, *HBRC Journal*, Volume 13, Issue 2, Pages 233-243, ISSN 1687-4048
27. Heidenreich, Christian & Hollberg, Alexander & Ruth, Jürgen. (2014). *Big Shells | Small Footprint – Evolutionary Optimized Concrete Shell Structures*

28. Rucińska, J. & Komerska, A. & Kwiatkowski, J. (2020). Preliminary Study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland Using the LCA Approach. *Energies*, 13, 3298. [10.3390/en13133298](https://doi.org/10.3390/en13133298).
29. Daniel Collado-Ruiz, Hesamedin Ostad-Ahmad-Ghorabi, (2010) Comparing LCA results out of competing products: developing reference ranges from a product family approach, *Journal of Cleaner Production*, Volume 18, Issue 4, Pages 355-364, ISSN 0959-6526,
- 30.
31. Paulson Jr, B. C. (1976). Designing to reduce construction costs. *Journal of the construction division*, 102(4), 587-592.
32. Baitz, Martin & Albrecht, Stefan & Brauner, Eloise & Broadbent, Clare & Castellan, Guy & Conrath, Pierre & Fava, James & Finkbeiner, Matthias & Fischer, Matthias & Fullana-i-Palmer, Pere & Krinke, Stephan & Leroy, Christian & Loebel, Oliver & Mckeown, Philip & Mersiowsky, Ivo & Möglinger, Bernhard & Pfaadt, Marcus & Rebitzer, Gerald & Rother, Elmar & Tikana, Ladji. (2013). LCA's theory and practice: Like ebony and ivory living in perfect harmony?. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 5-13. [10.1007/s11367-012-0476-x](https://doi.org/10.1007/s11367-012-0476-x).
33. Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
34. Grazulevičiute-Vileniske, I., Viliunas, G., & Daugelaite, A. (2021). The role of aesthetics in building sustainability assessment. *Spatium*, 79-89.
35. Andreucci, M. B., Loder, A., Brown, M., & Brajković, J. (2021). Exploring challenges and opportunities of biophilic urban design: Evidence from research and experimentation. *Sustainability*, 13(8), 4323.
36. Burke, P. (2016). *Hybrid Renaissance: Culture, Language, Architecture*. Central European University Press.
37. Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15.
38. Ciampa, F. (2021). Hybrid processes: technological integration as an actant of the design project. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 249-255. <https://doi.org/10.13128/techne-9844>
39. Ryan, Catherine & Browning, William. (2020). *Biophilic Design*. [10.1007/978-1-0716-0684-1\\_1034](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0684-1_1034).
40. Ludwig, F., Schwertfreger, H., & Storz, O. (2012). Living systems: designing growth in Baubotanik. *Architectural Design*, 82(2), 82-87.
41. McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North point press.
42. Antonelli, P., Hall, P., Aldersey-Williams, H., & Roberts, R. (2008). *Design and the elastic mind*. The Museum of Modern Art.
43. Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering construction materials through prototypological research. *Biometrics*, 4(3), 56.
44. Ruby, A. Proto-Typology. In *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture. City, Technology and Society in the Information Age*; Gausa, M., Guallart, V., Müller, M., Eds.; ACTAR: Barcelona, Spain, 2003; ISBN 978-8495951229. [Google Scholar]
45. Jesus, G. T., & Chagas Jr, M. F. (2018). Integration Readiness levels evaluation and systems architecture: A literature review. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(4), 2374-36.
46. Crosbie, T., Broderick, J., Short, M., Charlesworth, R., & Dawood, M. (2018). Demand response technology readiness levels for energy management in blocks of buildings. *Buildings*, 8(2), 13.
47. Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Architectural technology for environmental design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(1), 48-53. <https://doi.org/10.13128/Techne-9434>
48. Feng, H. & Hewage, K. & Sadiq, R. (2021). Exploring the current challenges and emerging approaches in whole building life cycle assessment. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 49. [10.1139/cjce-2020-0284](https://doi.org/10.1139/cjce-2020-0284).
49. Rasha Mahmoud Ali El-Zeiny, (2018) Biomimicry as a Problem Solving Methodology in Interior Architecture, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Volume 50, Pages 502-512, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.054> (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812031928>)





## Discussione sui temi dell'upcycling alle differenti scale dei processi trasformativi

### *Abstract*

In this chapter, we examine the upcycling design cycle, which provides an argumentative guide for experimentation, assimilates biomimicry concepts, and translates them into innovation processes capable of raising the value of innovative construction systems, components, and materials. The examination explains the contents necessary for the definition of the upcycling project and identifies its two main characteristics that allow the dialogue between process innovation and product design:

- the radically ecological approach of "urban mining" practices;
- the control of material procurement processes, and process innovation which, by returning an increased ecological performance, lighten the environmental load;
- the implementation towards the final architectural expression, as an upcycling project in a cyclical process, where the morphological aspects;
- the physical-technical performances, and the aspects related to the embedded energy of any given formal and technological configuration are interdependent.

The upcycling project, therefore, aims to restore the circularity of resources in the processes related to the production of architecture, transferring it both to systems capable of accommodating components from recycling processes, and to advanced systems of a biological nature to approach an idea radically. ecological project.



### 3.1 Ecologia Radicale: l'estrazione urbana di "nuovi" materiali da costruzione

#### *L'UpCycling alle diverse scale dei processi trasformativi*

I rifiuti hanno assunto un ruolo di primo piano nei processi produttivi a seguito dell'abrogazione della Direttiva quadro europea sui rifiuti [1] (2008/98/CE). C'è stato un graduale spostamento verso la priorità dell'uso razionale delle risorse naturali come materiali, componenti e sistemi generando nuove opportunità di efficienza delle risorse nel settore edile [2]. La CE, secondo il paragrafo 1 e dal *Piano d'Azione per l'Economia Circolare* [3], è principalmente abilitata dalla progettazione del prodotto e dalle politiche che favoriscono il riuso, permette di intervenire in questo settore e ha l'obiettivo di rintracciare queste nuove opportunità. Per mantenere un *metabolismo urbano sostenibile e circolare*, l'industria delle costruzioni deve produrre *continuamente i materiali di cui ha bisogno per evolversi, andando ad attingere alla tecnosfera, senza consumare risorse naturali per farlo* (Fig. 1). Diventa quindi responsabilità di produttori e progettisti creare sistemi efficienti in cui i materiali esistono in stati diversi senza mai diventare rifiuti nel processo di costruzione e trasformazione.

L'implementazione di strategie progettuali che consentano di *"decelerare e restringere i flussi di materiale in questo settore diventerà una pratica comune grazie all'innovazione radicale dei processi di produzione, delle nuove tecniche di costruzione e dei nuovi linguaggi architettonici che incorporeranno l'upcycling, la rigenerazione e il riciclo delle parti che li compongono"* [4].

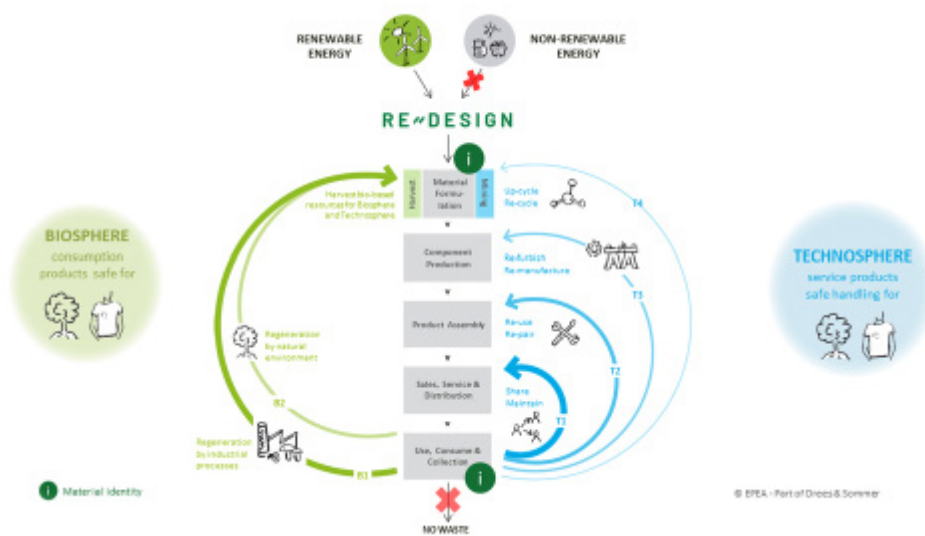


Fig. 1. Biosphere and Technosphere Interactions in re-design (fonte: EPEA)

Gli sforzi in questo senso devono essere orientati nell'adottare un *approccio sistematico* per comprendere la composizione degli edifici, i processi di montaggio e smontaggio, innovandoli quando questi cambiano all'interno di diversi contesti sociali e ambientali. Di conseguenza, i progettisti e le imprese di costruzione dovrebbero avere una chiara comprensione di come i processi circolari gestiscono i flussi dei materiali da costruzione, selezionando nuovi materiali riciclati e riutilizzati e progettandone la trasformazione finale. A questo proposito nella trattazione di Schiaffonati F., Mussinelli E. e Gambaro M. si riscontrano delle indicazioni importanti per quelle che devono essere le traiettorie di ricerca da perseguire, in ambito progettuale, nel settore della *Tecnologia dell'architettura*. Lo studio in questione ripercorre la storia della tecnologia dell'architettura e individua quei riferimenti dai quali non si può prescindere nella prassi della sperimentazione.

"Questo è avvenuto portando ulteriormente avanti un percorso già tracciato da figure quali Eduardo Vittoria, Marco Zanuso e Pierluigi Spadolini, che indicavano una precisa direzione culturale nella concezione dell'habitat, non limitata ai soli aspetti fisico-formali, ma già attenta alle determinazioni immateriali del progetto e orientata a un'idea di sostenibilità ambientale e socio-economica preludio degli attuali approcci della governance ambientale.[...] Un percorso critico di ricerca, poi articolato dagli approfondimenti di numerosi altri docenti di Area Tecnologica, ma in particolare di Salvatore Dierna a Roma e Virginia Gangemi a Napoli, che fa riferimento alle nozioni di «tecnologia alternativa» e di «tecnologia appropriata», già indicate da Vittoria, Zanuso e Spadolini, e al concetto di «riappropriazione progettuale», nella prospettiva di condivisione e partecipazione degli utenti alla trasformazione dell'ambiente, del territorio e della città. Con una visione del progetto come «design», nozione che nella cultura accademica italiana ha finito per assumere la connotazione consumistica e limitativa di «disegno industriale» e che invece, più correttamente, potrebbe essere definita come «design dei servizi» [5].

#### *Radical Ecology*

Il termine "ecologia radicale" si riferisce ad un approccio narrativo che va oltre lo studio dei sistemi ecologici nell'ambiente naturale. L'approccio radicalmente ecologico può essere definito tale quando si considera la natura nella sua interezza in relazione a "modelli più ampi della vita umana, come forme sociali, teorie economiche, pratiche e interessi, storia politica e legislativa, controllo dei media di informazione e comunicazione e filosofie e teleologie sottostanti della civiltà occidentale" [6].

È importante sottolineare come i concetti di *Regenerative Design*<sup>1</sup> [7] ai quali si fa riferimento in questo studio, nella sua interezza, fondino le sue radici all'interno del più ampio contesto teorico della sostenibilità ambientale.

La pratica del *Regenerative Design* diventa quindi un paradigma fondativo, oltre che un'espediente narrativo nella pratica progettuale, e dimostrare come l'approccio radicalmente ecologico possa essere declinato nel design.

Nella definizione di un'approccio alla progettazione "*intrinsecamente ecologico*", che consideri quindi l'*ecologica radicale* come l'aspirazione culturale massima alla quale tendere, ci si riferisce agli studi in ambito del filosofo Timothy Morton, in particolare nella sua trattazione sull'*Ecologia senza natura*, [8] testo che più di altri chiarisce e definisce il concetto di Ecologia Radicale.

In sostanza, il libro di Morton mette le basi per ripensare l'estetica ambientale, ovvero a ripensare le forme di espressione estetica (poesia, arte visiva, musica, scultura, ecc.).

Ma in questo senso lo scopo della trattazione sull'estetica non riguarda affatto la cultura dell'apparire, l'obiettivo è quello di riprendere la figurabilità della natura per riconnetterci con il mondo non umano e con quelli che oggi si considerano "*aspetti perduti della nostra stessa umanità*" [8]. L'idea di legare questo approccio al pensiero filosofico in ambito progettuale nasce da una sua espressione nella quale egli sostiene che "*storicizzando l'idea di 'natura' e riconoscendola come un costruito reale, ma arbitrario, per nulla sacro, siamo in grado di decostruire non solo il concetto stesso, ma anche le pratiche, i concetti, ed esperienze estetiche che lo accompagnano da generazioni* [8].

*Attraverso un insieme di pratiche di progettazione e ingegneria ecologiche localizzate radicate nel contesto e nelle sue narrazioni socio-ecologiche, il paradigma della sostenibilità rigenerativa cerca di ripristinare e rigenerare il sistema socio-ecologico globale*". L'ecologia radicale quindi come paradigma fondativo per un nuovo approccio alla sostenibilità definisce l'indirizzo per lo sviluppo anche di un nuovo approccio alla progettazione, orientata a quello che da tempo definiamo sviluppo sostenibile [9] secondo il un paradigma rigenerativo dei sistemi naturali.

### Estrazione Urbana e definizioni dei "nuovi" materiali da costruzione

La definizione dei processi legati ai nuovi materiali da costruzione tratta la gestione sostenibile delle nuove materie prime seconde, attraverso l'indagine sui processi di City Mining<sup>2</sup>, con il possibile coinvolgimento dell'utenza nei processi di uso, stoccaggio e riutilizzo, verso modelli di consumo sostenibili [9].

Andare a definire i "nuovi" materiali da costruzioni non significa dunque "inventare" dei materiali per l'architettura non ancora presenti né sul mercato né nell'ambito della ricerca sperimentale, ma riferisce sulle "nuove" qualità che possano in futuro rendere i componenti e sistemi costruttivi innovati "atti" (cfr. Cap. 1 nota 9) a mantenere il ciclo chiuso all'interno della tecnosfera (Fig.2) [10].

Questi bacini tecnosferici finora spesso trascurati potrebbero offrire una potenziale opportunità per uno sviluppo più sostenibile, orientando i sistemi alla riduzione di emissioni per far fronte alle cause dei cambiamenti climatici ed offrendo una valida soluzione alla limitata disponibilità di risorse naturali in futuro, attraverso un complemento alla produzione vergine e al riciclo dei flussi di rifiuti annuali per alimentare domanda di mercato [11].

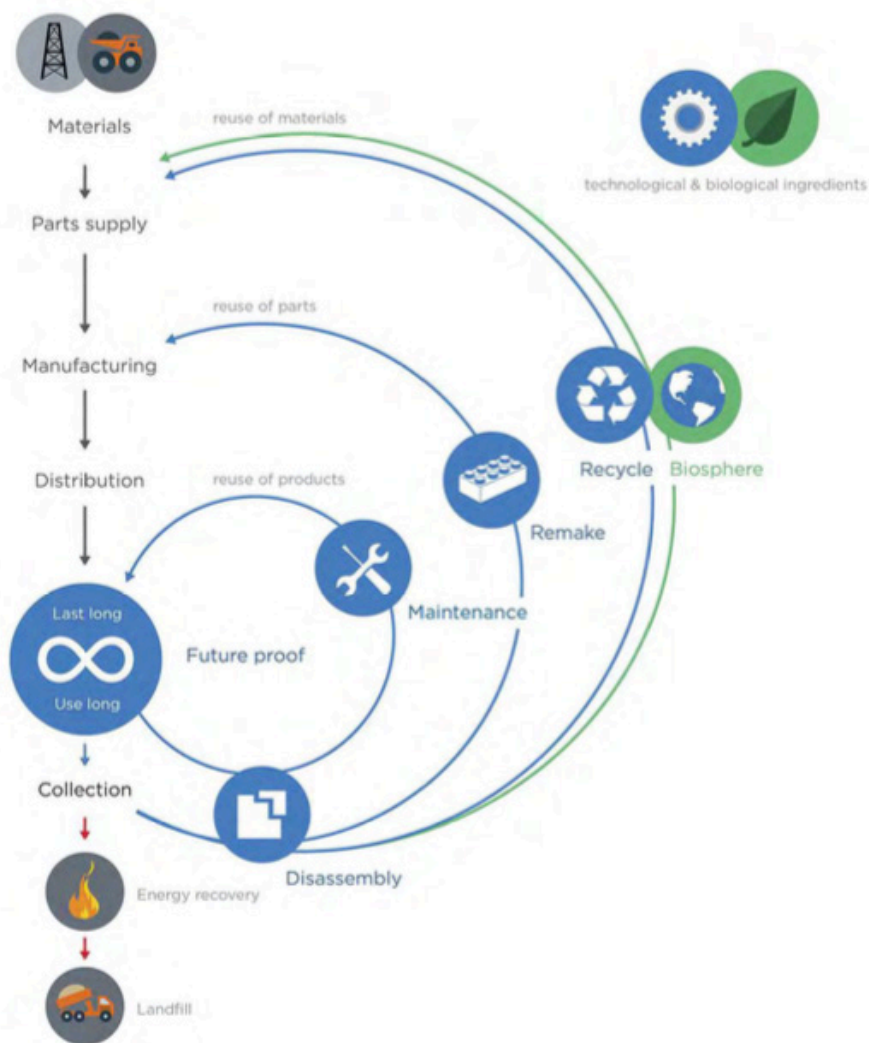


Fig. 3. Circular product design model. (fonte: PLATE)

Quando si tenta di fare un passo avanti nella definizione di Urban Mining si cerca di arricchire la trattazione di argomenti "significanti", in grado di trattare il processo mediante il quale si cerca di aggiungere un vantaggio competitivo nel progetto, all'interno del quale i componenti e gli elementi possono essere recuperati da fonti antropogeniche, inclusi edifici, infrastrutture, industrie, prodotti [12] (sia in uso che fuori uso). Si verifica in questo senso la possibilità che i materiali stoccati diventino risorse già disponibili, con concentrazioni di elementi spesso uguali o superiori a quelle che si trovano attualmente nei depositi naturali. Ma spesso è difficile conciliare le strategie di gestione dei rifiuti necessarie per passare da un modello lineare a uno circolare mantenendo un vantaggio competitivo significativo.

Questo è uno dei motivi per il quale l'attività di estrazione urbana inizialmente si è concentrata sui rifiuti elettrici ed elettronici (RAEE), che contengono concentrazioni relativamente elevate di metalli ed elementi di terre rare, e che esprimono una convenienza notevole, considerando la scarsa disponibilità che oggi troviamo in natura [13].

Sebbene la letteratura originariamente si concentri sui RAEE [14] per i motivi sopra accennati, questo tipo di procedura è sempre più vista come applicabile genericamente a tutti i tipi di rifiuti, e di prodotti riferiti a vari aspetti della vita urbana. Ciò nonostante le marcate differenze tra questi aspetti e le tipologie di rifiuti o di trattamento dei rifiuti, possono essere critiche per la replicabilità dei processi, ad esempio rispetto alla durata di vita dei prodotti e alla loro destinazione d'uso.

L'aspetto superficiale legato agli edifici può far pensare che siano costituiti principalmente da rifiuti compositi, ma questo è solo il risultato di demolizioni indiscriminate che sono comuni da tempo. Varie forme e definizioni di Urban Mining sono oggi discusse. Questo termine è stato ampiamente utilizzato, nella trattazione fin qui descritta, ma viene qui riproposto per descrivere diverse fonti di approvvigionamento di materiale dai flussi di rifiuti generati all'interno dei centri urbani, per la discussione dei quali in letteratura spesso si fa riferimento a metalli presenti nei rifiuti elettrici [15]. Viene spesso sottolineato che gli stock di metalli in uso hanno un potenziale di risorse basato sui futuri flussi di rifiuti, tuttavia, le definizioni che si trovano in letteratura sono vaghe, riferendosi più o meno a qualsiasi recupero di metalli (e altre risorse) da fonti antropogeniche [16].

Non vi è alcun riconoscimento della demolizione selettiva degli edifici, né viene presa in considerazione la struttura dei materiali utilizzati per costruire elementi o componenti edilizi.

Un'eccezione può essere fatta per i componenti dell'involucro edilizio, dove componenti e materiali possono essere facilmente rintracciati per il riuso in prodotti innovati, e possono diventare abbastanza importanti nel caso in cui si intenda applicare i principi legati all'economia circolare in edifici di nuova costruzione che mirano al superamento all'accreditamento con le attuali certificazioni di prestazione ambientale (LEED, EPD, ITACA, C2C)<sup>3</sup>.

#### *Design for Durability*

La durabilità di un edificio o di un componente identifica la sua capacità di fornire una prestazione utile a rispondere alle funzioni per il quale è stato progettato per un tempo dato. Il concetto di durabilità può essere trattato nell'ambito della progettazione sia da una considerazione delle capacità fisico-tecniche, sia valutandone gli aspetti tecnologici. A questo proposito, in ambito disciplinare, con riferimento alla Tecnologia dell'Architettura o al Design di Prodotto, è necessario approfondire il tema della durabilità dei componenti tecnologici e su come la stessa influenza, in fase di esercizio, la durata degli organismi edilizi. La sperimentazione di R. Pollo offre degli spunti importanti sugli sviluppi disciplinari nell'adozione di un metodo per la previsione della durabilità [17]. La procedura proposta ha come obiettivo quello di valutare, anche solo attraverso un approccio semplificato, la durabilità del progetto tecnologico.

Come sostenuto dall'autore: "*L'analisi permette, attraverso l'individuazione del modello funzionale di una parte essenziale del sistema tecnologico, le chiusure esterne verticali opache, di simulare il comportamento in servizio valutandone la durabilità*".

Per la definizione del grado di durabilità il metodo propone di valutare già in fase progettuale diverse alternative, sia in termini di scelte materiche, sia in termini di sistemi costruttivi differenti. Se ne valuta attraverso, la successione di diverse fasi (Fig.4), la probabilità che questi subiscano dei danneggiamenti associati alle condizioni ambientali di contorno, introducendo il concetto di Reliability Analysis<sup>4</sup>, che considera: il fatto che la durata della vita di progetto assegnata sia minore di quella effettiva; la valutazione dei potenziali meccanismi di degradamento e delle loro conseguenze viene condotta mediante le metodologie della FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) e della FTA (Fault Tree Analysis); con lo studio di tutti i fenomeni, atmosferici ed antropici che presi in esame vengono considerati in grado di indurre nel sistema decadimenti delle funzioni. Considerando la letteratura presa in esame, è possibile rilevare come si riportino i casi e i metodi su ciò che accade alle materie prime dopo l'estrazione. Vengono presi in considerazione soprattutto la disponibilità e il miglioramento dei tassi di raccolta, ma meno questioni pratiche e tecniche nella pre elaborazione e nella separazione fisica dall'ambiente [18]. In breve, la letteratura fino ad oggi considerata sembra tenere poco conto dell'efficienza delle risorse [19] in favore del trattamento dei rifiuti dei tipici dei centri urbani, spesso come componente strategica della circolarità o della sostenibilità [20].

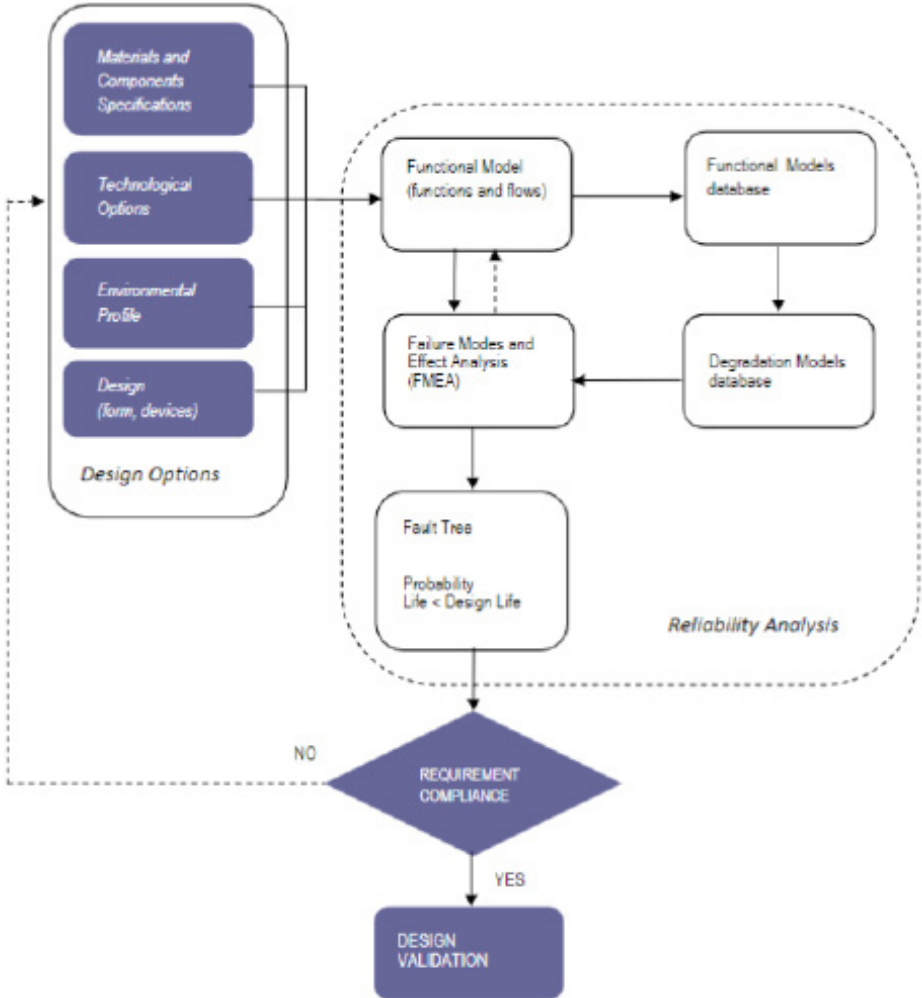


Fig. 4. Reliability Analysis Moedl source: [20]

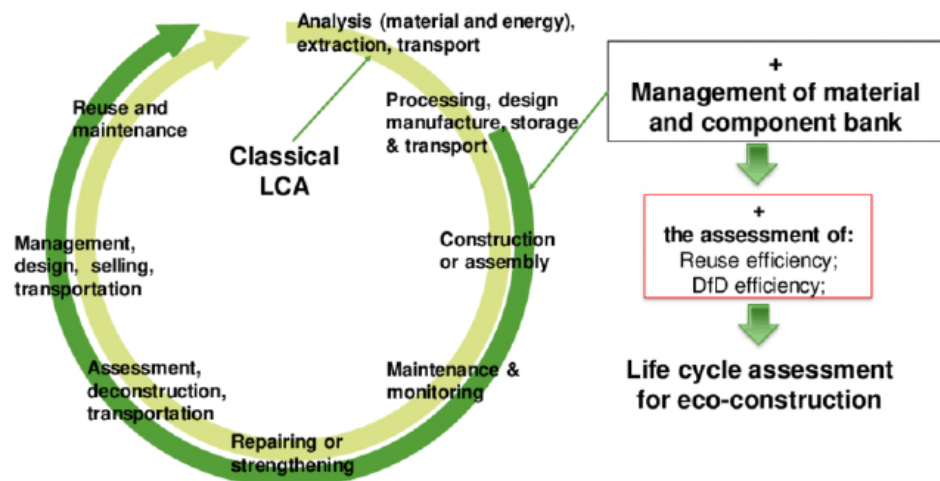
### Design for Disassembly

Il concetto di Design for Disassembly (DfD) è recentemente emerso sul mercato per affrontare la questione della gestione del fine vita dei prodotti, verso una maggiore attenzione nei processi di riutilizzo e riciclo. Grandi quantità di beni di consumo stanno diventando sempre più difficili da smaltire, con conseguente maggiore inquinamento e una diminuzione delle risorse materiali e dell'energia [21]. Per far fronte alle lacune espresse nella difficoltà di riutilizzo, causate dall'impossibilità nella separazione dei materiali di alcuni componenti e sistemi costruttivi, è necessario introdurre il concetto di "Design for Disassembly".

Il raggiungimento di questi grandi obiettivi attraverso il DfD necessita di un approccio olistico che tiene conto in fase progettuale di componenti, materiali, tecniche di costruzione, informazioni e sistemi di gestione, aggiungendo anche la possibilità di minimizzare l'energia inglobata che può essere recuperata da materiali e materiali biodegradabili.

Orientare il progetto tecnologico al recupero dei materiali ha lo scopo di massimizzare il valore ecologico delle parti, e si rifa nelle sue uscite al concetto di Building as a Material Bank (Fig.5).

Fig. 5. Material and component bank and life cycle assessment 674 (fonte: Cai, Gaochuang & Waldmann, Danièle. (2019). A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction)



Gli studi effettuati da Brad Guy and Nicholas Ciarimboli [22] nell'elaborazione di una guida al DfD per la Municipalità della città di Seattle, fissa quelli che sono i dieci principi del DfD, qui di seguito riportati:

1. Documentare materiali e metodi per la decostruzione. Progettare un "piano di decostruzione" nel dettaglio contribuisce ad un efficiente disassemblaggio;
2. Selezionare i materiali secondo il principio di precauzione. Materiali scelti tenendo conto degli impatti futuri;
3. Progettare connessioni fisicamente ed ergonomicamente accessibili aumenta l'efficienza del sistema ed evita l'utilizzo di apparecchiature speciali;
4. Ridurre al minimo o eliminare le connessioni chimiche. Leganti, sigillanti e colle su, o nei materiali, rende difficile separare e riciclare;
5. Utilizzare collegamenti imbullonati, avvitati e inchiodati. L'uso di connettori standard ridurrà le difficoltà nella riparazione;
6. Separare nell'impiantistica le componenti meccaniche, elettriche e idrauliche (MEP);
7. Disticare i sistemi MEP dai componenti che li ospitano facilita la separazione delle componenti e dei materiali per riparazione, sostituzione, riutilizzo e riciclo;
8. Esplicitare in fase di progettazione esecutiva il disassemblaggio a "misura d'uomo".
9. Semplicità di struttura e forma. L'utilizzo di forme semplici e griglie dimensionali standard consentiranno una facile costruzione e decostruzione degli elementi;
10. Intercambiabilità. Utilizzando materiali e sistemi che mostrano principi di modularità, indipendenza e standardizzazione facilita il riutilizzo dell'intero sistema;
10. Decostruzione sicura. Consentire il movimento e la sicurezza dei lavoratori, delle attrezzature e dell'accesso al sito, facilità del flusso di materiali permetterà lavori di ristrutturazione e smontaggio più economico e ridurre il rischio.

### 3.2 Upcycling Design: l'approccio circolare al "reclaim" in architettura

#### 3.2.1 Introduzione al tema: Definizioni generali

##### *Riciclo*

Il riciclo è un modo di gestire i rifiuti ed è una delle possibili soluzioni per il loro trattamento; questa tecnica prevede la reintroduzione del materiale nello stesso ciclo produttivo da cui proviene, attraverso trattamenti e processi che ne consentono il reinserimento come "materia prima seconda" garantendo la stessa qualità delle materie prime. Esistono due principali modalità di riciclo: nella prima, il materiale riciclato può essere riutilizzato negli stessi impianti che utilizzano contemporaneamente materie prime naturali; nel secondo viene invece riutilizzato in diversi impianti, in considerazione della sua differenza con le materie prime naturali.

*"Le azioni che muovono da "recycle" (riciclare) si realizzano prevalentemente alla piccola scala, nel ridisegno dei componenti attraverso il riuso del materiale di scarto o rifiuto, e assumono un valore di grande incidenza ecologica ed economica nel processo realizzativo del manufatto o del sistema che li ri-processa e integra, restituendo una nuova vita e valore d'uso dal componente al sistema stesso" [23].*

Il progetto di un edificio residenziale progettato da Lendager, ovvero la collaborazione tra uno studio di architettura, una società di consulenza aziendale e un fornitore di materiali di Copenaghen, può essere utilizzato come un ottimo esempio di riciclo in architettura (Fig. 6). La società Resource Rows nel quartiere Restad Syd di Copenaghen sta mostrando un nuovo sistema per la raccolta di mattoni - malta e tutto - da vecchi edifici, utilizzando vecchi mattoni per realizzare dei pannelli modulari.



Fig. 6. Resource Rows, Ørestad Syd by Lendager

### Reclaim

Il termine "reclaim" viene usato per descrivere dei processi di recupero in ambito architettonico, nasce nell'ambito delle "ristrutturazioni" industriali. Questo infatti ritorna in letteratura quando si tratta di descrivere progetti che riguardano il recupero di spazi abbandonati, considerati ormai "archeologia industriale".

Lo stesso termine può anche riferirsi al riutilizzo di materiali provenienti da edifici abbandonati che conservano ancora delle qualità tali da permetterne il riutilizzo.

I materiali da costruzione "reclaimed" vengono riciclati per il riutilizzo, invece di essere demoliti insieme all'edificio di cui facevano parte.

Un esempio efficace di reclaim, considerato interscalare, può essere individuato nei processi per il recupero dei container marittimi, è l'esempio realizzato nel nord di Amsterdam; sede dell'NDSM-werf, un'area un tempo importante per l'industria cantieristica olandese. Il porto di Amsterdam ha subito a causa di un progressivo abbandono delle strutture un passaggio dall'utilizzo degli spazi per la logistica internazionale al reclaim attraverso forme creative di produzione, anche NDSM-werf ha iniziato a riflettere la nuova posizione della città.

I componenti ed i materiali hanno favorito questo processo di transizione attraverso il reclaim, nell'autunno del 2011, il direttore artistico Lode van Piggelen ha chiesto a O+A di collaborare all'edizione del 20° anniversario del festival (Fig. 7). L'obiettivo era semplice: utilizzare l'elemento costitutivo del festival, il container, per creare il cuore pulsante dell'evento. Oltre allo spazio centrale dell'ospitalità, i container offrono il contesto per gli spettacoli teatrali.

L'articolazione della narrazione potrebbe far pensare che il "reclaim" si differenzia dal riciclo solo attraverso il fattore della scala. Al contrario del riciclo, i processi di reclaiming richiedono una quantità di dati e informazioni uniche e dettagliate che ne influenzano la quantità di riutilizzo e la destinazione d'uso del materiale recuperato [24].

Questo tipo di processo richiede uno sforzo considerevole nel campo della ricerca nella gestione della filiera dei materiali di riutilizzo. Considerato dai più come una sorta di svantaggio nella diffusione delle pratiche di reclaim, questo può diventare un elemento di vantaggio se si considerano le possibilità di innovazione che possono nascere nel superamento di queste barriere. A sostegno di questo concetto si riprende quanto espresso da C. Nava a riguardo: "I processi di reclaim possono divenire attivatori di sperimentazioni progettuali capaci di mostrare, come si fa con la prototipazione, tutte le possibili varianti di un prodotto di valore, progettato e realizzato a tutte le scale" [23].



Fig. 7. O+A's Recycled Shipping Container Theater Pops Up in Amsterdam's Shipyard

### *UpCycling*

L'Upcycling non è sinonimo di recycling (riciclo), ma una delle interpretazioni maggiormente diffuse per la traduzione di UpCycling è quella di riuso creativo, l'oggetto scartato non trova solo nuova vita, ma lo fa acquistando un maggior valore rispetto all'oggetto o al materiale originario:

"A differenza del riciclo (re-cycling), in cui si riporta indietro un materiale nel suo ciclo di vita alle proprietà originarie, l'up-cycling lo valorizza grazie a un design intelligente che lo rende più interessante a livello economico, estetico ed emotivo", scrive Max McMurdo [25] designer con alle spalle studi sulle pratiche di riuso creativo, nel suo manuale "UPCYCLING, ovvero l'arte del recupero ricco di idee originali".

Nonostante l'upcycling non sia ancora una pratica ampiamente diffusa, rappresenta una strategia efficace per la gestione dei rifiuti, capace di intercettare quei materiali di scarto o rifiuto che provengono da filiere diverse da quelle dell'edilizia. Questo processo contribuisce alla resilienza di sistema nelle catene del valore locali, questi infatti riducono la dipendenza dalle importazioni e ottimizzano il flusso di materiali che circola nella sfera urbana. Il recupero dei materiali provenienti da filiere diverse da quelle dell'edilizia nel settore delle costruzioni può comportare, nelle sue fasi, una riduzione del valore delle sue componenti, questo può risultare svantaggioso sia da un punto di vista materico, sia da un punto di vista tecnologico costruttivo.

L'Abwab Pavilione progettato da Fahed + Architects (Fig. 8), è un esempio iconico dei processi di aumento del valore ecologico nel settore delle costruzioni attraverso il progetto dell'UpCycling.

Come parte dell'impegno assunto nel trattare i temi dell'UpCycling, la struttura è stata realizzata con materiale riciclabile al 100% dall'azienda locale di gestione dei rifiuti, Bee'ah. Questa assomiglia a una forma organica, fluttuante tra gli edifici circostanti, con la sua pelle esterna costituita da reti, recuperate dalle strutture dei vecchi materassi a rete, intrecciate. Una maglia di diverse misure di molle impreziosisce il padiglione, conferendogli una qualità effimera della luce che parla di lusso piuttosto che dell'umile origine dei materiali. Grazie alla sua struttura naturale, lo spazio espositivo assume una sua forza caratterizzante consentendo il passaggio della luce in maniera eterogenea. Il progetto di Fahed + Architects mostra il potenziale per il riutilizzo dei materiali alla fine del loro ciclo di vita per strutture di lusso.

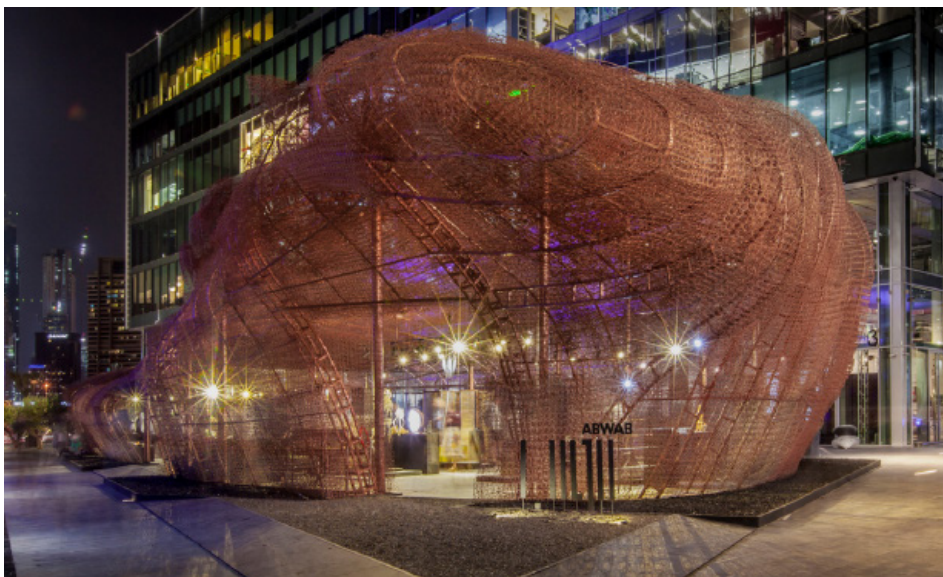


Fig. 8. D3 Abwab Pavilion, Dubai, fahedarchitects.

### *Il rischio del Downcycling*

La ricerca dell'UpCycling porta con sé dei rischi in termini di convenienza ambientale e qualificazione del valore ecologico.

Concettualmente, questa prospettiva è di straordinaria portata, in quanto chiarisce la struttura dei cicli materiali esprimendo le potenzialità in grado di risolvere le criticità del modello circolare [35]. Tuttavia, anche il processo di upcycling può richiedere più energia rispetto a quelli di downcycling, quindi il beneficio ambientale non può essere assunto a priori, ma solo confrontando il processo produttivo con quello di un prodotto simile ottenuto da una risorsa vergine [36]. Allo stesso modo, il downcycling può essere un'opzione con un bilancio ambientale positivo sia quando è antieconomico, sia quando risulta impossibile riportare i materiali alla loro qualità originale, sia quando può essere una soluzione alternativa allo smaltimento dei rifiuti o addirittura per evitare l'uso di risorse vergini.

In assenza di protezione ambientale, è probabile che si verifichino disconformità tra impatti ambientali e circolarità [37] (cfr. Cap. 1.2)<sup>5</sup>. Gli indicatori, tuttavia, questi presentano altri compromessi a causa dei loro limiti. Nonostante sia considerato l'indicatore di circolarità più completo, gli indicatori materici di circolarità (MCI) presenta diversi limiti metodologici, inclusa la sua incapacità di catturare la perdita di qualità del materiale attraverso il riciclo [38].

L'esame di casi studio per strategie e scenari di circolarità specifici che incorporano il downcycling può fornire una migliore comprensione di come questa limitazione influisca sui compromessi tra circolarità e impatti ambientali.

I più tipici esempi di questo processo possono essere rintracciati in progetti che prevedono la trasformazione di bottiglie di plastica in fibre di moquette o pile e successivamente la conversione di tali materiali in macinato di plastica (Fig.9). Con il downcycling, i rifiuti vengono eliminati e vengono realizzati nuovi materiali con meno plastica vergine, il che riduce i costi energetici per la produzione, l'inquinamento, i costi di produzione e la crescita delle discariche.



Fig. 9. Texture recycled PET. (fonte: web)

### 3.2.2 *Innovazione circolare nei processi di reclaim*

L'innovazione nei processi di "reclaim" risulta tale quando viene operata in sistemi capaci di accogliere componenti provenienti da processi di riciclo, senza che se ne comprometta il valore d'uso, mantenendo qualità ecologica e sistemiche di origine [39].

Per adottare un approccio circolare al reclaim nei processi di riutilizzo diventa necessario lo svolgimento di una ricerca che ritorni all'evoluzione di alcuni processi riferiti alla storia delle tecniche costruttive all'interno della cultura tecnologica del progetto riferita ai processi produttivi di filiera e di trasformazione.

Per esempio tecnologie di recupero, con un approccio a-priori, una gestione ottimizzata in fase d'uso, che esprime la circolarità nel trasferimento degli scarti, definendo un valore ecologico che incide sugli impatti ambientali del sistema e della catena produttiva esaminata.

Considerando che il riutilizzo dei materiali da costruzione e il riciclo dei materiali non sono processi nuovi, è necessario sviluppare un processo di innovazione che valorizzi gli aspetti di circolarità dei materiali di recupero e superi le criticità che fino a questo momento ne hanno impedito lo sviluppo e la diffusione<sup>6</sup> [40].

L'approccio introdotto è fondamentalmente diverso dai metodi di progettazione convenzionali che si limitano ad incorporare prodotti e materiali riciclati in un edificio. La costruzione convenzionale prevede che il progettista concepisca gli elementi e i sistemi di un edificio e specifichi i materiali e i componenti necessari per ottenere le prestazioni e la qualità dell'edificio desiderate. I materiali e i componenti adatti a questa applicazione hanno già un mercato consolidato e possono essere facilmente acquistati. I materiali di recupero dovrebbero essere considerati nella loro complessità di approvvigionamento<sup>7</sup> [41].

L'obiettivo dei processi di miglioramento dell'efficienza dei materiali è massimizzare il tasso di riutilizzo di un materiale modificando il materiale o il suo processo di utilizzo. Poiché il materiale può essere utilizzato per un periodo di tempo più lungo, un tasso di utilizzo più elevato riduce la quantità di anidride carbonica prodotta. Ciò riduce il peso ambientale relativo all'energia eliminando la necessità di produrre e utilizzare materie prime costose [42].

Riducendo, riutilizzando e riciclando i materiali durante la produzione, la distribuzione e il consumo, la CE è in grado di veicolare nei processi circolari di reclaim un approccio alla progettazione rigenerativo e generativo.

Quando si sviluppano prodotti CE di prossima generazione, i principi di sostenibilità dovrebbero essere applicati in una fase iniziale del processo di progettazione. Tra questi principi figurano la progettazione avanzata per l'ottimizzazione dei fattori che muovono all'interno del ciclo tecnologico (enfaticizzando il ciclo di vita dei prodotti di servizio), gli aspetti legati all'integrità dei componenti per il ciclo biologico (utilizzando materiali che possono essere biodegradabili attraverso il compostaggio), smontaggio e rimontaggio, estensione della vita del prodotto e prodotti a lunga durata [43].

L'analisi degli indicatori utilizzati per la lettura critica del repertorio costituente lo stato dell'arte (Cfr. Appendice) ha rivelato una distribuzione non uniforme nella misura del livello di innovazione circolare tra gli impatti generati nei processi di reclaim.

Di conseguenza, se ne deduce che gli indicatori considerati per valutare l'influenza dell'ecoinnovazione sui processi di reclaim, hanno un potenziale di impatto elevato, ma la loro misura diventa significativa quando il potenziale di riciclo e reclaim è basso.

In questo caso, l'innovazione dei processi circolari è molto importante per muovere il processo dal riciclo all'UpCycling.

### *Open-platform per l'edilizia sostenibile*

Le piattaforme web basate su cloud rappresentano una delle innovazioni più significative per agevolare l'adozione dei principi della CE su scala globale e per condividere le pratiche di innovazione circolare nei processi re-claim.

Secondo Underwood e Isikdag (2011), il settore edile si sta muovendo verso il cloud computing, incluso il cambio di modello di consumo verso l'utilizzo dei software come servizio (SaaS), la piattaforma come servizio (PaaS) e l'infrastruttura come servizio (IaaS). A loro avviso, mettere tutte le informazioni del progetto in un data center virtuale, fornito come servizio, fornirà al settore edile molti vantaggi [44]. In CE, dove tutti i cicli di vita delle risorse e dei materiali devono essere considerati e gestiti, le tecnologie cloud sono spesso scelte per le loro capacità ad alte prestazioni (tempo di attività), accessibilità e scalabilità [45].

In relazione ai prodotti e alle opere di prototipazione riferite al modello Advanced Design, la gestione delle informazioni, delle specifiche e delle future trasformazioni, in ambito tecnologico-ambientale, deve essere sempre affidata ad una piattaforma aperta.

Questo tipo di approccio operativo pone la piattaforma come uno strumento avanzato di assistenza progettuale, che le consente di operare una corretta gestione delle informazioni per restituirle, in forma aperta, nel contesto fisico-digitale di riferimento (dal concept alla realtà).

*"L'infrastruttura digitale, la produttività, le differenti scale di produzione, la sostenibilità, la qualità e la sicurezza insieme. Tali requisiti quando vengono mutati in "attesa di prestazioni tecniche" con riferimento ad un componente edilizio [...], non possono che ibridarsi e integrarsi con le capacità di tale prodotti di esprimere qualità e funzionamenti energeticamente efficienti, in regime di transizioni" [23].*

Le OpenPlatform dedicate alla gestione dei dati in condivisione affidano alla gestione collaborativa la "prototipologia" dei componenti industriali, orientando lo sviluppo sperimentale verso un approccio di tipo "data-driven".

La struttura della piattaforma aperta prevede la costruzione di un tipo di architettura digitale le cui sezioni consentono processi di gestione delle informazioni in ambito digitale e introducono il sistema dati nella progettazione operata nel contesto fisico (Fig. 10).

Quindi la piattaforma aperta funge da strumento di mediazione e trasferimento nel rapporto industria-progettista, ai fini della progettazione e gestione sostenibile finalizzata alla realizzazione del prototipo-sistema-dispositivo con tecniche e tecnologie Off-Site. L'accessibilità garantita in maniera trasversale ad ogni livello di progettazione, produzione e gestione del componente innovativo, permette di definire una prototipologia innovata in un sistema in continua implementazione.

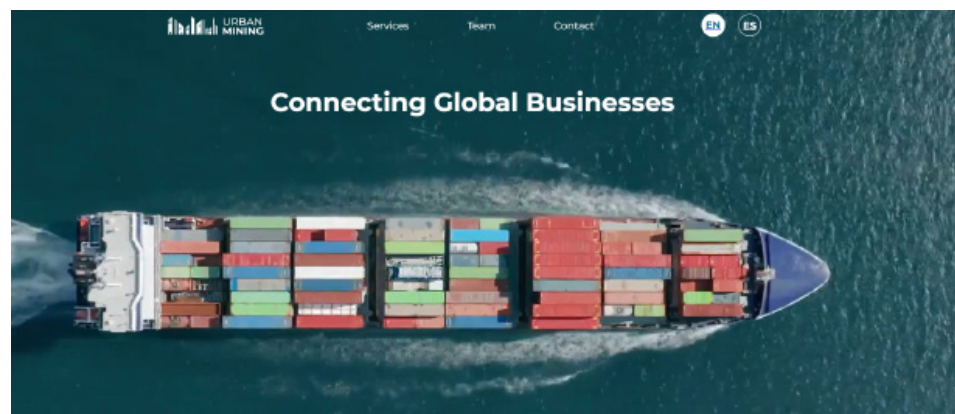


Fig. 10. <https://www.u-mining.com/>

### 3.3 Exaptation tecnologica in architettura: il progetto della cooptazione dei componenti tecnologici

L'utilizzo di "tecniche, tecnologie e progetti" che operano in up-cycling su risorse provenienti da scarti o rifiuti, per aumentarne il loro valore ecologico [47], interviene sullo sviluppo degli attributi prestazionali e sui vantaggi degli strumenti di progettazione computazionale.

Le ricerche condotte in ambito multidisciplinare all'interno del centro di ricerca ABITALab chiariscono gli aspetti fisico-tecnici legati all'innovazione bioecologica degli edifici per la valutazione degli aspetti prestazionali<sup>8</sup>.

L'assenza di riferimenti disciplinari che affrontino complessivamente questi fenomeni implica la ricerca di casi studio e progetti esemplificativi in diversi ambiti disciplinari, riferendoci a quanto espresso nelle definizioni di "paradigma radicale bioecologico"<sup>9</sup> declinato da C. Nava ed A. Melis, attraverso cui la ricerca di valore, nelle esperienze sperimentali positive, permette di misurare l'azione innovativa che gli stessi operano nei processi di transizione ecologica.

Da questi si riprende "il termine "valore", che nella loro elaborazione si riferisce alla misura "non comune" di una dote o di una capacità, di un'abilità. Il suo sinonimo economico, si riferisce al termine prezzo, quotazione o pregio, ma anche alla sua locuzione come "valore aggiunto", quale incremento dovuto alla trasformazione. Il "valore ecologico" è l'insieme delle caratteristiche che determina il pregio naturale di un determinato biotopo, esso determina la priorità di conservazione del biotopo stesso" [47].

La sintesi teorica del concetto di Exaptation in letteratura può essere rintracciata nella "tassonomia della fitness" proposta da Gould e Vrba illustrata in figura 11. Ci sono due componenti fondamentali dell'adattamento: adattamento ed exaptation [48].

Esistono due tipi di exaptation: preaptation, che implica l'utilizzo di un adattamento esistente per un nuovo scopo (ad esempio, piume per il volo) e nonaptation, che implica l'utilizzo di una funzione che in precedenza non era utile. Un nonaptation può anche essere spazzatura correlata casualmente (come crani non suturati) o pennacchi causalmente correlati (come il DNA ripetitivo) [49].

Exaptive Pool		Biological Evolution		Technological Evolution	
		Definition	Example	Definition	Example
Preaptation		A feature previously shaped by natural selection for a particular function that is later co-opted for a new use	Initially, bird feathers evolved to provide thermal insulation and only later were co-opted for flight.	Technologies currently in use that are repurposed for a different use	Corning repurposed its knowledge in glass for fiber optics
Nonaptation	Spandrels	Nonaptive byproducts because of causal correlation with features contributing to fitness	Mammalian brain sutures	Neutral byproducts	Vitrification, a process for transforming materials into glass
	Junk	Nonaptive byproducts because of fortuitous correlation with features contributing to fitness	Repetitive DNA	Toxic byproducts	Co-option of residue from coal-fired factories that could be broken down into a purple dye called "mauve"
				Materials and knowledge that just lies around	The "glue that did not glue" and paper that were co-opted to create Post-it Notes

Fig. 11. Technological Exaptation: A Narrative Approach. Table of Exaptation Taxonomy: Biological and Technological 20

Si riporta quindi un esempio di esattazione tecnologica [50] che può in questo senso interpretare il processo sopra citato, ovvero lo studio sulle tecnologie per il cosiddetto “sequestro permanente” di CO<sub>2</sub>, come obiettivo rispetto le qualità che esprimerà il prototipo realizzato in fase sperimentale.

Tale approccio è stato sperimentato dalla società svizzera “Climeworks” nella realizzazione del più grande impianto di cattura e stoccaggio diretto della CO<sub>2</sub> in Islanda.

Chiamato Orca (Fig. 12), l’impianto di trattamento aspira l’anidride carbonica direttamente dall’aria ed avvia un processo di trasformazione che la trasforma in rocce nel sottosuolo, utilizzando la tecnologia del partner islandese di Climeworks, Carbfix. Orca ha la capacità di rimuovere 4.000 tonnellate di anidride carbonica dall’atmosfera ogni anno. L’impianto di Orca si trova a Hellisheidi, in Islanda, adiacente alla centrale geotermica della compagnia energetica islandese ON Power, ed è interamente alimentato da questa energia rinnovabile. Climeworks afferma di essere il “primo e più grande impianto al mondo di cattura e stoccaggio diretto dell’aria positiva per il clima” che rende la cattura del carbonio atmosferico su scala industriale un qualcosa di concreto.

Lo studio in questione invita a riflettere sulle possibili applicazioni da “significare” nel rapporto tra natura ed ambiente costruito. Risposte complementari in questo senso devono sicuramente assorbire i risultati ottenuti nelle sperimentazioni che riguardano nuovi modelli di consumo[49], che contemplano considerazioni di diverso genere nelle valutazioni progettuali. Quindi, l’apertura alla multidisciplinarietà delle nuove strategie di progettazione che accolgono la complessità dei sistemi naturali come la progettazione rigenerativa e la biomimesi [50] abilitando nuovi modi di affrontare le configurazioni materiali, attraverso l’innovazione sull’Advance Manufacturing e l’interazione con i sistemi biologici di natura materica [51].



Fig. 12. Orca CO<sub>2</sub> Stacking Plant (fonte: deezen.com)

La possibilità di un'architettura intrinsecamente ecologica che guarda all'interazione con il mondo della biologia alimenta il dibattito mondiale sia per disceterne dell'influenza gli aspetti fisici sia sulla configurazione morfologica, in un momento di crisi ambientali come quella in corso. Il rapporto tra biologia e architettura è stato esplorato ed ampiamente approfondito nella trattazione su biomimetica e bioarchitettura (Cap.2.3), ma necessita di un ulteriore sforzo per assumere nella transizione ecologica quei meccanismi evolutivi che traducano l'exaptation in un processo progettuale.

L'exaptation, che viene definita come il meccanismo indeterministico della selezione naturale, è una delle scoperte più significative della biologia che siano mai state fatte, e in cui l'architettura è stata considerata la metafora ideale per spiegare questo meccanismo.

In questo senso l'esperienza di A. Melis nella definizione di Spandrel chiarisce ogni dubbio in merito alle relazioni scaturite in questo ambito.

*"Tra gli anni Sessanta e i Duemila alcuni biologi hanno inteso sfidare ed estendere la tassonomia tradizionale sull'adattamento evidenziando che, in natura, esistono strutture senza funzioni e in grado di acquisire nuove funzioni. Queste strutture, si chiamano 'spandrel' e costituiscono un serbatoio di resilienza (cioè di possibilità) indispensabile quando le condizioni ambientali mutano rapidamente ed imprevedibilmente. Abbiamo quindi trattato le strutture della precedente mostra come 'spandrel'. Ogni installazione, lungo il percorso, è progettata per rispondere ad un determinato programma funzionale, e, allo stesso tempo, e le sue forme (come in biologia gli organismi) devono essere caratterizzate da diversità, variabilità e ridondanza tali, da consentire l'adattamento a condizioni ambientali imprevedibili.*

*L'installazione che si chiama Spandrel, per esempio, era inizialmente pensata come un albero artificiale che prendeva in prestito, per il tronco, la coda xenomorfica di Alien. Le sfere che simulavano le sue uova, grazie al controllo dell'umidità e della luce, al loro interno, sono poi diventate una banca del seme di specie alimentari che provengono dalla collezione dell'Orto Botanico di Padova, il più antico del mondo (Fig.13) [49].*

Lo scopo di questa trattazione si pone come completamento dei concetti di architettura ibrida (Cap.2.3) per introdurre i concetti necessari a comprendere le tendenze evolutive del design e della progettazione in chiave sostenibile", verso l'UpCycling, come approccio capace di "Progettare le prestazioni".



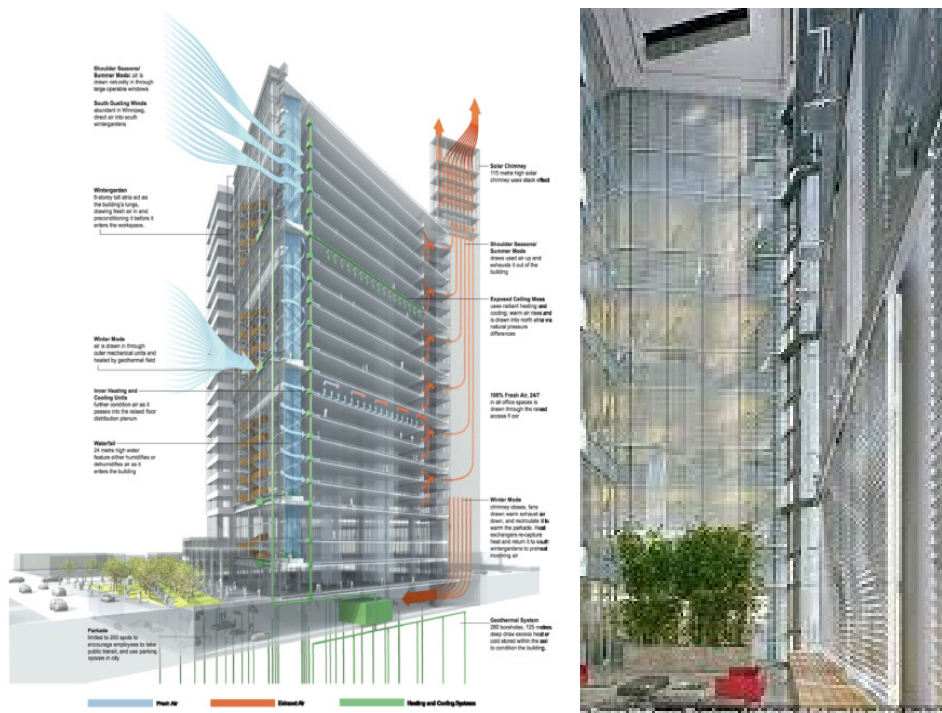
Fig. 13. Spandrel by Alessandro Melis e Telmo Pievani, Resilient Communities, Italian Pavilion, 17 Biennale di Architettura di Venezia.

### 3.4 Il progetto dell'upcycling per l'aumento della prestazione ecologica ed energetica dei componenti di sistemi tecnologici di frontiera

L'aumento della prestazione ecologica e energetica di componenti si realizza nella gestione circolare dei materiali da costruzione che producono "sistemi ad alte prestazioni". Quando questi si confrontano con il tema della frontiera, quindi dello spazio liminale che definisce le prestazioni dell'organismo edilizio, la questione coinvolge una progettazione digitale del modello e la sua configurazione prototipologica. Questo approccio è chiamato infatti ad ottimizzare sia gli aspetti tecnologico-morfologici, sia le prestazioni energetico-ambientali, attraversando tutte le fasi della sperimentazione progettuale. Il Manitoba Hydro Place è forse l'esempio più recente di un uso altamente articolato di spazi architettonicamente significativi per sostituire sistemi ingegneristici altamente inefficienti e inadeguati. Gli architetti Bruce Kuwabara e Thomas Auer di Transsolar a Stoccarda, insieme agli architetti esecutivi Smith Carter a Winnipeg, hanno completato la struttura nel 2010. Due torri di 20 piani ospitano uffici per i dipendenti dei servizi pubblici e due livelli del piano terra sono aperti al pubblico, aggiungendo al carattere urbano della strada. In virtù del nome del team di "progettazione integrata", le facciate occidentale e orientale sono dotate di facciate "biodinamiche" a doppia pelle. L'intercapedine pavimento-pavimento, oltre a fungere da tampone termico, ha una profondità di circa 30 cm. Gli occupanti sono incoraggiati a temperare il microambiente nella loro area di lavoro, gli utenti sono incoraggiati a utilizzare pannelli operabili all'interno della pelle interna dell'IGU, mentre i pannelli di ventilazione sulla pelle esterna a vetrata singola sono controllati da un sistema di automazione dell'edificio principale (Fig. 14 sx).

In questo progetto, tuttavia, l'invenzione particolare che lo rende un nuovo prototipo per la progettazione di involucri multipiano ad alte prestazioni è l'uso di nove atri separati per incanalare l'aria fresca in tutto l'edificio (Fig. 14 dx). Una soluzione che superando la tipologia crea un nuovo sistema, indipendente che ammette le prestazioni fisico-ambientali.

Fig. 14. Da sx a dx:  
Manitoba Hydro by  
Transsolar—Systems  
Diagram by Brian  
Christie Design;  
Manitoba Hydro Place,  
South facing Atrium  
(fonte: Courtesy Terri  
Boake, University of  
Waterloo)



Ma nella trattazione che seguirà i capitoli successivi non ci si vuole limitare esclusivamente alla discussione degli aspetti fisico-tecnici dello spazio liminale, si intende far riferimento, in aggiunta, nelle scelte progettuali a prodotti e materiali valutati dall'applicazione della metodologia LCA consente di orientare il progetto verso soluzioni tecnologiche e strategie sostenibili.

L'utilizzo di materie prime-secondo permette di realizzare il cambio di paradigma nell'utilizzo delle risorse mutate in prodotto come servizio. Questo tipo di approccio genera un nuovo modello di consumo basato sul riutilizzo di risorse provenienti da riciclo o UpCycling di rifiuti e/o materiali di scarto.

L'estensione del ciclo di vita attraverso il riutilizzo, la riparazione e l'upcycling è reso possibile dalla progettazione di prodotti capaci di ottimizzare nel fine vita i loro output come prodotti di riutilizzo e sottoprodotti

L'UpCycling design traduce nella pratica sperimentale quelle qualità ambientali che permettono la cooptazione delle componenti, quindi l'evoluzione dei sistemi abilitati ad aumentare il loro valore ambientale, misurando l'innovazione nella capacità del progetto tecnologico di restituire, aumentandola, un'alta e complessa prestazione ecologica.

Le esperienze che emergono dalla lettura dei casi di studio diventano necessarie per riconoscere tutte le capacità delle tecnologie abilitanti del processo, che innovano il progetto dell'UpCycling, ma è anche utile per evidenziare le lacune e le carenze del settore in generale.

L'indagine e la pratica delle funzioni tecnologiche che influenzano le prestazioni nella fase di progettazione, per la maggior parte, riguarda gli aspetti legati alla realizzazione con l'utilizzo di tecniche di simulazione e di fabbricazione digitale, che operano una gestione evolutiva nella fase d'uso (Responsive Consumption) e ottimizzare lo smaltimento dei componenti edilizi riutilizzabili (Advanced Disassembling) [53] (Fig. 15).



Fig. 15.- Modello per la gestione evolutiva nella fase d'uso (Responsive Consumption) e ottimizzare lo smaltimento dei componenti edilizi riutilizzabili (Advanced Disassembling)

Con l'avvio del Piano d'Azione per l'Economia Circolare nel 2015, [29] la transizione verso l'economia circolare è stata progressivamente rafforzata, con obiettivi prioritari quali:

(1) la conservazione delle risorse naturali e dell'energia in modo prudente e razionale; (2) la preservazione di materiali, componenti e sistemi al loro valore più alto il più a lungo possibile; (3) la riduzione della produzione di rifiuti durante i processi produttivi.

In questo senso si intende anche offrire una risposta alla quantità significativa di residuo generato durante e dopo la fase di utilizzo di un edificio (rifiuti da demolizione) [30].

È indispensabile in fase di UpCycling aggiungere a questi i materiali di rifiuto o scarto provenienti da filiere diverse da quelle dell'edilizia tradizionale. Per valorizzare appieno i materiali preesistenti residui, ad essi deve essere assegnato l'apposito codice identificativo secondo

le vigenti normative di settore (classificandoli se necessario come rifiuto), quindi trattati secondo le loro caratteristiche fisiche, conservazione stato e prestazioni tecniche residue [32]. Molti esperti del settore considerano il riciclo un processo di riduzione del valore degli originali, secondo altri, il riciclo non riduce il valore solo quando si considera il punto di vista del rapporto costo-efficacia e della riduzione degli impatti ambientali [33].

Con l'aumento del valore dei rifiuti, si intende replicare l'efficienza e la circolarità dei cicli biologici anche nei cicli tecnici<sup>10</sup> [34].

L'approccio basato sulla "performance"<sup>11</sup> approfondisce le relazioni che il progetto sperimentale intraprende con l'ambiente fisico, focalizzando lo studio sugli aspetti relativi agli attributi prestazionali, riferiti a parametri quantificabili che possono influenzare sia la qualità dell'ambiente, quando intervengono sull'aspetto prestazionale dell'edificio, sia su quella prestazionale dell'edificio, sia sulla misurazione e sulla visualizzazione degli impatti [54].

Per qualsiasi altra considerazione, si deve assumere il cambio di paradigma dovuto alla crescente tendenza a utilizzare i componenti di Grasshopper invece di utilizzare un unico software di simulazione comune nel campo della progettazione.

Di conseguenza, questi potranno favorire la progettazioni di componenti e sistemi per l'architettura di frontiera, che potranno essere riciclati e convertiti secondo le prestazioni del'UpCycling.

Secondo l'evoluzione del processo, si punterà allo sviluppo di un framework teorico concettuale, che incorpora le implicazioni della sostenibilità nel campo degli aspetti tecnologici del design architettonico nella sua concezione più ampia, per promuovere l'economia circolare nel design UpCycling attraverso un cambiamento radicale nell'evoluzione del design.

In modo analogo sarà condotta la sperimentazione sull'UpCycling utilizzando strumenti parametrici per la trasmissione delle conoscenze scientifiche in una metodologia pratica per migliorare gli aspetti di circolarità [26].

Nonostante l'analisi documentale effettuata, un riferimento più valido viene specificato per l'UpCycling Design. Il livello di innovazione va ben oltre quanto specificamente pianificabile dal solo miglioramento tecnologico. Questa metodologia tiene conto di una serie di agenti coinvolti nei processi di costruzione e progettazione architettonica e urbana intrapresi, definendo le connessioni tra di loro e i contributi che possono apportare in termini di conoscenza. Amir Rashid, il concetto di economia circolare *"viene sempre più considerato come una soluzione per una serie di sfide come la produzione di rifiuti, la scarsità di risorse e la sostenibilità economica"*. La circolarità, tuttavia, non è un concetto nuovo.

*"Il riutilizzo, la rigenerazione e il riciclaggio sono stati esempi di attività legate alla circolarità che sono state stimolate in passato da circostanze e motivazioni particolari"* [27].

Anche la produzione edilizia si sta evolvendo verso processi circolari. Le prime strategie di progettazione architettonica rigenerativa sono state sviluppate negli anni '70, quando i sistemi industriali e la prefabbricazione degli edifici erano le strategie primarie di crescita del paesaggio [28].

In quest'ottica è l'intento anche di questo lavoro, che si intende proporre uno strumento per una rapida transizione digitale ed ecologica, attraverso il quale si possano superare le difficoltà e colmare le lacune legate alla mancanza di inclusività degli strumenti di simulazione nei sistemi ibridi con un sistema integrato nelle seguenti componenti prototipologiche:

- l'approccio "nature based" al progetto avanzato che raccoglie le esperienze che imitano i processi naturali, e si preparano all'evoluzione morfologica e prestazionale in tutto il loro ciclo di vita;
- gli aspetti evolutivi del sistema, elemento cardine nella caratterizzazione dei processi di upcycling, ovvero la capacità offerta dal sistema nella sperimentazione disciplinare nell'ambito della cultura tecnologica del progetto ambientale, della ricerca di frontiera nel settore, declinando il paradigma dell'economia circolare in architettura.

### *Appendice 3: Repertorio dei casi di Upcycling Design/Reclaim in Architettura*

L'upcycling aumenta la produttività delle risorse e accelera il progresso dell'economia circolare. Inoltre, l'upcycling mitiga il cambiamento climatico riducendo la necessità di nuovi materiali nelle merci.

I risultati della ricerca, le teorie e le pratiche sull'upcycling nel mondo sono presentati nell'appendice che segue riprendendo, dall'apparato teorico definito nell'articolazione dei capitoli fin qui svolti definizioni, forme, progetti ed esperienze di upcycling attraverso settori e scale di diversa natura.

L'upcycling aumenta la produttività delle risorse e accelera il progresso dell'economia circolare, inoltre, permette di mitigare gli effetti del cambiamento climatico riducendo la necessità di estrarre nuovi materiali vergini.

Insieme, i casi studio presentati nella loro rilettura critica coprono un'ampia gamma di argomenti come l'upcycling orientato alla produzione di componenti per l'edilizia, la progettazione circolare per l'upcycling di nuovi sistemi costruttivi, questi definiscono il ruolo del design nella ricerca sull'upcycling.

Il contributo alla letteratura sull'upcycling viene evidenziato in tutti progetti presi ad esame nella relazione pratica tra design e upcycling.

Vengono individuate dunque le cosiddette pratiche di "rivalutazione del rifiuto" promosse e sviluppate sia dai produttori industriali che dai designer di nicchia che contribuiscono a definire il livello di frontiera della ricerca sperimentale, trasferita nel campo dell'architettura e dell'edilizia sostenibile.

Gli aspetti rilevanti della sostenibilità del prodotto riguardano la riparazione, il riutilizzo, la progettazione per lo smontaggio e il riciclaggio.

I casi studio scelti nell'articolazione della catalogazione hanno portato alla rilettura categorizzata secondo tre diversi aspetti: tra forma e Up-Cycling; tra Up-Cycling e Struttura; tra Up-Cycling e Prestazione.

## UpCycling Shaping

UpCycling Shaping: Tra Forma e Struttura, come capacità di avere un sistema autoportante assolutamente svincolato da requisiti di resistenza e stabilità dal contesto in cui è applicato.

## UpCycling Product

La capacità di utilizzare materie ibride ed innovative, ovvero nell'analisi di tutte le caratteristiche che definiscono la qualità del prodotto, i suoi attributi innovativi che all'interno del processo circolare qualificano il progetto in Up-Cycling.

## UpCycling Performance

UpCycling Performance: Tra Forma e Prestazione, con riferimento alle prestazioni di tipo energetico ambientale, e nella capacità di assorbire ed integrare altri componenti per elevare la qualità delle prestazioni innescando processi di simbiosi industriale per l'Up-Cycling.

## Indici Prestazionali per la lettura critica del Repertorio

### *(1) innovazione nei processi di trasformazione*

L'energia primaria rappresenta l'energia richiesta per modificare la forma e le proprietà del materiale in un processo di stampa, può anche essere considerata come energia di stampa intrinseca o diretta.

In FDM, è l'energia essenziale per riscaldare i materiali termoplastici oltre la loro temperatura di transizione vetrosa per fondere il materiale. Questa è la componente energetica di base, dipendente dal materiale.

Per il materiale cristallino o la miscela eutettica, che ha una temperatura fissa nella fase di fusione (punto di fusione), questa parte è costituita da due sottocomponenti, ovvero l'energia di riscaldamento  $Q_{heating}$  e l'energia di fusione  $Q_{melting}$ . Possono essere calcolati come:

$$Q_{heating} = 1000 \times c \times m \times \Delta T$$

$Q$  = energia di riscaldamento (J),

capacità termica specifica = (kJ/kg °C),

massa del materiale = (kg)

$\Delta T$  differenza di temperatura = (°C).

$$Q_{melting} = qm$$

dove  $Q$  energia di fusione = (J),

$q$  entalpia di fusione = (J/kg).

### *(2) Caratteristiche tecnico-produttive*

In questa sezione viene descritta Macchina applicata nella sperimentazione, su cui, gli esemplari sono stati stampati e le sue specifiche tecniche:

Modello:

Volume desktop: -

Volume di costruzione: .-

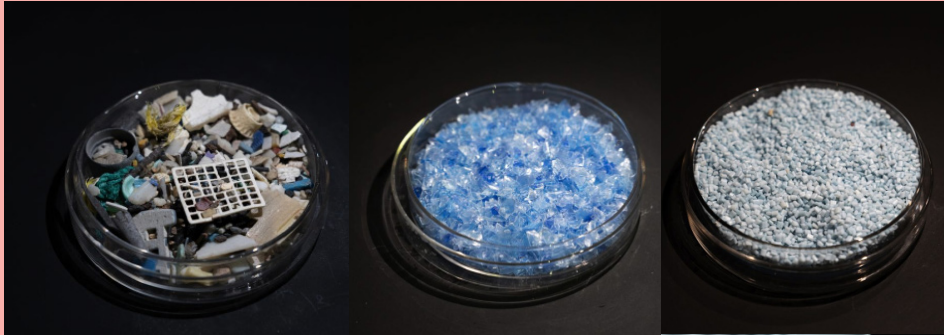
Velocità di stampa: -

Diametro ugello: -

Temperatura di stampa: -

Altezza strato: -

Proprietà del filamento / pellet / liquido: -



Plasticity  
Nicolò Casas  
Italian Pavilion, 17th International Architecture Exhibition

La scultura Plasticity mostra come i rifiuti di plastica raccolti dagli oceani e dalle spiagge possono essere riciclati sfruttando il suo potenziale attraverso l'uso della stampa 3D.

Con il termine Plasticity si evidenziano trasformazione e conversione. La deformazione è il processo mediante il quale un materiale subisce modifiche permanenti e acquisisce nuove proprietà e forme. La plasticità può essere interpretata come capacità di un materiale di acquisire nuove caratteristiche e dimensioni spaziali attraverso un processo di ridefinizione identitaria. Il sincretismo di plastica e sostenibilità può anche essere visto come Plasticità, che si riferisce al riutilizzo e alla conversione della plastica già pronta.

Una formazione organica e libera evocata dalla scultura, è contrastata da una texture lineare e geometrica che evidenzia l'esperienza tecnologica.

Superando l'idea statica di un progetto architettonico, la scultura plasticity si pone come manifesto del cambiamento. L'architettura così espressa attiva i processi circolari, utilizzando i detriti di plastica intercettati dagli oceani, questa installazione si trasforma in costrutti architettonici d'avanguardia che attivano un messaggio di protezione degli oceani.

Oltre 30 paesi sono coinvolti nella collaborazione globale di Parley per combattere l'inquinamento marino da plastica, i cambiamenti climatici e la pesca eccessiva.

In partnership con Parley for the Oceans, Casas si impegna a mostrare come l'architettura possa ispirare un'economia circolare che lavori in armonia con l'ecosistema in modo che l'umanità possa sopravvivere.

Con Plasticity, le tecnologie digitali trasformano plastiche dannose e indistruttibili in costruzioni architettoniche leggere e complesse capaci di generare nuove articolazioni spaziali e azioni ecologicamente significative.

[US-1]

## UpCycling Architecture

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

$$Q_{\text{heating}} = 1000 \times 1.05 \times 9,9 \text{ kgxm}^3 \times 220 \text{ C}^\circ = 2.286.900 \text{ Jxm}^3$$

$$Q_{\text{melting}} = 9900 \text{ gxm}^3 \times 42.83 \text{ J/g} = 424017 \text{ Jxm}^3$$

(2) *Caratteristiche tecnico-produttive*

Modello: WASP 3MT  
Volume di costruzione: .1000 x h 1000 mm  
Velocità di stampa: -  
Diametro ugello: 3 mm  
Temperatura di stampa:-  
Altezza strato: 2 mm  
Proprietà del filamento: Parley PLA

*Project Data*

*Building System:*

*3.6 meters high*

*Material:*

*Ocean Plastic by Parley*

*L'utilizzo del Materiale Ocean Plastic avviene tramite stampa 3D a pellet. Viene utilizzato in sostituzione di plastica vergine nella realizzazione dei pellet per la stampa 3D utilizzando materia prima recuperata dagli oceani. principalmente bottiglie in PET.*

**Project credits:**

*Design Team:*

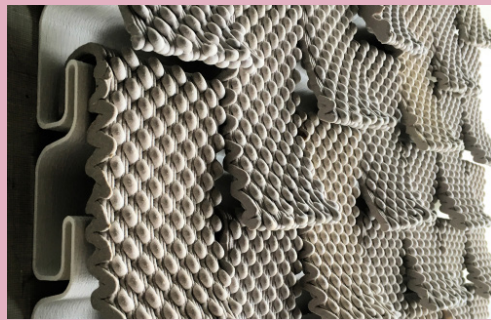
*Niccolo Casas Architecture*

*Research Partner:*

*Parley for the Oceans*

*Robotic 3D printing manufacturer:*

*Nagami*



The 3D-printed Cabin of Curiosities  
Emerging Objects  
Oakland CA, USA

Situata a Oakland, questa cabina stampata in 3D da oggetti emergenti apre nuovi orizzonti in alloggi sostenibili e personalizzati.

La facciata utilizza Planter Tiles in una varietà di forme e materiali per creare un muro vivente di piante grasse che prosperano nel clima della California settentrionale.

Un sistema di protezione antipioggia in ceramica stampata in 3D di tegole semicucite copre il tetto e le facciate adiacenti al timpano. È possibile appendere le piastrelle Seed Stitch sulla facciata di un edificio o all'interno grazie al loro facile montaggio. Ogni piastrella di ceramica ha una superficie che ricorda una tecnica di lavorazione a maglia.

Tutti i componenti sono realizzati con rifiuti naturali o riciclati. I materiali che hanno studiato finora includono ceramica, segatura, bucce d'uva Chardonnay riciclate e bioplastiche a base di mais.

L'esterno è rivestito in un totale di 4.500 piastrelle di due tipi. sul tetto e sulle pareti adiacenti, le piastrelle in ceramica "seed stitch" stampate in 3D fungono da schermo antipioggia. Utilizzando un codice G per controllare ogni linea di argilla mentre veniva stampata, lo studio ha creato una trama ad anello in cui, a causa di errori marginali della macchina e del comportamento del materiale, ogni piastrella è unica. sulla facciata anteriore, le piastrelle della fioriera offrono tasche per la crescita delle piante grasse, formando un muro vivente di verde che fonde la cabina con l'ambiente circostante.

Il codice G viene utilizzato per controllare ogni linea di argilla poiché è stampata in 3D per creare una trama ad anello che sembra semi sparsi sulla superficie.

Il chroma curl wall, una superficie di plastica traslucida a base biologica derivata dal mais, copre le pareti interne. la tappezzeria è illuminata da luci cangianti che inondano l'interno di giocose sfumature di luce. per la costruzione, gli oggetti emergenti utilizzavano solo materiali sostenibili, tra cui segatura, bucce d'uva chardonnay e ceramica, derivati da fonti naturali o riciclate. la cabina è modulare, consentendo agli utenti di sostituire le parti secondo necessità.

[UP-1]

UpCycling Architecture

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Q heating = 0

Q melting = 0

(2) *Caratteristiche tecnico-produttive*

Modello: WASP 40100 CLAY

Volume di costruzione: 400 mm x 1000 mm

Velocità di stampa: 200mm/s

Diametro ugello: 1.5 mm

Temperatura di stampa: 0 °C

Altezza strato: 0.7 mm

Proprietà del liquido: Argilla

**Project credits:**

*Design Team:*

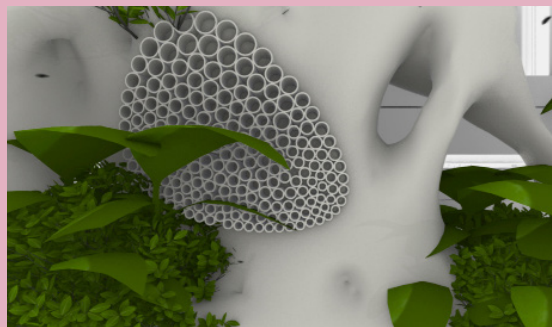
*ronald rael, virginia san fratello, logman arja, hannah cao, sandy curth, barrak darweesh, yonghwan kim, daniel komen, cooper rodders, alex schofield, phirak suon, kent wilson*

*Robotic 3D printing manufacturer:*

*3Dpotter, leonard dodd at erectorbo*

*Academic Start-up Partner:*

*Emerging objects, Ronald Rael, Virginia San Fratello, Departments of Architecture and Art Practice at the university of california berkeley*



## BANYAN Eco Wall BigRep One

BANYAN Eco Wall, la prima parete verde al mondo completamente additivata (AM) con sistemi di drenaggio e irrigazione integrati in modo naturale. Il prototipo presenta innovazioni senza precedenti in termini di design, funzionalità, tecnologia e dimensioni, rese possibili dal processo di stampa additiva di grande formato di BigRep ONE.

Normalmente i canali per l'impiantistica sono stati inseriti manualmente in strutture che riprendono il concetto di vertical-farm dopo la produzione.

Al contrario, il BANYAN è stampato in 3D e contiene al suo interno il sistema di impiantistica nello stesso processo di fabbricazione.

L'acqua in eccesso viene rimossa da questi sistemi di drenaggio affinché il sistema di irrigazione integrato funzioni correttamente.

Una fornitura controllata di acqua agli intervalli necessari garantisce che le esigenze uniche di piante e colture siano soddisfatte senza l'intervento umano.

Muri vegetali, facciate verdi, giardini verticali e altre forme di agricoltura urbana sono tutti ispirati da sistemi come questi.

"Le tecnologie dirompenti come la stampa 3D sono fondamentali per risolvere alcuni dei più grandi problemi del mondo".

Massimizzando il potenziale di AM, l'intento del progetto è dimostrare le possibili applicazioni completamente nuove. In questo progetto viene infatti introdotto un nuovo protocollo di produzione veramente sostenibile per la produzione di oggetti in polimero.

Attraverso soluzioni di economia circolare sostenibili, locali, modulari e collaborative, si promuove un modello di progetto sostenibile.

Ciò si ottiene riducendo i consumi. Le bottiglie in PET vengono riciclate al Fiction Forum e stampate in 3D per un laboratorio di produzione innovativa.

Il software di progettazione generativa è stato fondamentale nella creazione del BANYAN Eco Wall per ottimizzare la struttura per la stampabilità e la stabilità, consentendo al contempo un rapido processo di progettazione iterativo. Questo prototipo spingerà i confini dell'AM non solo nei sistemi di impianti irrigui, come l'agricoltura verticale e le facciate verdi, ma per qualsiasi applicazione che richieda funzionalità integrate.

[UP-2]

## UpCycling Architecture

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

$$Q_{\text{heating}} = 1000 \times 1.05 \times 9,9 \text{ kgxm}^2 \times 220 \text{ C}^\circ = 2.286.900 \text{ Jxm}^2$$

$$Q_{\text{melting}} = 9900 \text{ gxm}^2 \times 42.83 \text{ J/g} = 424017 \text{ Jxm}^2$$

(2) *Caratteristiche tecnico-produttive*

Modello: BigRep ONE

Volume di costruzione: 1000 × 1000 × 1000 mm

Velocità di stampa: 400 mm/s<sup>2</sup>

Diametro ugello: 2.0mm Nozzle

Temperatura di stampa: 220

Altezza strato: 1mm

Proprietà del filamento: PLA

*Weight of load-bearing fiber composite structure:*

*9,9 kg/m<sup>2</sup> for inhabitable first floor*

*Weight of load-bearing fiber composite structure including 27 mm timber floor panels:*

*23,7 kg/m<sup>2</sup> for inhabitable first floor*

*Weight comparison to regular 200 mm thick concrete slab:*

*Load-bearing fiber composite structure: 50x lighter*

*Load-bearing fiber composite structure including timber floor panels: 21x lighter*

*Material Volume Ratio:*

*1,9% material volume per slab volume*

### **Project credits:**

*Design Team:*

*Mirek Claßen, Tobias Storz and Lindsay Lawson*

*Robotic 3D printing manufacturer:*

*BigRepOne*

*Academic Start-up Partner:*

*NOWLAB, BigRep's innovation consultancy*



Maison Fibre 2021  
ICD/ITKE Research Buildings  
17th International Architecture Exhibition - La  
Biennale di Venezia 2021, Italy

La Maison Fiber esplora un approccio alternativo alla progettazione in UpCycling per la costruzione di spazi abitabili futuri.

L'allestimento centrale della mostra, Maison Fibre, è sia un'installazione architettonica che un modello aperto di cambiamento culturale.

L'installazione in questione mostra come passare dalla costruzione pre-digitale, ad alta intensità di materiali, che utilizza materiali da costruzione pesanti e "isotropi" come cemento, pietra e acciaio, a metodi di costruzione fondati sul digitale che utilizzano materiali altamente "anisotropi", strutture differenziate localmente e strutture prodotte localmente in UpCycling basato sul recupero delle fibre di plastica.

È possibile produrre pareti e soffitti in fibra utilizzando un processo di avvolgimento robotizzato senza armatura che consente di modellare e allineare le fibre localmente, consentendo una costruzione eccezionalmente leggera. L'elemento portante del pavimento richiede meno del due per cento del volume dei suoi componenti come materiale. In futuro, questa combinazione di basso consumo di materiale e produzione robotica oggi prodotta in off-site, potrebbe consentire di eseguire l'intero processo di produzione in loco senza rumori o sprechi significativi, non solo durante la costruzione, ma anche durante l'espansione o la conversione. Questo metodo garantirà l'adattabilità e la flessibilità a lungo termine dell'architettura. Questo progetto studia i metodi di costruzione per una varietà di materiali. C'è già una notevole espansione della gamma di materiali di Maison Fibre nel prossimo futuro, che vanno dalle fibre minerali in grado di resistere a stress termici estremi alle fibre naturali che crescono all'interno di un ciclo annuale, che sono ancora in gran parte basate su sistemi di fibra di vetro riciclato e carbonio.

Utilizzando solo pochi chili di materiale da costruzione, Maison Fiber rappresenta l'espressione spaziale e l'architettura autentica di una struttura altamente smaterializzata, dove la cultura materiale nell'architettura rappresenta la più ampia gamma di concetti legati all'upcycling ecologica (materiale ed energia), economica (valore catene e produzione di conoscenza), tecniche (tecnologie digitali e robotica) e socioculturali qui implicate.

[UPf-1]

## UpCycling Architecture

### Project Data

#### Building System:

Two-story, robotically fabricated, load bearing glass- and carbon fiber composite structure made of 23 km of glass fibers total and 20 km of carbon fibers total

#### Dimensions Length/Width/Height:

10,00m / 11,78m / 5,76m

#### Floor Area:

125 m<sup>2</sup> total

62,5 m<sup>2</sup> per floor

#### Weight of load-bearing fiber composite structure:

9,9 kg/m<sup>2</sup> for inhabitable first floor

Weight of load-bearing fiber composite structure including 27 mm timber floor panels:

23,7 kg/m<sup>2</sup> for inhabitable first floor

Weight comparison to regular 200 mm thick concrete slab:

Load-bearing fiber composite structure: 50x lighter

Load-bearing fiber composite structure including timber floor panels: 21x lighter

#### Material Volume Ratio:

1,9% material volume per slab volume

### Project credits:

IntCDC / ICD University of Stuttgart, Institute for Computational Design and Construction

Prof. Achim Menges: Niccolo Dambrosio, Katja Rinderspacher, Christoph Zechmeister

Rebeca Duque Estrada, Fabian Kannenberg, Christoph Schlopsch-nat

IntCDC / ITKE University of Stuttgart, Institute of Building Structures and Structural Design Prof. Dr. Jan Knippers

Nikolas Früh, Marta Gil Pérez, Dr. Riccardo La Magna

Lab support: Aleksa Arsic, Sergej Klassen, Kai Stiefenhofer

Student Assistance: TzuYing Chen, Vanessa Costalonga Martins, Sacha Cutajar, Christo van der Hoven, Pei-Yi Huang, Madie Rasanani, Parisa Shafiee, Anand Nirbhaybhai Shah, Max Benjamin Zorn

In collaboration with: FibR GmbH, Stuttgart

Moritz Dörstelmann, Ondrej Kyjaneck, Philipp Essers, Philipp Gülke with support of: Erik Zanetti, Elpiza Kolo, Prateek Bajpai, Jamiel Abubaker, Konstantinos Doumanis, Julian Fial, Sergio Maggiulli

Project Support

University of Stuttgart

Cluster of Excellence IntCDC, EXC 2120

Ministry of Science, Research and the Arts, Baden-Württemberg GETTYLAB, Teijin Carbon Europe GmbH, Elisabetta Cane with Bi-

paed s.r.l. – Annalisa Pastore, Trimble Solutions Germany GmbH

## Note

1. "L'approccio del RD può essere definito NET + e olistico, è un cambiamento radicale di prospettiva che può essere descritto con l'espressione 'da meno male a più buono'. Questo è il principio fondamentale del Regenerative Design.

Il Design Rigenerativo si basa sulla consapevolezza che gli esseri umani e l'ambiente costruito debbano coesistere insieme ai sistemi naturali. Come tale, il Regenerative Design ha lo scopo di invertire il danno che è stato fatto, ripristinando gli ecosistemi e consentendo loro di prosperare e evolversi [...] Viene proposto un approccio progettuale "proattivo" che cerca di integrarsi ai principi di progettazione rigenerativa nei concetti e nei flussi di lavoro di operatori, ricercatori e studenti. Un design rigenerativo il processo considera le interazioni positive chiave tra i sistemi costruiti, umani e naturali. Promuovendo questi positivi interazioni, che vanno dal supporto degli ecosistemi locali a impiegando tecniche costruttive che promuovano un uso circolare di componenti edilizi, il progettista fonde creatività e scienza." [7]

2. "Per abilitare i processi City Mining, abbiamo bisogno di informazioni complete su materiali e sostanze. Per lo sfruttamento dei minerali primari, le proprietà intrinseche, come concentrazione di elementi, abbondanza, disponibilità, speciazione e minerali partner, determinano se una particolare sostanza può essere estratta economicamente. [...] La nuova base di conoscenze è necessaria per passare dall'attuale stato di riciclo a un successivo stato di "Urban Mining", in cui i materiali vengono recuperati in un modo più mirato ed efficace che tenga conto delle sostanze preziose e pericolose lungo il loro percorso dall'origine alla fase di utilizzo finale.

L'estrazione urbana non solo si occupa dei materiali, ma rappresenta un approccio più completo che include l'energia. Il concetto di estrazione urbana fino ad oggi non ha tenuto conto della questione di dove avviene il riciclaggio. La localizzazione dei processi minerari urbani vicino alle fonti di materiali secondari e quindi all'interno di aree urbane orientate ai servizi presenta vantaggi significativi. Il trasporto di rifiuti e materiali riciclabili richiede energia, così come il riciclaggio e la lavorazione". [8]

3. LEED: "fornisce un quadro per edifici ecologici sani, efficienti, a basso consumo di carbonio ea basso costo. La certificazione LEED è un simbolo riconosciuto a livello mondiale del raggiungimento della sostenibilità e della leadership. Per ottenere la certificazione LEED, un progetto guadagna punti aderendo a prerequisiti e crediti che riguardano carbonio, energia, acqua, rifiuti, trasporti, materiali, salute e qualità dell'ambiente interno. I progetti passano attraverso un processo di verifica e revisione da parte di GBCI e vengono assegnati punti che corrispondono a un livello di certificazione LEED: Certified (40-49 punti), Silver (50-59 punti), Gold (60-79 punti) e Platinum (80+ punti)." (<https://www.usgbc.org/>);

Protocollo ITACA: "Il Protocollo ITACA, nelle sue diverse declinazioni, è uno strumento di valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici. Tra i più diffusi sistemi di valutazione, il Protocollo permette di verificare le prestazioni di un edificio in riferimento non solo ai consumi e all'efficienza energetica, ma prendendo anche in considerazione il suo impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo, favorendo così la realizzazione di edifici sempre più innovativi, a energia zero, a ridotti consumi di acqua, nonché materiali che nella loro produzione comportino bassi consumi energetici e nello stesso tempo garantiscano un elevato comfort. Il Protocollo garantisce inoltre l'oggettività della valutazione attraverso l'impiego di indicatori e metodi di verifica conformi alle norme tecniche e leggi nazionali di riferimento.

Il Protocollo ha diverse finalità in relazione al suo diffe-

rente uso: è uno strumento a supporto della progettazione per i professionisti, di controllo e indirizzo per la pubblica amministrazione, di supporto alla scelta per il consumatore, di valorizzazione di un investimento per gli operatori finanziari." ([https://www.itaca.org/valutazione\\_sostenibilita.asp](https://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp)).

4. La metodologia prevede di sottoporre a valutazione, nel corso della progettazione, soluzioni alternative, sia nella scelta dei materiali sia nell'adozione di accorgimenti progettuali, fornendo una previsione probabilistica della propensione del sistema ad adempiere le funzioni richieste per il tempo previsto, in presenza di una manutenzione preventiva corrente. Si intende valutare la probabilità, associata a condizioni ambientali e scelte progettuali specifiche, che la durata di vita del sistema parete sia minore della vita di progetto assegnata (design life). In altri termini, che la perdita di prestazioni della parete avvenga prima di quanto previsto dal progetto. La valutazione dei potenziali meccanismi di degradamento e delle loro conseguenze viene condotta mediante le metodologie della FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) e della FTA (Fault Tree Analysis). Nella figura 1 viene illustrato il processo di progettazione e di valutazione degli elementi del sistema tecnologico. I blocchi evidenziati in grigio rappresentano le variabili controllate dal progettista, quelli in bianco le fasi elaborate dal sistema di valutazione che sono predisposte dagli analisti sulla base delle conoscenze sul comportamento in servizio del sistema.

5. "Un modello basato sul "servizio funzionale" può spostare il luogo della proprietà del prodotto. Ad esempio, c'è una maggiore tendenza a vendere servizi anziché prodotti, i fornitori di servizi vendono l'utilizzo per un determinato periodo mentre mantengono la proprietà dei loro prodotti e il consumatore è molto meno interessato alle prestazioni, alla manutenzione, all'aggiornamento o alla sostituzione del merce. Man mano che i diritti di proprietà passano di mano, gli incentivi legati alla concezione, alla qualità, alla manutenzione, all'aggiornamento e allo smaltimento variano. Ad esempio, se il fornitore di servizi è anche il produttore, i vantaggi di durabilità o riparabilità possono essere completamente interiorizzati nella fase di ideazione del prodotto. In questo scenario, il modello di business stimola la progettazione ecologica e incoraggia il riutilizzo dei prodotti, rientrando chiaramente nel quadro dell'economia circolare. La condivisione dei servizi è un altro modo per aumentare l'uso efficiente delle risorse e delle attrezzature disponibili. Il nostro pensiero del consumatore è eccessivamente orientato verso tutti coloro che hanno la propria attrezzatura per essere indipendenti, con il risultato che molti prodotti vengono utilizzati solo in parte. Una rifocalizzazione sul noleggio e sull'uso condiviso offre il potenziale per migliorare l'efficienza nell'uso, nonché ridurre le esigenze di manutenzione e lo spazio necessario per lo stoccaggio" [37].

6. "Quando un prodotto passa da un volume elevato a un volume basso, si prevede che il processo di produzione si sposterà da flussi di linea a flussi confusi. Questo vale sia per la produzione che per la rigenerazione (o il recupero del prodotto). In entrambi i casi, il movimento verso un ambiente a basso volume e con flusso confuso comporterà in genere una minore dipendenza e necessità di previsioni.

Inoltre, l'elaborazione sarà più complessa al diminuire dei volumi. Nel caso della produzione, questo è il risultato della varietà dei prodotti che crea un gran numero di eccezioni con lotti relativamente piccoli. In caso di rigenerazione, questo è il risultato del prodotto complessità creando un gran numero di eccezioni con

batch relativamente piccoli. Allo stesso modo, i test e la valutazione diventano più complessi man mano che i volumi diminuiscono poiché i lotti relativamente piccoli per la produzione (guidata dalla varietà di prodotti) e la rigenerazione (guidata dalla complessità del prodotto) creano sfide nel test e nella valutazione della funzionalità. La complessità dell'elaborazione, del test e della valutazione è determinata da variabili diverse per la produzione e la rigenerazione, ma l'effetto di queste due diverse variabili è lo stesso" [40].

7. "Facilitare e sostenere i processi circolari richiede l'adesione a più criteri e il contributo di più stakeholder. Strumenti appropriati per il controllo qualità sono attualmente carenti, anche se l'applicazione in software come il BIM può andare ad affrontare queste criticità e a trasformarle in delle potenzialità. Attraverso un approccio graduale vengono illustrate le implicazioni per il processo progettuale a livello edilizio e materiale/prodotto. L'implementazione, tuttavia, dipende molto dai fattori contestuali, compresi i cambiamenti critici ad esempio sui processi che influenzano la catena del valore, i rapporti fra le parti e la regolamentazione legislativa. È quindi necessaria una grande innovazione su più fronti, e le sfide in ambito culturale, giuridico e gli ambiti finanziari sembrano più profondi che in quelli tecnici [...] Dal punto di vista del progetto circolare, il vero valore di un prodotto è all'incrocio tra le capacità intrinseche e le relazioni fisiche nella proprietà. Questo valore, definito da più parametri, non è assoluto. Alcuni esempi di valori differenziati sono: valore d'uso o d'uso (come valuta l'utente il componente edilizio di cui fa parte il prodotto?), potenziale di riuso (quanto facilmente il prodotto può essere smontato? Può essere facilmente ripristinato?), valore dell'Economia Circolare (fino a che punto la funzione del prodotto all'interno delle iterazioni designate dai principi dell'Economia circolare), valore di mercato e valore culturale.

8. cfr. [www.abitalab.unirc.it](http://www.abitalab.unirc.it)

9. "Il termine "valore" si riferisce alla misura "non comune" di una dote o di una capacità, di un'abilità. Il suo sinonimo economico, si riferisce al termine prezzo, quotazione o pregio, ma anche alla sua locuzione come "valore aggiunto", quale incremento dovuto alla trasformazione. Il "valore ecologico" è l'insieme delle caratteristiche che determina il pregio naturale di un determinato biotopo, esso determina la priorità di conservazione del biotopo stesso. La parola "tempo" è invece etimologicamente connessa al significato di "durata" di certe azioni, situazioni o fatti ed anche al loro periodo; il termine, in economia come in ecologia si ritrova sulla condizione meglio riferita agli oggetti osservati ed anche sulla sua definizione come "ciclo". Si parla di "ciclo ecologico" riferendosi a processi di sviluppo e riproduzione di un qualsiasi sistema o fenomeno, si parla di "ciclo economico" per indicare una fase in cui non si hanno comportamenti di un fenomeno in maniera "uniforme", ma in maniera "fluttuante".

La resilienza trasformativa assume il carattere fluttuante del ciclo economico e quello più fenomenologico del ciclo ecologico, per cui si riferisce ad un sistema di transizione necessario ad assorbire tali mutazioni in un tempo che si qualifica come "valore aggiunto". Per rispondere alla dimensione socio-economica, geopolitica, green e digitale delle nuove azioni progettuali su città ed edifici

e comunità resilienti, i processi di transizione si trovano quindi a gestire misure di prevenzione, di preparazione, di protezione, di promozione ma soprattutto di trasformazione" [47].

10. "Il mantenimento dell'efficienza di un modello di economia circolare dipende dal continuo apporto di materie prime ed energia e questo si accompagna all'osservazione che la dimensione stessa dell'economia delle risorse nella maggior parte dei paesi dovrà diminuire. Ciò richiede la dematerializzazione e il vero disaccoppiamento delle economie sempre più basate sullo sfruttamento dalle loro basi di materiali, aprendo nuove domande sull'intensità materiale dei servizi e se sia fattibile e desiderabile disaccoppiare la crescita economica dalla ricchezza materiale di un paese [...]. Per la sostenibilità il consumo medio per persona deve essere ridotto. I miglioramenti dell'efficienza devono essere combinati con approcci di sufficienza. Il consumo eccessivo guidato dal produttore deve essere sostituito da un consumo condiviso di prodotti più guidato dalla domanda e da un "consumo" basato sull'esperienza" [34].

11. Approccio Basato sulla Performance [54]: "Il design suggerisce che nella creazione di ambienti di simulazione per la progettazione architettonica basata sulle prestazioni sia le capacità generative che valutative possono essere integrate all'interno di simulazioni basate sulle prestazioni. Il modello di progettazione basata sulle prestazioni viene esplorato attraverso un caso di studio di uno studio di progettazione digitale sperimentale. Viene spiegata l'implicazione di questo lavoro sulle future direzioni di ricerca nel campo. [...] La progettazione basata sulle prestazioni può essere generalmente considerata un approccio in cui le prestazioni dell'edificio diventano il fattore guida nella progettazione. I modelli basati sulle prestazioni in architettura possono essere definiti come lo sfruttamento della simulazione delle prestazioni dell'edificio per la modifica della forma geometrica verso l'obiettivo di ottimizzare un progetto candidato. La performance progettuale è stata a lungo riconosciuta come una questione importante nella progettazione architettonica ed è stata a lungo considerata una componente fondamentale nel sistema di valori della progettazione architettonica".

## Riferimenti bibliografici

1. Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008 , relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive (Testo rilevante ai fini del SEE)
2. (COM (2014) 445 Final - .Verso una florida economia basata sui dati
3. Nuovo piano d'azione per l'economia circolare (2022/2077(INI))
4. Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A conceptual framework for circular design. *Sustainability*, 8(9), 937.
5. Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Architectural technology for environmental design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(1), 48-53. <https://doi.org/10.13128/Techne-9434>
6. Adams, D. (1992). Joseph Beuys: Pioneer of a radical ecology. *Art Journal*, 51(2), 26-34.
7. Naboni, E. & Havinga, L. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*.
8. Morton, T. (2007). *Ecology without nature: Rethinking environmental aesthetics*. Harvard University Press.
9. Brunner, P. H. (2011). Urban mining a contribution to reindustrializing the city. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 339-341.
10. Desing, H., Widmer, R., Beloin-Saint-Pierre, D., Hischier, R., & Wäger, P. (2019). Powering a sustainable and circular economy—an engineering approach to estimating renewable energy potentials within earth system bou
11. Krok, J., & Baas, L. (2013). Getting serious about mining the technosphere: a review of recent landfill mining and urban mining research. *Journal of Cleaner production*, 55, 1-9.
12. Baccini P., P.H. Brunner (2012) *Metabolism of the Anthroposphere - Analysis, Evaluation, Design*. The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge ISBN 978-0-262-01665-0
13. Zanoletti, A., Cornelio, A., & Bontempi, E. (2021). A post-pandemic sustainable scenario: What actions can be pursued to increase the raw materials availability?. *Environmental Research*, 202, 111681.
14. Cossu, R., Salieri, V., & Bisinella, V. Introduzione al concetto di Urban Mining.
15. Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. CRC press.
16. Klinglmair, M., & Fellner, J. (2010). Urban mining in times of raw material shortage: Copper management in Austria during World War I. *Journal of Industrial Ecology*, 14(4), 666-679..
17. Hageleken, C. (2006, May). Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling-a holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining.
18. Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., & Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, 9(1), 141.
19. Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. *Sustainability*, 8(7), 647..
20. Pollo, Riccardo. (2014). Building Design, Durability, Maintenance: Methodology for the Durability Forecasting. *Techne : Journal of Technology for Architecture and Environment*. 10.13128/Techne-14548.
21. Caldas, L. R., Silva, M. V., Silva, V. P., Carvalho, M. T. M., & Toledo Filho, R. D. (2022). How Different Tools Contribute to Climate Change Mitigation in a Circular Building Environment?—A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 14(7), 3759.
22. Guy, B., & Cjarimboli, N. (2008). DfD: design for disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building. Hamer Center.
23. Nava, C. (2022). RECYCLING OR RECLAIMING? FROM THE ECOLOGICAL PARADIGM TO DESIGN EXPERIMENTS OF TRANSITION. 1. 21-27.
24. van den Berg, M. & Voordijk, H. & Adriaanse, A. (2020). Recovering building elements for reuse (or not) – Ethnographic insights into selective demolition practices. *Journal of Cleaner Production*. 256. 120332. 10.1016/j.jclepro.2020.120332.
25. M. McMurdo (2016) *Upcycling: 20 Creative Projects Made from Reclaimed Materials*.
26. Akhimien, N. G., Latif, E., & Hou, S. S. (2021). Application of circular economy principles in buildings: A systematic review. *Journal of Building Engineering*, 38, 102041.
27. Lieder, M., Rashid, A., Štimulak, M., Halvordsson, E., & de Bruijckere, R. (2018). A practical ICT framework for transition to circular manufacturing systems. *Procedia Cirp*, 72, 598-602.
28. Monsù Scolaro, A., & De Medici, S. (2021). Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective. *Energies*, 14(21), 6863.
29. Commissione UE. L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare COM/2015/0614 final
30. Wang, J. Y., Touran, A., Christoforou, C., & Fadlalla, H. (2004). A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. *Waste management*, 24(10), 989-997.

31. Manelius, A. M., Nielsen, S., & Kauschen, J. S. (2019). City as Material Bank—Constructing with Reuse in Musicon, Roskilde. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 225, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
32. Gobbi, C. (2011). Designing the reverse supply chain: the impact of the product residual value. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
33. Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
34. Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A conceptual framework for circular design. *Sustainability*, 8(9), 937.
35. Wang, P., & Kara, S. (2019). Material criticality and circular economy: Necessity of manufacturing oriented strategies. *Procedia CIRP*, 80, 667-672.
36. Wilson, M. (2016). When creative consumers go green: Understanding consumer upcycling. *Journal of Product & Brand Management*.
37. Sauv e, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental development*, 17, 48-56.
38. Law, K. L., & Narayan, R. (2022). Reducing environmental plastic pollution by designing polymer materials for managed end-of-life. *Nature Reviews Materials*, 7(2), 104-116.
39. Guide Jr, V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003). Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery. *Journal of operations Management*, 21(3), 259-279.
40. Hofmann, F., & Jaeger-Erben, M. (2020). Organizational transition management of circular business model innovations. *Business strategy and the environment*, 29(6), 2770-2788.
41. Geldermans, R. J. (2016). Design for change and circularity—accommodating circular material & product flows in construction. *Energy Procedia*, 96, 301-311.
42. Environment, U. N., Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.
43. Vasiljevic-Shikaleska, A., Gjozinska, B., & Stojanovikj, M. (2017). The circular economy—a pathway to sustainable future. *Journal of Sustainable Development*, 7(17), 13-30.
44. Underwood, J., & Isikdag, U. (2011). Emerging technologies for BIM 2.0. *Construction Innovation*, 3.
46. Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezguy, Y. (2018). Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects. *Requirements engineering*, 23(1), 1-31.
47. Nava, Consuelo, Melis, Alessandro. (2021). A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 103-111.
48. Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15.
49. Melis, A., Lara-Hernandez, J. A., & Melis, B. (2022). Learning from the biology of evolution: Exaptation as a design strategy for future cities. *Smart and Sustainable Built Environment*.
50. Garud, R., Gehman, J., & Giuliani, A. P. (2016). Technological exaptation: A narrative approach. *Industrial and Corporate Change*, 25(1), 149-166.
51. Stahel, W. R., & MacArthur, E. (2019). *The circular economy: A user's guide*. Routledge.
52. Dias, B. D. (2015). Beyond sustainability—biophilic and regenerative design in architecture. *European Scientific Journal*, 11(9), 147-158.
53. Andr e, J. C. (2017). From additive manufacturing to 3D/4D printing 3: breakthrough innovations: programmable material, 4D printing and bio-printing. John Wiley & Sons.
54. Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. *Production and operations management*, 14(4), 482-492.
55. Xie, D., Liao, M., & Kearfott, K. J. (2015). Influence of environmental factors on indoor radon concentration levels in the basement and ground floor of a building—A case study. *Radiation Measurements*, 82, 52-58
56. Lee, J. O., Yang, Y. S., & Ruy, W. S. (2002). A comparative study on reliability-index and target-performance-based probabilistic structural design optimization. *Computers & structures*, 80(3-4), 257-269.



Parte 2  
Metodologie Operative per  
l'Advanced Circular Design (ACD)



## Advanced Circular Process

### *Abstract*

As defined by Life Cycle Thinking (LCT), it is a methodological approach for assessing environmental impacts that allows for the consideration of all parts of a system under study, including the environmental impacts of products and processes throughout their entire lifecycle.

We attempt to identify possible developments in the formulation of an original methodology referring to the LCT approach that can be capable of controlling environmental impacts as well as energy balance by comparing the potential defined by the indicators [6] with the criticalities identified in the application for an exhaustive assessment concerning the building system.

It becomes increasingly difficult to determine environmental impacts accurately through the analysis of a large volume of information as the degree of complexity increases. It is particularly important at the beginning of the design process. It is generally true that decisions made early in the design process determine the basic conditions for subsequent steps.

The aim of this study is to validate the parametric approach, for the translation of the LCA methodology into architecture, as a tool for answering the methodological questions

The sector literature has identified several critical issues that need to be addressed.

Through the use of Grasshopper in Rhinoceros, many tools are available (among them, Cardinal LCA and Bombyx are studied in detail). With the "Visual Learning Programming" methodology, circular systems whose functional units are defined on the basis of intermediate flows can be evaluated and designed.



Generative Column  
Design, created with  
digital manufacturing  
by Michael Hansmeyer,  
2010.

## 4.1 Life Cycle Thinking: l'approccio metodologico per il controllo degli impatti ambientali e dei bilanci energetici

### 4.1.1 Definizione dell'approccio LCT

Il "Life Cycle Thinking" (LCT) definisce l'approccio metodologico per la valutazione degli impatti ambientali, che permette di tenere in considerazione ogni parte di cui si compone il sistema oggetto di studio, tenendo conto degli impatti ambientali di prodotti e processi durante l'intero ciclo di vita.

Coerentemente con quanto espresso dalla normativa UNI EN 14040 [1] che, come già dichiarato nel paragrafo 2.3 del capitolo due, regola le procedure per il Life Cycle Assessment, un ciclo di vita inizia con l'estrazione delle materie prime (cradle) e termina con il riutilizzo, il riciclaggio o lo smaltimento di un determinato prodotto dopo l'uso (grave).

Nonostante alcune lacune nella disponibilità di fonti e casi studio, dovute al carattere innovativo e alla recente costituzione dello specifico settore con riferimento al settore delle costruzioni, si è cercato di introdurre i nuovi temi per una possibile investigazione sperimentale che sia tracciabile e confrontabile con i risultati, nell'ambito dell'Advanced Circular Design [2].

In questo ambito gli studi sul Building Assessment Information (Fig. 1) aiutano a chiarire i concetti chiave che garantiscono la replicabilità del modello di ACD in ambito sperimentale. In particolare si intercettano teorie, metodi e progetti che, in ambito sperimentale riferiscono su controllo degli impatti ambientali, derivanti l'utilizzo di risorse di natura biologica e/o provenienti da fonti di riciclo, e controllo dei bilanci energetici nella progettazione della gestione relativa all'approvvigionamento energetico proveniente da fonti di energia rinnovabile.

I confini del LCT così configurati considerano l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la produzione di materiali da costruzione, il trasporto al cantiere, il funzionamento dei sistemi HVAC per il condizionamento degli spazi e la manutenzione per una durata di 50 anni, ma come mostrato nella Figura 1, l'energia e le emissioni generate dalla costruzione e demolizione in loco si estende oltre i confini del sistema.

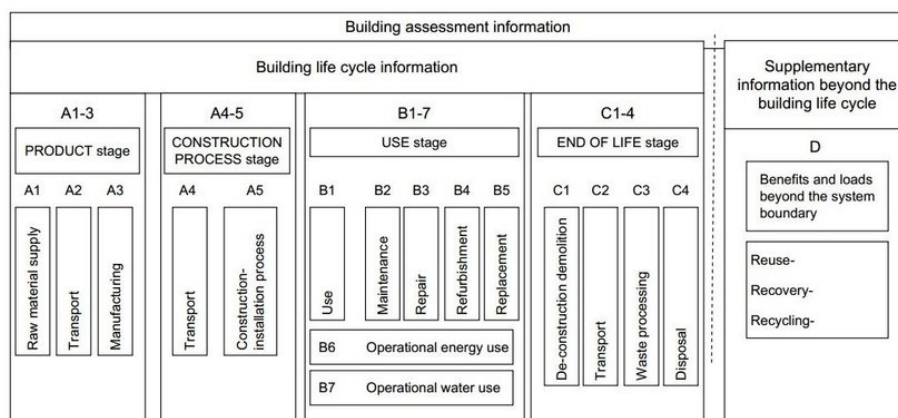


Fig. 1. Display of modular information for the different stages of the building assessment, BS EN 15978:2011 Sustainability of construction works-Assessment of environmental performance of buildings-Cal-culation method.

Con questa premessa il quadro restituito confronta i concetti espressi in ambito "generico" con i temi dell'architettura tenendo conto delle prestazioni ambientali e tecniche dei materiali da costruzione durante tutto il loro ciclo di vita.

Si esprime dunque la necessità nell'ampliamento delle definizioni di strategie progettuali per ridurre il consumo di risorse nei processi di costruzione e le emissioni ad essi associate<sup>2</sup> [3]. Secondo Cellura M., Guarino F., Sonia Longo, Marina Mistretta e Aldo Orioli [4] l'applicazio-

ne del modello di valutazione del ciclo di vita consente di valutare i seguenti indicatori per ciascuna azione di retrofit esaminata: *consumo energetico (energia indiretta) ed emissioni di CO<sub>2</sub> dovute a la realizzazione delle azioni di retrofit; - risparmio energetico diretto ed emissioni di CO<sub>2</sub> evitate grazie alla realizzazione degli interventi di retrofit; - risparmio energetico indiretto ed emissioni di CO<sub>2</sub> evitate, a causa della mancata produzione di energia diretta.*

Un altro spunto interessante è offerto da E. Palumbo, F. Camerin, C. Panozzo, M. Rossetti, la loro dissertazione guarda ai limiti applicativi riferiti alla valutazione dell'edificio, dai quali si riscontra che *"la prima criticità è che allo stato attuale la mancanza di informazioni di impatto oltre la fase di produzione limita il loro uso per valutazioni riferite all'edificio. L'altro elemento riguarda la quasi assenza di scenari alternativi, specie sull'end of life, all'interno delle stesse etichette ambientali, che diversamente potrebbero costituire uno strumento di ausilio per il progetti-sta nell'iter progettuale"* [5].

Nel confronto tra le potenzialità definite dagli indicatori [6], e le criticità individuate nell'applicazione per una valutazione esaustiva riferita al sistema edificio, si cercano di individuare i possibili sviluppi nella stesura di una metodologia originale che sia riferita all'approccio LCT e che sia capace di operare il controllo degli impatti ambientali e dei bilanci energetici. Aumentando il grado di complessità diventa sempre più difficile essere in grado di calcolare con precisione gli impatti ambientali attraverso l'analisi di una grande quantità di informazioni. Ciò è particolarmente rilevante nelle prime fasi della progettazione. In generale, le decisioni prese nelle prime fasi del processo di progettazione determinano le condizioni di base per i processi successivi.

Per rispondere agli interrogativi posti in ambito metodologico si intende validare l'approccio parametrico, per la traduzione della metodologia LCA in architettura, quale strumento capace di rispondere alle criticità emerse dalla letteratura di settore.

A questo si deve aggiungere che i dati sui processi per colmare il divario "dalla tomba alla culla"<sup>2</sup> sono spesso di difficile interpretazione [7], questo è dovuto principalmente alla complessità dei sistemi di gestione dei rifiuti, spesso modellati con analisi articolate di flusso di materiale [8], rendendo ancora più complesso confrontare questo tipo di dati con i modelli del progetto architettonico.

In questo contesto lo sviluppo di software, come openLCA, SimaPro, OneClick LCA e altri, è stato reso possibile da un framework computazionale [9] [10] che tuttavia risulta sia carente nello svolgimento in aderenza con la normativa di riferimento, sia molto difficile nelle applicazioni per gli utenti non strettamente legati all'ambito ingegneristico.

Riferendoci a questo approccio la progettazione parametrica in architettura consente di superare questi limiti consentendo di lavorare in modo concatenato, tenendo in considerazione la modellazione delle superfici e la valutazione contestuale degli impatti, dove le forme geometriche dell'edificio possono essere ottenute sia matematicamente, sia attraverso i tradizionali software di modellazione.

L'utilizzo di Grasshopper in Rhinoceros, facilita le operazioni legate a questo ambito, molti tools sono disponibili (tra i molti si offre uno studio approfondito di Cardinal LCA e Bombyx) questi sfruttando il "Visual Learning Programming" possono valutare e progettare sistemi circolari le cui unità funzionali sono definite sulla base di flussi intermedi.

Gli strumenti del Visual Programming Language (VPL) inclusi in questi due software hanno un'ampia area di utilizzo, considerando i loro contributi alla valutazione dell'impatto ambientale presentano diversi vantaggi e svantaggi.

Questi strumenti esprimono una potenza computazionale molto elevata, e riescono attraverso l'utilizzo di diversi "motori" la creazione di geometrie complesse abilitando la simulazione applicandogli pacchetti tecnologici pre-progettati, favorendo così le valutazioni di impatto ambientale e l'ottimizzazione delle prestazioni grazie alla sua vasta libreria di materiali, implementabile tramite coding [11].

#### 4.1.2 Definizioni nell'ambito della progettazione computazionale e sintesi metodologica del modello dell'ACD

##### Generative Design

Il *Design Generativo (GD)* riferisce sulla capacità di creare o produrre progetti in sequenza algoritmica automatizzata. Secondo alcuni autori, GD si riferisce principalmente a tecniche evolutive sia nella creazione che nella produzione di soluzioni progettuali [12], [13], mentre altri lo considerano un approccio progettuale [14].

Questo metodo produce soluzioni multiple fondate sullo stesso principio, e sulla base del quale si può tendere ad operare una scelta di ottimizzazione basata su un singolo parametro o sulla combinazione di più parametri.

Esistono due approcci nell'adozione dei principi del GD basati su altrettanti processi di automazione matematica: la generazione algoritmica automatizzata attraverso i principi dei metodi evolutivi [15] e l'utilizzo di grammatiche generative per la realizzazione di sistemi a catalogo (Fig. 2) [16].

Considerando queste due prospettive, si ritiene che il primo tenda a confinare il GD ai processi evolutivi escludendo apriori l'implementazione di altri metodi in grado di generare diverse alternative progettuali sistematizzandole, il secondo tende ad offrire delle soluzioni sistemiche che possono risultare deterministiche.

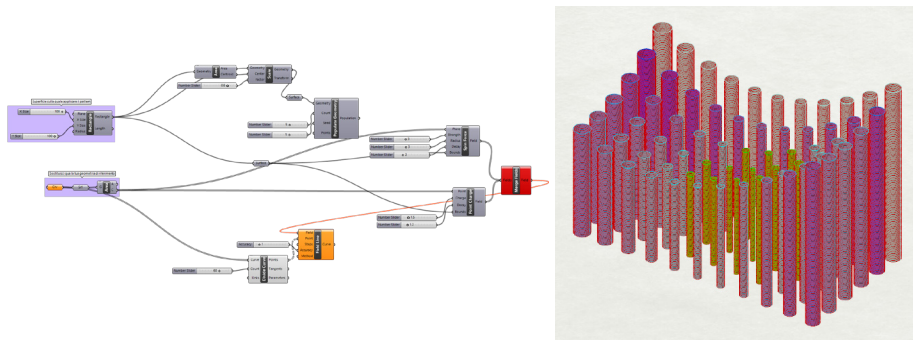


Fig. 2. Una sperimentazione su uno script per Advanced Generative Design. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

##### Algorithmic Design

L'*Algorithmic Design (AD)* è un processo di progettazione basato su algoritmi. Come definito dalla Treccani, un algoritmo è un "insieme di istruzioni che deve essere applicato per eseguire un'elaborazione o risolvere un problema" [17].

Di conseguenza, l'algoritmo e il modello generato sono tracciabili e l'utente è in grado di identificare le parti dell'algoritmo che hanno generato una determinata parte del modello. L'algoritmo in AD è in un certo senso isomorfo al modello. In base a questa definizione, AD è un sottoinsieme di GD in cui lo sviluppo algoritmico è focalizzato sul raggiungimento del progetto previsto a scapito della produzione di risultati meno sorprendenti.

Molti sono gli aspetti comuni che legano l'AD con il Design Generativo, la terminologia comune questi utilizzano può così confondersi. È necessario quindi che i termini vengano chiariti come suggerito da sinonimi da Garber, infatti "un certo numero di tipici esempi di GD, come la ricerca stocastica, i sistemi lineari, gli automi cellulari, gli algoritmi genetici e il design evolutivo, possono anche essere classificati come AD [18].

Di conseguenza, consideriamo AD un paradigma di progettazione che utilizza algoritmi per generare modelli in modo generativo (Fig. 3).

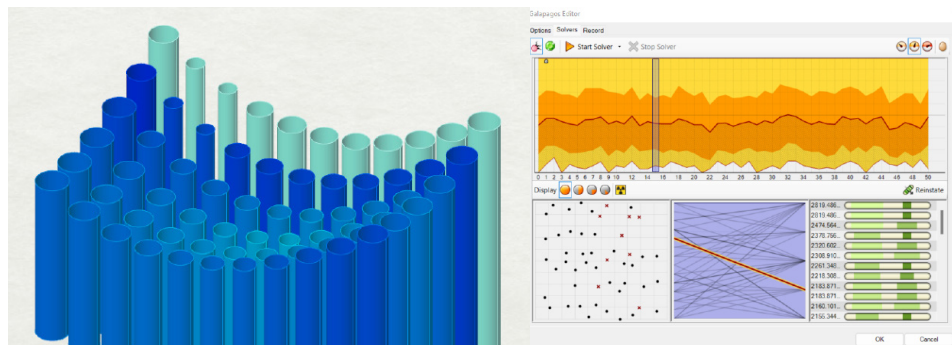
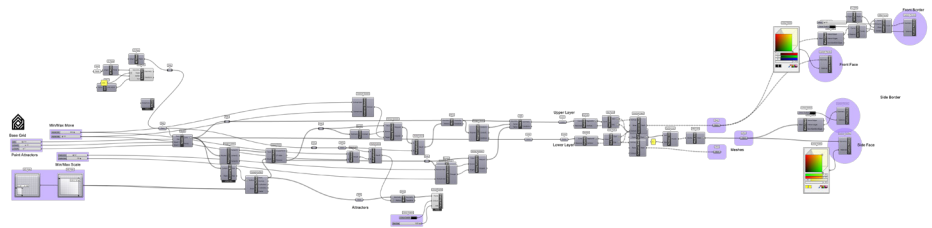


Fig. 3. La sperimentazione di uno script per Advanced Algorithmic Design attraverso Galapagos. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

### Parametric Design

Il *Parametric Design* (PD) riprende i concetti legati all'AD per realizzare dei "workflow" (Fig. 4) che permettono di gestire il progetto parametrizzando tutti gli aspetti formali e tecnologici che ne influenzano la configurazione finale [19].

I parametri sono definiti come *fattori numerici o misurabili* che determinano le condizioni di un sistema o che ne definiscono il funzionamento. Parametrico significa "*relativo o espresso in termini di parametro o parametri*" e la parola definisce l'ambito di un particolare processo o attività.

Sulla base della letteratura, si può sintetizzare la definizione di PD come "*un processo di progettazione che utilizza parametri e regole per vincolare la sua progettazione*" [20].

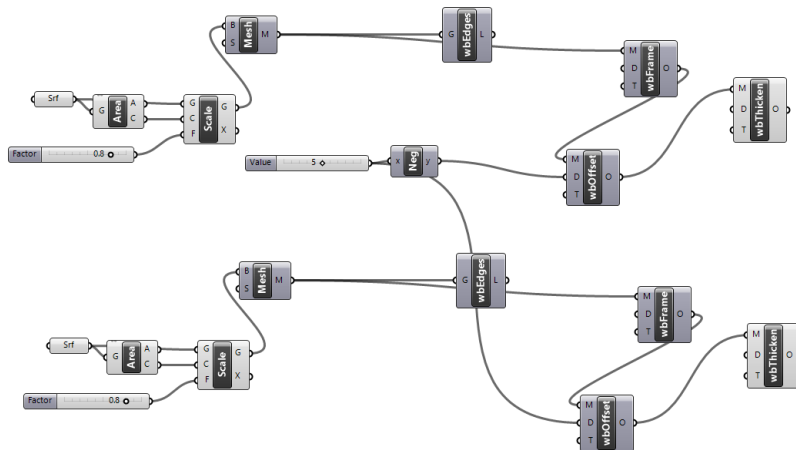


Fig. 4. La sperimentazione di uno script per Advanced Parametric Design. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

*Advanced Circular Design, tra digitale ed ecologia*

L'Advanced Circular Design (ACD) è definito attraverso la realizzazione di un modello esportabile digitale e di una sperimentazione progettuale avanzata, un approccio progettuale sostenibile capace di definire il progetto dell'up-cycling[21] (Fig. 5).

Gli aspetti legati alla circolarità del progetto, che riguardano l'interazione con i processi che interferiscono con la biosfera, mediati dell'approccio ibrido all'architettura propone nell'articolazione dei progetti studiati, una nuova configurazione tra natura ed ambiente costruito, biosfera e tecnosfera.

La metodologia proposta in questo capitolo intende gestire la complessità della LCA restituendo alcuni dei dati declinati all'oggetto di sperimentazione con metodi di "progettazione computazionale" parametrica.

Durante la progettazione della fase di ottimizzazione, lo studio è stato condotto in ambiente parametrico confrontando il funzionamento dei plug-in Grasshopper Bombyx (Fig. 1) e Cardinal LCA [22].

Si consideri che le caratteristiche di questo approccio parametrico alla LCA può comprendere diverse variazioni in base alle scelte metodologiche.

Questo approccio può declinarsi anche per lo sviluppo di un'analisi dettagliata per il Life Cycle Assessment, in questo caso orientata alla certificazione delle prestazioni ambientali.

Gli studi condotti sono per lo più comparativi secondo la UNI EN ISO 14040, le categorie generali di impatti ambientali, generalmente considerati, in una LCA riprendono le normali fasi di utilizzo secondo le normative [23].

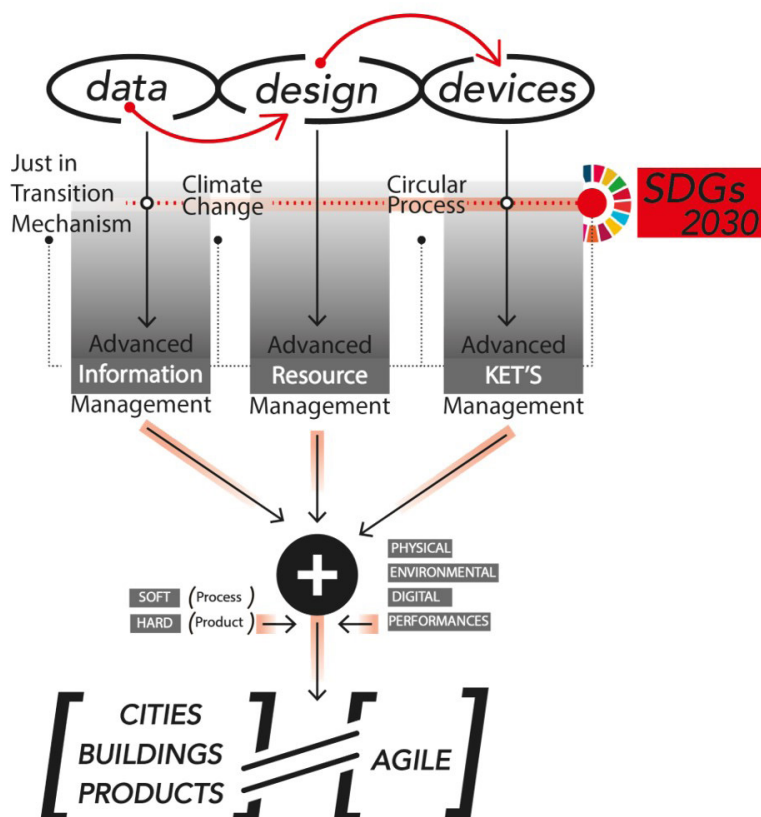


Fig. 5. Advanced Sustainable Design Model (fonte: C.Nava, 2019)

#### 4.1.3 Definizioni in ambito disciplinare per la lettura degli impatti ecologici

La *metodologia progettuale-operativa* proposta consente di condurre una sperimentazione diretta sui fattori che contribuiscono sia all'aumento del Global Warming Potential [24] durante tutto il ciclo di vita, facendo riferimento agli studi condotti sui parametri dell'LCA che insistono sui benefici ambientali che il riutilizzo dei materiali porta negli edifici (energia non rinnovabile ed emissioni di GHG).

Il Global Warming Potential (GWP) è definito come la quantità di calore assorbita da qualsiasi gas serra nell'atmosfera, moltiplicata per la quantità di calore assorbita dall'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Il riferimento per la sua quantificazione è quindi l'anidride carbonica<sup>3</sup>. Un aumento significativo delle concentrazioni atmosferiche di CO<sub>2</sub> risulterà dalle emissioni di CO<sub>2</sub> nel corso dei prossimi migliaia di anni.[25] Ogni anno, il Gruppo di Ricerca dell'IPCC compila e aggiorna le stime dei valori GWP su 20, 100 anni e 500 anni<sup>4</sup>. Per calcolare la CO<sub>2</sub> equivalente (o CO<sub>2</sub>eq o CO<sub>2</sub>-e) dal GWP, si utilizzano gli equivalenti di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>-e). Come con qualsiasi gas, questi sono rappresentati dalla massa di CO<sub>2</sub> che riscalderebbe la terra tanto quanto la massa del gas stesso. Di conseguenza, consente di misurare gli effetti climatici di diversi gas su una scala comune. Il GWP si calcola moltiplicando la massa dell'altro gas per il GWP.

Il GWP è utilizzato all'interno del "protocollo di Kyoto della Convenzione quadro delle Nazioni Unite" [26] sui cambiamenti climatici come indicatore per quantificare gli effetti del cambiamento climatico. Il GWP è stato oggetto di molte critiche a causa della sua formulazione, ma ha comunque mantenuto un certo favore per la semplicità della sua valutazione e applicazione attraverso il LCA e per la sua trasparenza rispetto alle alternative proposte. Il potenziale di riscaldamento globale è quindi un parametro che descrive l'impatto radiativo relativo a diversi gas serra, questo infatti ampiamente utilizzati per normalizzare i flussi di gas serra come equivalenti di CO<sub>2</sub> per facilitare i confronti.

I risultati ottenuti sono normalmente presentati sotto forma di carichi ambientali aggregati o impatti relativi all'unità funzionale, in entrambi i casi i valori possono essere misurati in modo riproducibile utilizzando l'unità CO<sub>2</sub>eq/kg [27] (Fig. 6).

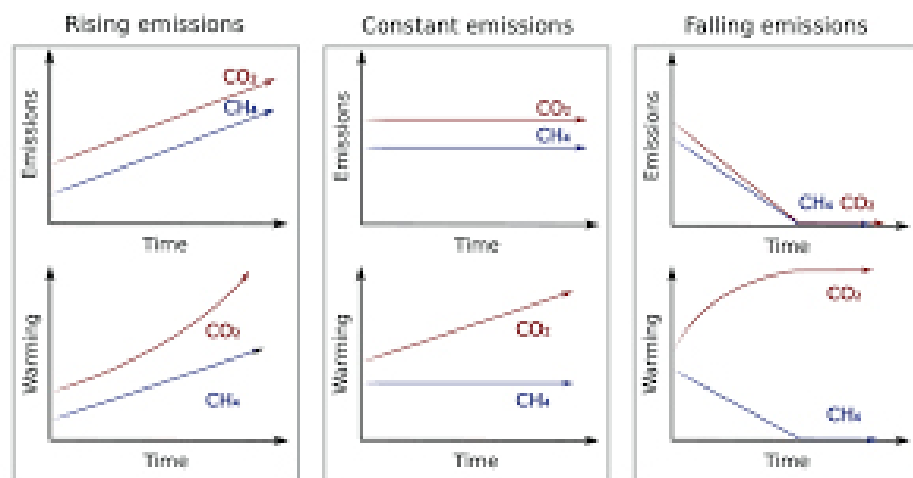


Fig. 6. IPCC Climatic Projections related to Rising, Constant, Falling emissions 2002.

## 4.2 Design Computazionale in processi circolari: tools e strategie digitali per l'ottimizzazione del progetto tecnologico

### 4.2.1 Performance based Tools

L'approccio basato sulla performance, approfondisce le relazioni che il progetto sperimentale intraprende con l'ambiente fisico, focalizzando lo studio sugli aspetti che riguardano gli attributi prestazionali, riferiti a parametri quantificabili che possono influenzare sia la qualità dell'ambiente, quando intervengono sugli aspetti prestazionali dell'edificio, sia sulla misura e la visualizzazione degli impatti [28].

Lo step operativo prevede l'utilizzo di plug-in che interagiscono nello spazio parametrico di Grasshopper. Nello specifico i tools LadyBug, HoneyBee ed Eddy3D riferiscono sullo stato prestazionale dell'oggetto della sperimentazione, ne descrivono gli aspetti endogeni legati alla composizione e al funzionamento del componente/sistema<sup>5</sup> (HoneyBee), ne analizzano gli aspetti ambientali legati allo scenario in cui la sperimentazione viene condotta<sup>6</sup> e permette di effettuare simulazioni accurate sugli scenari prestazionali (Ladybug, Eddy3D) [29]. L'utilizzo di questi strumenti fonda la sua validità sulla metodologia definita "dichiarativa". [30] Utilizzando la metodologia di progettazione dichiarativa le informazioni del progetto possono essere così manipolate usando un alto livello di astrazione.

"Le intenzioni dichiarate riguardano alle prestazioni ambientali da soddisfare", queste saranno tradotte dall'approccio del Regenerative Design in impatti effettivi visualizzati, da qui si procede con la valutazione dei risultati della sperimentazione e il confronto con le sue intenzioni dichiarate per selezionare quelle che corrispondono alle prestazioni richieste in fase iniziale.

L'obiettivo della metodologia proposta mostra come il metodo dichiarativo potrebbe essere utilizzato per strutturare un metodo di progettazione basata sulla performance.

Sulla base delle intenzioni descritte, i modelli di base si materializzano in diversi livelli di fitness (Figura 7). I modelli generati come riferimento verranno utilizzati per ottimizzare il progetto architettonico attraverso la selezione della soluzione migliore, così da integrare le caratteristiche energetiche delle soluzioni proposte (guadagno solare e consumo energetico).

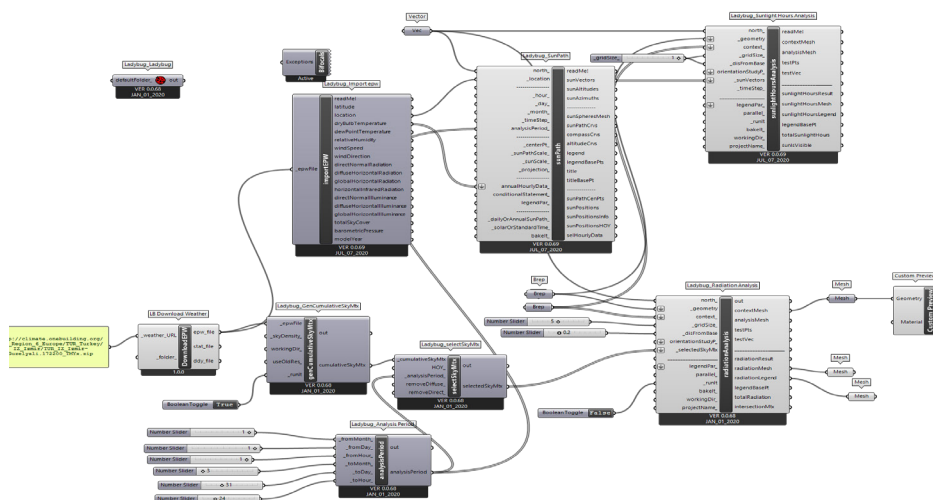


Fig. 7. Un esempio di script per il calcolo e la visualizzazione di un'analisi di radiazione solare e un'analisi di ore di esposizione solare. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

### LadyBug

L'approccio olistico al progetto affrontato nello studio inizia con gli strumenti di assistenza dedicati ai fattori di illuminazione progettuale già durante le prime fasi del processo di progettazione. LadyBug in questo senso è lo strumento di ricerca di riferimento [31] che utilizza le proiezioni degli effetti di luce diurna e fornisce i dati necessari per generare potenziali soluzioni che concretizzano le intenzioni "dichiarate". Il software di simulazione viene utilizzato per selezionare la o le soluzioni corrispondenti alla sua intenzione di valutare la luce diurna e l'energia.

Il comfort termico e l'efficienza energetica degli edifici sono direttamente influenzati dagli studi sull'irraggiamento. Mentre la radiazione ricevuta da una superficie è direttamente correlata al suo orientamento e all'angolo di incidenza solare, la maggior parte dei metodi di visualizzazione ignora questa relazione. I dati sulla radiazione sono solitamente visualizzati come tabelle 2D. Un semplice grafico 2D viene utilizzato per mostrare i dati sulla radiazione, media settimanale o mensile, oppure un grafico 3D che mostra solo la quantità di radiazione per uno specifico.

Lo studio dell'orientamento è una funzionalità integrata nelle componenti di analisi (radiazioni, ore di luce solare e analisi della vista) di Ladybug, che consente all'utente di studiare e visualizzare su un modello 3D la relazione tra l'orientamento dell'edificio e la quantità di radiazione solare incidente o ore di luce solare. Lo studio considera la geometria del progetto e il contesto (Figura 8) ed è possibile eseguire gli studi fissando un periodo di tempo specificato dall'utente.

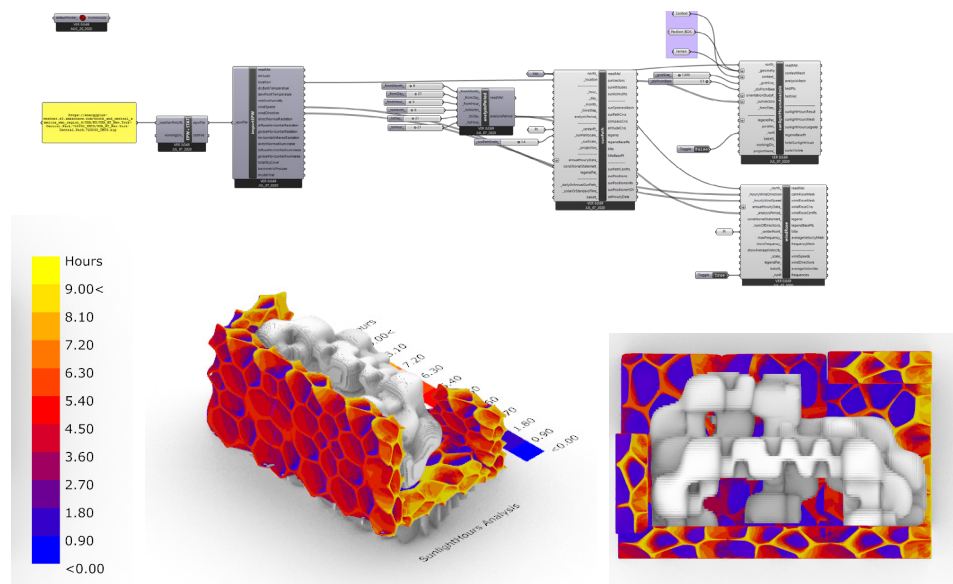


Fig. 8. Lo script (in alto) e il risultato (in basso) di un'analisi della capacità di esposizione solare. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

L'output è la quantità totale di radiazione per ciascuna opzione e viene prodotta una mesh colorata del risultato in modo che il risultato possa essere referenziato. La figura 5 mostra il risultato dello studio per un edificio campione sperimentale a New York. È stato eseguito lo studio per gli orientamenti, di angoli compresi tra 0 e 180 gradi (con incrementi di 45 gradi), per orientare l'edificio in modo da ricevere la massima quantità di radiazioni durante il periodo in cui è maggiore il guadagno solare.

Il diagramma del percorso solare (SunPath) viene utilizzato per l'analisi ambientale. Tuttavia, di solito viene visualizzato come un elemento grafico autonomo. Sovrapponendo i dati orari desiderati sul percorso del sole, Ladybug collega il percorso del sole (ad esempio la "dry bulb temperature" e i dati meteorologici orari).

Inoltre, la componente del percorso solare consente all'utente di filtrare le posizioni del sole in base a qualsiasi condizione desiderata. Gli utenti possono tracciare il percorso del sole per ore quando la temperatura è maggiore di  $180\text{ C}^\circ$  e la radiazione orizzontale globale è maggiore di  $630\text{ Wh/m}^2$ . Ad esempio, questa opzione può accelerare la progettazione dell'ombreggiatura.

Un'istruzione condizionale è necessaria per collegare i dati orari. I vettori solari sono incorporati dalla componente del percorso solare. In Grasshopper, questi vettori possono essere utilizzati per progettare l'ombreggiatura. L'utente può testare diverse opzioni di ombreggiatura in base a diverse metodologie poiché non vi è alcuna restrizione sul tipo di dati orari di input. Il componente del percorso solare viene utilizzato per automatizzare il processo di progettazione dell'ombreggiatura in base alla temperatura e alla radiazione orizzontale globale.

### HoneyBee

Come Ladybug, Honeybee analizza i fattori che influenzano l'inerzia termica degli edifici, adottando un livello di approfondimento più alto [32, 33]. Come molti altri strumenti, all'interno del Workflow vengono impostati molti valori predefiniti. Tuttavia, gli utenti possono sovrascrivere tutti gli input predefiniti. Honeybee esegue le analisi in quattro passaggi:

1. automatizza il processo di individuazione degli indici di massa termica e la ricerca delle superfici disperdenti, quindi l'utente deve solo fornire le altezze del pavimento e i programmi di spazio. Secondo il programma, Honeybee divide l'organismo edilizio studiato in diverse unità e assegna set di costruzione, programmi e carichi interni. Per ogni orientamento, l'utente fornisce la percentuale di aperture. Utilizzando la percentuale dell'apertura, Honeybee calcola e aggiunge le aperture alla geometria per la simulazione dell'energia dissipata e della luce diurna;
2. Controlla il file di input la maggior parte degli strumenti esistenti esporta le geometrie dagli ambienti di progettazione ai file di simulazione e rilegge il risultato, tuttavia honeybee offre una connessione di importazione/esportazione bidirezionale, consentendo all'utente di visualizzare il file di simulazione in Rhino /Grasshopper prima di eseguirlo;
3. Grasshopper consente all'utente di eseguire simulazioni dopo aver impostato alcuni input (Figura 9). Gli utenti devono fornire un percorso per il file meteo, gli output desiderati, la directory di lavoro e il nome del progetto per la simulazione energetica. Gli utenti possono anche aggiungere geometrie di contesto come oggetti di ombreggiatura. L'utente deve fornire superfici di prova o punti di prova e sovrascrivere i dettagli dell'analisi condotta.

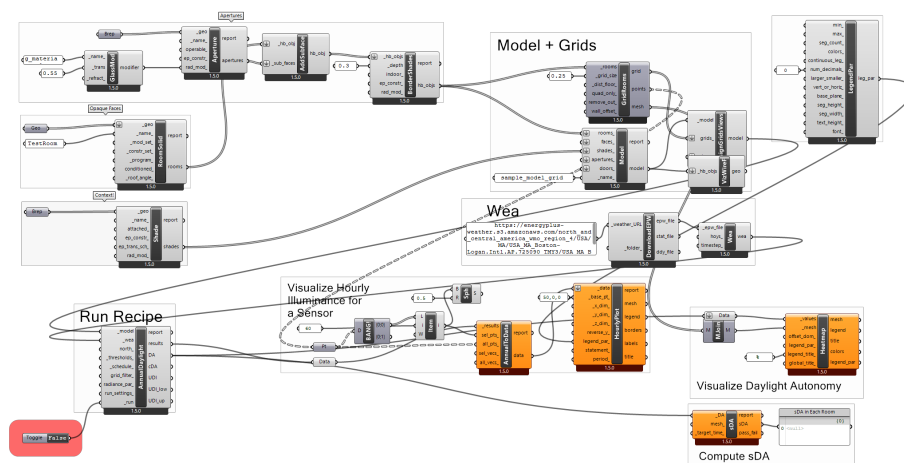


Fig. 9. Sperimentazione per la costruzione di uno script su Honeybee per la simulazione del consumo di energia. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

Le costruzioni EnergyPlus vengono automaticamente convertite in simulazioni di illuminazione diurna da Honeybee, che utilizza la stessa geometria per entrambi, semplifica il processo e previene gli errori di input dell'utente. Il modello di illuminazione diurna può essere regolato per aggiungere ulteriori dettagli allo studio (ad es. spessore delle pareti, partizioni interne, ecc.);

4. Gli utenti possono mappare i risultati di illuminazione diurna e simulazione energetica con le geometrie utilizzando la visualizzazione della simulazione di Honeybee.

Il documento discute il lettore dei risultati di Daysim come esempio. Sono disponibili due diversi componenti per importare i dati. Un componente calcola i risultati tipici di un'analisi annuale della luce diurna basata sul clima, come Daylight Autonomy e Daylight Availability. L'altro componente importa e visualizza i valori orari dallo studio annuale in modo che gli utenti possano accedere ai valori in tempo reale per qualsiasi ora dell'anno e identificare potenzialmente le ore problematiche per generare soluzioni di progettazione appropriate. La Figura 10 mostra entrambi i componenti.

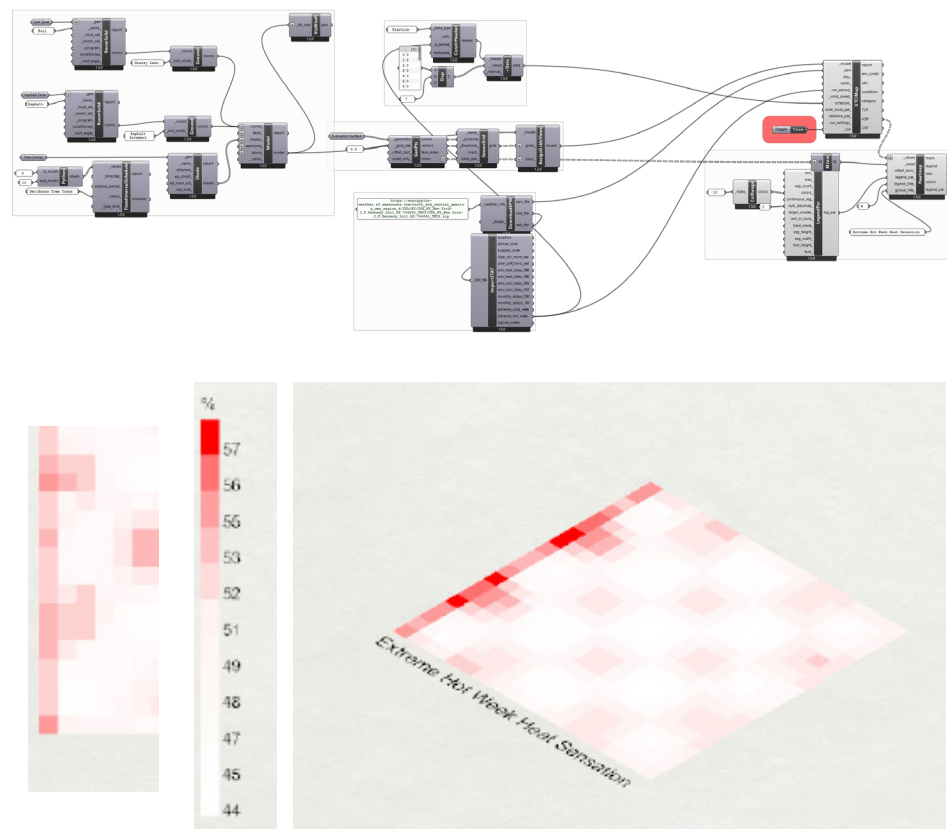


Fig. 10. Sperimentazione di uno script per il calcolo e la visualizzazione di una UTCI Map (Mappa di Universal Thermal Climatic Index). (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

#### 4.2.2 LCA Tools

Negli ultimi anni il design parametrico ha guadagnato popolarità in architettura e design, l'approccio parametrico offre il vantaggio di generare facilmente numerose varianti nel progetto. Fondare le ragioni del progetto negli studi valutativi basati sulle performance implica la necessità di generare e valutare idee progettuali espresse in diverse alternative [34]. I modelli parametrici intendono soddisfare questa esigenza, una volta sviluppata la successione algoritmica infatti diventa molto facile generare numerose alternative di progettazione. Pertanto, gli approcci parametrici sono ideali per l'ottimizzazione, poiché l'ottimizzazione del progetto è un processo iterativo di generazione, valutazione e confronto di varianti. Per un'ottimizzazione efficiente in termini di tempo, la progettazione parametrica richiede metodi e strumenti che svolgano l'analisi in maniera rapida. Le prestazioni energetiche, la disponibilità di luce diurna e la fluidodinamica computazionale sono tra gli strumenti parametrici disponibili per la valutazione delle prestazioni degli edifici. Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi strumenti LCA [35, 36], ma pochi seguono un approccio parametrico, come Cardinal LCA [37] o Bombyx [38].

##### Cardinal LCA

L'utilizzo di Cardinal LCA abilita l'esecuzione di analisi del ciclo di vita LCA in ambiente Grasshopper con l'ausilio del modello 3D prodotto in Rhinoceros 3D.

Questo Plug-in è basato sui materiali da costruzione maggiormente utilizzati nel settore delle costruzioni, il cui database è implementabile. Valuta il potenziale di riscaldamento (GWP) in kgCO<sub>2</sub>, già nella prima fase di progettazione.

Questa valutazione è internazionale utilizzando i database accettati dell'inventario del ciclo di vita (LCI) seguendo i passaggi normativi della metodologia di valutazione del ciclo di vita (LCA) [39].

Tuttavia, Cardinal LCA fornisce diverse informazioni sull'inventario del ciclo di vita e consente inoltre all'utente di scegliere il database di riferimento tra quelli disponibili [40].

Progettato per i non esperti, lo strumento consente agli architetti di analizzare i costi ambientali delle decisioni sui materiali nelle prime fasi del processo di progettazione.

La struttura per lo strumento è stata formata per restituire una lettura avanzata sulle "embodied emissions" degli edifici, gli studi condotti da Jonathan Grinham, docente di architettura e ricercatore associato posizionano il software definendolo "uno spazio aperto per affrontare gli impatti ambientali e umani della gestione dei materiali nell'ambiente costruito attraverso un apprendimento tangibile guidato dal design".

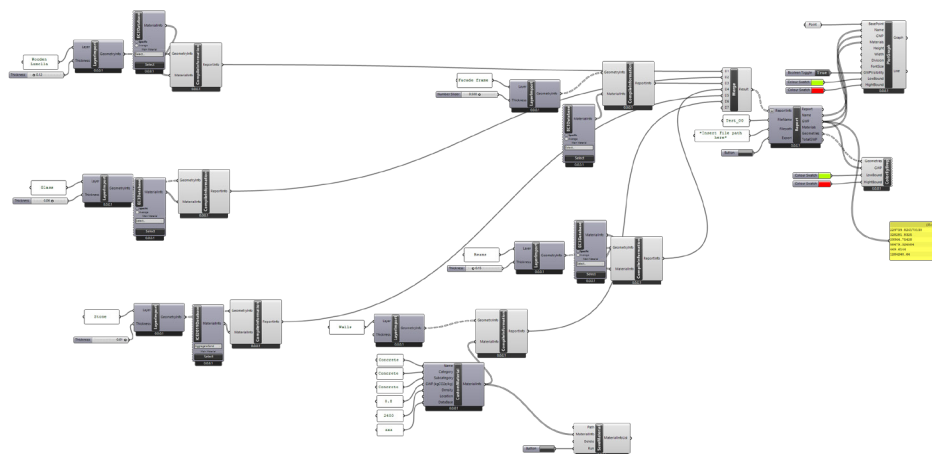


Fig.11. Sperimentazione su uno script su CardinalLCA. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

Lo strumento consente di eseguire calcoli in tempo reale non richiedendo competenze ingegneristiche e si concentra in particolare sulla prima fase di progettazione. Attualmente il Cardinal LCA interviene sulla valutazione del ciclo di vita delle strutture, considerando la fase di produzione, l'approvvigionamento di materie prime e la produzione (Fig. 11).

Sono quindi le fasi del prodotto (A1-A3) quelle prese in considerazione nel calcolo del GWP e il confine dello studio include elementi della prima fase di progettazione in un modello di Rhino: la struttura, l'involucro e gli assiemi interni [37].

Gli utenti hanno la possibilità di inserire i propri dati EPD (Environmental Product Declaration) e sviluppare la propria libreria e condividere gli output dello strumento tramite Excel. I file includono valori, grafici 2D e mappature 3D che evidenziano gli elementi con i contributi GWP più bassi e più alti.

La valutazione del potenziale di riscaldamento globale come valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA) (GWP) viene calcolata in kg di CO<sub>2</sub> equivalente.

La visualizzazione dei valori potenziali di riscaldamento globale tramite Cardinal LCA avviene sia in grafica bidimensionale che con l'aiuto delle mappe tridimensionali degli elementi di costruzione in Rhinoceros 3D (Fig. 12).

Gli sviluppatori di Cardinal LCA hanno affermato che nelle nuove versioni del plugin, che viene costantemente aggiornato, saranno ampliati entrambi i confini del sistema LCA e molti più materiali e componenti da costruzione saranno inclusi nell'analisi di impatto ambientale.

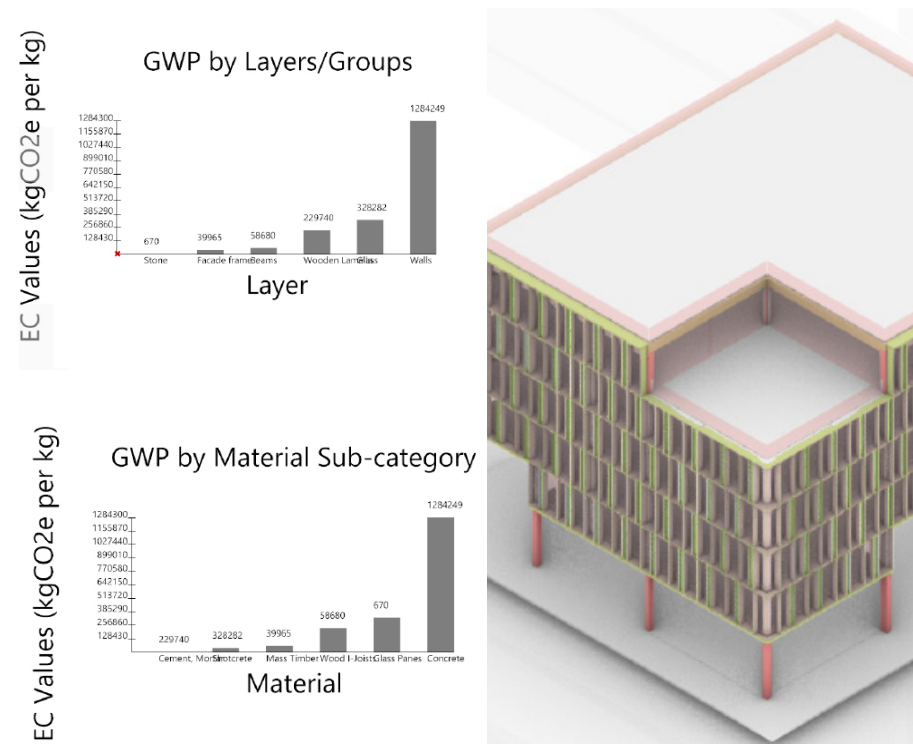


Fig. 12. La visualizzazione dei valori potenziali di riscaldamento globale tramite Cardinal LCA in grafica bidimensionale (grafici a sinistra) e in tridimensionale (elementi in Rhinoceros 3D a destra). (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

### Bombyx

Bombyx è uno strumento di programmazione visiva grasshopper e SQL (strutturato Utilizza un database dei componenti del materiale elaborato con lo strumento del linguaggio di query strutturato nel linguaggio di query).

L'esecuzione dell'analisi del ciclo di vita semplificata (LCA) delle strutture calcolata continuamente in tempo reale e basata sulla metodologia LCA restituisce risultati di impatto ambientale [38]. È durante le prime fasi di progettazione che Bombyx viene utilizzato allo scopo di ottimizzare diversi materiali da costruzione, sistemi costruttivi e di approfondire la ricerca della configurazione geometrica migliore (Fig. 13).

Nello svolgimento algoritmico, questo, offre due diverse alternative di calcolo.

L'approccio top-down, permette di ottenere risultati più rapidi e generali, ma fornisce pochi input per classificare la struttura nella fase iniziale di progettazione.

L'approccio bottom-up, in cui è possibile effettuare calcoli completi e dettagliati, consente la selezione dettagliata materiali dei materiali, tenendo conto anche degli aspetti legati alla configurazione tecnologica e geometrica.

L'analisi in tempo reale abilita il confronto e l'ottimizzazione dei componenti edilizi in fase di progettazione iniziale, in Rhinoceros è possibile codificare in diversi colori gli impatti ambientali dei diversi componenti.

Il plug-in è rilasciato utilizzando una licenza open source, il codice sorgente è sviluppato e rilasciato dai ricercatori del Politecnico federale di Zurigo (ETH Zurigo).

Il plug-in Bombyx continua a ricevere aggiornamenti costanti.

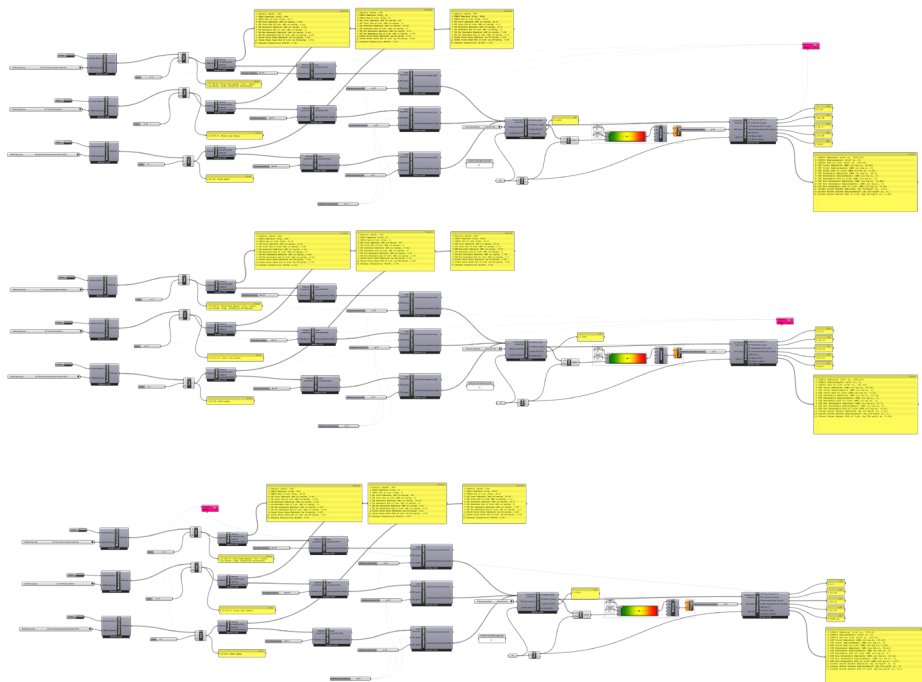


Fig. 13. Sperimentazione per uno script in Bombyx nelle prime fasi di progettazione allo scopo di ottimizzare diversi materiali da costruzione, sistemi costruttivi e di approfondire la ricerca della configurazione geometrica migliore. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

#### 4.2.3 ADP: Digital Strategy per l'ottimizzazione del progetto tecnologico

L'innovazione proposta nella definizione di "design computazionale in processi circolari" riguarda la possibilità di combinare e sfruttare diverse alternative progettuali declinate sull'Advanced Design Process.

Parametrizzando i dati del life cycle assessment [37,38] e gli aspetti legati alle condizioni di contesto [31, 33], si individuano le capacità prestazionali dell'oggetto della sperimentazione, con l'obiettivo di massimizzare il *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*, le *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>* e le *prestazioni fisico tecniche*.

L'obiettivo della strategia proposta è quello di potenziare la capacità di mitigazione e adattamento del progetto architettonico agli effetti del cambiamento climatico attraverso la riduzione dei consumi energetici, e la resilienza performativa agli impatti dell'architettura e della costruzione.

Questa connessione offre l'opportunità di generare parametri predittivi per utilizzare in modo efficiente i potenziali di ottimizzazione ambientale.

L'uso di Plug-in parametrici nel software Grasshopper eseguiti in Rhino per lo studio delle performance ambientali insieme all'analisi parametrica del ciclo di vita (PLCA) nelle prime fasi di un progetto, consente di applicare sinergicamente le strategie sopra descritte (Material Strategy, Energy Strategy).

La sintesi consiste nel combinare e sovrapporre gli indicatori che qualificano il progetto sostenibile in ambito digitale. Il risultato ottenuto si concretizza in un indice circolare e digitale, per ottenere una valutazione olistica del progetto, rivedendo i temi più rilevanti per la trasformazione sostenibile e digitale e genera inoltre una valutazione complessiva del progetto. Il concetto di base dell'approccio LCA parametrico (PLCA) è quello di combinare i principi della progettazione parametrica con un metodo LCA semplificato [39]. Il concetto è utilizzato come descritto da Hollberg [16] e adattato al contesto di cambiamento climatico.

Di seguito, i Workflow relativi all'utilizzo dell'approccio strategico nel processo di progettazione e le procedure di calcolo sono descritti separatamente.

Il Workflow nel processo di progettazione permette di influenzare le prestazioni ambientali di un edificio in base a tre categorie di parametri: 1) geometria, 2) materiali e 3) sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC). Ciascuna categoria è composta da un numero di parametri che permettono di intervenire direttamente sulle caratteristiche dimensionali. Tutti i parametri vengono inseriti in un modello LCA parametrico. La geometria viene definita utilizzando un modello 3D di superfici. Il modello include tutte le componenti tecnologiche di cui deve essere dotato l'organismo edilizio, anche quelli che potrebbero non essere necessari per calcolare la domanda energetica in fase d'uso, ma sono evidentemente necessari per calcolare l'impatto delle emissioni inglobate.

I componenti sono anche la base per la definizione della vita utile di riferimento (RSL). I materiali da costruzione sono inseriti definendo i materiali per ogni elemento [40].

#### *Computational Material Strategy for Embodied Energy optimization*

La scelta dei materiali in architettura è chiaramente influenzata dall'intento estetico, ma è soprattutto influenzata dalle prestazioni, che includono i costi esterni e gli impatti legati alla fase di estrazione e utilizzo.

Nella strategia proposta le decisioni messe in campo in ambito progettuale sono strettamente legate all'uso e alle prestazioni, in particolare attraverso i materiali e la loro energia inglobata. Gli aspetti del processo creativo sono spesso in contrasto con gli aspetti della funzione [39], il cambio di paradigma [40] in questo senso implica un "uso" della creatività orientato alla sostenibilità, con l'ottimizzazione dei flussi materici provenienti da fonti di riciclo. Negli ultimi anni, infatti, sono stati compiuti molti progressi nei processi di riciclo (cfr. Cap. 2) e nelle tecnologie di UpCycling (cfr. Cap. 3) [41], l'adozione di queste tecnologie

all'interno delle catene del valore [42] è vincolata a diversi fattori, che necessitano di una visione di insieme per essere approfonditi in relazione all'ambito di studio proposto.

L'approccio computazionale declinato sui processi circolari punta ad affrontare queste sfide, così come molte altre questioni architettoniche, definendo un approccio strategico per la scelta dei materiali da utilizzare, che possa grazie all'approccio computazionale ottimizzare le emissioni inglobate dell'organismo edilizio.

All'interno di quella che può essere definita come una "*strategia materica*", è importante considerare come i flussi passati e futuri di materia ed energia si relazionano con l'idea al centro del progetto (Fig. 14).

Tipicamente, lo studio degli aspetti tecnologici del progetto architettonico va dall'inizio della fase di progettazione fino al completamento della fase di costruzione, ma i materiali impiegati nel progetto hanno un impatto che può essere definito storicizzato, influenzando le prestazioni dell'edificio in un contesto che si estende ben oltre la linea temporale definita dalla fase d'uso [43].

Come parte di tale processo di progettazione, diventa importante riconoscere la natura aperta dei flussi materici nell'ambiente costruito (Urban Mining) [44].

Inoltre, è fondamentale considerare la dissipazione di energia e la perdita o il guadagno (UpCycling) del valore materiale nel tempo, sia quantitativamente che qualitativamente.

La modalità di adozione della "Material Strategy" mira a prevedere le prestazioni di sostenibilità dell'edificio nella fase di progettazione iniziale, dove le scelte di configurazione tecnologica non sono ancora definite e dove il progetto si presta maggiormente a impostare una configurazione "open-source" [45].

Come ampiamente sottolineato l'ottimizzazione tecnologica dei componenti per l'edificio esprime la sua maggiore efficacia nella Early Design Phase. L'LCA richiede informazioni dettagliate solo nelle fasi successive del processo, ma le modifiche sostanziali in quelle fasi comportano degli incrementi esponenziali dei costi di progettazione. L'adozione di un modello parametrico per la valutazione del GWP già nella Early Design Phase va a colmare uno dei maggiori Gap che l'approccio LCA ha riscontrato fino ad oggi, ovvero la difficoltà di implementare una volta che le informazioni necessari sono disponibili, le specifiche richieste nel progetto, portando a considerare così l'LCA esclusivamente come strumento valutativo.

Nello studio del metodo necessario all'ottimizzazione dall'interno del PLCA esistono due situazioni che si possono verificare.

La prima, è la situazione in cui il materiale è già stato selezionato prima della fase di progettazione, ad esempio, quando il cliente specifica la richiesta di una costruzione in legno. Questo materiale può essere considerato come invariabile e quindi l'oggetto dell'ottimizzazione sarà il design che può quindi essere modificato e migliorato (Fig. 14).

Nella seconda situazione, illustrata in Figura 15 e 16, non vi è alcuna scelta operata, gli algoritmi vengono utilizzati per generare automaticamente le varianti come parte del processo di scelta. Diversi parametri modificabili vengono assegnati all'ottimizzatore (Galapagos), che ha l'obiettivo di ridurre al minimo l'impatto del ciclo di vita determinando sia il materiale, sia la sua configurazione ottimale.

Dopo la valutazione dell'impatto ambientale del progetto iniziale, allo stesso modo questa operazione viene sottoposta ad un processo di ottimizzazione continuo e reiterativo.

Un criterio di interruzione viene in genere soddisfatto dopo un determinato runtime o dopo che vengono eseguite un certo numero di soluzioni, quindi l'ottimizzatore cerca di ridurre l'impatto variando i parametri che all'inizio sono stati fissati. Una volta trovata la combinazione materiale/impatto ottimale, si presume sia quella in cui il GWP sia più basso, l'ottimizzazione si ritiene completata.

Fig. 14. Graficizzazione degli impatti sul LCA effettuati utilizzando Cardinal LCA su GH (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)



Fig. 15. Lo studio del metodo necessario all'ottimizzazione dall'interno del PLCA. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)

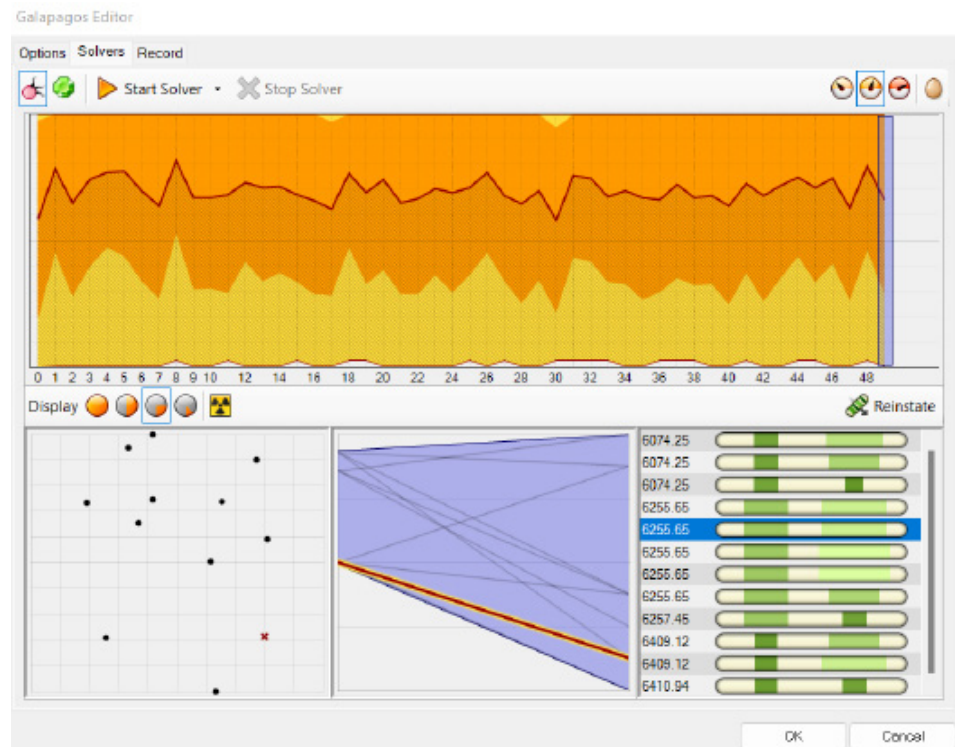
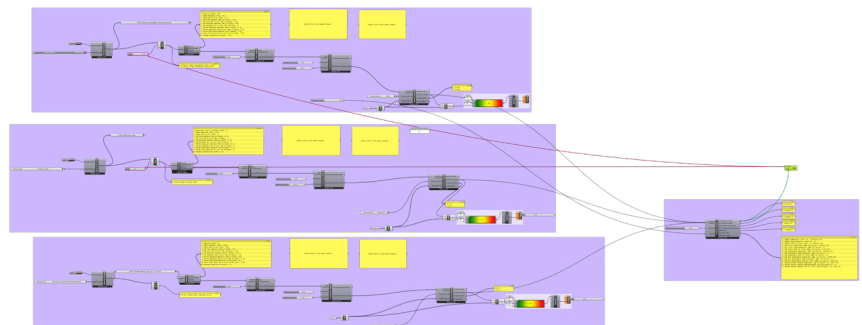


Fig. 16. Script per il calcolo LCA tramite Bombyx LCA. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)



### 4.3 Per una metodologia operativa ACD: costruzione e simulazione di un framework per l'innovazione di processo nel progetto circolare

#### 4.3.1 Indicazioni generali per la lettura adozione dell'ACD

La ricerca sui temi dell'Advanced Circular Process, in cui si collocano gli approcci al design circolare e all'UpCycling, interpreta la missione della necessaria transizione ecologica e digitale nel settore delle costruzioni e per l'architettura di edifici e spazi a impatto zero, riformando i processi di progettazione e l'utilizzo di simulazioni computazionali e strategie di prototipazione per la definizione dell'Advanced Circular Design.

L'innovazione proposta a chiusura nella definizione della metodologia operativa integra tutti quegli aspetti legati all'ottimizzazione digitale degli impatti, all'innovazione nei materiali da costruzione e le possibili implicazioni sulle sperimentazioni per la fabbricazione digitale.

Si presenta quindi il framework per l'innovazione del processo di sperimentazione nel progetto circolare. La lettura del modello algoritmico, il cui obiettivo è quello di ottimizzare le capacità prestazionali di componenti e sistemi costruttivi per l'architettura in UpCycling del Liminal Space.

In prima istanza l'innovazione del GRM si esprime nella sua capacità di incorporare:

- cicli di materiali circolari (Cfr. Appendice 1.1), componenti e sistemi costruttivi industrializzati capaci di interfacciarsi sia con i sistemi naturali;
- l'innovazione data dall'incremento della biodiversità ed operando un impatto positivo sulla biosfera (Cfr. Appendice 1.2), sia con componenti ad alte prestazioni, ottimizzando così gli impatti relativi alla tecnosfera nel ciclo di vita;

La successione lineare ed algoritmica all'interno del framework in questione sintetizza la serie finale di indicatori chiave che sono considerati in questa metodologia, supportando la valutazione e la gestione del processo e del progetto.

In considerazione di ciò, sono stati definiti i due gruppi di indicatori descritti nei paragrafi precedenti e che riferiscono alle strategie progettuali messe in campo [16], che rappresentano in tutta la loro complessità l'insieme degli indicatori relativi alla impronta ambientale:

- Indicatori di Design Basato sulle Prestazioni;
- Indicatori di Design Basato sul Ciclo di Vita.

Gli indicatori di base che individuano i caratteri per la cooptazione funzionale delle parti possono essere utilizzati nella fase concettuale del progetto, invece gli indicatori di performance possono essere utilizzati nelle fasi pre-progettuali per l'ottimizzazione dell'operazione passiva, quindi gli indicatori sul ciclo di vita sono utilizzati per ottimizzare l'utilizzo delle tecnologie scelte intervenendo sugli aspetti che influenzano l'energia incorporata nel sistema-prodotto. I dati ottenuti rilasciati sotto forma di algoritmo sono oggetto del framework proposto a chiusura che sintetizza l'approccio progettuale in tutte le fasi dell'Advanced Circular Design con approccio interscalare.

*Green Responsive Model, framework sperimentale per l'ACD*

In tempi di quarta rivoluzione industriale, nello scenario di transizione ecologica e digitale, in un contesto influenzato dai cambiamenti climatici, si richiede che la nuova dimensione dell'industria 4.0 si combini con l'industrializzazione avanzata, i cui processi di innovazione riguardano l'ibridazione dei modelli organizzativi e degli strumenti a disposizione, per una reale elaborazione del progetto, in grado di controllare direttamente il prodotto e il processo, in tutte le fasi dalla sua ideazione, alla realizzazione.

La necessità di validazione delle innovazioni, anche in fase di esercizio e di utilizzo, come richiesto dal monitoraggio del comportamento dei sistemi, al fine di valutarne la sostenibilità, rende l'industrializzazione un processo "aperto", non tanto per la sua capacità di innovare la produzione di propri componenti o sistemi o consentire ulteriori assemblaggi (condizione di prefabbricazione aperta e flessibile), ma nella necessità di rendere il processo sempre più "affidabile", verso una nuova "durabilità", coerente con la logica del ciclo di vita di componenti ed edifici, in una prospettiva circolare (Fig. 17).

La particolare qualità della manifattura, digitale e fisica, si coniuga con le possibilità produttive dei processi industriali, non per rendere i loro prodotti replicabili, quanto per renderli compatibili e accessibili alle esigenze dell'innovazione sostenibile, come accade in altri settori produttivi.

Con la possibilità di intervenire in un mercato in cui il settore delle costruzioni può proporsi come campo di sperimentazione, garantito da una competitività che riconosce il valore dei processi oltre a quello dei prodotti, tale condizione realizza contemporaneamente tre diverse strategie in modo efficace ed efficiente. Definire metodi di produzione specifici per l'industria manifatturiera a basso impatto ambientale, attraverso un approccio modello, un approccio programmatico e un approccio componente [46]. E soprattutto risponde a criteri di sostenibilità, con modelli come il discusso off-site e off-shore, in un'ottica di "tecnologie di miglioramento continuo", in cui il valore della ricerca e dello sviluppo di una rete di agenti interessati in questo cambiamento, riesce a produrre applicazioni e sperimentazioni, che trovano il loro mercato di interesse, prima ancora di trasformare tali prodotti di design e progressi scientifici, in prodotti finiti e sistemi di componenti industriali.

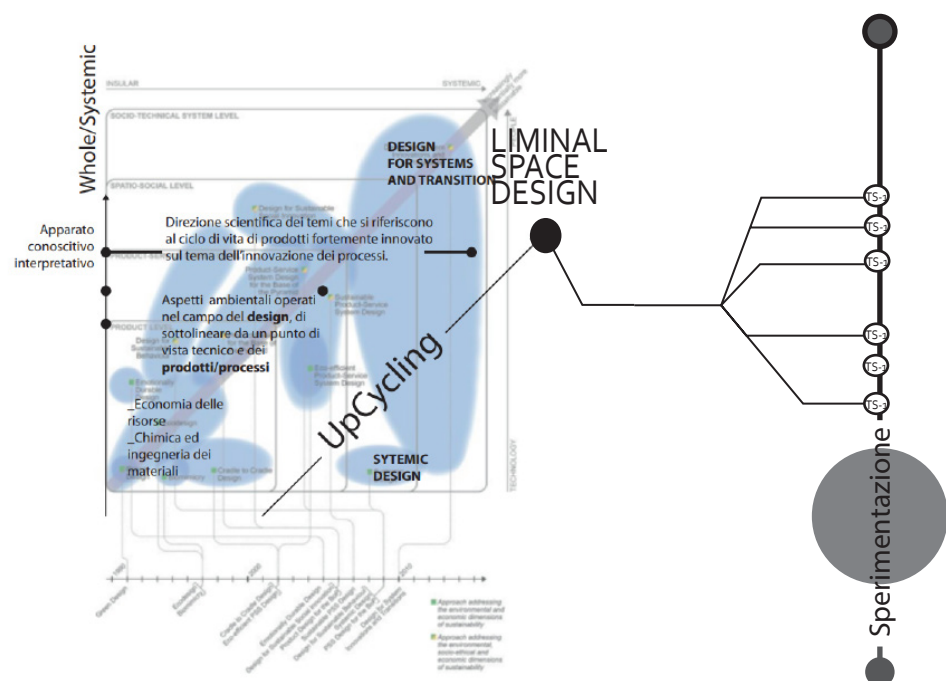


Fig. 17. UpCycling Model basato sull'Evoluzione del DFS di F. Ceschin. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2022)

#### 4.3.2 Costruzione del framework per la sperimentazione: Green Responsive Model (GRM)

La metodologia scelta per la creazione del modello GRM prevede la definizione di un framework dedicato e originale per l'innovazione del progetto circolare di materiali, componenti e sistemi verso "l'Architettura 5.0" (cfr. Cap. 1).

Le relazioni di questi aspetti, quando lavorano insieme nell'ambiente costruito, possono tradursi in sistemi costruttivi avanzati con un forte carattere ecologico, validati nella definizione del framework denominato Green Responsive Model (Fig.18).

A caratterizzare questa metodologia sono le tre traiettorie di ricerca che collegano i temi dell'UpCycling, indicando i campi delle questioni ambientali legate all'ottimizzazione dello "spazio liminale" ovvero la ricerca di "configurazioni materiche" riferite ai processi circolari, che nella "programmazione responsiva" determinano l'innovazione nei processi di progettazione off-site", e la capacità di reagire agli aspetti ecologici sfruttando l'interazione tra natura ed ambiente costruito [10]. Nella realizzazione dell'UpCycling del liminal space, quale sistema ambientale di frontiera, per la definizione del Green Responsive System il processo valuta ed evolve:

- l'ottimizzazione strategia nelle scelte che condizionano il progetto al fine di ridurre il GWP;
- gli aspetti tecnologici che definiscono la costruibilità circolare del progetto;
- le risposte integrate che l'unità tecnologica progettata è capace di offrire in fase operativa.

Dal punto di vista tecnologico è stata effettuata una rilettura critica a monte del processo, (cfr. Appendice 1) con un approccio interscalare, confrontandosi sempre sui parametri guida individuati e conseguentemente declinando l'approccio parametrico per garantire ad ogni domanda prestazionale un elevato grado di flessibilità e resilienza al variare di questi parametri.

La metodologia di progetto ha permesso di aumentare il grado di innovazione nell'elaborazione dei processi evolutivi del progetto, vincolando gli aspetti prestazionali alle questioni performative, costruttive e di comfort, che diventano, nel progetto tecnologico delle prototipologie in uscita, il focus del progetto che viene così arricchito dalle sue componenti morfologiche e configurative. Nell'attuale quadro cognitivo, è necessario proporre un approccio integrato, multiscalar e multidisciplinare alla gestione del progetto tecnologico dell'architettura. Si individuano così gli strumenti di supporto decisionale per operare valutazioni tra prestazioni tecniche e criteri ambientali differenti per cui le basi fondamentali alla piccola scala sono affrontate per quanto riguarda l'evoluzione del design su un progetto circolare, coinvolto nella pratica progettuale l'innovazione radicale sul campo scientifico indagato. Nelle condizioni di grande scala, l'ambiente operativo contestuale, tenendo conto dello scenario che rappresenta il dominio applicativo e la sua ottimizzazione nell'ambiente parametrico.

All'interno del campo definito dall'ambiente sperimentale, un ciclo di progettazione itera le sue soluzioni alternative tra i processi relativi alle prestazioni e all'attività di costruzione degli artefatti e la loro successiva valutazione e ottimizzazione, concentrandosi sugli aspetti definiti nello sviluppo del framework sul design circolare avanzato (Fig.19).

In questo contesto si propone un quadro sinottico per la transizione digitale del settore delle costruzioni, per realizzare la circolarità e proporre un nuovo framework per l'innovazione di processo nel progetto circolare.

La struttura dell'approccio metodologico rafforza la resilienza sistemica, la gestione della circolarità delle risorse e l'ottimizzazione delle prestazioni dell'organismo edilizio intervenendo sullo spazio liminale, controllando gli impatti.

*Advanced Circular Design: Framework e simulazione progettuale*

Lo strumento di progettazione circolare è stato sviluppato e testato utilizzando un approccio iterativo graduale. Nella fase 1, illustrata in figura 18 è stata condotta un'analisi delle lacune per determinare come migliorare le strutture di progettazione circolare esistenti ed è stato condotto un processo di catalogazione dei requisiti dei materiali contenuti nel repertorio dei casi studio.

Durante la fase 1 quindi, è stata condotta una revisione sistematica della letteratura per identificare i parametri e le opzioni disponibili nella progettazione esistente strutture per progetti circolari. Come parte del passaggio dallo step 1 al 2, i parametri e gli strumenti legati alla loro definizione vengono combinati e specificati per la definizione del GRS (Green Responsive System).

Durante il primo step, si considera come uscita l' algoritmo generativo necessario allo sviluppo di un componente edilizio circolare, quindi si procede con la sperimentazione dello strumento, approfondita anche con riferimenti acquisiti con la letteratura di caratteri disciplinare. Per giungere al passaggio finale dello step, si valutano le possibili uscite risultanti dalla prima sperimentazione, identificando così le opportunità di ottimizzazione nei diversi ambiti. Sono gli strumenti generativi che offrono il supporto iniziale nella sintesi delle varianti progettuali che sono al centro di questo passaggio.

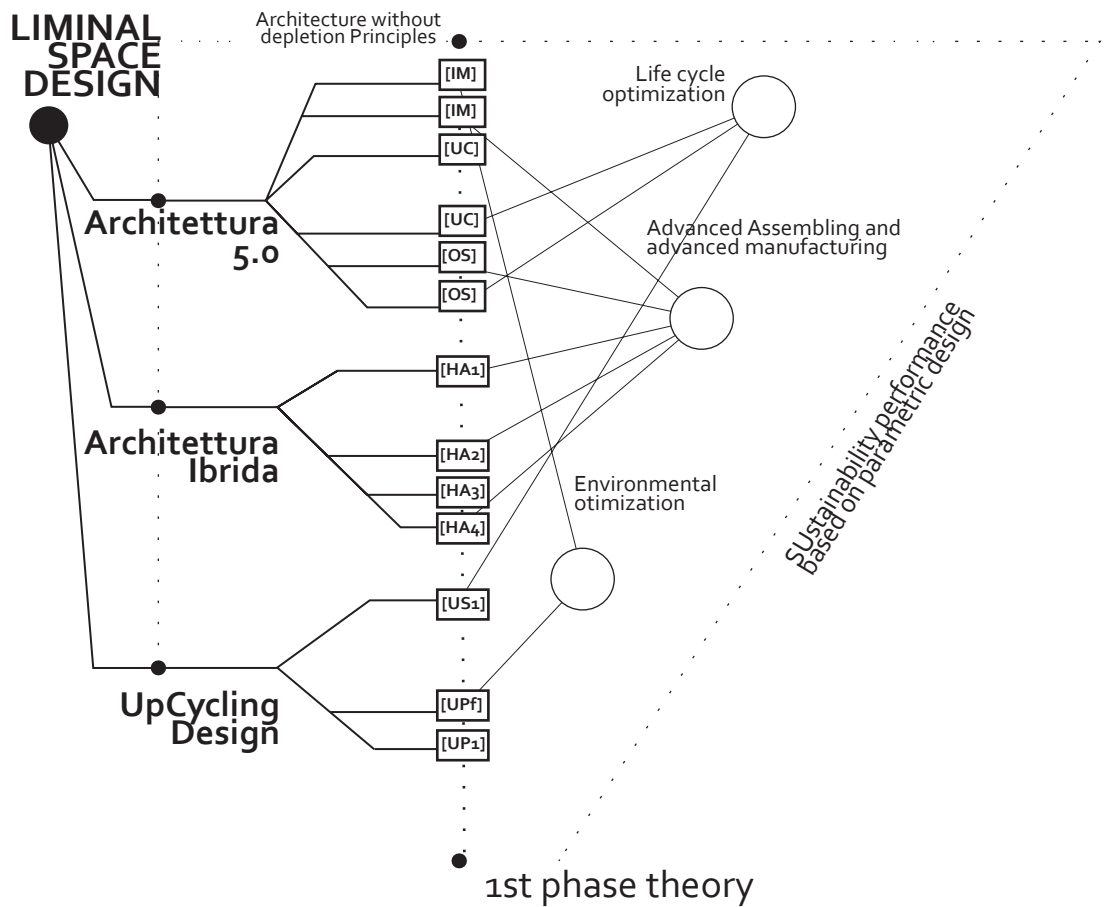


Fig. 18. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato che definisce gli aspetti su cui si concentra il ciclo di progettazione nell' iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Prima fase: Avanzamento Teorico. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)

La rilettura critica della letteratura permette invece di identificare quelle pratiche di progettazione circolare generativa esistenti.

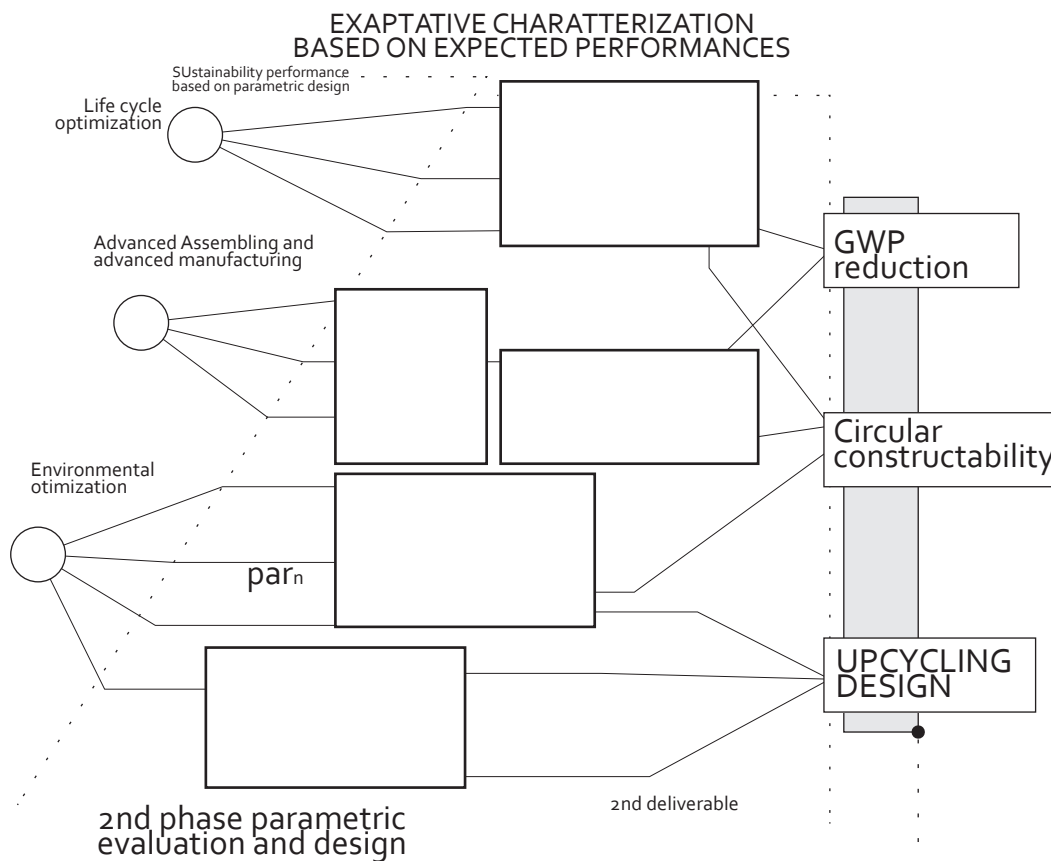
La selezione operata nel secondo step del framework si limita agli strumenti che supportano la progettazione di un modello tecnico, industriale e/o di business circolare e facilitano la sintesi di una proposta progettuale. Tre aspetti sono stati esaminati nell'analisi.

Inizialmente, si individuano gli aspetti disciplinari (D) per il quale il framework fornisce supporto progettuale, distinguendo tra il modello tecnico (design), il modello industriale (gestione della catena di fornitura) e il modello di trasformazione (upcycling).

Nella seconda fase, si considera il livello (L) per il quale il framework fornisce supporto alla progettazione. Il livello di innovazione sul modello CE può essere progettato a tre livelli di scala: macro (innovazione circolare di processo); meso (innovazione disruptiva tecnologica); e micro (innovazione radicale di prodotto). Coerentemente con il livello di innovazione abbiamo, si analizza il tipo di supporto valutativo offerto nel modello: GWP, MCI e "indici prestazionali", come output della fase.

Il terzo step mette in atto la sperimentazione sul componente/sistema innovato, questo intende trasferire nel progetto dell'unità tecnologica un modello di tipo circolare che spinga il sistema evoluto oltre la prestazione fisica ambientale, intercettando sia nella fase di sviluppo, sia nella fase d'uso che di dismissione tecniche e tecnologie capaci di ottimizzare nei loro output l'utilizzo di materiali provenienti da riciclo e restituiscono una prestazione ecologica come stoccatrici di CO<sub>2</sub>, attivamente nel loro ciclo di vita ed in modo passivo.

Fig. 19. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato che definisce gli aspetti su cui si concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Seconda fase valutazione progettuale parametrica. (fonte: elaborazione D. Lucanto, 2021)



Lo step successivo, che conclude l'articolazione metodologica, avviene attraverso l'utilizzo di un sistema di produzione industriale avanzata di materiali, componenti e sistemi oggetto di Up-Cycling e riproducibili con tecniche e tecnologie di Additive Manufacturing. E quindi evidenziando come la transizione digitale ed ecologica verso un modello circolare per l'Architettura 5.0 si realizza attraverso l'innovazione tecnologica tradotta dall'approccio Rigenerativo.

Lo sviluppo tecnologico in questo campo permette infatti di affrontare diverse tematiche legate ai nuovi approcci nell'ambito dell'oggetto della sperimentazione attraverso la progettazione integrata e la prototipazione ibrida delle componenti per la realizzazione di moduli e sistemi per il rinverdimento verticale degli edifici di nuova costruzione e ristrutturazione.

Il Green Responsive System (G.R.S.), come sperimentazione progettuale prototipologica, re-interpreta così l'insieme delle soluzioni possibili per il rinverdimento verticale degli edifici capaci di restituire un progetto avanzato e circolare di un sistema di moduli verdi per realizzare chiusure verticali e orizzontali di involucro e componenti integrati nello spazio urbano, con un forte carattere responsivo.

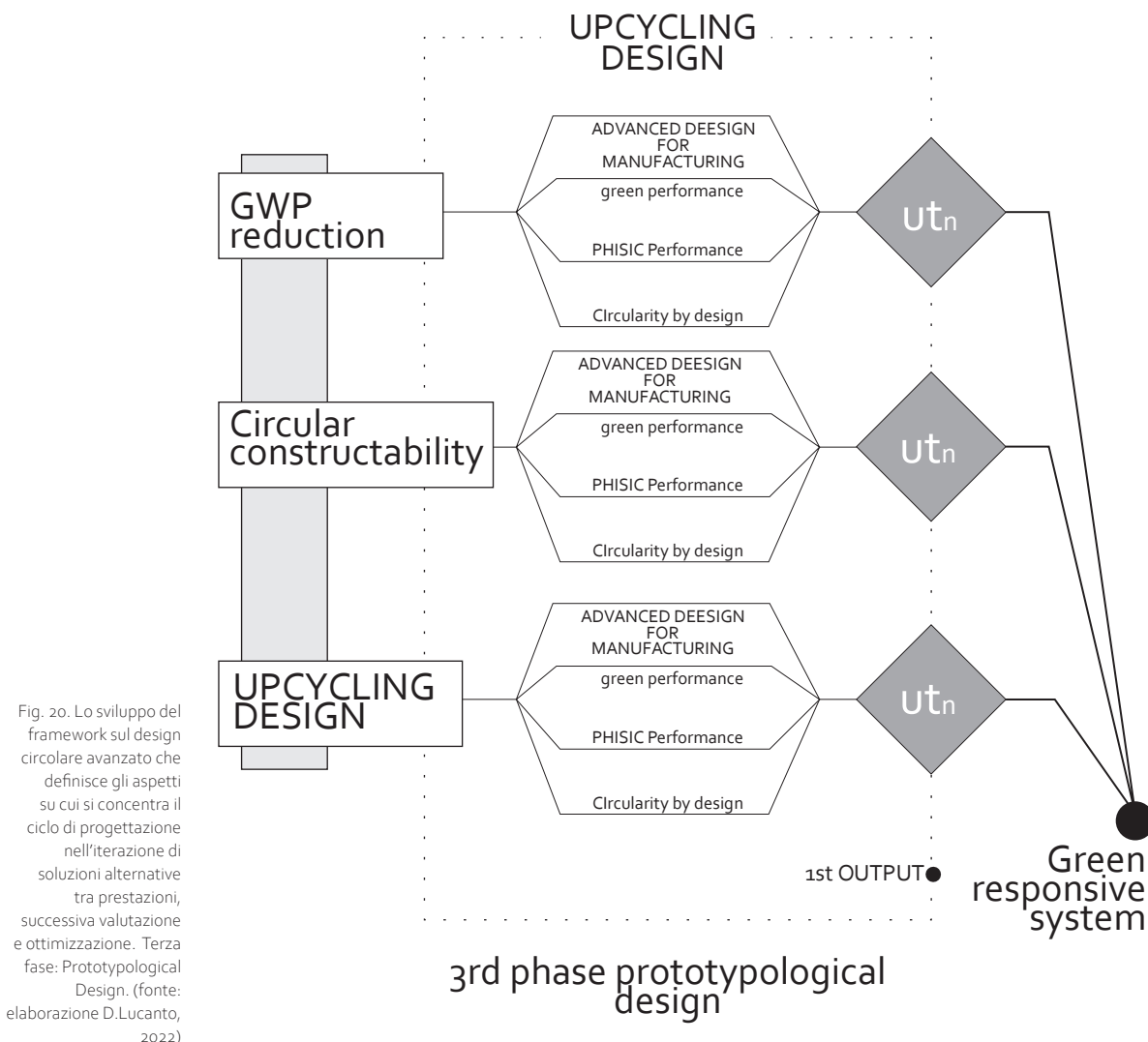
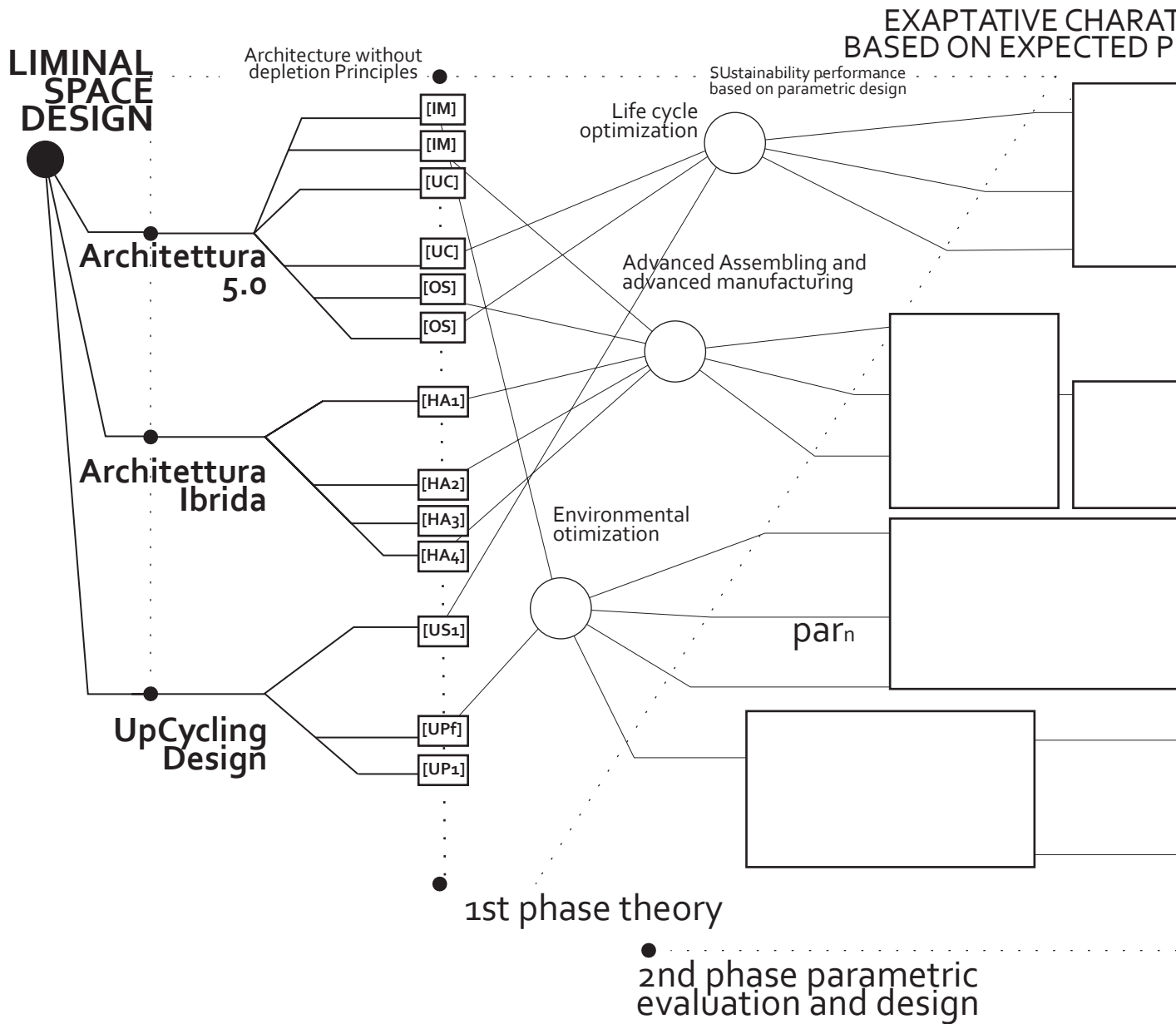
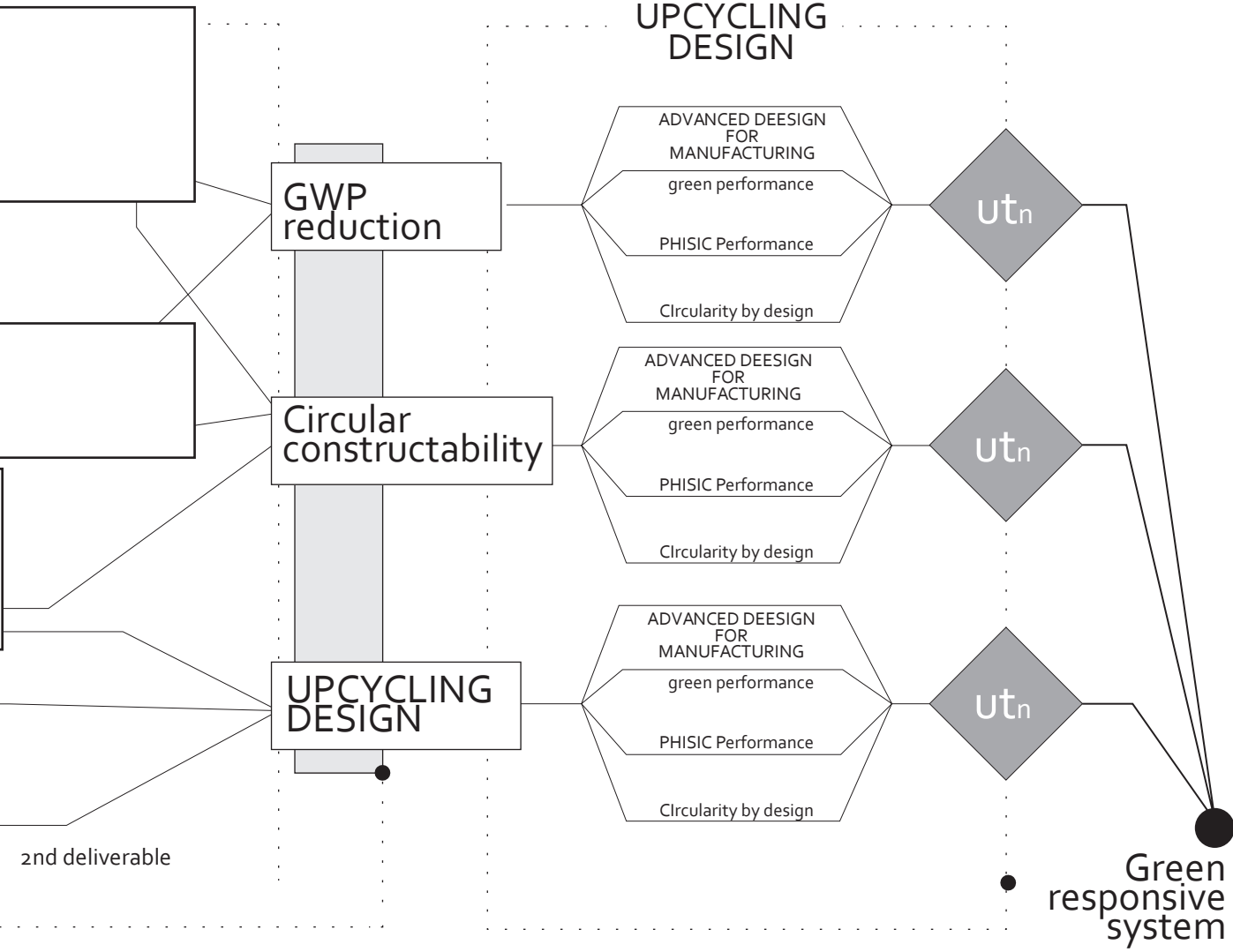


Fig. 20. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato che definisce gli aspetti su cui si concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Terza fase: Prototypological Design. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)



Il *framework ADC* fornisce una strutturazione delle informazioni a carattere metodologico, con la possibilità di trasferire al testing operativo le azioni di processo e accogliere dati e modelli di riferimento per la sperimentazione progettuale. In particolare tale struttura viene testata nella sperimentazione della proposta delle n.4 proto-tipologie illustrate nella parte III della ricerca.

CHARACTERIZATION  
PERFORMANCES



2nd deliverable

3rd phase prototypological  
design

Green  
responsive  
system

Fig. 21. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato che definisce gli aspetti su cui si concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2022)

## Note

1. Quasi un terzo delle emissioni globali di gas serra sono attribuite all'ambiente edificato, compresa la sua fase operativa, la catena di produzione e la manutenzione. La convalida di questi dati pone il settore delle costruzioni in cima alla lista per la produzione di emissioni di gas serra a lungo termine.

Secondo gli scenari evolutivi dell'IPCC, ci sono cinque scenari che si tradurranno in un riscaldamento di 1,5° o più entro il 2040, superando la soglia limite per il mantenimento della biodiversità.

Lo studio condotto ripercorrendo l'avanzamento proposto nella Progettazione Rigenerativa, propone un confronto prospettico nella definizione dei principi fondamentali della progettazione rigenerativa, e sottolinea l'importanza di considerare gli aspetti riguardanti la sostenibilità degli edifici già nelle prime fasi di progettazione, intercettando nella risposte offerte dalle alternative la necessità di trovare soluzioni che nel medio termine rendano possibile la transizione verso un sistema carbon free per l'edilizia, aumentando il benessere di chi utilizza i beni prodotti e minimizzando il fabbisogno di risorse naturali come utilizzare suolo, biodiversità, acqua, aria ed energia. [47] Lucanto, D. (2022). Advanced Circular Design, a Life Cycle Approach. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives (pp. 1870-1878). Springer, Cham.

2. Ogni prodotto da costruzione comporta impatti ambientali nel suo ciclo di vita, a causa del consumo di risorse e delle emissioni inquinanti durante l'estrazione delle risorse, la fabbricazione e l'uso del prodotto e il fine vita dei prodotti (raccolta/smistamento, riutilizzo, riciclaggio e smaltimento dei rifiuti).

L'uso di biomateriali da costruzione comporta i seguenti benefici ambientali durante l'intero ciclo di vita:

- riduzione del consumo di risorse;
- risparmio energetico e minori impatti ambientali;
- recupero, riutilizzo e riciclaggio dei prodotti prima dello smaltimento finale.

C'è un crescente interesse nell'uso di fibre agricole per componenti edili, sia per completare o sostituire il legno, in combinazione con fibre di legno o altri materiali.

Tale interesse, associato all'impegno politico per il controllo delle emissioni di CO<sub>2</sub>, può favorire la diffusione delle colture da biomassa nei prossimi anni. [4]

3. Rinunciando all'artificializzazione, l'ecologia industriale non può risolvere i problemi posti dalle economie moderne: uno sforzo futile e impossibile. La risposta sta nel dare uno sguardo nuovo al processo di artificializzazione, alleggerendo gli impatti della tecnica sulla biosfera.

Quindi, l'economia circolare è rigenerativa/riparativa in base alla progettazione e riferendosi al paradigma dell'economia circolare supporta la rigenerazione e l'evoluzione dei sistemi naturali attraverso l'approccio definito dal passaggio dall'eco-efficienza all'eco-efficacia. Il paradigma rigenerativo lo è mostrando le nozioni interagenti di biosfera e tecnosfera. Nella sfera naturale le risorse industriali possono tornare alla biosfera senza disturbi se non degradati, e nella sfera tecnica le risorse (materiali) devono rimanere il più a lungo possibile per limitare il consumo di risorse.

4. *Diverse metriche possono essere usate per confrontare i contributi al cambiamento climatico delle emissioni delle diverse sostanze. La metrica e l'orizzonte temporale più appropriati dipenderanno da quali aspetti del cam-*

*biamento climatico saranno considerati più importanti per una particolare applicazione. Nessuna metrica presa singolarmente può confrontare con accuratezza tutte le conseguenze delle diverse emissioni, tutte presentano limitazioni e incertezze. Il potenziale di riscaldamento globale (GWP - Global Warming Potential) si basa sul forzante radiativo cumulativo su un particolare orizzonte temporale, mentre il Potenziale di Cambiamento della Temperatura Globale si basa sul cambiamento della temperatura superficiale media globale in un momento prescelto di tempo. [26]*

5. Essendo Ladybug and Honeybee plugin per Grasshopper, l'algoritmo sviluppato in ambiente Parametrico utilizza Python e Grasshopper per integrare diversi strumenti di simulazione e implementare due metodi di ottimizzazione numerica (discesa del gradiente) e ricerca esauriente (analisi parametrica) al fine di validare gli aspetti endogeni, ovvero legati alla struttura fisica del materiale. L'algoritmo proposto è stato valutato effettuando un test per un piccolo edificio, con entrambi i metodi utilizzati per la scrittura si conviene che i risultati coincidono e che il rapporto ottimale tra fattore di luce diurna e fattore di luce diurna ottimizzata è coerente con quanto ipotizzato nel Cap. 2.2.

## Riferimenti bibliografici

1. UNI EN 14040. (2021). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework . Entrata in vigore: 18 February 2021 . <https://store.uni.com/uni-en-iso-14040-2021>.
2. Lucanto, D. (2022). Advanced Circular Design, a Life Cycle Approach. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives (pp. 1870-1878). Springer, Cham.
3. Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Mistretta, M. (2014). Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. *Energy and Buildings*, 72, 371-381.
4. Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., & Orioli, A. (2013). The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: an Italian case study. *Renewable energy*, 60, 586-597.
5. Palumbo, E., Camerin, F., Panozzo, C., & Rossetti, M. (2021). La gestione del fine vita come strumento di progetto: il caso di un involucro a secco in legno. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, 22.
6. Cottafava, D., & Ritzen, M. (2021). Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105120.
7. Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... & Christensen, T. H. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste management*, 34(3), 573-588.
8. Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). A waste management planning based on substance flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 54-66.
9. Heijungs, R., & Suh, S. (2002). *The computational structure of life cycle assessment* (Vol. 11). Springer Science & Business Media.
10. Suh, S., & Huppes, G. (2005). Methods for life cycle inventory of a product. *Journal of cleaner production*, 13(7), 687-697.
11. Seghier, T. E., Lim, Y. W., Ahmad, M. H., & Samuel, W. O. (2017). Building envelope thermal performance assessment using visual programming and BIM, based on ETVV requirement of Green Mark and GreenRE. *International journal of built environment and sustainability*, 4(3).
12. Fischer, T., & Herr, C. M. (2016). Parametric customisation of a 3D concrete printed pavilion.
13. Fischer, T., & Herr, C. M. (2001). Teaching generative design.
14. Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, 43(1), 88-100.
15. Wu, J., Qian, X., & Wang, M. Y. (2019). Advances in generative design. *Comput. Aided Des*, 116, 102733.
16. Puusepp, R. (2011). *Generating circulation diagrams for architecture and urban design using multi-agent systems* (Doctoral dissertation, University of East London).
17. Treccani. (2022). <https://www.treccani.it/vocabolario/algorithm/>.
18. Bukhari, F. A. (2011). *A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) system for generating and evolving building design models* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
19. Jabi, W. (2013). *Parametric design for architecture*. Hachette UK.
20. Jabi, W., Soe, S., Theobald, P., Aish, R., & Lannon, S. (2017). Enhancing parametric design through non-manifold topology. *Design Studies*, 52, 96-114.
21. Richardson, M. (2011). Design for reuse: Integrating upcycling into industrial design practice. In *International Conference on Remanufacturing* (pp. 1-13).
22. Shindell, D. T., Faluvegi, G., Koch, D. M., Schmidt, G. A., Unger, N., & Bauer, S. E. (2009). Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science*, 326(5953), 716-718.
23. Rotmans, J., & Den Elzen, M. G. J. (1992). A model-based approach to the calculation of global warming potentials (GWP). *International journal of climatology*, 12(8), 865-874.
24. Plattner, G. K., Stocker, T., Midgley, P., & Tignor, M. (2009). *IPCC expert meeting on the science of alternative metrics*. Meeting report.
25. Protocol, K. (1997). *Kyoto protocol*. UNFCCC Website. Available online: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/](http://unfccc.int/kyoto_protocol/)

items/2830.php (accessed on 20 July 2022).

26. Naboni, E., Meloni, M., Coccolo, S., Kaempf, J., & Scartezzini, J. L. (2017). An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*, 122, 1111-1116.
27. Kocak, Can. (2019). AN ALGORITHM AIDED DESIGN APPROACH FOR USING DAYLIGHT IN EARLY PHASES OF ARCHITECTURAL DESIGN Mahmut Can Koçak Department of Informatics Architectural Design Computing Programme.
28. Ingstrup, M., & Hansen, K. M. (2005, November). A declarative approach to architectural reflection. In 5th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA'05) (pp. 149-158). IEEE.
29. Gallas, M. A., Bur, D., & Halin, G. (2011). A "green design" method to integrate daylight in the early phase of the design process: The use of intentions knowledge base to generate solutions.
30. Lassance, G. (1999). A Pre-Design Aid Support for Architectural Daylighting. *Sharing Knowledge on Sustainable Buildings*, 16-17.
31. Naboni, E. (2014, December). Integration of outdoor thermal and visual comfort in parametric design. In 30th International PLEA Conference (pp. 1-10).
32. Unnikrishnan, V. U., & Barbato, M. (2015). Performance-Based Comparison of Different Design Alternatives and Retrofit Techniques for Residential Buildings Subjected to Hurricane Hazards. In *Structures Congress 2015* (pp. 1596-1607).
33. Hollberg, A., & Ruth, J. (2016). LCA in architectural design—a parametric approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943-960.
34. CardinalLCA. (2021). Early-stage impact assessment tool. <https://www.cardinallca.com/tool.html> [Erişim Tarihi: 29.09.2021].
35. Basic, S., Hollberg, A., Galimshina, A., & Habert, G. (2019, August). A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment—Bombyx project. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 323, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
36. Gomaa, M., Farghaly, T., & El Sayad, Z. (2021). Optimizing A Life Cycle Assessment-Based Design Decision Support System Towards Eco-Conscious Architecture Computational Methods and Experimental Measurements XX, <http://dx.doi.org/10.2495/cm210041>.
37. Stavric, M., & Marina, O. (2011). Parametric modeling for advanced architecture. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 5, 9-16.
38. Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
39. Goulouti, K., Padey, P., Galimshina, A., Habert, G., & Lasvaux, S. (2020). Uncertainty of building elements' service lives in building LCA & LCC: What matters?. *Building and Environment*, 183, 106904.
40. Marcum, J. A. (2008). Does systems biology represent a Kuhnian paradigm shift?. *New Phytologist*, 587-589.
41. Eriksen, M. K., & Astrup, T. F. (2019). Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system. *Waste Management*, 87, 161-172.
42. Paras, M. K., & Curteza, A. (2018). Revisiting upcycling phenomena: a concept in clothing industry. *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(1), 46-58.
43. Hollberg, A., Kiss, B., Röck, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A. H., Lasvaux, S., ... & Habert, G. (2021). Review of visualising LCA results in the design process of buildings. *Building and Environment*, 190, 107530.
44. Ruby, I; Ruby, A (2010). Mine The City in RE-INVENTING CONSTRUCTION; Ruby
45. Larson, K., Intille, S., McLeish, T. J., Beaudin, J., & Williams, R. E. (2004). Open source building—reinventing places of living. *BT Technology Journal*, 22(4), 187-200.
46. Found, P. (2009). Lean and low environmental impact manufacturing.





## Advanced Circular Design

### *Abstract*

The realization of a holistic workflow as defined in the articulation of the Advanced Design Process (see Chapter 4), implementing a design system is necessary to translate the various environmental performance [1] criteria on an urban scale into microclimatic [2], energy [3] and environmental quality [4] considerations that can be applied to prototype design.

By providing Grasshopper components that communicate with a variety of validated simulation engines, Ladybug plug-ins provide environmental capabilities.

By using these tools, advanced environmental assessments can be easily defined in order to translate regenerative design concepts into practice. The workflow was developed and tested to design urban climate scenarios according to the Regenerative Design method [5]. “Liminal Space” is discussed as a frontier space capable of optimizing adiabatic performance, and constructability is discussed as an aspect that mediates the exchange of energy and materials. As a scenario for experimentation on the Green Responsive System, the environmental system described as Urban Canyon [6] is used to deepen the spatial context of the project.

The ability to generate prototypes with multiple iterations<sup>3</sup> in a parametric study is expressed using this powerful functionality by also integrating the Bombyx and Cardinal LCA plug-in for the assessment of environmental impacts in the life cycle.

The first section of the script describes the characterization of the LS and deals with identifying the type of component, the geometric conformation, the consumption of material and the percentage of acceptable vegetation.



Dettaglio del prototipo  
realizzato per l'IDD.  
(fonte: elaborazione  
D.Lucanto, 2022, NYT)

## 5.1 ACD in ambiente digitale: Regenerative digital design e digital LCA tool per il progetto di componenti e sistemi tecnologici e produzione di prototipi con sistemi robotici e di additive manufacturing

### 5.1.1 Regenerative digital design

Con quanto definito nell'articolazione dell'Advanced Design Process (cfr Cap. 4), per la realizzazione di un workflow che ha come obiettivo l'implementazione di un sistema progettuale che traduca i diversi criteri associati alle prestazioni ambientali [1] a scala urbana su condizioni microclimatiche [2], energetiche [3] e di qualità ambientale [4] da trasferire nell'approccio prototipale<sup>1</sup>.

La sperimentazione viene svolta sia a livello computazionale, sia a livello applicativo, con la realizzazione di un caso studio che attraverso il lavoro sui prototipi permette di definire anche in ambito sperimentale i diversi parametri di progettazione tecnologica per ottenere dei risultati interpretabili sulle prestazioni ambientali riferite ad un sistema tecnologico da sperimentare.

La premessa necessaria si rintraccia nella Early Design Phase, per cui il workflow in questione, infatti, utilizza l'approccio dell'ADP sui casi di test per sviluppare il progetto di componenti e sistemi tecnologici attraverso la produzione di prototipi con sistemi robotici e di additive manufacturing.

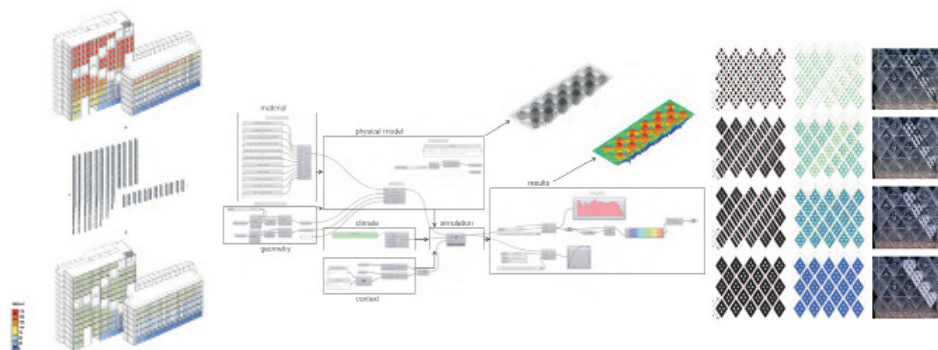


Fig. 1. Workflow model basato su Regenerative Design in digital Practice per la definizione dei moduli per l'ottimizzazione nella Early Design Phase. (fonte: Naboni, Navinga, 2019)

#### Workflow per la "prototipazione" degli scenari di sperimentazione

La capacità degli strumenti di progettazione disponibili in Grasshopper per eseguire varie analisi delle prestazioni urbane, intercetta discipline diverse, che sono già state ampiamente indagate (Cap. 4), nella stesura del Workflow per la prototipazione sui componenti è richiesta infatti una capacità diversa *nella combinazione di diversi strumenti di modellazione per aumentare l'affidabilità e sfruttare i vantaggi di ciascuno strumento.*

I plug-in Ladybug intervengono sulle capacità ambientali fornendo componenti di Grasshopper che interagiscono con vari motori di simulazione convalidati.

Questi strumenti possono facilmente definire le valutazioni ambientali avanzate per tradurre in pratica i concetti di progettazione rigenerativa attraverso un Workflow originale, sviluppato e testato per la progettazione degli scenari climatici urbani, seguendo la metodologia del Regenerative Design [5].

Gli aspetti riguardanti il "Liminal Space" quale spazio di frontiera in grado di ottimizzare le prestazioni adiabatiche e gli aspetti di costruibilità, mediando negli scambi di flussi energetici e materici, vengono approfonditi in ambito spaziale dal sistema ambientale definito *Canyon Urbano (Urban Canyon)* [6], come scenario per la sperimentazione sul Green Responsive System. Un canyon urbano può essere descritto morfologicamente con lo spazio "in-beetwin" tra l'edificio e lo spazio pubblico, il suo funzionamento tecnologico e termico dipende da diversi fattori, sia esogeni, come la radiazione solare che le facciate degli edifici e il sistema suolo possono ricevere ed emettere, la velocità del vento, ecc. [7], sia endogeni, riguardanti cioè la tecnologia che il sistema edificio utilizza per rispondere a queste prestazioni.

Le configurazioni di base riguardanti la geometria e le sue interfacce sono definite dal rapporto altezza(H) - larghezza (L), dove H è l'altezza dell'edificio e L è la larghezza della strada tra due facciate adiacenti. Come risultato della minore altitudine solare della posizione del sole in inverno, i canyon stradali più stretti ricevono meno radiazione solare, con conseguente aumento graduale della drybulb temperature [8].

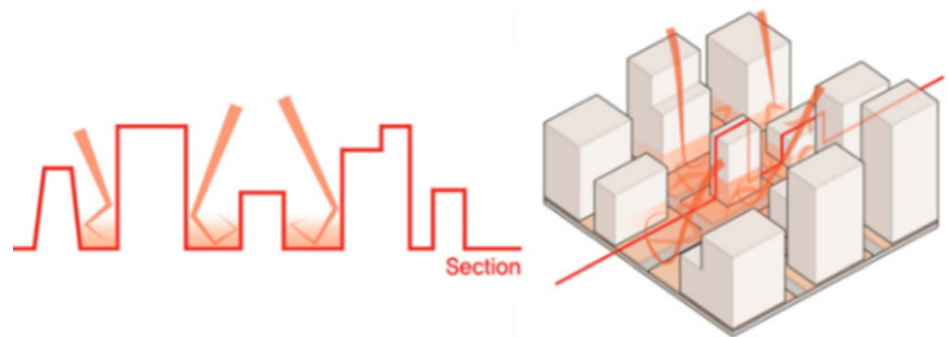
I sistemi tecnologici da definire per i domini del Liminal Space, interagiscono con le prestazioni del Canyon Urbano possono essere sintetizzati nei tre sistemi tecnologici: il sistema tecnologico del suolo; il sistema tecnologico di facciata; il sistema tecnologico della copertura (Fig. 2).

Nei canyon urbani, le proprietà ambientali dei sistemi del L.S. svolgono un ruolo importante nel determinare sia la temperatura dell'aria, sia la qualità dell'ambiente, sia il contributo a mitigare e adattare i fenomeni causati dai cambiamenti climatici, oltre ad una particolare attitudine ad innovarsi come insieme di sistemi stoccatrici di CO<sub>2</sub>, con le modalità descritte in appendice 1, nella rilettura dei casi studio di riferimento.

Uno dei fenomeni che più influenza il funzionamento termico e tecnologico del LS è l'albedo. Questo effetto è fortemente influenzato dai materiali di finitura dell'involucro esterno per edifici, ombreggiamenti per auto, asfalto, ecc. [9].

Gli effetti causati da questo fenomeno sono sostanzialmente due e si manifestano in ambito urbano attraverso l'Urban Heat Island (effetto isola di calore), per cui uno è quello di rimettere il calore guadagnato dai canyon urbani nell'ambiente circostante espresso attraverso la Long Radiant Temperature, il secondo è la riflessione delle radiazioni brevi, ovvero le onde di radiazione ricevute dal sole.

Fig. 2. Concept per la definizione dell'Urban Canyon. hoi, Yeri, Sugie Lee, and Hyunbin Moon. 2018. "Urban Physical Environments and the Duration of High Air Temperature: Focusing on Solar Radiation Trapping Effects" Sustainability 10, no. 12: 4837.



Pertanto, l'aumento del rapporto prestazionale di efficienza del LS funziona quando si riesce ad attivare un meccanismo di adattamento, definito dal guadagno di calore maggiore dato dall'esposizione alla radiazione solare, tanto più se ne riesce ad assorbire e, maggiore è l'effetto di mitigazione della temperatura media radiante (MRT) [10] rispetto alla riflessione delle onde lunghe. L'incremento della bio-diversità in maniera integrata, rispetto i sistemi costruttivi dell'edificio e nella morfologia urbana, può portare a una riduzione della temperatura dell'aria da 1°C a 4°C [6]<sup>2</sup>. Considerando il tema dell'Urban Heat Island (UHI), il LS per il contributo del Green Responsive System interviene ottimizzando la variazione della qualità prestazionali del sistema ambientale di riferimento in un contesto urbano denso.

Inoltre, può essere utilizzato sia come riferimento per ottimizzare il consumo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento negli edifici, [10], sia per analizzare il comfort termico negli spazi esterni, senza considerare le variazioni della temperatura dell'aria come risultato, ancora per misurare la prestazione ecologica, considerando le emissioni di CO<sub>2</sub> relativa alla produzione edilizia e le emissioni evitate dallo stoccaggio della CO<sub>2</sub> nel suo funzionamento. Ciascun indicatore ambientale viene descritto nel Cap. 1 nella definizione degli indici prestazionali per la lettura critica dei casi studio. Si ripropone nella sperimentazione la stessa metodologia precedentemente testata [6].

Nello step successivo la stesura di un algoritmo integrato con il metodo di Advanced 3d Printing [12] traduce le valutazioni precedentemente illustrate in un modello circolare innovato per la prototipazione dei componenti attraverso la stampa 3D di materiali pastosi (LDM).

Questi processi possono facilmente definire le valutazioni ambientali avanzate per tradurre in pratica i concetti di progettazione rigenerativa attraverso un Workflow originale, sviluppato e testato per la progettazione degli scenari climatici urbani, seguendo la metodologia del Regenerative Design [5] (cfr Cap. 4), ripercorrendone quel percorso teorico che C. Trombetta descrive come esplicabile in due parti: *il primo relativo all'evoluzione del pensiero che dalla comprensione del funzionamento termodinamico degli ecosistemi ha portato alla consapevolezza del problema ambientale e alla definizione di sviluppo sostenibile, fino al Regenerative Development oggi; il secondo relativo alla metodologia progettuale cosiddetta "green", dall'architettura organica al Regenerative Design, passando per l'approccio eco-efficiente, l'architettura bioclimatica, il Restorative Design, l'Ecological Design e l'approccio Cradle-to-Cradle* [13].

La possibilità di generare prototipi con più iterazioni<sup>3</sup> in uno studio parametrico viene espressa utilizzando questa potente funzionalità integrando anche i pug-in Bombyx e Cardinal LCA per la valutazione gli impatti ambientali nel ciclo di vita.

La prima sezione dello script descrive la caratterizzazione del LS e si occupa di identificare la tipologia del componente, la conformazione geometrica, il consumo di materiale e la percentuale di vegetazione ricevibile.

Questi input sono integrati e calcolati utilizzando l'equazione interna incorporata in ogni componente al fine di individuare i fattori morfologici che possono influenzare le condizioni climatiche per le zone specificate [9].

A causa della sovrapposizione tra i dati delle emissioni e i dati climatici dello scenario, risulta difficile quantificare la traduzione sperimentale complessivi del sistema Liminal Space [11], in modo che i componenti sperimentati possano ricevere diverse emissioni termiche e ottimizzare la ricezione dei raggi solari diretti. La sintesi si trova nella caratterizzazione combinata in modo parallelo, facendo intervenire i Tools in diversi momenti del processo progettuale.

Dopo aver individuato la caratterizzazione delle prestazioni che intervengono sul LS e aver caratterizzato il componente si procede con l'analizzare e distinguere le capacità ricettiva delle radiazioni solari come evidenziato di seguito in Fig. 2.

Viene generata una mesh che riproduce la superficie del LS, su questa mesh sarà possibile misurare e specificare la temperatura del bulbo secco, l'MRT per le superfici circostanti, la velocità e la direzione del vento, d'altra parte, utilizzata per compilare tutti i dati di input per il calcolo UTCI, ed infine individuare i parametri che si definiranno come variabili in fase di ottimizzazione per la fabbricazione additiva<sup>4</sup> [14].

*Il contributo della ricerca e della progettazione tecnologica dell'architettura è riferito ad alcune questioni metodologiche e operative nel rapporto che si istituisce fra le molte dimensioni dell'innovazione e il progetto di architettura. Da un lato si rinvengono le tematiche della progettazione ambientale in cui la concezione dell'habitat non è limitata ai soli aspetti fisico-formali, ma anche alle determinazioni immateriali del progetto e orientata a un'idea di governance ambientale; dall'altro, si individuano le complesse problematiche delle tecniche e dei materiali innovativi oltre che dei processi, delle metodologie, delle procedure e dei topics per il progetto sostenibile, sviluppate secondo le implicazioni sul progetto e le necessarie modalità del suo controllo tecnico* [15].

### 5.1.2 Advanced 3D Printing:

Le stampanti 3D generalmente contribuiscono alla prototipazione, realizzando degli oggetti attraverso la progettazione tecnologica di un modello digitale dell'oggetto da stampare. La simulazione delle prestazioni in ambito digitale permette di affrontare nella realizzazione del prototipo i temi e le questioni ambientali demandate ad un componente tecnologico per l'architettura del LS.

L'idea è di poter lavorare con prototipi progettati per essere efficaci, piuttosto che lavorare quindi con grandi produzioni standardizzate di componenti acritici rispetto il contesto in cui operano, il sistema proposto dall'ACD combina la prototipazione 3D full scale [16], con l'elaborazione dei dati climatici e prestazionali ottenuti nell'elaborazione degli scenari.

Per portare qualsiasi modello 3D a rispondere ai requisiti dei quali il componente tecnologico si deve dotare, viene richiesto un maggiore livello di innovazione nello sviluppo metodologico, questo infatti richiede un workflow parametrico appropriato, capace di tradurre i requisiti prestazionali fin qui descritti in un prototipo coerente<sup>5</sup>.

*"Un'opera d'architettura non può essere il risultato di una pura scelta stilistica e funzionale deve essere la risultante di un metodo che prende in analisi diversi e molteplici fattori"*[17].

A tale scopo è stato elaborato un algoritmo per convertire i modelli di progettazione 3D in istruzioni G-code. Il progetto del processo di AM combina nel progetto dell'UpCling del sistema di frontiera, le istruzioni standardizzate ottenute con i tradizionali di slicing in un algoritmo parametrico che traduce un livello di ragionamento integrato.

Il diagramma di flusso proposto, illustrato in Fig. Basato su tre nuovi algoritmi, alloca la giusta strategia AM al momento giusto per ciascuna parte della geometria.

In Rhinoceros 3D [18] e nel suo plug-in di programmazione visiva dedicato, Grasshopper, i suddetti algoritmi di pianificazione dei processi sono attualmente implementati utilizzando script Python. Ciò consente definizioni di parti 3D parametriche e basate sulla prototipazione definita dagli scenari di sperimentazione.

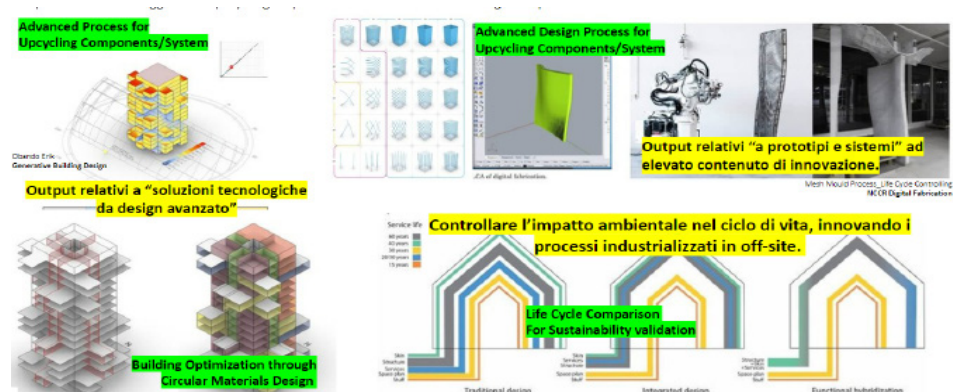


Fig. 5. modello parametrico di stampa per ottenere una prototipazione efficace del componente. D. Lucanto, 2022

Dall'avvento di una nuova tecnologia sostenibile per la stampa 3D dell'argilla, l'area della prefabbricazione della stampa 3D è cresciuta.

Collegando il modello parametrico direttamente, si allarga il funzionamento dell'algoritmo nel secondo step per valutare la stampabilità delle geometrie proposte dalla sperimentazione con la stampa in argilla LDM, per validare le simulazioni effettuate ed ottimizzare configurazione di stampa per ottenere una prototipazione efficace del componente, anche conducendo numerosi test di stampa. (Fig. 6) Le novità nella sperimentazione sul componente per la definizione dell'ADC presentata sono tre:

1) viene proposto un nuovo approccio metodologico basato su quattro fasi per combinare, modellazione parametrica, analisi degli impatti ambientali, scenari di sperimentazione sul contesto e prototipazione;

2) viene proposto un nuovo progetto concettuale di un componente complesso da realizzare con la stampa 3D e sfruttando le "superfici minime"[19]<sup>6</sup>;

3) vengono discussi le possibili integrazioni e l'esaltazione delle capacità bioricettive [20] di stampa dei laterizi con configurazione interna complessa e vengono proposte utili linee guida per suggerire come ottimizzare questi aspetti.

Il Workflow si compone quindi di tre processi di ottimizzazione (Figura 6). Nella prima ottimizzazione viene esplorata la progettazione delle capacità di ricezione sollecitazioni da parte degli agenti atmosferici del componente alterando i tre parametri (angolo, profondità e orientamento) nel ciclo del componente, per l'ottimizzazione evolutiva Galapagos. Sono state quindi ottenute opzioni di progettazione ottimizzate per i dispositivi di ombreggiamento sulla superficie del componente.

Dopo aver completato la valutazione della capacità ricettiva delle radiazioni solari e aver scelto una delle alternative progettuali, si procede con la fase successiva di ottimizzazione progettuale, ovvero la progettazione di dispositivi bioricettivi.

Nella seconda fase, il solutore Galapagos GA [21] è stato utilizzato per ottimizzare allo stesso modo la porosità nella miscela del materiale e la realizzazione di oggetti in superficie per un'integrazione più massiva.

Dopo aver completato le corse di ottimizzazione, i risultati sono stati confrontati per decidere il numero di prototipi efficaci secondo le prestazioni richieste, procedendo con la scelta, quindi realizzando l'ultima fase di ottimizzazione.

## 5.2 TESTING OPERATIVO (schede illustrative)

### 5.2.1 Trasferimento tecnologico nelle applicazioni con simulazioni progettuali (seminari ABITAlab)

#### Trasferimento del metodo

L'esperienza dei seminari orientati a trasferire l'approccio sperimentale e prototipologico nel centro di ricerca ABITAlab, integrandolo ai processi didattici del Corso di Laurea in Architettura. La simulazione progettuale svolta all'interno dei seminari esplorativi come contributo all'interno del centro di ricerca ABITAlab diretto agli studenti del Corso SID nell'anno accademico 2020/21 tenuti e coordinati dalla prof.ssa Nava.

Uno studio applicato dove si innescano degli esercizi di simulazione progettuale diventa una parte essenziale della formazione di uno studente di architettura e per l'autovalutazione della ricerca attraverso l'esperienza di design.

Oltre alla pura formazione delle competenze, è necessario creare e riflettere sulla conoscenza di strumenti che abilitano i processi di innovazione circolare. Sebbene gli studi vadano oltre la formazione delle abilità, può esserci un divario tra l'applicazione delle conoscenze e la formazione delle abilità.

In questo senso l'obiettivo del corso coincideva con la domanda progettuale espressa dal concorso internazionale per studenti di Architettura Sleeping Pods on A Cliff (Fig. 6), per la realizzazione di alcune cellule abitative minime per la pratica dello Yoga nella Valle de Moses<sup>7</sup>.

Agli studenti vengono insegnati concetti di progettazione architettonica utilizzando strumenti di comunicazione digitale, nonché competenze software e altre nozioni tecniche che riguardano gli indici di prestazioni ambientali (prestazioni adiabatiche, LCA, capacità di integrazione con moduli energetici) [22].

Parametrizzando un artefatto, i progettisti devono modellare non solo l'artefatto stesso, ma anche una struttura concettuale che guidi la sua variazione. Il risultato della parametrizzazione è un progetto che può e deve essere sottoposto ad ottimizzazione, nuove forme e tipi di creazione di moduli possono essere scoperti, il cambiamento e il riutilizzo possono essere ridotti nel tempo e nello sforzo e la struttura concettuale dell'artefatto in fase di progettazione può essere meglio compresa.

Dipartimento Architettura e Territorio - dArTe  
Università "Mediterranea" di Reggio Calabria\_LM4 - a.a. 20/21  
Corso SID - Sostenibilità e Innovazione del Progetto  
Prof.ssa Arch. Consuelo NAVA con i collaboratori ABITAlab,  
architetti phd G. Mangano, phd students A. Leuzzo e D. Lucanto

WITH  
**Vale de Moses**  
Assisted Design Workshop  
Design Experimentation  
CONCORSO DI ARCHITETTURA  
Sleeping pods on a cliff, Portogallo  
12 April - 1 June 2021 - SLEEPINGPODS.beebreeders.com

**FINAL PRESENTATION**  
ADVANCED SUSTAINABLE DESIGN  
SID STUDENTS' PROJECTS

**06 Lug 2021** h. 10:00 [Starting time]  
Zoom meeting  
ID riunione: 935 1362 0306  
Passcode: Kc75Kw

**INTRODUCE E COORDINA**  
Prof.ssa Consuelo NAVA  
Dipartimento Architettura e Territorio - dArTe UniRC

**QUEST CRITICS**  
Prof.ssa Federica OTTONE  
Università di Camerino-Unicam  
Prof.ssa Francesca GIGLIO  
Dipartimento Architettura e Territorio - dArTe UniRC  
Arch. Andrea PROCOPIO  
Digital Maker PMoperlab srls

**SPERIMENTAZIONI PROGETTUALI**  
Nome/i studenti  
E. Arcidiacono  
D. Bongiorno

The poster features several architectural diagrams: a network diagram at the top, a 3D exploded view of a pod structure, a 3D model of a pod, a 3D model of a pod with a red arrow indicating a direction, a 3D model of a pod with a red arrow indicating a direction, and a 3D model of a pod with a red arrow indicating a direction.

Fig. 6. Locandina final Presentation ASD. G. Mangano 2021

La strategia proposta nel trasferimento può sostanzialmente essere suddivisa in tre aree tematiche che sono strettamente legate agli indirizzi della ricerca dottorale e alle traiettorie di ricerca del centro ABITAlab, nel dettaglio queste riguardano: lo studio parametrico necessario all'ottimizzazione dei fattori di contesto (Fig. 7) (cfr. Cap. 2.2); l'approfondimento sulle tematiche del L.C.A.; l'ottimizzazione dei requisiti per l'integrazione con tecnologie solari.

Il processo proposto per l'esplorazione dei fattori ambientali di contesto è suddiviso in due parti ben precise: nella prima è stato trasferito il metodo per l'analisi descrittiva delle sollecitazioni ambientali che intervengono sul contesto, in particolare si indaga l'indice di potenza della radiazione solare incidente (Fig. 8), e il fattore di luce diurna espresso attraverso le ore di irraggiamento diretto (FIG. 9);

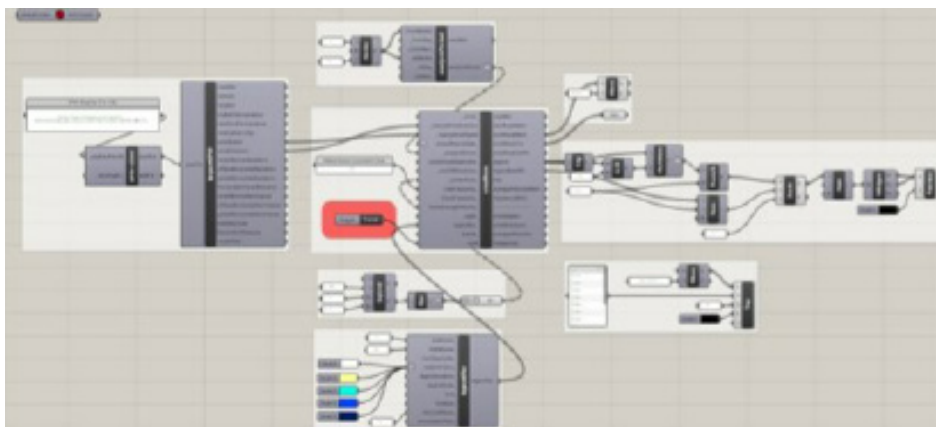


Fig. 7. Script trasferito agli studenti per l'ottimizzazione dei fattori di contesto. (fonte: elaborazione D.Lucanto, 2021)

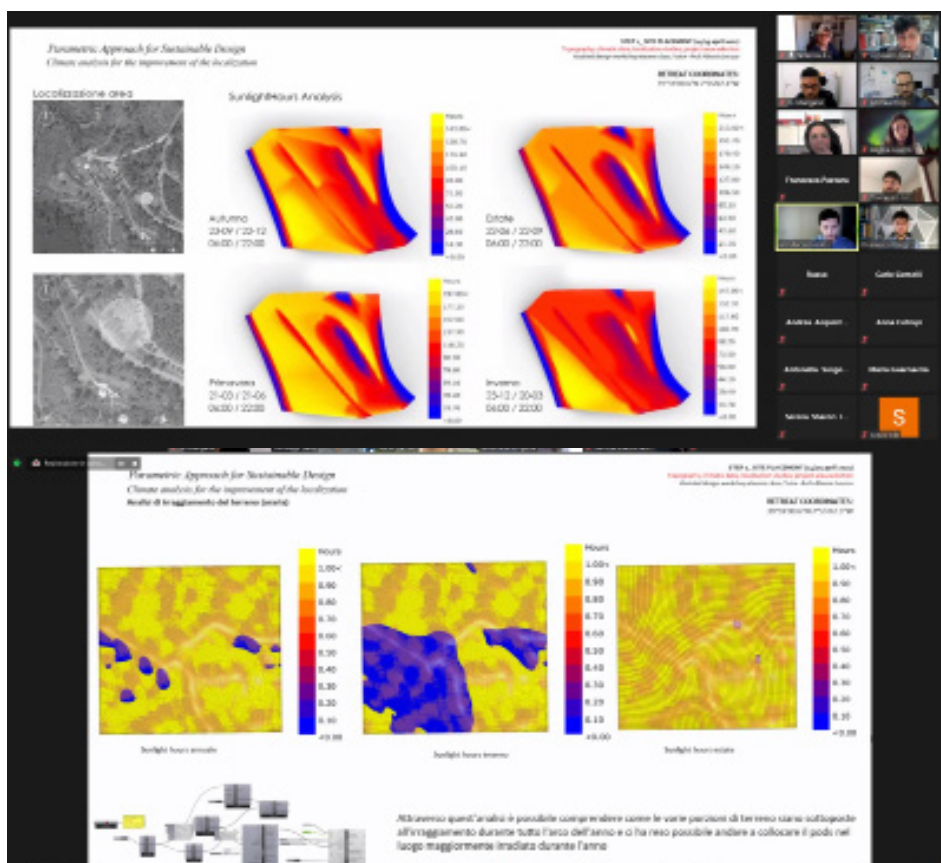


Fig. 8. Final Review SAD. (fonte: screenshot final review Workshop SAD 2021)

Fig. 9. Risultati delle analisi ambientali eseguite nel contesto di progetto dagli studenti del WS SAD 2021. (fonte: screenshot final review Workshop SAD 2021)

nella seconda avviene lo studio sul manufatto che si intende progettare; dopo le analisi e il collegamento dei parametri ai componenti selezionati si è lasciato manipolare solo l'angolo di inclinazione dei dispositivi scelti per l'ottimizzazione.

Questo processo inizialmente prevedeva un angolo fisso di orientamento. Per stressare le capacità del software in fase di ottimizzazione è stata esplorata la possibilità di modificare l'orientamento dei dispositivi di schermatura lungo l'altezza della facciata. Questo concetto di design mirava a ottenere una morfologia dinamica per i dispositivi di schermatura, ottimizzando al contempo la qualità della luce diurna all'interno degli spazi dei PODS.

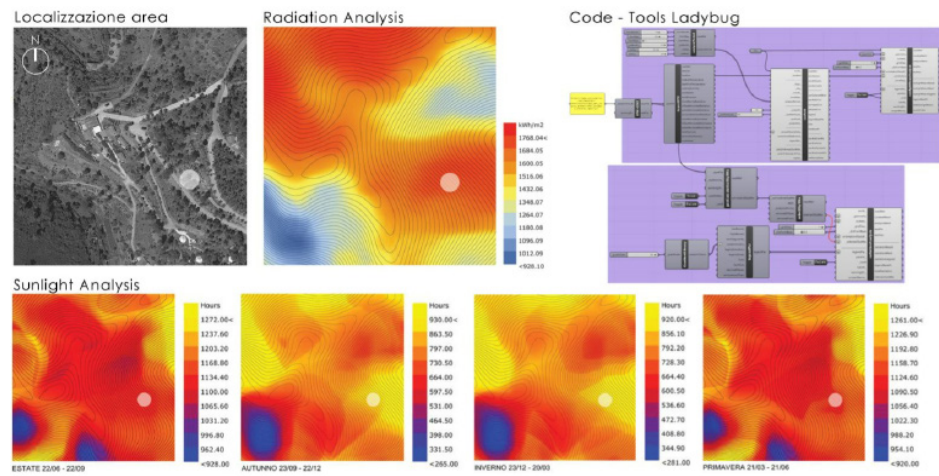


Fig. 10. Sunlight hours Analysis, Radiation Analysis nel contesto di progetto. (fonte: elaborazione studenti Workshop SAD 2021)

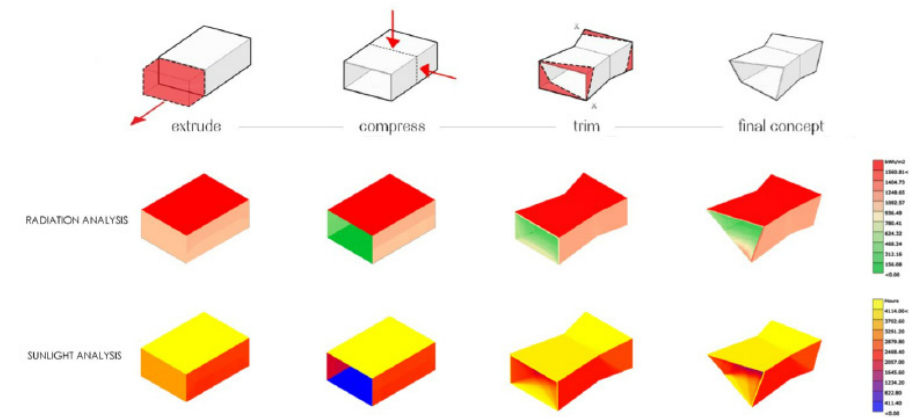


Fig. 11. Environmental Concept based on parametric analysis. (fonte: elaborazione Arcidiacono E., Bongiorno D., Workshop SAD 2021)

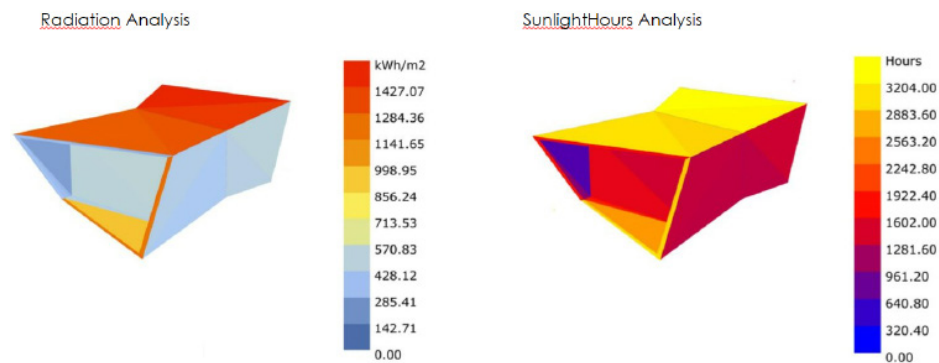


Fig. 12. Validazione dell'environmental Concept based on parametric analysis. (fonte: elaborazione Arcidiacono E., Bongiorno D., Workshop SAD 2021)

Nel secondo passaggio, che riguarda il calcolo della LCA la progettazione parametrica (o parametrizzazione) si basa sulla creazione del modello utilizzando i parametri messi in relazione con la configurazione dei componenti e i sistemi costruttivi [23].

Ai fini dell'archiviazione degli elementi, si utilizzano i dati ed i materiali forniti dal database dei parametri del modello proiettato, che in fase progettuale faranno riferimento a parametri dell'oggetto geometrico (dimensioni, volume, ecc.); parametri dell'oggetto fisico (massa, materiale fisico costanti, ecc.); parametri oggetto assegnati (nominati) (nome, sezione, marcatura, codici, ecc.).

Il modello parametrico del progetto integra il modello tridimensionale e il modello di comportamento degli elementi. L'intera documentazione di lavoro completata alla base, viene poi aggiornata automaticamente con tutte le modifiche effettuate, e in cui valori sono dati dalle analisi effettuate.

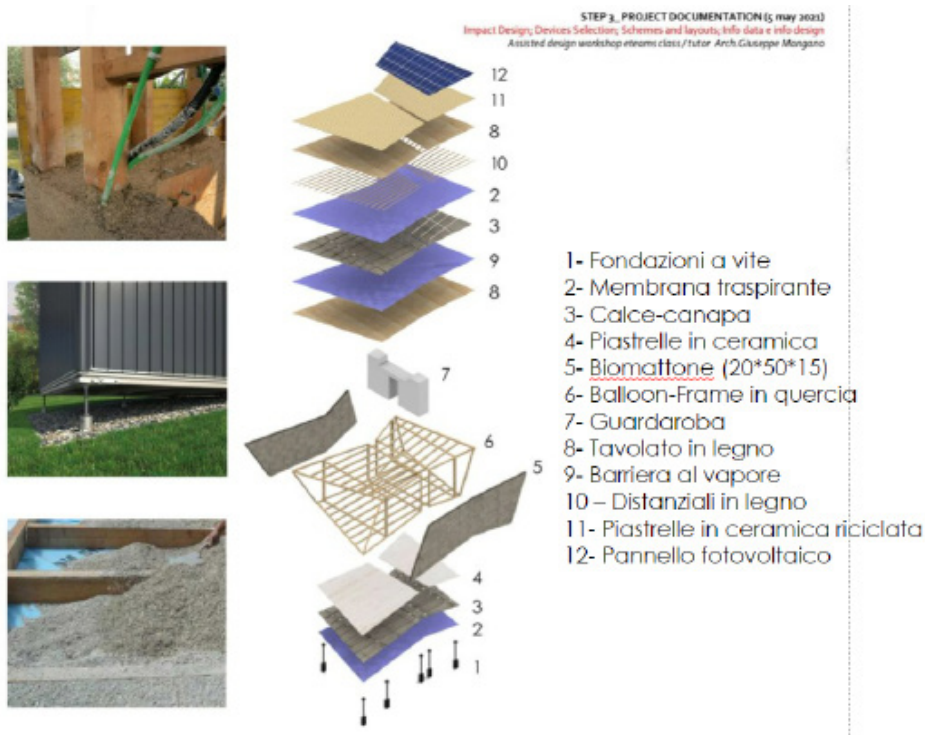


Fig. 13. Composizione tecnologica della proposta di progetto. (fonte: elaborazione Arcidiaccono E., Bongiorno D., Workshop SAD 2021)

#### LCA ANALYSIS

##### Calce-canapa

[UBP13 Embodied (P/m<sup>2</sup> a), 114206.12]  
 [UBP13 Replacements (P/m<sup>2</sup> a), 230954.58]  
 [UBP13 End of Life (P/m<sup>2</sup> a), 1271.17]  
 [PE Total Embodied (kWh oil-eq a), 612.71]  
 [PE Total Replacements (kWh oil-eq a), 1229.92]  
 [PE Total End of Life (kWh oil-eq a), 2.25]  
 [PE Renewable Embodied (kWh oil-eq a), 54.68]  
 [PE Renewable Replacements (kWh oil-eq a), 109.37]  
 [PE Renewable End of Life (kWh oil-eq a), 0]  
 [PE Non Renewable Embodied (kWh oil-eq a), 557.5]  
 [PE Non Renewable Replacements (kWh oil-eq a), 1119.1]  
 [PE Non Renewable End of Life (kWh oil-eq a), 2.05]  
 [Green House Gasses Embodied (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 118.64]  
 [Green House Gasses Replacements (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 240]  
 [Green House Gasses End of Life (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 1.36]

#### LCA ANALYSIS

##### Cemento armato

[UBP13 Embodied (P/m<sup>2</sup> a), 13281.87]  
 [UBP13 Replacements (P/m<sup>2</sup> a), 29154.66]  
 [UBP13 End of Life (P/m<sup>2</sup> a), 1295.46]  
 [PE Total Embodied (kWh oil-eq a), 52.72]  
 [PE Total Replacements (kWh oil-eq a), 109.41]  
 [PE Total End of Life (kWh oil-eq a), 1.98]  
 [PE Renewable Embodied (kWh oil-eq a), 5.45]  
 [PE Renewable Replacements (kWh oil-eq a), 10.91]  
 [PE Renewable End of Life (kWh oil-eq a), 0]  
 [PE Non Renewable Embodied (kWh oil-eq a), 47.4]  
 [PE Non Renewable Replacements (kWh oil-eq a), 98.75]  
 [PE Non Renewable End of Life (kWh oil-eq a), 1.98]  
 [Green House Gasses Embodied (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 10.93]  
 [Green House Gasses Replacements (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 24.05]  
 [Green House Gasses End of Life (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a), 1.09]

Fig. 14. Analisi Parametrica LCA della proposta di progetto. (fonte: elaborazione Arcidiaccono E., Bongiorno D., Workshop SAD 2021)

Nella seconda fase, per tutti le superfici si sono simulate le prestazioni in termini di LCA per quantificare il GWP ed innescato un processo di ottimizzazione per ridurre al minimo la varianza tra i materiali a disposizione, sulle griglie di analisi del workflow.

Infine, si sono elencati i risultati di ciascuna fase ed è stata effettuata una valutazione delle scelte progettuali alternative confrontandole tra loro e con l'alternativa progettuale iniziale nelle tabelle.

I risultati delle prime due fasi sono caratterizzati da una nuova comprensione delle gerarchie di progettazione e delle dipendenze che hanno permesso una comprensione di causa ed effetto: ottenere un modulo parete altamente performante capace di reagire alle sollecitazioni cui è sottoposto, ed abbassare il livello di emissioni in fase di produzione, generando con modelli spaziali specifici del design, quindi intercettare dei sistemi che esplicitino la relazione tra il fattore di luce diurna in un dato punto del sito considerando la posizione degli edifici circostanti, e ottenere il valore dell'impatto del ciclo di vita delle componenti.

Come conclusione del processo di trasferimento dei principi di progettazione parametrica, l'ultima fase riguarda la trattazione del miglioramento della generazione di energia fotovoltaica (PV), delle misure di controllo della temperatura e dell'ottimizzazione dei sistemi BIPV [24].

Gli studi condotti dagli studenti presentano le capacità prestazionali di diversi moduli fotovoltaici per l'integrazione negli edifici e il potenziale effetto delle celle fotovoltaiche sulle prestazioni delle cellule abitative e il suo impatto sulla domanda energetica.

Nelle tre fasi dello studio, gli studenti hanno presentato un approfondito concept di progettazione tecnologico proposte per il sito dato nella Valle de Moses.

Gli studenti hanno dimostrato un alto livello di sviluppo delle capacità di Design Process e di apprendimento del Design Parametrico, che si è conclusa in generazioni di design composto. Ogni studente ha contribuito contemporaneamente a entrambi, micro e scala macro, al fine di creare uno schema progettuale configurabile in cluster.

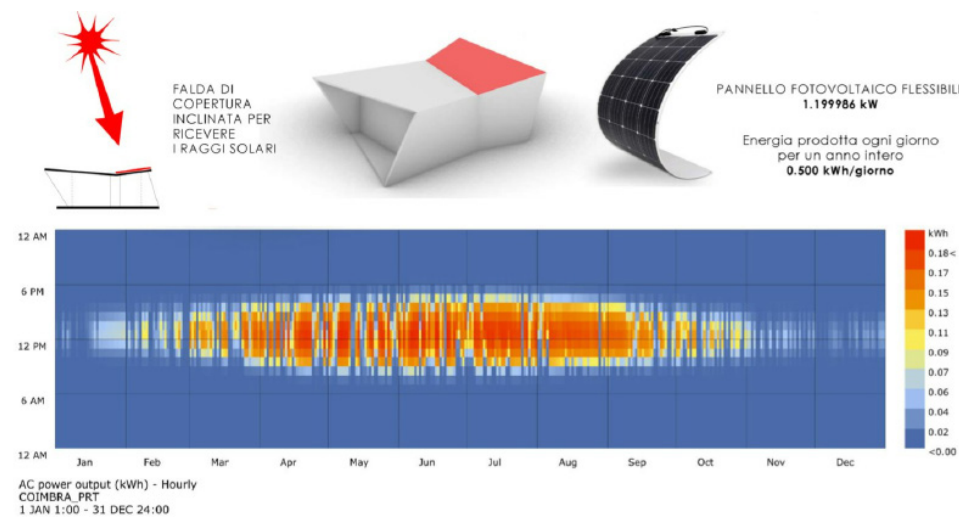


Fig. 15. PV System e AC power output (kWh). (fonte: elaborazione Arcidiacono E., Bongiorno D., Workshop SAD 2021)

### 5.2.2. L'esperienza della prototipazione full-scale (c/o laboratori del New York Institute of Technology)

L'esperienza della prototipazione full-scale condotta presso i laboratori del New York Institute of Technology, durante il periodo di attività di studio all'estero, si è concretizzato nello studio dei metodi di traduzione dell'Advanced Circular Design in ambito digitale per la realizzazione di un caso studio che indaga su differenti componenti di involucro per il test delle prestazioni ambientali, a cui si riferisce il modello del Green Responsive System.

Nel dettaglio la sperimentazione proposta mostra come le diverse soluzioni sui modelli performativi del modello ADC per l'ottimizzazione parametrica e la prototipazione full-scale, esprimono la capacità di interazione tra i prototipi realizzati attraverso l'uso di stampa 3D LDM alle sue prestazioni ambientali ottenute con l'integrazione con sistemi di natura vegetale, esprimendo quindi le prestazioni del componente come biorecettore.

In occasione dell'Italian Design Day 2022, il 23 marzo è stata inaugurata la mostra Upcycling, nel quale sono stati esposti i prototipi realizzati. Organizzata dall'Istituto Italiano di Cultura di New York, e fortemente voluta dal suo direttore, Fabio Finotti, l'espedito della mostra è stato utile in ottica sperimentale per discutere della possibilità di un'architettura intrinsecamente ecologica, capace di garantire un futuro più sostenibile delle città.

I progetti esposti sono parte di un percorso di ricerca collettivo, espressione della collaborazione tra il centro di ricerca ABITAlab e l'NYIT, sui temi della resilienza delle comunità e dello studio di materiali bio-ricettivi, che pone al centro del dibattito architettonico il ruolo e la responsabilità degli architetti nelle questioni riguardanti le crisi ambientali.

Il progetto del prototipo/ componente nello studio di design e le loro basi di individuano il carattere dirompente delle sfide sanitarie in contesti urbani densi in aree svantaggiate e abbandonate a New York.

Le letture sull'economia circolare, l'innovazione dei sistemi tecnologici per l'architettura, la biodiversità, la visione opensource dell'innovazione circolari, hanno supportato le attività di laboratorio, esprimendo una metodologia applicabile per facilitare la mitigazione e l'adattamento degli agenti del cambiamento climatico.



Fig. 16. Installazione presso IIC di NY, Upcycling. D. Lucanto, A. Melis, C. Pongratz.; D. White 2022.

### *Tecnologie abilitanti e strumenti per la prototipazioni*

L'oggetto della sperimentazione nei laboratori dell'NYIT, ha riguardato lo studio del processo di stampa in argilla LDM, quale tecnica di produzione additiva (AM) utilizzata per produrre forme con geometrie complesse basate su dati di modelli tridimensionali (3D).

Analogamente a quanto accade per il processo di stampa FDM in PLA il metodo principale per eseguire la produzione additiva è la stampa strato per strato [10, 11], ma a differenza della stampa 3D con polimeri, la stampa 3D con argilla non richiede alcun processo di riscaldamento dell'estrusore. Sulla base delle istruzioni del G-Code, la stampante 3D di argilla comprime la pasta di argilla e la deposita a strati. Come un pezzo di argilla artigianale, la struttura in argilla 3D può essere riscaldata e indurita.

La produzione additiva dell'argilla è stata ampiamente utilizzata in molti progetti di prodotti, come antenne e sensori dielettrici in ceramica, oltre che è molto utile per la prototipazione di sistemi costruttivi e componenti per l'architettura.

Nel 2016, Zhang e Ling hanno descritto due metodi di formatura della ceramica basati su una soluzione di stampa 3D [25]. Nel 2020, Ruscitti e il suo team hanno esaminato la produzione additiva di materiali ceramici basata su processi di estrusione di paste di argilla [26]. In particolare, nella simulazione vengono impostate le seguenti caratteristiche in base alla stampante 3D selezionata e al materiale definito per la prototipazione.

La stampante 3D Delta Wasp 40100 per argilla, disponibile nei laboratori di Additive Manufacturing dell'NYIT utilizza un'impostazione basata sulle attuali caratteristiche comuni delle stampanti sul mercato. Il metodo VoxelPrint definisce sia il materiale che le caratteristiche di stampa che vengono automaticamente importate in Abaqus dal file del modello. Secondo le specifiche del fornitore e la relativa letteratura [27], lo spessore dello strato di pA di 1 mm è stampato da un ugello con un diametro di 2 mm ad una velocità di 30 mm/s, che è anche coerente con le condizioni di processo di stampa del mondo reale impostate per considerare una simulazione accordata con l'intera geometria durante l'analisi di una cella isolata delle diverse superfici minime. Per la continuità delle geometrie, in ciascuna cella simulata, non sono ammessi gli spostamenti ortogonali del piano di taglio della cella.



Fig. 17. Sperimentazione presso i laboratori di AM dell'NYIT. (fonte: D. Lucanto, A. 2022)

### Prototipazione

La ricerca più rilevante sulla stampa 3D di grandi pareti e grandi blocchi è condotta da Izard et al. [28] nell'istituto IAAC utilizzando robot paralleli azionati da cavi. In particolare, i ricercatori della IAAC hanno studiato colonne [29], mattoni e grandi blocchi con diversi tipi di aperture [30] realizzati con argilla stampata in 3D. Come risultato della ricerca IAAC, tale tecnologia ha dimostrato di avere un potenziale e sono stati identificati i suoi attuali limiti. Inoltre, poiché tale indagine si è concentrata sul potenziale delle applicazioni su larga scala, non sono state esplorate complesse geometrie interne e limiti di stampabilità (Fig. 18).

Diversi studi hanno dimostrato il potenziale per combinare personalizzazione di massa e geometria nei mattoni di argilla stampati in 3D per una varietà di applicazioni [30] (artistiche e architettoniche) e prestazioni multi-obiettivo [15,44] (ad esempio, strutturali e termiche).

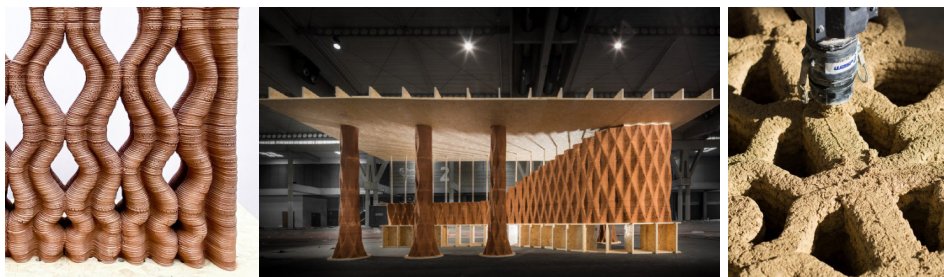


Fig. 18. Riferimenti progettuali di sperimentazione con LDM 3DP. I AAC. 2019-2022

Per progettare, simulare e prototipare nuovi componenti complessi utilizzando la stampa 3D di argilla, è necessario prima definire una metodologia basata sulla modellazione parametrica utilizzando l'approccio del Regenerative Design [5].

Per generare una modellazione parametrica con le complesse forme interne dei mattoni, si sono indagate diverse geometrie con note proprietà meccaniche come superfici minime in grado di aumentare le loro capacità bioricettive.

Vengono studiate tre diverse superfici minime con diverse configurazioni interne al fine di ottimizzare il processo di stampa: Pre-prototipo 1, Pre-prototipo 2 e Pre-prototipo 3.

Dalle sperimentazioni condotte illustrate in figura, se ne deduce che la geometria più promettente è quella che prevede una voxelizzazione [29] della superficie, questa rende il prototipo stampabile in tutte le configurazioni studiate (Fig. 19). Le capacità espresse da queste geometrie possono essere efficacemente stampate in diverse configurazioni interne dei componenti. La geometria più complessa proposta nel prototipo e non è consigliata per essere stampata efficacemente in un mattone di argilla con le tecnologie attuali.

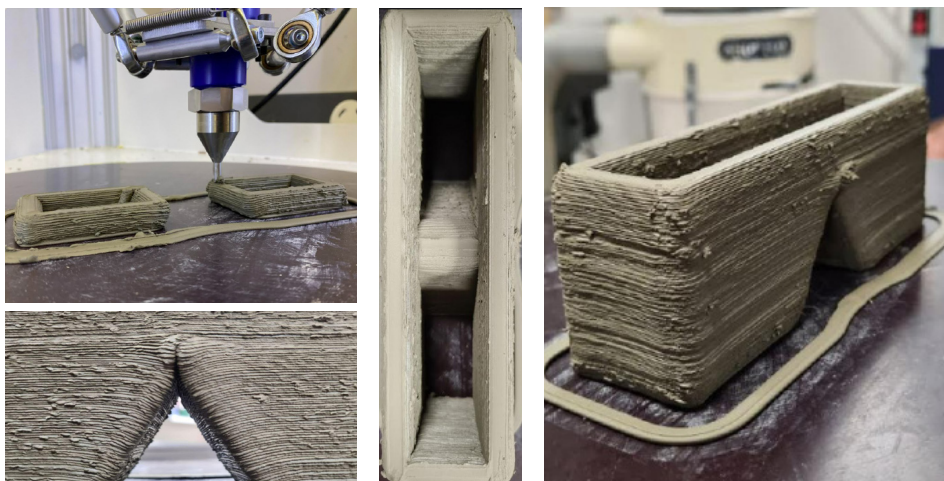


Fig. 19. Primo prototipo per la valutazione delle capacità tecniche del materiale (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT).

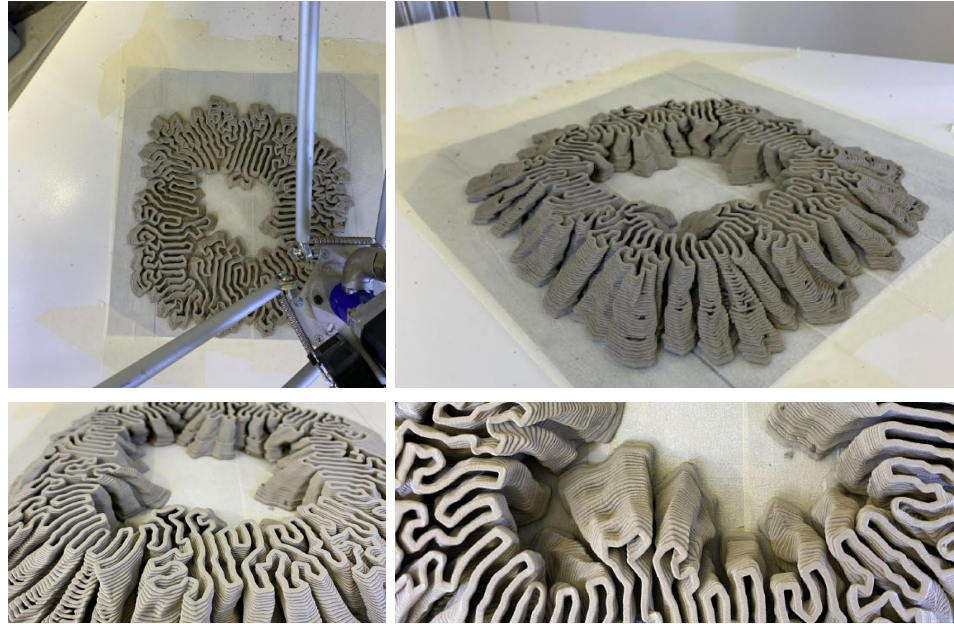


Fig. 20. 1° componente prototipo ottimizzato in Grasshopper. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

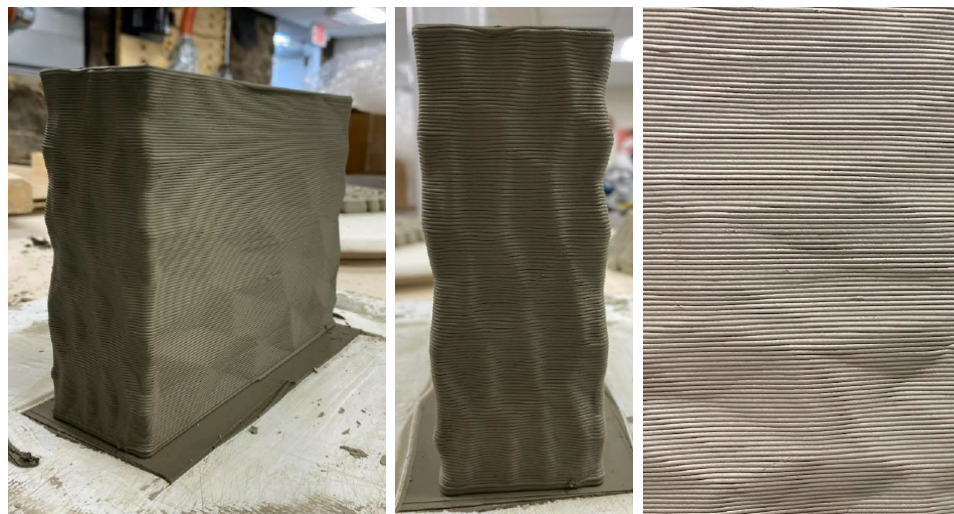


Fig. 21. componenti del centro di controllo per i compiti definiti sono stati raggruppati per un funzionamento più semplice. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Al fine di sviluppare scenari futuri personalizzati, i progetti del componente analizzano l'ottimizzazione ambientale sia del software parametrico che delle due funzioni declinate sui prototipi.

Le superfici di analisi sono state modellate in Rhino e quindi suddivise per la realizzazione del 1° componente prototipo ottimizzato in Grasshopper (Fig. 20), il livello di dettaglio desiderato nei dispositivi sono stati generati all'interno dell'interfaccia Grasshopper utilizzando gli strumenti per l'ottimizzazione delle radiazioni solari percepiti.

La geometria fissa del componente modellata in Rhino è stata ottimizzata in Grasshopper con l'algoritmo per lo studio e l'ottimizzazione dei fattori di contesto.

Tutta la geometria è stata collegata tramite il componente materiale o direttamente ai componenti di simulazione per le analisi del fattore di luce diurna e dell'irraggiamento solare.

I parametri sono stati formulati per ciascun processo di ottimizzazione e collegati rispettivamente ai parametri di progettazione e alla funzione fitness. Infine i componenti del centro di controllo per i compiti definiti sono stati raggruppati per un funzionamento più semplice (Fig. 21).



Fig. 22. 2°componente prototipo. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Per quanto riguarda la progettazione del secondo componente prototipo (Fig. 22) sono stati utilizzati gli strumenti per l'ottimizzazione del ciclo di vita, per tenere traccia dei parametri e della funzione fitness per ciascun componente proposto dalle generazioni Galapagos.

Il modello di simulazione geometrica prodotto con Rhino3D includeva il componente ed il percorso di stampa abbinato al flusso di materiale. La base del prototipo è sempre modellata come una superficie piana senza alcuna differenziazione rispetto alle sollecitazioni subite, per agevolare il processo di stampa.

La geometria modellata è stata collegata dinamicamente (per consentire aggiornamenti istantanei in caso di future modifiche progettuali) all'interfaccia di Grasshopper con i componenti di importazione della geometria incorporati nel software (Fig. 23).

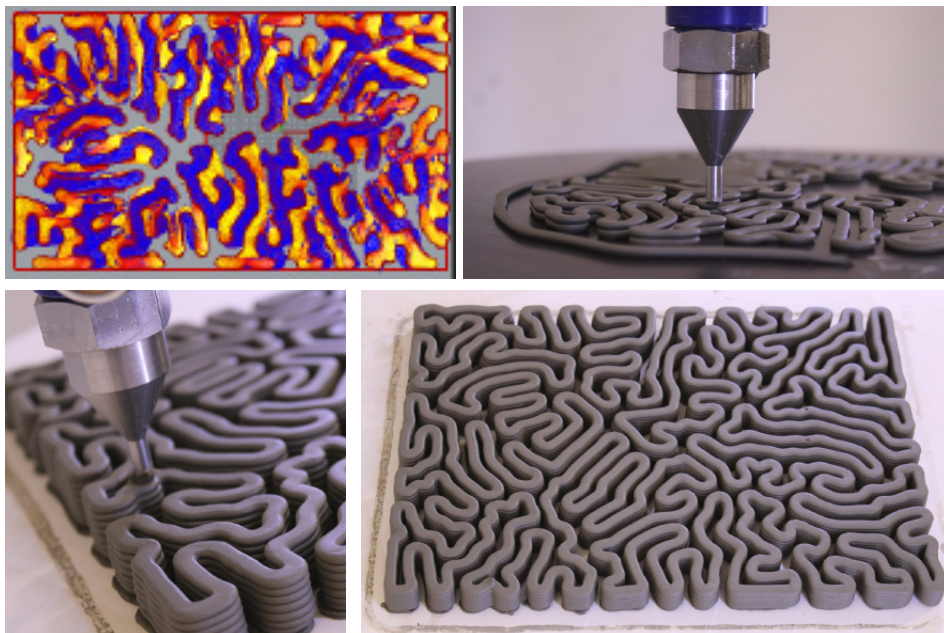


Fig. 23. Sperimentazione parametrica per la definizione del secondo prototipo/componente. D. Lucanto 2022. NYIT

L'UpCycling dei prototipi ricerca quindi l'innovazione circolare di processo, verso la definizione della protototipologia, che spinge a manipolare gli strumenti che abbiamo già a nostra disposizione a utilizzarli in modi nuovi e imprevisti e a raccogliere e rielaborare le informazioni che derivano da questo esercizio.

Per dimostrare l'efficacia di tale tecnica per la progettazione ibrida, sono state condotte sperimentazioni per valutare le prestazioni ambientali nella configurazione delle parti stampate in 3D. Tra gli indicatori chiave di prestazione, l'agevolazione del percorso di stampa nel G-Code è stato considerato come il principale criterio critico per valutare e confrontare campioni costruiti con varie tecniche e strategie di produzione.

In questa fase, la metodologia sperimentata nella realizzazione dei due prototipi è sufficientemente adatta per costruire provini con le seguenti strategie AM:

(a) Applicando solo la tecnica tradizionale per l'intera parte. (Prototipo 1) Consiste nella stampa per slicing del campione in argilla con il software CURA (Fig. 25) adattato per il funzionamento su una stampante 3D WASP 40100 [30] e con una percentuale di rispondenza alle prestazioni al 100%;

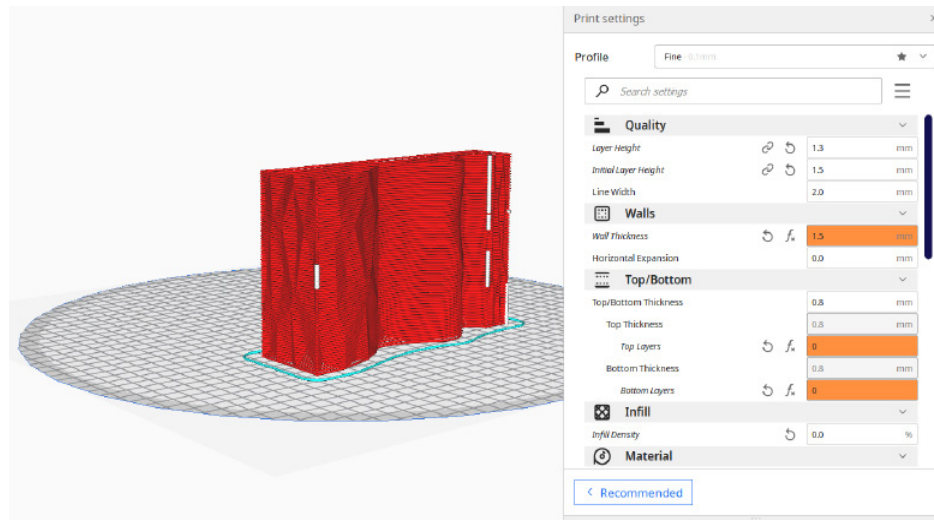


Fig. 24. Sperimentazione sul software di Slicing CURA. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

(b) Applicazione della tecnica ibrida per la stampa 3D avanzata utilizzando il riempimento a flusso variabile della parte come evidenziato nel paragrafo 5.1.1. (Prototipo 2) (Fig. 24).

I campioni correlati sono stati costruiti sempre in argilla con stampante 3D WASP 40100 . L'analisi visiva della porosità risulta così in superficie del 40% per il prototipo in questione.

(c) Applicazione integrale della tecnica di stampa 3D avanzata per integrare nella stampa delle superfici del componente, gli elementi per ottimizzare le capacità bioricettive dello stesso.

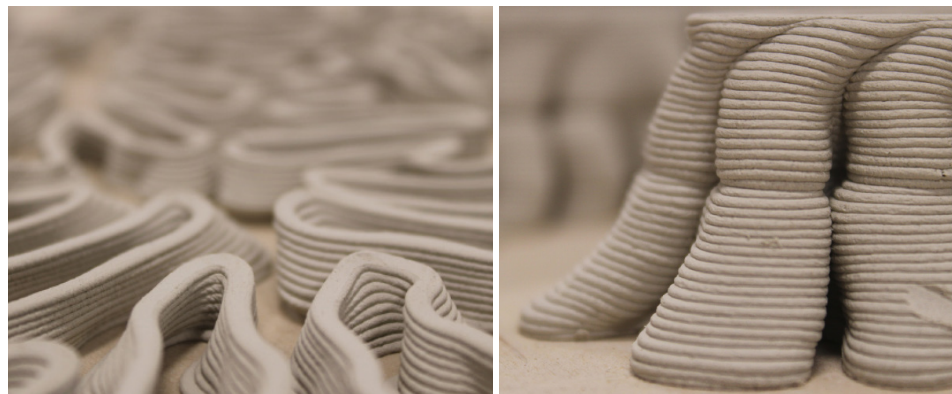


Fig. 25. Sperimentazione sul prototipo 2, attraverso l'utilizzo della tecnica ibrida per la stampa 3D avanzata utilizzando il riempimento a flusso variabile. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Con riferimento al prototipo 3 i relativi campioni sono stati costruiti in materiale misto valutando la possibilità di ibridare l'argilla utilizzata con composti a base di Micelio e l'integrazione di biorecettori come le alghe spiruline come nutrimento della parte vegetativa. I prototipi realizzati optano per la mitigazione di parametri progettuali e di processo a totale impatto ambientale, intervenendo sulle caratteristiche di riciclabilità, circolarità progettuale, produzione sostenibile e basso consumo energetico. Tali prestazioni di entrambi gli scenari sono migliori rispetto allo scenario di partenza e non influiscono sui requisiti di progettazione.

Gli aspetti legati alla fase decisionale per i parametri costruttivi dei componenti stampanti in 3d, diventano, quindi, un elemento chiave nella caratterizzazione dei processi di progettazione circolare avanzata, per rappresentare la capacità offerta dalle evoluzioni delle tecnologie, con riferimento alla la ricerca di frontiera nel settore dell'economia circolare in architettura.

Implementando un metodo di bioapprendimento, i componenti in argilla mirano a raggiungere la sufficienza fisiologica formale pur mantenendo la facilità di implementazione, produzione di massa e standardizzazione.

Per simulare la reazione fisica della diffusione acquosa nell'argilla, questi algoritmi sono stati utilizzati nella progettazione e nella fabbricazione dei componenti che così configurati possono essere definiti biodigitali.

Diversi fenomeni fisici possono essere modellati utilizzando sistemi di reazione-diffusione. A causa delle reazioni chimiche locali e della diffusione, una o più sostanze chimiche cambiano di concentrazione nello spazio e nel tempo, facendole propagare su una superficie. I sistemi chimici, biologici, geologici e fisici utilizzano sistemi di reazione-diffusione. Il modello di reazione-diffusione descrive schemi periodici come macchie, strisce e labirinti come risultato di interazioni chimiche [36].

Come primo passo nella ricerca della forma, tali condizioni hanno interessato il lavoro del Prototipo 3. Simulando la reazione di diffusione, le ultime regioni ad assorbire l'acqua (nell'argilla) sono state collegate attraverso un algoritmo del percorso più breve, che descrive un modello di comportamento in natura.

L'algoritmo "Shortest Path" (Fig. 26) è stato sviluppato in base alla funzione bioricettiva di questi componenti, riducendo la distanza tra i punti solidi di ciascun cuscinetto per distribuire i carichi.

Un algoritmo di reazione-diffusione è stato utilizzato per generare un diagramma basato su criteri ammissibili a principi per l'architettura 5.0 (cfr. cap 1.2), per ottimizzare le capacità di innovazione dell'argilla nel suo trasferimento come componente tecnologica.

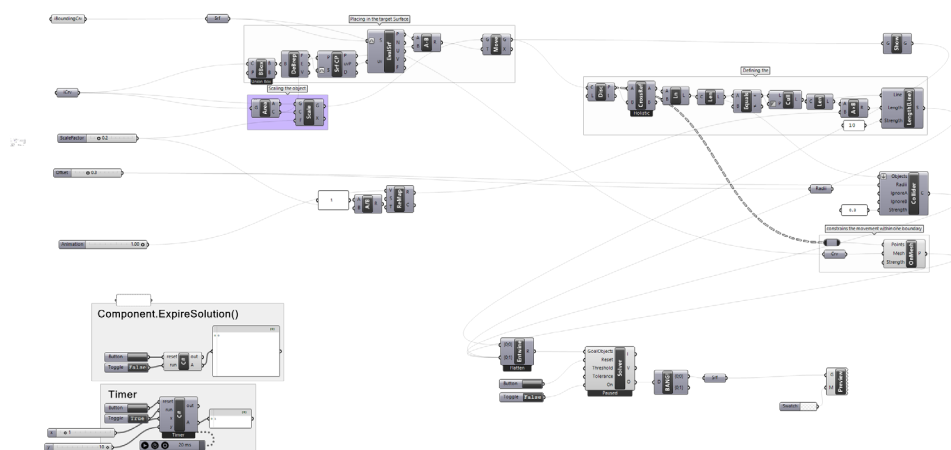


Fig. 26. Script parametrico per l'ottimizzazione del prototipo/componente attraverso l'algoritmo Shortest Path. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Per collegare questi punti, abbiamo utilizzato l'algoritmo del percorso più breve in Anemone date queste condizioni configurative, come mostrato nella Figura 4, l'algoritmo del percorso più breve collega gli ultimi punti della reazione-diffusione tramite Galapagos [21]. Sono state selezionate iterazioni di progettazione ottimali per il comportamento strutturale da testare per varie densità di materiali, con la densità di ciascun mattone che varia dal 25% al 55%, 75% e 95% e un prototipo con superficie lineare o cavo con uno spessore variabile da 0,25 cm a 0,55 cm, da 0,75 cm a 0,95 cm per ogni iterazione (V1, V2 e V3), come mostrato nelle Figure 5, 6 e 7.

Questa variazione di densità nelle iterazioni dei componenti già definiti come biodigitali ha consentito lo studio effettivo della quantità di materiale utilizzato in questi modelli fisici, nonché della loro resistenza alla fessurazione.

Nel capitolo riferito alla sperimentazione finale sul GRS (cfr Cap. 8), l'esperimento condotto esporrà in dettaglio ulteriori prove per dimostrare l'eco-efficienza delle forme proposte dei componenti per l'UpCycling del LS.

Queste strategie di fabbricazione digitale declinate sui temi della ricerca dottorale hanno anche consentito l'avanzamento sperimentale nella risposta alla domanda di innovazione con riferimento ai processi dell'UpCycling.

L'output finale della sperimentazione nei laboratori dell'NYIT ha riguardato l'installazione dei prototipi presso l'Istituto Italian di Cultura di New York, come anticipato nell'introduzione. L'installazione che ha esposto 3 totem (Fig. 27) è stata promossa da Maria Perbellini Dean dell'NYIT School of Architecture and Design, i partecipanti a questa esperienza sono stati: Christian Pongratz, Direttore del Master of Architecture, Health and Sustainability al New York Institute of Technology, Dustin White, Director of Fablab of the NYIT, e Domenico Lucanto, PhD student dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria per il coordinamento e la direzione del design dell'installazione ed Aurora Perta e Giovanni Volpe, laureandi del Politecnico di Bari in qualità di exchange program student presso l'NYIT.

Il titolo della mostra *Upcycling: la tecnologia Italiana a sostegno di una nuova idea di riciclo*, bene interpreta il processo che ha caratterizzato il progetto e la sperimentazione dei tre totem.

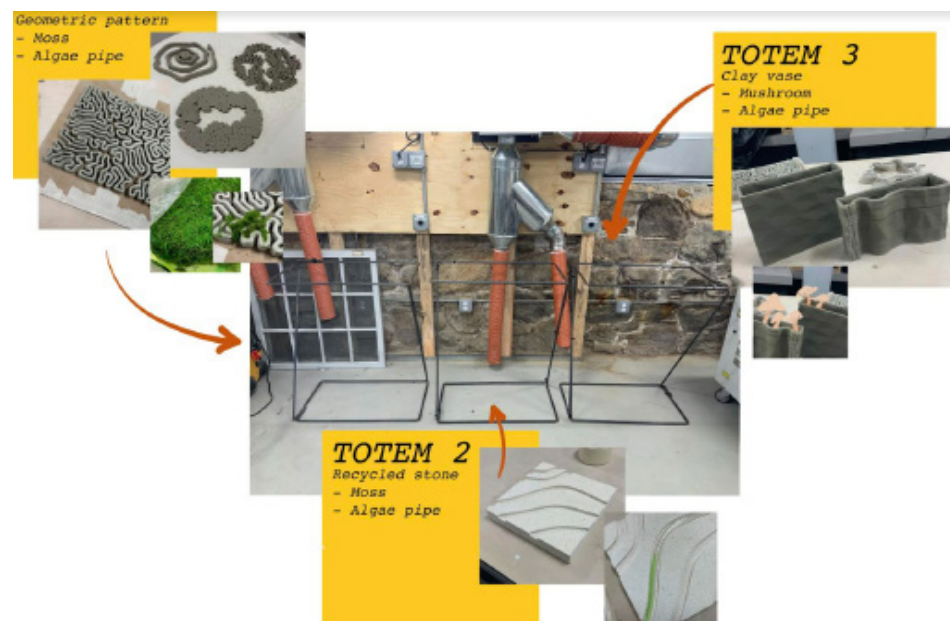


Fig. 27. Concept per la realizzazione dei prototipi e componenti da inserire nell'installazione per l'Italian Design Day presso l'IIC. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Nel primo Totem (Fig. 28) la sperimentazione riguarda l'UpCycling Design operato su più livelli. La base, sulla quale poggiano i tre dispositivi bio-recettori, è realizzata in polvere di marmo riciclato. I tre dispositivi realizzati in argilla tramite un processo di stampa 3d avanzata, intendono valutare la capacità biorecettiva del materiale, attraverso l'inserimento manuale di materiale vegetativo (muschio e graminacee). In fase di sperimentazione la realizzazione di questi dispositivi è direttamente collegata alle tecniche utilizzate per la realizzazione del "secondo prototipo-componente".

Il progetto del G-Code per il flusso di materiale durante la stampa 3d, ottimizzato per ridurre a minimo il GWP, è stato differenziato in tutta la stratificazione. Questo processo abbinato alla porosità del materiale usato, ottenuta in fase di preparazione del materiale con un quantità di argilla-acqua pari al (80%-20%), aumenta la capacità bioricettiva dei dispositivi. Questo tipo di configurazione permette alla vegetazione di crescere in maniera eterogenea su tutta la superficie, aumentando così la capacità di stoccaggio organico della CO<sub>2</sub>, mentre le superficie meno esposte alla radiazioni solare diretta permettono la crescita di muschio aumentando così ulteriormente la capacità di stoccaggio.

Il secondo totem fa riferimento alla sperimentazione svolta nel primo prototipo componente, nella realizzazione dei dispositivi che sorreggono l'impianto per la crescita delle alghe spiruline, ed al secondo prototipo per la realizzazione dei dispositivi bioricettivi che incrementano il potenziale di UpCycling nell'installazione.



Fig. 28. Tre dispositivi bio-recettori del primo totem. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

Il sistema prototipato è composto (Fig. 29) da due sistemi fluidamente interconnessi che assumono i caratteri dell'exaptation tecnologica, applicata agli elementi architettonici, intesi come

Questo tipo di approccio riguarda strettamente l'exaptation, sia per la configurazione morfologica, sia per l'utilizzo del processo creativo nella configurazione finale dei dispositivi.

La funzione del dispositivo è progettata per testare la replicabilità di un modello di coesistenza permanente tra organismi umani in uno scenario prototipale.

L'architettura biotecnologica dell'installazione funge da mezzo per affrontare diversi aspetti dell'approccio ibrido (cfr. ap. 2.3). Il meccanismo biologico principale, innescato attraverso l'utilizzo dell'alga spirulina è la fotosintesi, alimentata dal sole e dal metabolismo di CO<sub>2</sub> per foto-reazione.

Le alghe possono essere raccolte indipendentemente da ciascuna unità più volte alla settimana per raccogliere fino a cento grammi di biomassa, che è l'assunzione proteica giornaliera raccomandata di una famiglia di quattro persone.

Mentre è attivo nella produzione, il sistema prototipato è in grado di assorbire CO<sub>2</sub> a una velocità pari a tre grandi alberi maturi, fornendo un chiaro percorso verso la neutralità del carbonio in architettura.

Il terzo totem (Fig. 30) rappresenta una sintesi delle tecniche di bioricettività esplorate nelle precedenti sperimentazioni, con eccezione fatta per le tecniche parametriche di stampa 3D. Sono state realizzate quattro "componenti" in marmo riciclato, attraverso l'utilizzo di un algoritmo "seamless" è stato disegnato il pattern scavato sui componenti, tramite fresatura con CNC.



Fig. 29. Processo di sperimentazione per la realizzazione del secondo totem. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2022, NYIT)

L'obiettivo di questa sperimentazione è abilitare i processi bioricettivi all'interno delle fessure ottenute nel disegno del pattern parametrico.

Queste infatti permettono al loro interno la crescita di muschi, in forma spontanea, favorita anche dalla natura porosa del materiale. Attraverso un processo di UpCycling nelle fessure rimanenti sono stati applicati i sistemi per la coltura delle alghe spirulina, delle quali viene testata il potenziale aggregativo, aumentato dal disegno parametrico del pattern.

La nuova tassonomia esplorativa descritta nella successione dei prototipi-componenti, e dei totem nei quali riversa la sperimentazione prototipale permette di rileggere il significato dei casi di studio proposti, attraverso un approccio prototipologico/esattativo.

Secondo Gould, il significato dello Spandrel (pennacchio) in architettura è una caratteristica che *"è un sottoprodotto di un'altra caratteristica piuttosto che un risultato diretto della selezione adattativa"*.

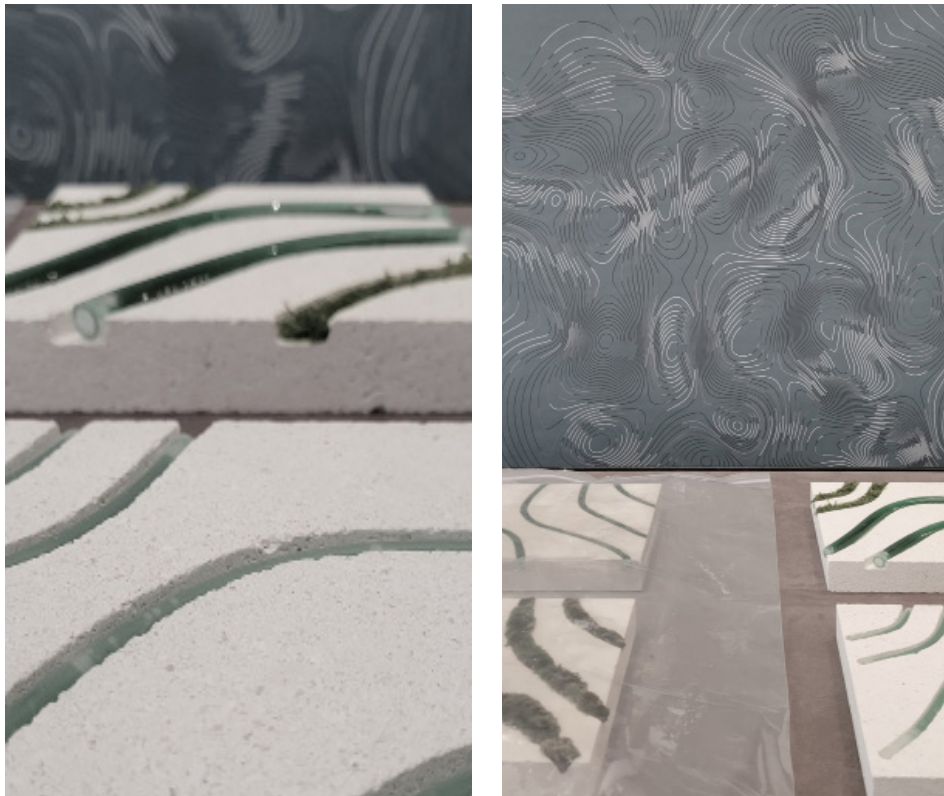


Fig. 30. Dettagli del terzo totem. C. Pongratz 2022. NYIT

Sulla base di quest' definizione di spandrel, sulla base dell'esperienza proposta si potrebbe ricostruire una tassonomia basata sulle categorie approfondite nei tre totem finali oggetto dell'installazione. Le scale architettoniche e urbane, così come gli approcci deterministici e indeterministici, possono essere tutti inclusi in ciascuna categoria.

Tra le categorie considerate vi sono:

- 1) Funzionalizzazione di geomorfologie esistenti (Totem 1);
- 2) Integrazione della funzione nelle strutture esattate (Totem 2);
- 3) Rifunzionalizzazione della funzione nelle strutture esistenti.



Al visioning di un GRS  
realizzato attraverso  
sperimentazione su MI-  
Djourney, D. Lucanto  
2022.

## Note

1. "Il campo degli studi sulle prestazioni energetiche si è ampliato e sono emersi nuovi cluster di ricerca, che offrono nuovi strumenti e metodi per esplorare questi territori a scala urbana, tra cui: (1) l'impatto del microclima urbano e dell'UHI sulla prestazione energetica è predominante tra questi, e comprende studi che utilizzano misurazioni sul campo, algoritmi predittivi come Urban Weather Generator (UWG), e il modello Canyon Air Temperature (CAT), nonché nuovi metodi di accoppiamento e modellazione; (2) l'impatto della tipologia urbana sulla prestazione energetica utilizzando metodi di previsione semplificati, indicatori solari, e modelli energetici dettagliati, per indicare l'impostazione spaziale ottimizzata per prestazioni energetiche elevate in contesti diversi; (3) Le prestazioni degli edifici a energia zero (ZEB) su scala urbana sono diventate un altro campo emergente, indicato dall'obiettivo di raggiungere un bilancio energetico (rapporto) del 100% tra la fornitura di energia rinnovabile in loco e la domanda di energia. Con la crescente applicazione di questo concetto, studi recenti hanno iniziato ad esplorare la correlazione tra forma urbana e potenziale ZEB in diversi contesti; e più recentemente, con l'avvento di (4) il concetto di progettazione rigenerativa urbana, in cui considerazioni ambientali quantitative e qualitative si uniscono, nuovi strumenti e flussi di lavoro stanno iniziando a offrire la possibilità di esplorare la prestazione energetica insieme ad altri indicatori, ad es. fattori di visualizzazione della natura, studi tipologici sulla luce diurna, luce diurna energetica e pedonabilità, zonizzazione urbana basata sulla luce diurna e metriche sulla luce diurna residenziale. Si prevede che questo cluster di ricerca acquisirà una rilevanza crescente grazie alla comprensione della necessità di nuove interfacce olistiche per affrontare ciò che è considerato un compito multidimensionale" [6].

2. "Uno degli indici recentemente sviluppati per la valutazione del comfort termico è l'Universal Thermal Climate Index (UTCI) basato su un modello termofisiologico della risposta umana alle condizioni meteorologiche, incluso il problema dell'acclimatazione. UTCI è la temperatura di come "sembra il tempo". Tiene conto della temperatura radiante (di solito inclusa la radiazione solare), dell'umidità relativa, della velocità del vento, della temperatura dell'aria. UTCI utilizza questi input in un modello di bilancio energetico umano per fornire un valore di temperatura che indichi lo stress da caldo o lo stress da freddo avvertito dal corpo umano mostrano che PET e UTCI sono generalmente comparabili per le condizioni climatiche dell'Europa centrale." [6]

3. In questo capitolo si affrontano le domande relative alla simulazione e alla progettazione dei dispositivi da abbinare in fase di prototipazione al Liminal Space, questo avviene su tre livelli di iterazione. Al primo livello, la temperatura di attivazione dell'ottimizzatore e la sua relazione con le condizioni ambientali termiche vengono discusse ed esaminate con dati per giustificare la selezione della temperatura di transizione delle situazioni di comfort, e il funzionamento nel clima locale.

Al secondo livello, le simulazioni della radiazione solare e della luce diurna sono condotte come metodi di analisi delle prestazioni semplificati per confrontare i fattori geometrici, dimensioni e disposizioni, di un progetto di dispositivo progettato in UpCycling.

All'ultimo livello, vengono condotte simulazioni per testare diversi scenari di meccanismo di ottimizzazione dello stesso design del dispositivo per mettere a punto la direzione del progetto e fornire feedback allo studio di fabbricazione del prototipo. È importante

valutare l'impatto sulle prestazioni di vari parametri e comportamenti, in modo da fornire un feedback sulla progettazione di un dispositivo di ombreggiamento [48].

4. "L'innovazione tecnologica applicata agli involucri o ad altre parti degli edifici, fornisce un quadro delle trasformazioni in atto nelle soluzioni progettuali per le superfici vetrate, intese come interfaccia sensibile e selettiva con l'ambiente.

Il processo di evoluzione dell'involucro edilizio mostra come la tendenza sia verso sistemi con una maggiore adattabilità al variare delle condizioni climatiche esterne. A questo proposito, le facciate adattive possono reagire a stimoli o forze esterne in molti modi diversi: possono infatti modificare forma e geometria, colore, trasparenza, permeabilità, ecc. Il legame tra le facciate di edifici complessi e l'energia prodotta da fonti rinnovabili è spesso essenziale, anche con riferimento al raggiungimento dell'obiettivo di energia zero sempre più vicino." [14]

5. La conformità geometrica insieme alle proprietà del materiale sia allo stato fresco che allo stato indurito, svolgono un ruolo essenziale nella robustezza del processo di 3DP, nonché nell'ottimizzazione delle prestazioni 3DP; concetti strettamente correlati con tempi di costruzione minimi, costi.

La conformità geometrica nel dettaglio è guidata da obiettivi funzionali e limitazioni di processo, in quanto fortemente correlata a dimensioni e tolleranze delle caratteristiche, tratteggio, modellazione di materiali e processi e sporgenze. Questi sono aspetti che potrebbero essere influenzati dai parametri di controllo 3DP, in modo integrato, nei rispettivi esempi di applicazioni di calcestruzzo, terra o materiali a base di argilla. Nelle opere rilevanti, la conformità geometrica e il tratteggio (si utilizzano termini simili come modello di riempimento) sono stati esaminati e discussi in relazione ad altri parametri 3DP, che vengono elaborati attraverso il trasferimento di dati utilizzando software di progettazione e piattaforme digitali. Questi includono indagini parametriche utilizzando mezzi convenzionali, progettazione parametrica avanzata utilizzando strumenti di simulazione robotica, ad esempio KUKA|PRC e plug-in ABB Taco per Grasshopper (plug-in per il software di modellazione Rhino NURBS) e approcci BIM (Building Information Modeling), che aprono la strada a nuove opportunità riferite ai processi produttivi nella direzione del design senza soluzione di continuità.

6. In questo caso, si considera la forma superficiale minima dell'edificio come sintesi della superficie di facciata progettata in base all'illuminazione diurna, alle radiazioni e alle aree coperte, tutte ottimizzate.

Di conseguenza, un algoritmo genetico viene utilizzato in questo contesto per sviluppare un modello di ottimizzazione che minimizzi la radiazione, aumenti la luce diurna nello spazio e aumenti anche la superficie del pavimento della forma. Dopo che la simulazione di ottimizzazione è stata completata, viene valutata in base ai risultati ottenuti dalla simulazione. È anche importante notare che oltre alla modellazione e all'analisi di forme complesse, che sono il risultato dell'ottimizzazione, vengono utilizzate anche geometrie euclidee "semplici". Quando si confronta l'efficienza energetica tra forme complesse ed euclidee, si scopre che le forme complesse sono più efficienti dal punto di vista energetico rispetto a quelle basate sulla geometria euclidea. Allo stesso modo, mentre la forma complessa è esposta a una radiazione inferiore, una

forma di geometria euclidea di forma simile sperimenterà una radiazione maggiore rispetto alla forma di una geometria complessa.

7. Questa competizione, Sleeping Pods on a Cliff, è la terza collaborazione tra Bee Breeders e il Vale de Moses Yoga Retreat, un sito situato nelle remote foreste di pini ed eucalipti del Portogallo centrale ed è una meta di vacanza per centinaia di viaggiatori internazionali ogni anno.

## Riferimenti bibliografici

1. P. Chastas, T. Theodosiou, D. Bikas (2016) Embodied energy in residential buildings towards the nearly zero energy building: a literature review
2. Natanian, J., Maiullari, D., Yezioro, A., & Auer, T. (2019, November). Synergetic urban microclimate and energy simulation parametric workflow. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1343, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
3. Toutou, A., Fikry, M., & Mohamed, W. (2018). The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 3595-3608.
4. Kalavagunta, S., Jayaram, R., & Naganathan, S. (2015). Energy performance analysis of buildings in BIM workflow. *Renewable Energy*, 11, 13th.
5. Naboni, E., & Havinga, L. (2019). *Regenerative design in digital practice: A handbook for the built environment*.
6. Natanian, J., Maiullari, D., Yezioro, A., & Auer, T. (2019, November). Synergetic urban microclimate and energy simulation parametric workflow. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1343, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
7. K. Fabbri, A. D. Nunzio, E. Antonini, and A. Boeri, "Outdoor Comfort: the ENVI-BUG tool to evaluate PMV values point by point," presented at the 2nd IBPSA-Italy conference, Bozen-Bolzano, 2015.
8. Goncalves, V. L., Costanzo, V., Fabbri, K., & Rakha, T. (2022). Overheating assessment in Passivhaus dwellings: the influence of prediction tools. *Buildings and Cities*, 3(1).
9. Huerto-Cardenas, H. E., Leonforte, F., Aste, N., Del Pero, C., Evola, G., Costanzo, V., & Lucchi, E. (2020). Validation of dynamic hygrothermal simulation models for historical buildings: State of the art, research challenges and recommendations. *Building and environment*, 180, 107081.
10. Natanian, J., & Auer, T. (2020). Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102094.
11. Naboni, E., Meloni, M., Coccolo, S., Kaempf, J., & Scartezini, J. L. (2017). An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*, 122, 1111-1116.
12. Nóbrega, T. F., Nóbrega, C. A. M. D., & Passaro, A. M. (2021). Experimental Paste Extrusion Mechanism for 3D Printing.
13. Trombetta, C. (2018). The Regenerative Design experience in the built environment and resilience discussion. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (15), 143-152. <https://doi.org/10.13128/Techne-22133>
14. Claudi de Saint Mihiel, A. (2020). The design of the building envelope between innovation and experimentation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (20), 313-318. <https://doi.org/10.13128/techne-9542>
15. Di Napoli, C., Barnard, C., Prudhomme, C., Cloke, H. L., & Pappenberger, F. (2021). ERA5-HEAT: A global gridded historical dataset of human thermal comfort indices from climate reanalysis. *Geoscience Data Journal*, 8(1), 2-10.
16. Mueller, C. T. (2016). 3D printed structures: challenges and opportunities. *Structure*, 54.
17. Alini, L. (2021). Architecture between heteronomy and self-generation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 21-32. <https://doi.org/10.36253/techne-10977>
18. Cheng, R. K. (2013). *Inside Rhinoceros 5*. Cengage Learning.
19. Miki, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2013). Development of a Grasshopper add-on for interactive exploration of shapes in equilibrium. In *Proceedings of IASS Annual Symposia* (Vol. 2013, No. 12, pp. 1-6). International Association for Shell and Spatial Structures (IASS).
20. Manso, S., Calvo-Torras, M. Á., De Belie, N., Segura, I., & Aguado, A. (2015). Evaluation of natural colonisation of cementitious materials: effect of bioreceptivity and environmental conditions. *Science of the Total Environment*, 512, 444-453.
21. Kielarova, S. W., & Sansri, S. (2016, December). Shape optimization in product design using interactive genetic algorithm integrated with multi-objective optimization. In *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence* (pp. 76-86). Springer, Cham.
22. Tedeschi, A. (2014). *AAD, Algorithms-aided design: parametric strategies using Grasshopper*. Le penseur publisher.
23. Hollberg, A., & Ruth, J. (2016). LCA in architectural design—a parametric approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943-960.

24. e Silva, A. C. P. S., & Calili, R. F. (2021). New building simulation method to measure the impact of window-integrated organic photovoltaic cells on energy demand. *Energy and Buildings*, 252, 111490.
25. Zhang M, Yang L (2016) Ceramic product forming technologies research based on 3D printing. *IEEE Access* 4:9345–9349. <https://doi.org/10.1109/access.2016.2642122>
26. Kristiawan RB, Imaduddin F, Ariawan D, UbaidillahArifin Z (2021) A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: filament processing, materials, and printing parameters. *Open Eng* 11(1):639–649. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
27. Parisi, N. 3D printing for earthen architecture. In *Proceedings of the 7th International Conference on Architecture and Built Environment with AWARDS, S.ARCH 2020, Tokyo, Japan, 7–9 April 2020*; pp. 282–291, ISBN 9783982075853. [Google Scholar]
28. Iazard, J.B.; Dubor, A.; Hervé, P.E.; Cabay, E.; Culla, D.; Rodriguez, M.; Barrado, M. Large-scale 3D printing with cable-driven parallel robots. *Constr. Robot.* 2017, 1, 69–76. [Google Scholar] [CrossRef]
29. Vantghem, G.; Ooms, T.; De Corte, W. VoxelPrint: A Grasshopper plug-in for voxel-based numerical simulation of concrete printing. *Autom. Constr.* 2021, 122, 103469. [Google Scholar] [CrossRef]



Parte 3  
Sperimentazioni progettuali proto-tipologiche  
sugli ambiti applicativi della ricerca



## Upcycling e Architettura 5.0 negli scenari di transizione climatica

### *Abstract*

Upon reading the prototypes, a discussion is proposed on the data and experimentation undertaken in order to identify the factors and techniques that are capable of optimizing the climatic adaptation of the components, the circularity of resources, and the biodiversity of the built environment. By using advanced circular design processes, components' taxonomies and languages are determined and encoded, enabling resilient behavior using methodologies and tools governed by a computational approach.

In addition to providing a perspective supported by the discipline on global issues closely related to design and consumption models, the objective is to present a point of view derived from the experimental field of UpCycling design, reinterpreted from a prototypological perspective based upon design experiences, strategic and experimental-applicative.

Having identified the characteristics that are defined as "characteristics for functional co-optation", these technological solutions demonstrate the role of exaptation in their technological components.

In order to identify synergies, compromises, and conflicts between adaptation and mitigation, multiple scales areas part of the first prototype, a report will be prepared on the level of information that is required to implement the climate change response strategies, specifically identifying the causes and effects of the rise in surface temperaturesh's surface. As a basis for comparing the other scales, a critical rereading of Taranto's PUE and PIRU is presented in the second para, describing the NBS technological solutions along which the climate contrast action was developed, and proposing an experimental approach to the prototyping of an NBS as a second prototype.



Dettaglio del GREEN PARKING, SCenario 3 PVC UpCycling, PMo-penlab, 2019.

## 6.1 Circolarità per la Resilienza verso la definizione di un nuovo paradigma

### 6.1.1 Impianto teorico per l'individuazione dei caratteri di cooptazione dei componenti e la definizione di un nuovo paradigma

Nella lettura delle prototipologie<sup>3</sup> si propone un discorso sui dati e la sperimentazione nel processo di individuazioni dei fattori e delle tecniche che ottimizzano l'adattamento climatico delle componenti, *la circolarità delle risorse e la biodiversità nell'ambiente costruito*.

Il processo di advanced circular design, *determina la tassonomia delle componenti e ne codifica il linguaggio* [1] abilitando dunque un comportamento resiliente con metodologie e strumenti regolati dall'approccio computazionale.

Il contributo delle tecnologie *digitali e fisiche* per la mitigazione e l'adattamento dei fenomeni atmosferici del riscaldamento globale necessita di una lettura profonda e avanzata basata su *una strategia di progettazione sostenibile* (cfr. Prototipologia 1) che sia in grado di contribuire alla transizione ecologica e digitale del settore delle costruzioni.

L'innovazione riguarda l'adattamento tecnologico nella pratica progettuale dell'UpCycling, (cfr. Prototipologia 2) sull'aumento delle prestazioni per il "sequestro permanente" della CO<sub>2</sub>, per l'aumento della *resilienza di sistema* in risposta ad *eventi climatici estremi*, riuscendo ad *incorporare nel progetto un sistema circolare per la produzione industriale dei componenti*.

Per la definizione del metodo si fa riferimento a "[...] *la necessità di una praxis progettuale conferisce centralità al governo del processo creativo e costruttivo, collocando la questione del metodo in una dimensione multi-disciplinare e multiobiettivo che risponde al rapido mutare della domanda di qualità sottesa all'intervento stesso. Si delinea, un file rouge interno al dibattito dell'Area che ha fatto del discorso sul metodo un tema di riferimento attraverso cui declinare i paradigmi dell'approccio scientifico della disciplina: la visione sistemica e complessa del pensiero progettuale, la natura processuale dell'intervento, l'organizzazione del rapporto informazione/ decisione secondo strutture gerarchiche funzionali ai set di esigenze derivanti dalle caratteristiche dell'ambiente costruito, dai vincoli dei cicli biologici, dalla determinazione di rispondere ed interpretare le aspirazioni più avanzate della società*" [2].

Le categorie attraverso cui M. T. Lucarelli declina i paradigmi riferiti alla questione ambientale diventano la relazione complessa da evidenziare nelle possibili implicazioni da intendere nel rapporto tra natura e ambiente costruito, che devono assorbire i risultati ottenuti nelle sperimentazioni di nuovi modelli di consumo delle risorse, che contemplan considerazioni sulle differenze nelle valutazioni progettuali [3].

L'obiettivo è così avere sia uno sguardo, sostenuto dalla disciplina, sulle tematiche globali strettamente relazionate a design e modelli di consumo, sia un punto di vista basato sul campo sperimentale del design con l'UpCycling, riletto dall'approccio prototipologico dalle esperienze progettuali-strategiche e sperimentali-applicative che in questa trattazione di ricerca vengono presentate.

Tutte le soluzioni tecnologiche riferite a questi processi circolari e resilienti esprimono nelle loro componenti tecnologiche il ruolo dell'exaptatio perché individuano a pieno quelli che vengono definiti come "caratteri per la cooptazione funzionale"<sup>2</sup>.

L'adattamento e la mitigazione vengono quindi esaminati su più scale per scoprire sinergie, compromessi e conflitti. In particolare negli studi presentati in questo capitolo, nella prima prototipologia verrà effettuata un'esplorazione sul livello di informazioni necessarie alla scala gestionale per implementate le strategie di risposta ai cambiamenti climatici, andando ad individuare nello specifico le cause e gli effetti relativi all'aumento della temperatura della superficie terrestre.

Per avere un confronto sulle altre scale si continua nel secondo paragrafo con la rilettura critica sul PUE<sup>3</sup> e sul PIRU<sup>4</sup> di Taranto, descrivendo le soluzioni tecnologiche per cui si è progettata l'azione di contrasto climatica, proponendo nella seconda prototipologia un approccio sperimentale in tema di soluzioni NBS.

### *Definizione del paradigma dell'UpCycling Design per la Resilienza*

La comune definizione di UpCycling [4] è quella di riutilizzare gli oggetti migliorandoli per creare un prodotto di maggiore qualità, sia questa reale o percepita.

Definire i parametri che caratterizzano il progetto dell'UpCycling trasferiti all'*Architettura 5.0* (cfr Cap. 2) significa tradurre nella pratica sperimentale quelle qualità ambientali che consentono la cooptazione delle componenti, per intercettare e trasferire quei sistemi vengono abilitati ad aumentare il loro valore ambientale, misurando l'innovazione di tipo radicale, nella capacità del progetto tecnologico di restituire un'alta e complessa prestazione ecologica.

"*La flessibilità nei processi evolutivi risiede nel serbatoio di caratteri disponibili per la cooptazione*", dice Stephen J Gould [5], il progetto dell'upcycling cerca di trasferire la ricerca di questi caratteri nell'approccio evolutivo alla ricerca intesa come sperimentazione continua e innovativa nel rapporto tra progetto e processo di costruzione. L'approccio olistico al paradigma dell'UpCycling ne influenza in modo assoluto tutti gli aspetti riguardanti il ciclo di vita, rapportandolo sempre alla quantità di CO<sub>2</sub> non emessa equivalente, o alla capacità di stoccaggio.

Il focus diventa l'individuazione dei caratteri che orientano il comportamento di tali sistemi alla *resilienza*, e sulla ricerca e la validazione degli stessi, si concentrano i termini della transizione digitale quindi sui modelli di tali sistemi [7] e sul modo in cui questi supportano una ricerca transdisciplinare sui componenti che registrano l'aumento delle prestazioni, e la capacità di dimostrare come le tecniche di ottimizzazione computazionale possono aiutare a raggiungere gli obiettivi di progettazione rigenerativa [8].

Ma alla base di questo concetto è necessario approfondire i temi legati alla circolarità delle risorse (cfr Cap.1), che aggiungendosi agli aspetti rigenerativi legati al design (cfr. Cap. 3), e alla misura degli impatti legata ai processi di produzione (cfr. Cap. 4), aumentano il valore ecologico del manufatto oggetto dell'upcycling (cfr. Cap.5).

La successione dei temi trattati restituisce un quadro molto chiaro sui significati di "*architettura ibrida*" (cfr. Cap. 2), per la quale prendere esempio dalla natura significa reinterpretare i cicli della biosfera trasferendoli nei processi di produzione e di costruzione; nella biosfera, appunto, non esistono rifiuti, la produzione non genera scarti, le automazioni delle quali la natura si serve per mantenere la circolarità dei suoi cicli, si ripetono e si adattano preservando il valore delle loro componenti, aumentandolo quando queste possono proliferare evolvendosi in sistemi complessi.

La base del riciclo, nell'ambito della tecnosfera, è sicuramente uno strumento valido per la mitigazione degli impatti, tuttavia non è sufficiente ad operare un cambiamento sistemico e radicale nel modo di intendere la transizione ecologica nell'ambiente costruito.

L'upcycling, supera così l'innovazione dell'idea del riciclo, assorbe nei suoi processi il ripristino della circolarità delle risorse, trasferendola in sistemi avanzati di natura biologica per avvicinarsi ad un'idea "*radicalmente ecologica del progetto*" [1].

Lo sforzo "*in transizione*", interpretato nella definizione e rilettura critica delle prototipologie si realizza dunque nell'elaborazione di strategie strettamente riferite all'adattamento e alla mitigazione dei cambiamenti climatici, e nella gestione circolare dei materiali da costruzione che, nel loro duplice trasferimento, come modello digitale e prototipo esportabile, in modo da ottimizzare sia gli aspetti tecnologici-morfologici, sia le prestazioni energetico-ambientali, attraverso il progetto della flessibilità dei suoi caratteri. A supporto del processo di transizione ecologica e digitale nel settore delle costruzioni, è necessario quindi intercettare gli studi transdisciplinari che possono spiegare e dimostrare come definire questi aspetti. In quanto espressione avanzata di un approccio sperimentale nell'ambito della cultura tecnologica del progetto, gli studi sull'UpCycling come processo trasformativo, dimostrano che la "*creatività nasce dall'indeterminismo del pensiero associativo*", piuttosto che dal pensiero lineare come modalità di sopravvivenza predefinita [9], ciò che discute la base dei concetti di adattamento delle funzioni sistemiche e exaptation tecnologica trasferita.

### 6.1.2 Metodologia per l'adozione di strategie di adattamento e mitigazione per i CC

I concetti e le prassi di adattamento delle funzioni e di exaptation tecnologica nei componenti dell'architettura sono da sempre utilizzati per la definizione dell'evoluzione formale e morfologica dei sistemi progettati nelle trasformazioni dell'ambiente costruito.

Come discusso da A. Melis esistono casi molto frequenti nella storia dell'architettura in cui due o più funzioni si susseguono letteralmente nella stessa componente tettonica.

Strutture in muratura preesistenti sono spesso utilizzate come fondazioni per edifici successivi. *"L'uso secondario non era stato previsto, anche se paradossalmente costituisce un topos dell'architettura, come il romanico, sulle infrastrutture romane. Le città italiane esibiscono questo fenomeno fortemente a causa dei loro contesti storici e multistrato. Il vincolo diventa un'opportunità"* [10].

L'individuazione nella ricerca dei caratteri per la cooptazione dei componenti in una strategia performativa per l'adattamento e la mitigazione agli effetti del CC riferisce sulla flessibilità di qualsiasi insediamento o spazio, trasferibile come capacità di intervenire su un uso non previsto al momento della realizzazione del sistema tecnologico e ambientale, abilitando così il processo di resilienza. La tassonomia di soluzioni proposta nella definizione di una Green Belt per Taranto, realizzata in occasione della partecipazione al concorso per il nuovo PIRU di Taranto in team presso il centro di ricerca ABITAlab offre un esempio di implementazione strategica per tradurre anche questo tipo di sperimentazioni sui temi e rileggere gli aspetti caratterizzanti la resilienza dei processi trasformativi in ambito urbano capaci di esprimere la circolarità di sistemi artificiali e naturali (Fig. 1).



Fig. 1. Green Belt Strategie performativa. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

La ricerca sul PIRU di Taranto, ha dato quindi l'opportunità di sperimentare un approccio progettuale innovativo utilizzando software parametrici applicati a uno strumento di governance urbana, che nelle sue uscite può individuare in ambito urbano le soluzioni tecnologiche classificate come "atte" alla cooptazione funzionale, in pratica individuare quelle soluzioni tecniche e tecnologiche capaci di restituire in fasi successive i livelli di progettazione resiliente e circolare di sistema.

Le tassonomie e le definizioni usate per descrivere la matrice-cursore dei livelli performativi definiscono gli ambiti di intervento e permettono di orientare la strategie progettuale nelle azioni di adattamento e mitigazione e classificare gli interventi restituiti nel master-plan.

Gli ambiti di progetto indicizzati secondo la misura degli interventi, traducono le azioni progettuali e possono in questo ambito essere rilette attraverso le loro capacità di trasfe-

rire i caratteri per la loro cooptazione funzionale, facendo riferimento allo studio operato da G. Mangano ed A. Leuzzo [11] nella definizione dei fattori e delle azioni riferibile alle componenti strategiche, definiti nell'elaborazione delle tattiche (Fig. 2) e nell'individuazione dei livelli performativi di ciascuna sezione e posizionati nella matrice-cursore dei livelli performativi (Fig. 2).

Con riferimento ai caratteri di:

-Adattamento<sup>7</sup>: sistemi reattivi verdi, riduzione di impatti sui siti naturali o sensibili, riduzione o compensazione di impatti degli edifici esistenti sull'ambiente, implementazione di edifici verdi ad alte prestazioni, mitigazione attiva delle inondazioni, risposta alle emergenze, minimizzazione del disagio degli utenti.

-Mitigazione<sup>8</sup>: rigenerazione ambientale globale, riduzione dell'effetto albedo, mitigazione dell'effetto isola di calore, trasporto sostenibile, efficienza energetica, energia rinnovabile, riduzione dei gas serra.

Fig. 2. Elaborazione delle tattiche per la realizzazione dell'Green Belt. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

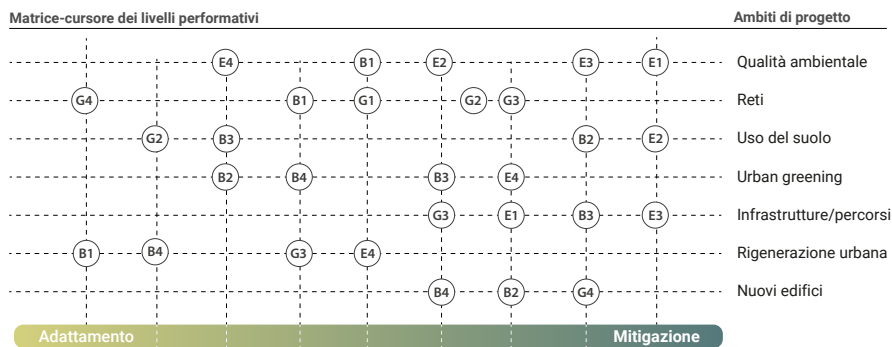
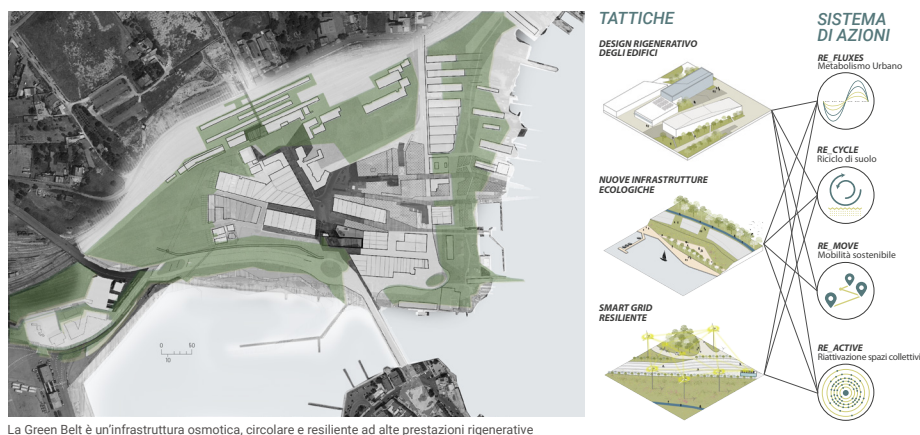


Fig. 3. Matrice cursore dei livelli performativi della Green Belt. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

### 6.1.3 Progetto strategico di adattamento e mitigazione per il CC

Per declinare l'UpCYcling attraverso la definizione degli scenari di transizione climatica in *Architettura 5.0* è necessario descrivere gli aspetti applicativi del metodo definito (cfr. Cap. 6.1.2) e sottolineare la trasferibilità del modello attraverso la rilettura critica delle sperimentazioni proposte.

In questo senso dopo aver descritto le strategie di adattamento e mitigazione sperimentate nel contesto del PIRU di Taranto [12], si illustra un altro prodotto di ricerca scientifica di ricerche svolte presso il centro di ricerca ABITAlab, in occasione della collaborazione tecnica per la stesura del PUE [13] della stessa città di Taranto.

Nella sperimentazione l'uso di tools parametrici per l'analisi dei fattori di contesto (cfr. Cap.), quali strumenti a supporto e validazione del contenuto di mitigazione e adattamento.

Nell'elaborazione sul PUE è possibile individuare il metodo per la sovrapposizione del sistema di analisi solare con l'analisi dei flussi del vento e le curve batimetriche (Fig. 4). Questo processo permette di studiare ed analizzare l'influenza dei venti e delle direzioni di mareggiata sulle possibili modificazioni di costa.

Nel confronto tra le strategie del PUE e le analisi a supporto del PIRU sull'uso del suolo che affrontano il cambiamento climatico gli obiettivi di adattamento e mitigazione entrano in gioco grazie alle soluzioni tecnologiche elencate nella matrice.

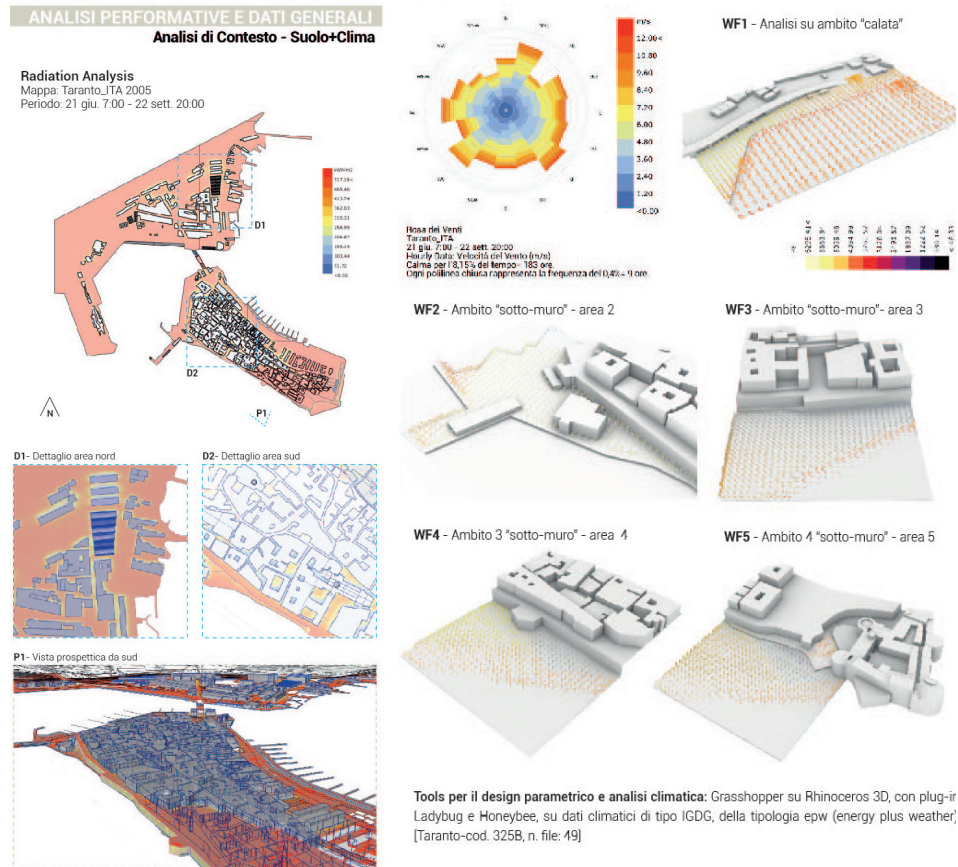


Fig. 4. PUE Taranto, sistema di analisi solare con l'analisi dei flussi del vento e le curve batimetriche. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

Questa esemplificazione copre un piccolo numero di analisi e contesti specifici, che possono essere utili per pianificare azioni sui cambiamenti climatici. Questo approccio supportato dalle analisi della radiazione solare e dei venti dominanti copre una gamma di soluzioni tecnologiche che vanno a colmare le lacune rimanenti dall'elaborazione di una strategia circolare (cfr. Cap. ) [15].

Per esaminare le relazioni di adattamento-mitigazione e vedere dove c'è il potenziale per assegnare il carattere esattativo al componente tecnologico approfondito nell'esperienza progettuale è necessario essere pronti all'interno del quadro strategico a numerosi e frequenti salti di scala (Fig. 5).

Questo quadro ci consente di studiare le interazioni su più scale e come l'interazione strategica tra adattamento e mitigazione potrebbe influenzare (1) lo sviluppo e (2) la realizzazione delle soluzioni proposte per l'adattamento e la mitigazione lungo la scala di gestione dello spazio delle città.

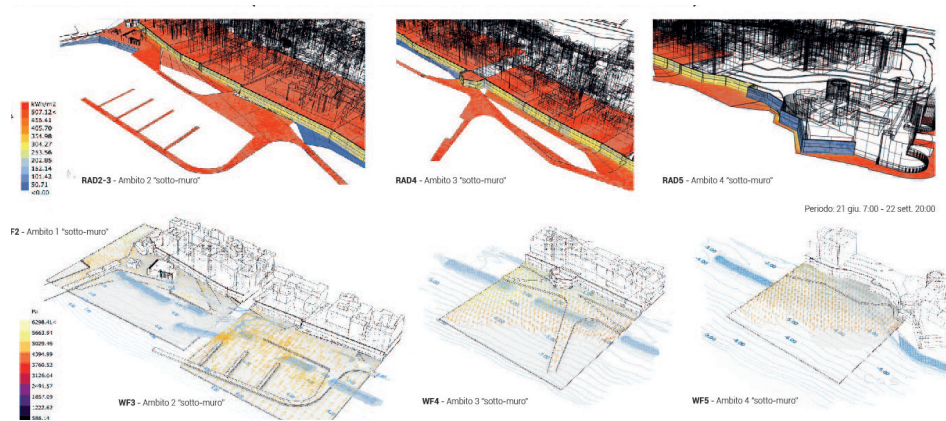


Fig. 5. PUE Taranto, Quadro strategico delle analisi parametriche per il passaggio di scala. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

(1) L'applicazione del metodo illustrato nella rilettura critica dalle fasi iniziali dei casi studio sperimentali fornisce una declinazione utile delle tematiche di adattamento e mitigazione. In particolare chiarisce il concetto secondo il quale queste strategie non possono essere guidate solo dagli obiettivi di politica climatica, ma devono essere sostenute da soluzioni tecnologiche da giustapporre in ambito urbano secondo gli obiettivi di sostenibilità di altre politiche come trasporti, acqua e rifiuti [16].

(2) La definizione che assume così l'approccio metodologico nella progettazione tecnologica assume un carattere "ontologico" [17]. Gli aspetti di circolarità legati alla resilienza si realizzano quando l'applicazione del metodo consente di "rivedere/ rileggere continuamente obiettivi e strumenti della propria tradizione di ricerca, adattandoli alla necessità di livelli essenziali sempre più complessi, idonei a fronteggiare la sfida dei cambiamenti globali; un impegno etico, oltre che scientifico" [18], che permette di "ricondurre le conoscenze tecnologiche alla concezione originaria della *téchne*, che implica simultaneamente conoscenze teoriche e pratiche nella costante consapevolezza degli atti che si compiono" [19].

Dal punto di vista disciplinare "sotto questo profilo si conferma come la Tecnologia dell'architettura continui a costituire un fattore di innovazione nel panorama delle Scuole di Architettura, un contributo originale per lo sviluppo di una maggior consapevolezza del progetto all'interno del processo edilizio per la trasformazione dell'ambiente costruito" [20].

## Resilience in Transition

Parte dell'installazione "S2\_Home. Digital/Human - Effort in transition"  
 c/o Padiglione Italia, Arsenale di Venezia: Resilient communities  
 22/05-13/06 2021

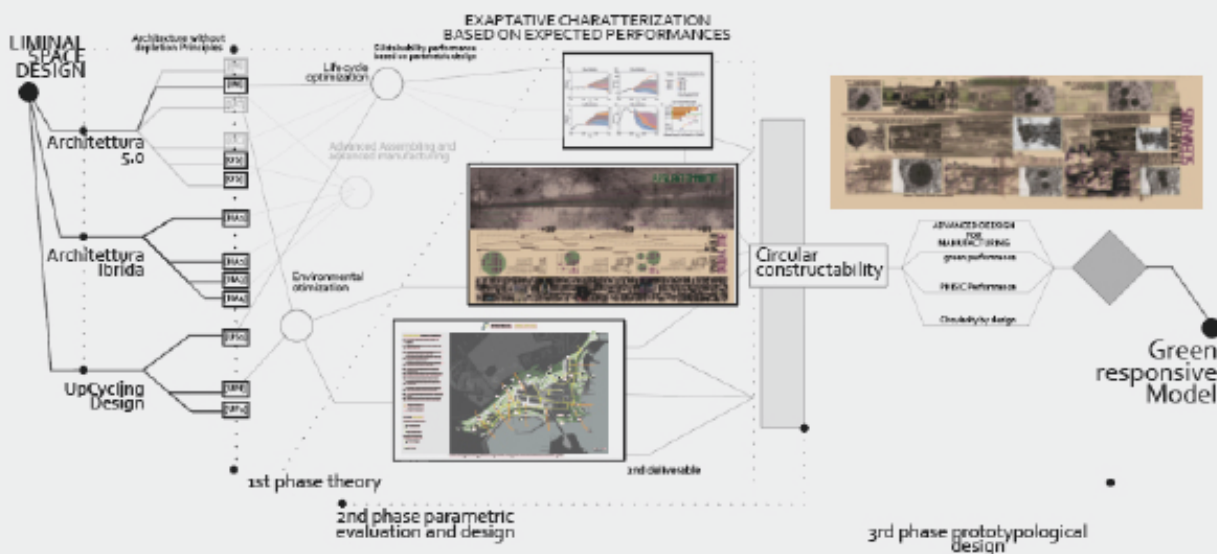
[www.pmopenlab.com/biennale21](http://www.pmopenlab.com/biennale21)

Prof. Arch. Consuelo Nava  
 (Curatore, Resp. Scientifico / Curatore dell'opera)  
 Università "Mediterranea" degli Studi di Reggio Calabria, dArTe, ABITAlab  
 con Mosè Ricci e Antonino De Masi PMopenlab srls

Team: Arch. Andrea Procopio (Design&Manufacturing) - Arch. Alessia Palermi (Storytelling&Content Editor) - Arch. PhD Giuseppe Mangano (Information Design & Platform User Interface) - Arch. PhD students ABITAlab dArTe UniRC Alessia Leuzzo e Domenico Lucanto ("Effort in Transition" wall content editors & Event collaborators) - Arch. Antonio Popone (consulente/ consultant Animation & Video modelling) -

Ing. Francesco Astorino (consulente Ingegnerizzazione parete S2\_Home/ consultant S2 home wall engineering) - Mikhaela Cannizzaro (collaboratrice con la sezione "Profili di comunità resilienti" / collaborator with "Resilient Community Profiles")

Fig. 5. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato declinato sulla Prototipologia 1 concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo. (fonte: elaborazione D. Lucanto, PhD Research 2022)



### Data Design Process

La prima prototipologia illustrata approfondisce l'elaborazione dei dati per lo sviluppo di una strategia circolare efficace, sulla quale stressare il prototipo/progetto per la sua evoluzione ecologica.

Lo studio effettuato si riferisce nel dettaglio alla declinazione dei dati del sesto rapporto IPCC riguardanti l'aumento della temperatura sulla superficie terrestre, messa in relazione con le proiezioni sull'incremento delle emissioni di CO<sub>2</sub> per l'elaborazione degli scenari sul cambiamento climatico.

L'impiante scientifico supporta la sperimentazione sui modelli aggregativi della S2\_Home (cfr. Cap. 1 Appendice 1 - IO) in ottica circolare; la soluzione proposta mette a modello il livello di innovazione di filiera sostenibile sull'industrializzazione manifatturiera evoluta, misurata sulla proposta tipologica e di insediamento, capace di fornire progettualità e tecnologie disponibili tradotte in prodotti dal funzionamento innovativo, intercettando un nuovo mercato locale, competitivo a livello nazionale ed internazionale.

S2\_Home rappresenta un'esperienza di innovazione progettuale nel contesto culturale e tecnico-produttivo in off-site. Il suo processo e la produzione del tipo e degli scenari insediativi realizzano un modello capace nelle sue configurazioni e per le prestazioni raggiunte di tradurre i principi di circolarità e gli obiettivi strategici per la mitigazione e l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico, al problema della riduzione delle risorse primarie nel settore delle costruzioni.

La declinazione dello sforzo in transizione sul paradigma della circolarità è rivolta alle comunità resilienti: "le popolazioni di abitanti che vivono nei territori metropolitani, periferici e ultraperiferici, nelle aree interne dei luoghi più meridionali del mondo" [21], indispensabili nei processi legati allo sviluppo territoriale e all'evoluzione umana/digitale.

In particolare, "la loro qualità di vita dipenderà da nuovi livelli di sicurezza ambientale e sociale, da modelli di vita circolari, dal necessario rapporto rigenerativo tra suolo, energia e materiali".

[22] La concezione e l'ideazione di un modulo abitativo autosufficiente ed in kit viene portato anche a livello aggregativo volendo realizzare un modulo aggregativo che corrisponde a quello che possiamo definire un "energy cluster".

Il modello climatico utilizza le informazioni descritte negli scenari di emissioni di gas serra, inquinanti atmosferici e modelli di utilizzo del suolo per determinare le proiezioni del cambiamento climatico sulla base delle informazioni contenute in questi scenari [22] (Fig. 7).

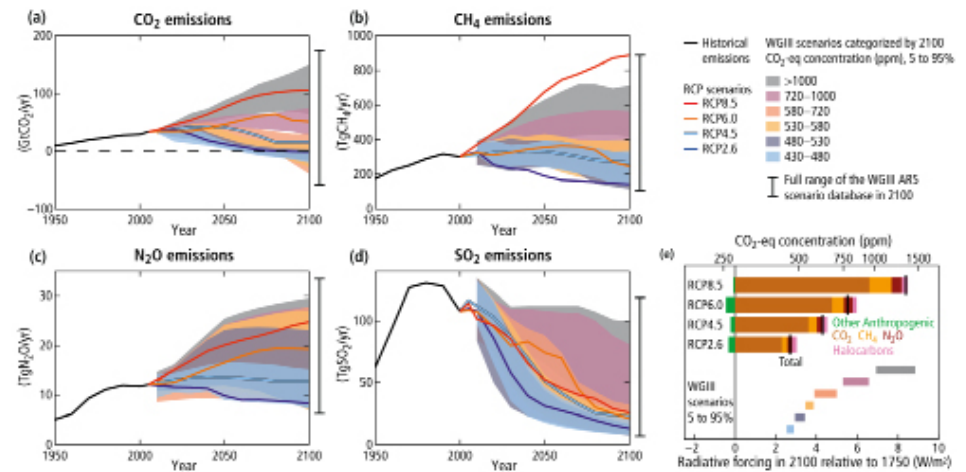


Fig. 6. Proiezioni del cambiamento climatico sulla base delle informazioni contenute negli scenari evolutivi. (fonte: IPCC, 2021)

### Configurazione degli scenari

Esistono diversi modi in cui è possibile generare scenari, che vanno da semplici esperimenti tipizzati a modelli di valutazione integrata sugli effetti climatici dovuti all'aumento delle emissioni. I cambiamenti nelle emissioni di gas serra di origine antropica sono in gran parte guidati dalla crescita economica, dalla crescita della popolazione, dal cambiamento degli stili di vita e dei comportamenti, dai cambiamenti associati nell'uso dell'energia e dell'uso del suolo, dai progressi tecnologici e dai cambiamenti nelle politiche climatiche, tutti fattori fondamentalmente incerti.

In generale, le proiezioni del modello climatico utilizzate in questo rapporto si basano sugli RCP e, in alcuni casi, sul precedente rapporto speciale sugli scenari di emissione (SRES). I rischi legati al clima derivano dall'interazione tra i rischi legati al clima (compresi eventi pericolosi e tendenze) e la vulnerabilità e l'esposizione dei sistemi umani e naturali.

Modificando la probabilità di eventi e tendenze legati al clima, alterando le emissioni di gas a effetto serra, gli inquinanti e l'uso del suolo, nonché alterando la vulnerabilità e l'esposizione, percorsi di sviluppo alternativi incidono sul rischio.

"La trasformazione degli ecosistemi e della società richiede transizioni di sistema che ne rafforzino la resilienza. È indicato in a) da frecce che rappresentano le interazioni chiave della società umana (blu), le interazioni dell'ecosistema (inclusa la biodiversità) (verde) e gli impatti dei cambiamenti climatici e delle attività umane, comprese perdite e danni, in condizioni di cambiamento climatico continuo (rosso). Nella figura b), le frecce rappresentano le interazioni tra i sistemi umani (blu), gli ecosistemi (verde) e gli impatti ridotti dei cambiamenti climatici e delle attività umane (grigio)" (Fig. 8) [23].

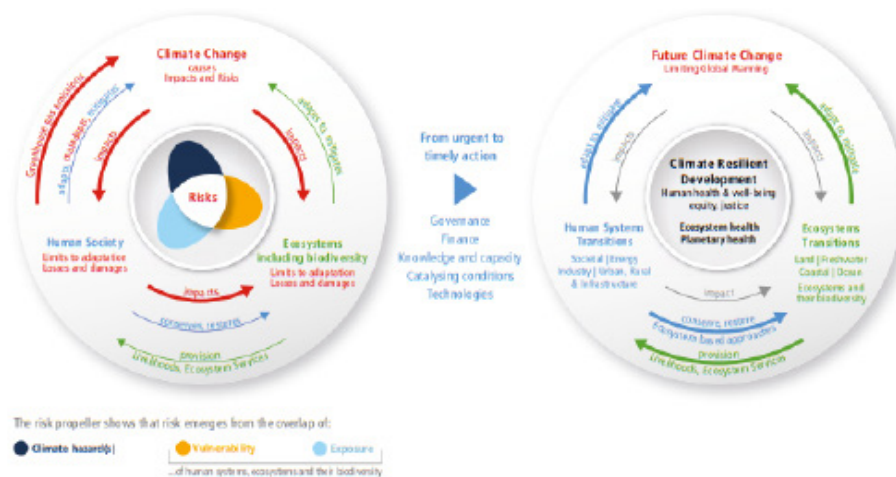


Fig. 8. Schema della transizione di sistema resiliente [23].

I temi della transizione ecologica e digitale riferibili alla "progettazione circolare in Off-site" e della produzione autosufficiente in "Off-Shore" diventano sistemi "cognitivo-procedurali" estremamente rilevanti per verificare l'aderenza progettuale degli impatti desiderati nel rapporto tra industria e ambiente.

L'elaborazione su più livelli degli scenari di transizione, sostenuti nell'evoluzione temporale dalle previsioni su emissioni e impatti sul clima dell'IPCC permette di pianificare un nuovo modello operativo sulla progettazione avanzata, che attiva processi "agili" a tutte le scale dell'ambiente costruito, tra modelli circolari e resilienti, con riferimento ai nuovi obiettivi del JTM - Just Transition Mechanism e nelle tattiche degli SDGs - Sustainable Development Goals for Sustainability, per le strategie 2030.

La gestione delle informazioni, delle risorse disponibili e di Tecnologie Abilitanti, applicata a dispositivi sensibili, innesca quel livello di avanzamento continuo nella prospettiva di lungo termine, in grado di spingere il processo al successo attraverso "l'innovazione gestionale" [24].

Gli ecosistemi sono fortemente colpiti da questi effetti antropici dalla società umana, ma possono anche essere ripristinati e conservati. Al fine raggiungere gli obiettivi di uno sviluppo resiliente al clima, compreso il sostegno alla salute umana, dell'ecosistema e del pianeta, nonché del benessere umano, la società e gli ecosistemi devono dotarsi di sistemi tecnologici più resilienti per realizzare nelle azioni progettuali di adattamento e mitigazione la riduzione dei rischi climatici con approcci di circolarità.

La cultura tecnologica del progetto nei processi di innovazione circolare, trova un campo di sperimentazione particolarmente fertile se rivolta alla sostenibilità dei processi e all'alto profilo dei componenti di upcycling. L'azione innovativa supera il concetto di eco-compatibilità dei prodotti ed, intercetta questo mutato scenario del progetto, nei processi industriali avanzati del costruzioni, dove la qualità dell'off-site si unisce a quella dell'off-shore.

Nel contesto di risposte ai cambiamenti climatici, i rischi derivano dalla possibilità che tali risposte non raggiungano l'obiettivo o gli obiettivi previsti o dal potenziale compromessi o effetti collaterali negativi.

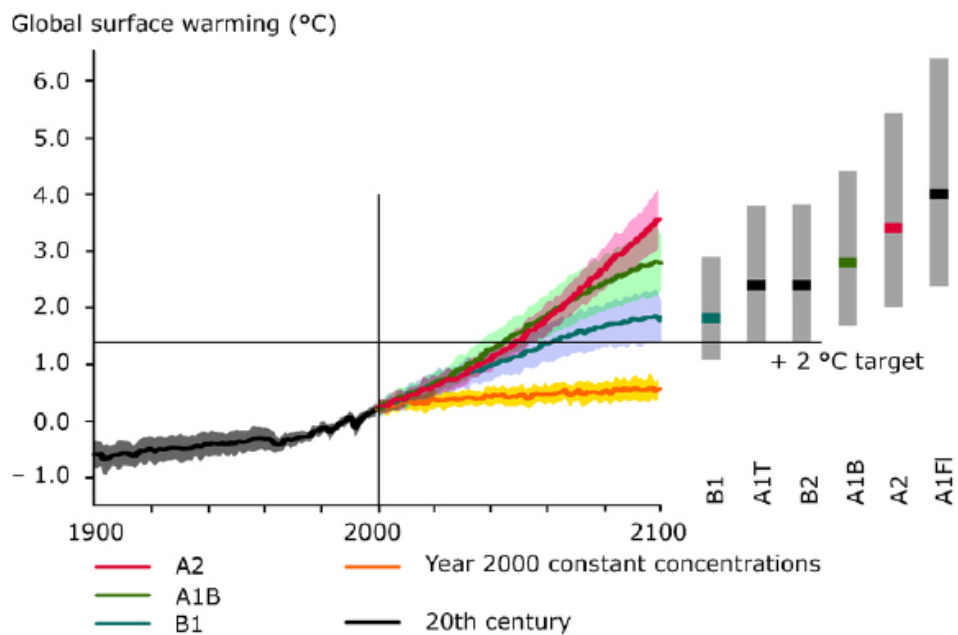


Fig. 9. Grafico del cambiamento passato e previsioni su quello previsto della temperatura superficiale globale. IPCC, 2021.

La gestione del rischio è definita come piani, azioni, strategie o politiche per ridurre la probabilità e/o entità delle potenziali conseguenze negative, sulla base dei rischi valutati o percepiti.

I dati illustrati in figura 9 mostrano infatti il cambiamento passato e previsto della temperatura superficiale globale negli ultimi decenni. Finché le emissioni di gas serra non vengono ridotte, l'obiettivo di 2°C sarà superato entro la metà del 21° secolo se le emissioni globali di gas serra non vengono ridotte [25]. C'è una linea obiettivo orizzontale di 2°C, che tiene conto di un aumento di circa 0,6°C della temperatura dal periodo preindustriale al 1990. Nella figura a destra, ci sono intervalli "probabili" per il riscaldamento medio del 2090-2099 per tutti e sei gli scenari dell'IPCC. Ancora nella Figura 9, i quattro Percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) per i quattro Percorsi di concentrazione rappresentativi (RCP) verranno simulati con una forzante radiativa costante fino a 2085 (rispetto al 1986-2005).

### *Resilience in Transition*

La lettura approfondita dei dati propone nella restituzione grafica l'elaborazione delle informazioni per una strategia di progettazione sostenibile, nella quale si effettua una sperimentazione sulla capacità di mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici, esaminando i livelli prestazionali espressi dal progetto S2-Home [26].

La sperimentazione restituita inoltre innesca una necessaria riflessione sulle vulnerabilità e le capacità e i limiti del mondo naturale e delle società umane di adattarsi ai cambiamenti climatici. Con riferimento allo scenario del cambiamento, l'analisi dei dati forniti dall'IPCC permette di riprogettare gli scenari in transizione assumendo nuovi parametri basati sulla previsione climatica al 2030, 2050 e 2085, nonché sul cambiamento passato e previsto delle temperature superficiali globali. In tale contesto, è possibile partire dai dati delle emissioni globali di gas serra, le quali, se non ridotte in maniera immediata, determineranno il superamento dei 2°C verso la metà del XXI secolo [23].

Il valore innovativo di S2-Home risiede nel fatto che esso non è un edificio isolato, ma aumenta le sua capacità rigenerativa se collocato in "smart grid" con altri moduli, creando così una rete autosufficiente.

Oltre queste caratteristiche, si ritiene necessario pensare ad una casa a impatto ambientale quasi zero e autosufficiente dal punto di vista energetico, in maniera tale che possa rispondere ai bisogni di un tempo variabile che va da un breve intervallo di un anno fino a protrarsi a periodi maggiori.

Dal punto di vista ambientale i vantaggi in entrambi i casi sono: l'utilizzo di moduli abitativi prefabbricati ma di alto valore (tecnico, energetico, di comfort abitativo, morfologico) con conseguente posa in cantiere evoluto, completamente a secco e senza spreco di altre risorse (consumo di acqua nullo, bassissima emissione di polveri, preparazione del terreno di posa molto semplice e senza particolari opere di sbancamento, le fondazioni possono essere semplicemente appoggiate al terreno, necessitare di semplice preparazione del fondo oppure prevedere la realizzazione di semplici palificate in funzione della portanza del terreno).

- Velocità nella realizzazione di impianti urbani anche di grandi dimensioni in ambiti territoriali anche senza opere di urbanizzazione già presenti.
- Autosufficienza di almeno due giorni in assenza di fonti energetiche (caso di grande emergenza VII) con conduzione di vita quotidiana normale.
- Possibilità di dismettere l'insediamento con conseguente smontaggio e riutilizzo delle strutture in altro sito.
- Mantenimento della permeabilità del sito e restituzione delle condizioni dello stesso in caso di dismissione dell'insediamento

È evidente che tali scenari possono riferirsi anche alla necessità di realizzare nuovi quartieri e nuovi territori insediati in differenti condizioni di sito e di paesaggio. I riferimenti infatti alle differenti zone climatiche, ci consentono di mostrare le prestazioni ottenibili in differenti latitudini, ma anche di testare il modello tipologico tecnologico della S2-Home, concepito come "adattivo" ai differenti clima, con un involucro reattivo nelle sue prestazioni, nella stratificazione reagente e capace di cambiare pelle e di darsi una nuova configurazione morfologica e di dissenario con il paesaggio che lo ospita [27].

Tali scenari peraltro, lavorando su una smart grid energeticamente funzionante attraverso i sistemi fv, depurazione, eolico etc, realizzano quei modelli di "metabolismo" di reti naturali ed artificiali, che restituiscono qualità e servizi all'utenza in misura individuale e collettiva, ma autonoma e autoregolatrice (nuova transizione energetica).

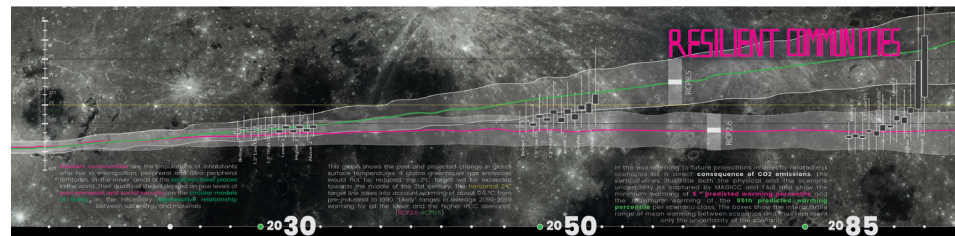
Si tratta di nuove unità di paesaggio, ma anche di nuovi sistemi ambientali stabili, capaci di produrre per se stessi tutto il servizio che serve e di assicurare così dal punto di vista ambientale e sociale l'utenza. Ma si tratta anche di una nuova geografia insediativa, capace di ritrovare localizzazioni ottimali dal punto di vista bioclimatico e accessibilità migliori nel loro rapporto con gli spazi filtro ed esterni.

Inoltre serbatoi di stoccaggio della CO<sub>2</sub>, per quanto ogni unità-tipo riesce a risparmiare in termini energetici con modelli ibridi di funzionamento di grande efficienza.

Le due aree geografiche scelte sono quindi "localizzazioni-studio" per dimostrare la grande capacità del tipo e della sua capacità aggregativa di rispondere a tali scenari dalle alte prestazioni ambientali e di paesaggio.

Tre categorie di proiezioni del cambiamento del livello del mare si basano sulla concentrazione di gas serra (in CO<sub>2</sub>-eq) nel 2100 (bassa: concentrazioni che raggiungono il picco e scendono al di sotto di 500 ppm, come nello scenario RCP2.6; media: da 500 a 700 ppm, incluso RCP4.5; alto: concentrazioni superiori a 700 ppm ma inferiori a 1500 ppm, come negli scenari RCP6.0 e RCP8.5). La linea orizzontale dell'obiettivo dei 2°C tiene conto di un riscaldamento di circa 0,6°C dal periodo preindustriale al 1990. Nel riquadro (Fig.10) che si riferisce alle proiezioni future negli scenari di rischio, come conseguenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>, le linee verticali illustrano sia l'incertezza fisica che quella di scenario - come catturate da MAGICC e FAIR - e mostrano il riscaldamento minimo del 5° percentile di riscaldamento previsto il riscaldamento massimo del 95° percentile di riscaldamento previsto, per classe di scenario, riportando gli intervalli superiori e inferiori di incertezza di ciascun RCP.

Fig. 10. Resilience in Transition Wall. proiezioni future negli scenari di rischio, come conseguenza delle emissioni di CO<sub>2</sub>. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021).



Nell'evoluzione degli scenari del progetto S2Home, la sperimentazione progettuale consiste in un modello circolare della gestione delle risorse, sia per la produzione e lo stoccaggio di energia pulita, sia per l'utilizzo di risorse riciclate e riciclabili nei materiali da costruzione. L'evoluzione della transizione in divenire degli scenari si definisce sulla base della sua duplice valenza urbana e comunitaria [28].

[1] Per l'evoluzione della configurazione urbana si prevedono scenari temporali al 2030, 2050 e 2085. Coerentemente con le previsioni climatiche, si progetta lo scenario di cambiamento in modo non deterministico (Fig. 11), offrendo, lungo tutta la sua evoluzione, un sistema di risposte tecnologiche, mirate alla riduzione incrementale delle emissioni e all'ottimizzazione delle risorse suolo ed energia; [23] Le comunità resilienti svolgono un ruolo proattivo nell'evoluzione degli scenari in transizione.

Fig. 11. Resilience in Transition Wall. scenario di cambiamento in modo non deterministico. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021)



In particolare, l'attenzione è rivolta al rapporto che la dimensione sperimentale è chiamata ad espletare nelle sue diverse configurazioni, sia nella sua estrazione emergenziale (E), sia quando queste sono legate alla produzione agricola (A), e soprattutto quando si interfacciano con la dimensione urbana (U).

Scenari di transizione d'emergenza:

- E2030\_ l'evoluzione degli scenari comincia con l'emergenza stessa, una condizione in cui la progettazione del rischio genera resilienza;
- E2050\_ Partendo dall'insediamento emergenziale, può essere avviata la generazione di clusters, in cui risorse umane e materiali sono considerate "beni comuni";
- E2085\_ Nel lungo termine, la condizione emergenziale muta in clusters offshore e offsite.



Fig. 12. Scenario S2-Home per la transizione emergenziale. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021)

Scenari di transizione agricola:

- A2030\_ La transizione climaticoadattiva potrebbe consistere nel controllo dello sprawl periurbano e periferico;
- A2050\_ La transizione agricola costituisce un'occasione per la generazione di insediamenti autonomi per il reperimento di risorse. Tale scenario comincia dalle aree distanti dal sistema energetico centrale;
- A2085\_ Il sistema di cluster può essere incrementato in caso di necessità, implementando la capacità di produzione energetica e reinserendo eventuale surplus all'interno di una smart-grid energetica, per stati di emergenza.

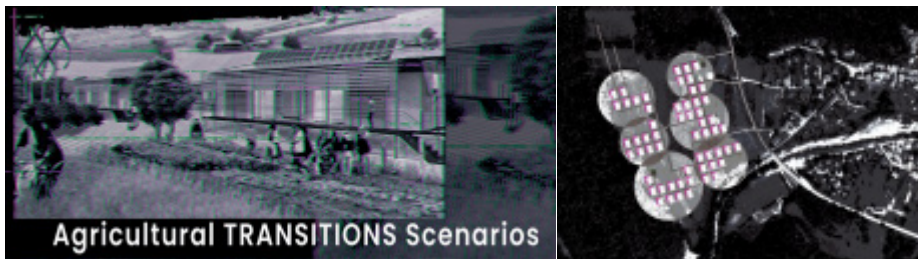


Fig. 13. Scenario S2-Home per la transizione urbana. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021)

Scenari di transizione urbana:

- U2030\_ Una transizione urbana risulta spesso fortemente necessaria nelle aree periferiche. Tale necessità è definita dagli alti tassi di copertura di suolo, che inibiscono la resilienza territoriale a eventi atmosferici da cambiamento climatico;
- U2050\_ Lo sviluppo di clusters può rappresentare un approccio che aiuta a liberare suolo permeabile, contribuendo alla riduzione di eventi di allagamento;
- U2085\_ Infine, la riduzione di densità urbana aprirà la possibilità di lavorare su aree permeabili e parchi urbani, implementando la capacità di stock di CO<sub>2</sub> del suolo.

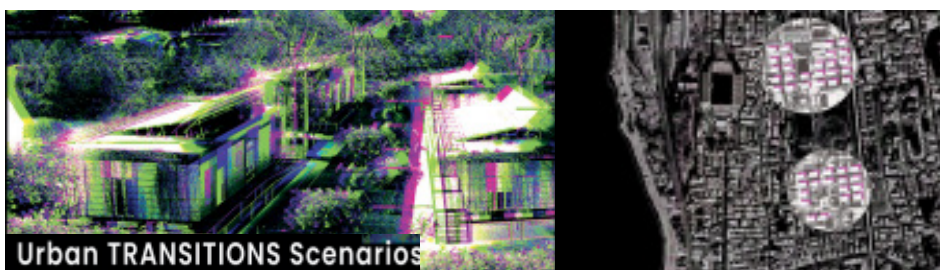
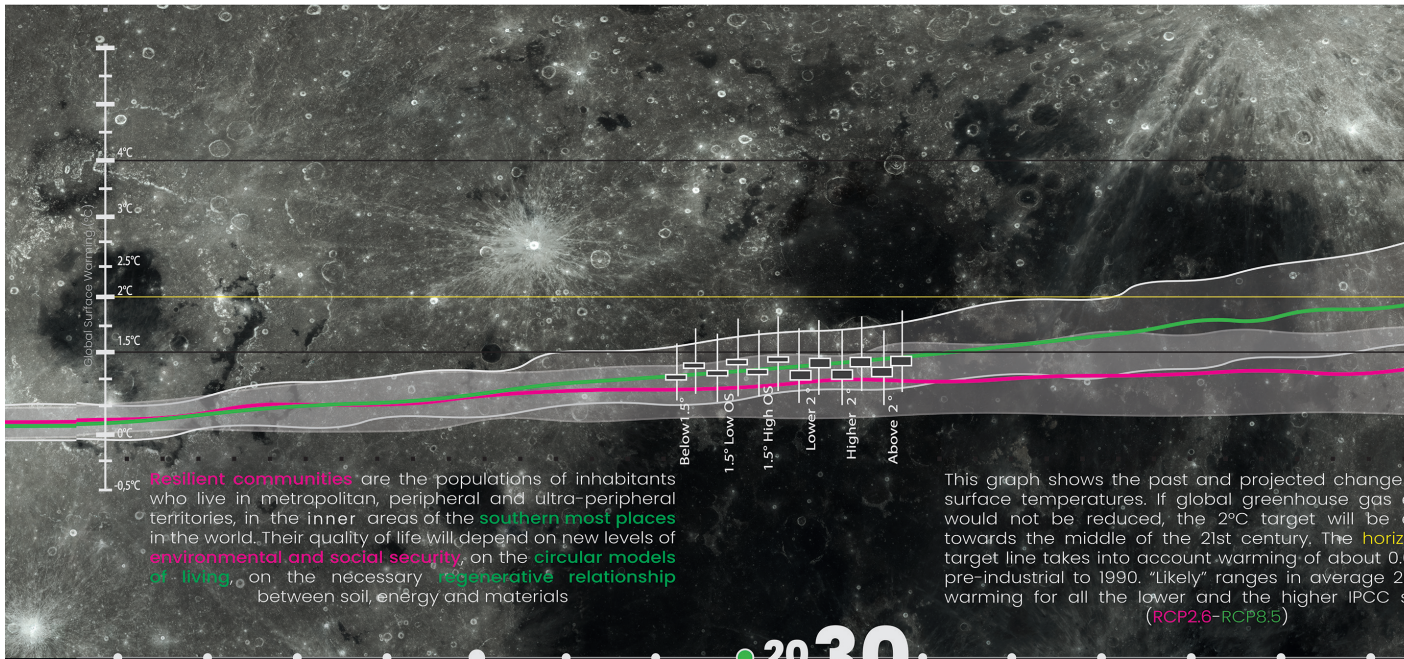


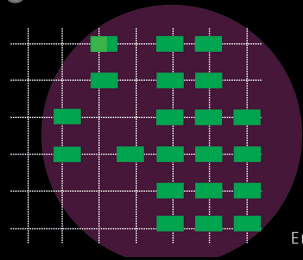
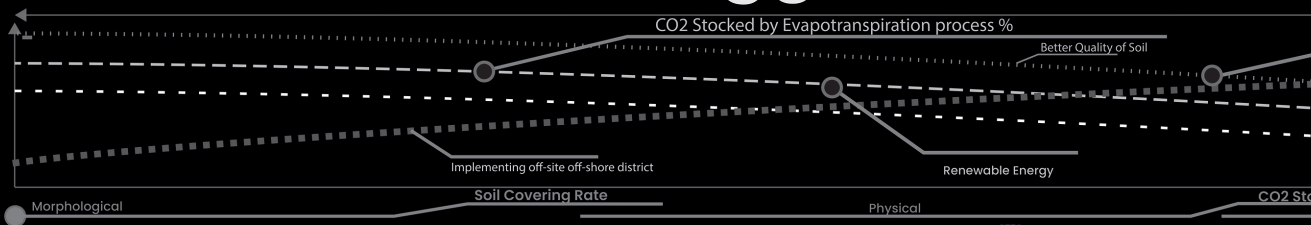
Fig. 14. Scenario S2-Home per la transizione agricola. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021)



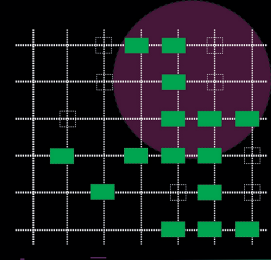
Fig. 15. Foto dell'installazione presso il padiglione Italia della 17esima biennale di Architettura del Resilience in Transition Wall. (fonte: elaborazione D. Lucanto, A. Leuzzo, 2021)



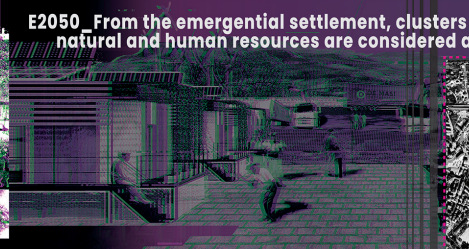
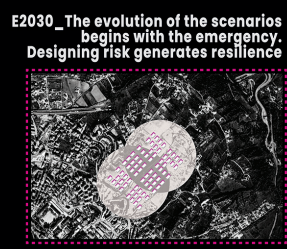
2030



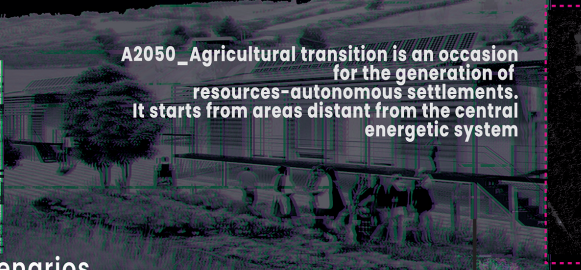
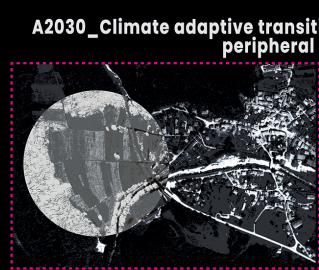
Units: **24**  
 Soil Covering Rate: **69,80%**  
 Permeability Rate: **29,34%**  
 CO2 stock capacity: **-**  
 Renewable Energy: **PV Source**  
 Average Requirements x Year: **86400KWh<sub>year</sub>**  
 Average AC Capacity x Year: **86856KWh<sub>year</sub>**  
 CO2 Emissions Rate: **579 KgCO<sub>2</sub>/kWh**  
 Energy Emissions Payback Time: **23 Years**



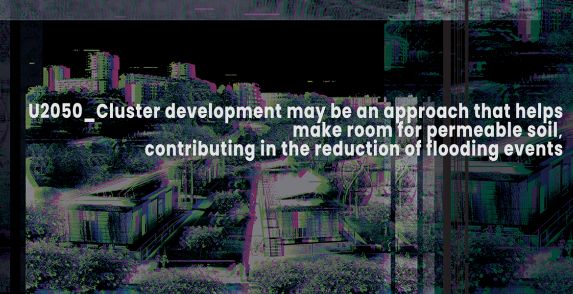
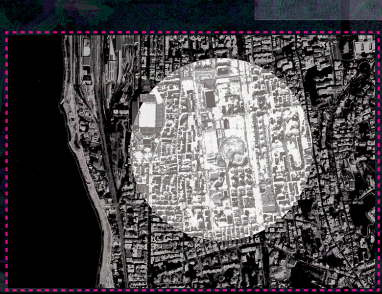
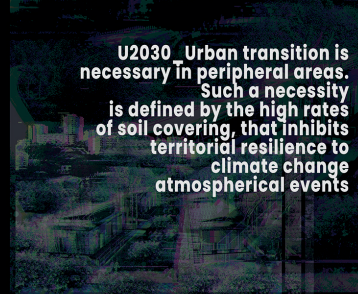
Soil Covering Rate: **69,80%**  
 Permeability Rate: **29,34%**  
 CO2 stock capacity: **-**  
 Renewable Energy: **PV Source**  
 Average Requirements x Year: **86400KWh<sub>year</sub>**  
 Average AC Capacity x Year: **86856KWh<sub>year</sub>**  
 CO2 Emissions Rate: **579 KgCO<sub>2</sub>/kWh**  
 Energy Emissions Payback Time: **23 Years**



**Emergency TRANSITIONS Scenarios**



**Agricultural TRANSITIONS Scenarios**



**Urban TRANSITIONS Scenarios**

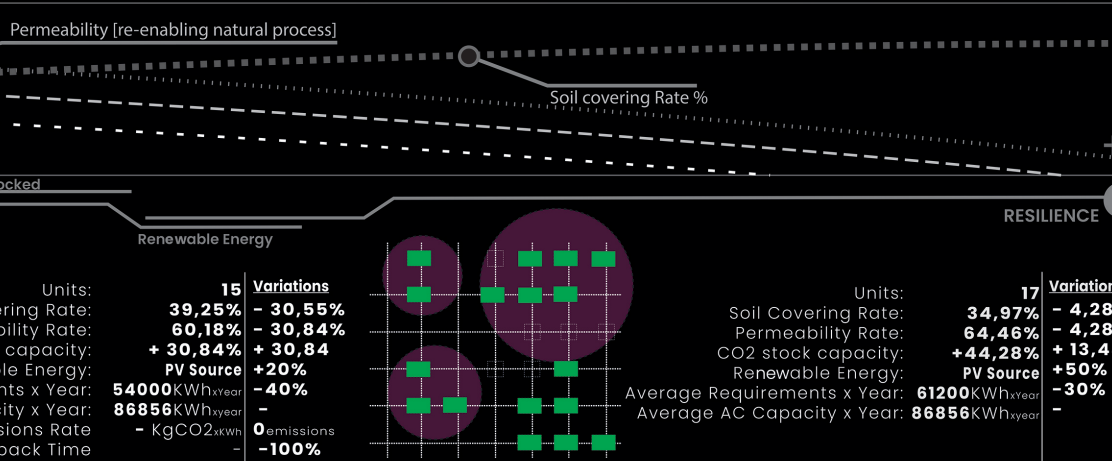
# RESILIENT COMMUNITIES

in global emissions exceeded **2°C** from 1990-2099 scenarios.

In the box referring to future projections in directly related risk scenarios as a direct **consequence of CO2 emissions**, the vertical lines illustrate both the physical and the scenario uncertainty as captured by MAGICC and FAIR and show the minimum warming of **5° predicted warming percentile** and the maximum warming of the **95th predicted warming percentile** per scenario class. The boxes show the interquartile range of mean warming between scenarios and thus represent only the uncertainty of the scenario

2050

2085

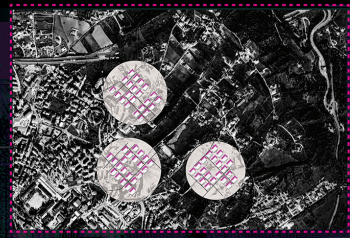


## SMART GRIDS IN CIRCULAR CITIES

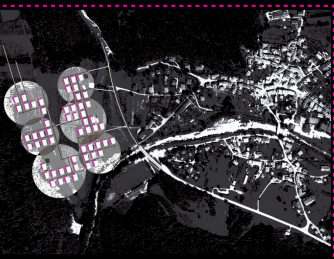


can be generated, as "common goods"

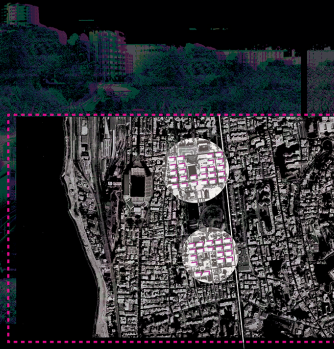
E2085\_ The emergental condition change into long-term, offshore and offsite clusters



A2085\_ Other clusters can be added in case of necessity, improving energy production capacity and reinserting the surplus within the smart grid, for eventual states of emergencies



U2085\_ Eventually, reducing urban density will allow the possibility to work on green areas and urban parks, improving CO2 stocking capacity



## TRANSITION SCENARIOS

## 6.2 Circolarità per la Resilienza verso l'applicazione di Soluzioni tecnologiche NBS

### 6.2.1 Impianto teorico per il passaggio di scala dalle strategie progettuali alle NBS

Il passaggio di scala per l'applicazione delle strategie di attamento e mitigazione agli effetti dovuti ai CC è applicabile con la sperimentazione sulle NBS. Queste quando sono messe in rete assumono una qualità infrastrutturale capace di rispondere a diversi effetti con un approccio prototipologico. L'infrastrutturazione delle cosiddette soluzioni Green, come NBS svolge un ruolo fondamentale nel raggiungimento del processo di resilienza trasformativa. Attraverso una rete strategicamente pianificata di spazi verdi di alta qualità, forniscono una serie di servizi ecosistemici che possono aumentare la resilienza di sistema [29] dove poi l'alta qualità oggetto di UpCycling partecipa al processo di transizione.

I cambiamenti climatici e lo sviluppo di componenti per l'ambiente costruito con un basso livello di responsabilità rendono le aree più vulnerabili soggette a disastri agli eventi meteorologici estremi e ai disastri naturali (ad es. inondazioni, smottamenti, incendi boschivi).

Quanto dimostrato nel paragrafo precedente con la lettura critica della Prototipologia 1 ci da una cifra della pericolosità che questo rischio può assumere.

L'uso di infrastrutture verdi, realizzate attraverso l'utilizzo di NBS, anche se può limitare gli impatti di tali eventi sull'ambiente, necessita di una visione più ampia per supportare i principi dell'economia circolare, in ottica di transizione, e per raggiungere una maggiore resilienza, intervenendo anche sulla decarbonizzazione delle operazioni dei settori nell'innovazione costruttiva. [30]

Come illustrato nella figura 17 l'integrazione delle Green Infrastructure implica un coinvolgimento di più conoscenze interessate e di modelli di funzionamento supportati da una visione strategica di sistema [31]. Per ottenere una maggiore diffusione delle infrastrutture verdi, è fondamentale comprendere come funzionano le singole soluzioni tecnologiche, come funzionano e come raggiungere i risultati ambientali previsti.

Il metodo per l'applicazione di soluzioni tecnologiche NBS all'interno di una progettualità strategica viene presentata in questa sintesi per comprendere meglio come gli strumenti progettuali, orientati aumentano le prestazioni ambientali grazie all'implementazione di infrastrutture verdi.

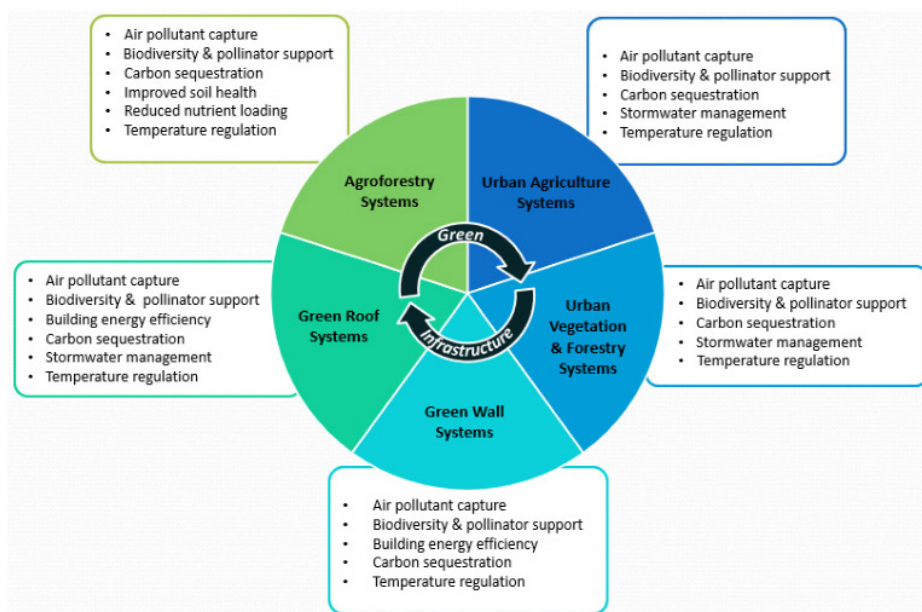


Fig.17. Integrazione delle GI per la definizione delle NBS. [31]

Il concetto o, meglio, la filosofia di NBS [29] si basa su quella che viene chiamata biomimetica, ovvero il processo da cui impariamo, ci ispiriamo e copiamo la natura. Il requisito fondamentale affinché NBS funzioni in modo efficace è innanzitutto comprendere l'ambiente naturale e i processi naturali (Fig. 17) al fine di sfruttare il potere degli ecosistemi e la sofisticatezza della natura come infrastruttura per fornire servizi naturali a beneficio della società e dell'ambiente e per trasformare l'ambiente, la società e sfide economiche in opportunità di innovazione [31].

Da questo punto di vista, l'utilizzo delle NBS si traduce nel progetto tecnologico di soluzioni ispirate dalla natura, che aiutano a soddisfare il nostro fabbisogno energetico a basse emissioni di carbonio attraverso metodi di produzione derivanti da fonti naturali ma non si basano direttamente su ecosistemi funzionanti e sono capaci di intervenire sul metabolismo urbano nelle strategie di adattamento e mitigazione degli effetti del cambiamento climatico.

Le NBS utilizzano le caratteristiche dei complessi processi del sistema naturale, ad esempio la capacità di immagazzinare carbonio e regolare il flusso d'acqua, al fine di ottenere i risultati attesi e desiderati.

Pertanto, le NBS possono anche essere un fattore chiave per il benessere, la qualità della vita, la prosperità, la biodiversità, la crescita verde, la sostenibilità sociale ed economica e, naturalmente, la sostenibilità ambientale [30, 31].

Un'altra definizione è data dalla Commissione Europea dal punto di vista sociale dell'implementazione delle NBS: *"Le soluzioni basate sulla natura per le sfide della società sono soluzioni ispirate e supportate dalla natura, che sono convenienti, forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiuta a costruire la resilienza. Tali soluzioni portano un numero maggiore e più diversificato di caratteristiche e processi della natura e della natura nelle città, nei paesaggi e nei paesaggi marini, attraverso interventi sistemici adattati localmente, efficienti sotto il profilo delle risorse. Le soluzioni basate sulla natura devono favorire la biodiversità e supportare la fornitura di una serie di servizi ecosistemici"* [32].

Spesso le definizioni dei nuovi paradigmi di circolarità e resilienza sono ostacolati dalla mancanza di chiarezza operativa nell'approccio eco-sistemico. L'utilizzo nell'arco narrativo di progetti di ricerca già svolti (PIRU e PUE di Taranto) e la lettura critica sulle prototipologie (Resilience in Transition e High Resilience G.P.), diventa funzionale per la traduzione di una serie di esercizi paralleli per sviluppare parametri operativi per specifici approcci NbS (come l'adattamento basato sugli ecosistemi), ciascuno proponendo una propria serie di criteri.

Oltre a questi criteri, è probabile che vi sia un insieme generale di parametri, o standard, che possono guidare l'implementazione di altri approcci all'interno della famiglia NbS.

Tenendo conto di tutto quanto sopra, si ripropone la lettura e la definizione dei parametri basati sulle informazioni ottenute in fase di sperimentazione.

Al fine di sviluppare una validazione oggettiva delle NbS, si considerano i seguenti parametri:

a. La complessità dell'ecosistema.

È importante notare che questo parametro supporta interventi che sono progettati per mantenere o promuovere la complessità a una varietà di scale ecologiche.

b. Scala dell'organizzazione ecologica.

Un parametro come questo sostiene l'attuazione del progetto su una scala che aiuta a mediare le relazioni, le dipendenze e i benefici "a monte ea valle" su scala più ampia.

Lo step successivo implementa le azioni fornendo gli indirizzi sui livelli prestazionali da raggiungere. Il contributo degli aspetti prestazionali inserito in una logica di sistema individua gli aspetti prototipali della strategia fondata sulla NBS.

c. Resilienza di sistema.

Questo parametro assicura che l'intervento NbS e gli ecosistemi da cui dipende siano supportati da configurazioni progettuali flessibili che siano capaci di adattarsi nel tempo, per soddisfare le mutevoli condizioni alle quali può essere sottoposto

## 6.2.2 Metodologia per l'adozione delle NBS nelle strategia di adattamento e mitigazione:

Le questioni metodologiche riferite all'applicazione dell'impianto strategico precedentemente definito nel paragrafo 6.1.1, permettono di continuare la lettura critica dei progetti di ricerca effettuati per il PIRU ed il PUE di Taranto, nella progettazione e nello sviluppo di soluzioni tecnologiche di NBS per l'uso del suolo.

I Tools per l'implementazione e lo sviluppo sostenibile dei fattori di contesto diventano indispensabili per la localizzazione e la selezione degli interventi pianificati.

Questi strumenti supportano l'implementazione di infrastrutture verdi, come parte del sistema di pianificazione dell'uso del territorio, l'approccio dichiarativo viene individuato nel contributo del PIRU.

Viene definito dalle azioni e sub-azioni localizzate di adattamento (Fig. 18).

L'analisi dei fattori climatici di contesto viene quindi riespressa in due momenti:

- il primo, come riferito, localizza gli interventi progettuali e fornisce un indirizzo sulle soluzioni tecnologiche da adottare;
- il secondo nel contesto dell'UpCycling traduce il rapporto tra resilienza di prodotto e di sistema nel passaggio di scala applicativo.

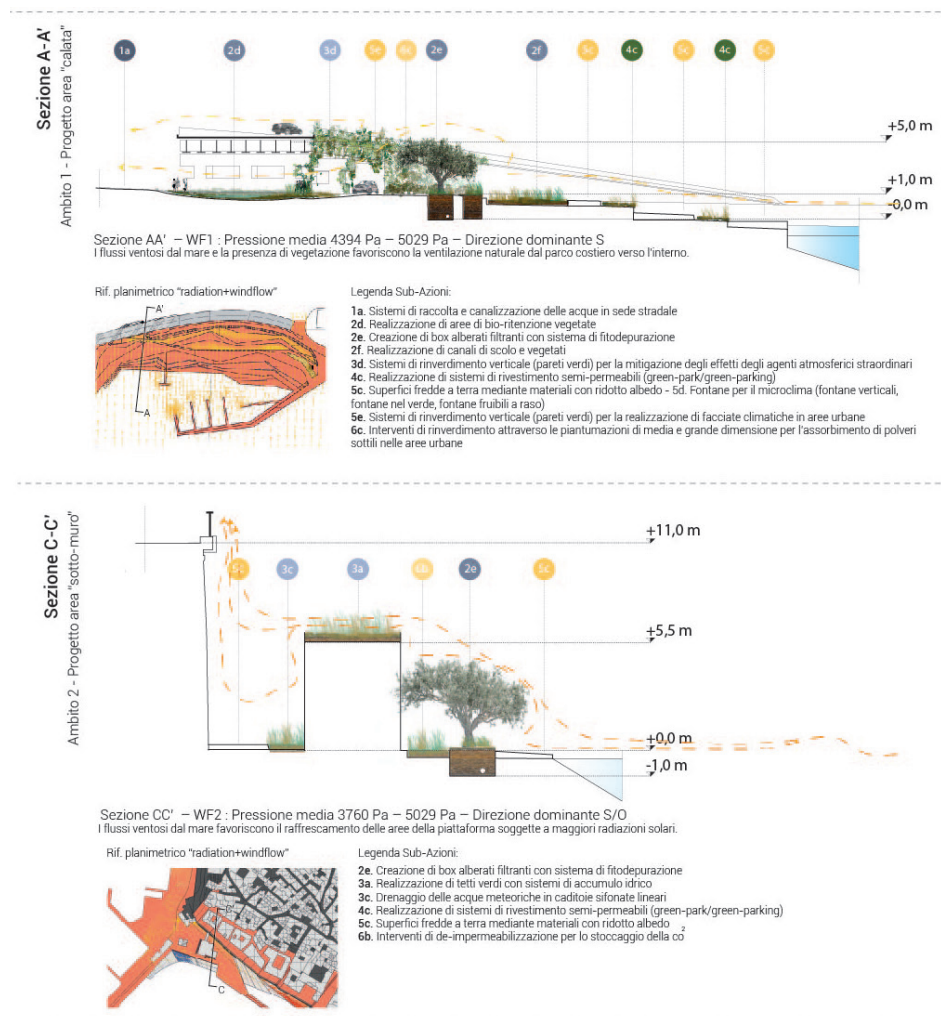


Fig. 18. PUE Taranto. Analisi dei fattori climatici di contesto. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

La serie di proposte aderenti alla fase di analisi ed ai parametri fissati nel precedente paragrafo hanno il fine di dimostrare come il concetto di NbS può essere applicato in una varietà di soluzioni tecnologiche, che messe a sistema possono eguagliare i criteri di resilienza trasformativa, propria dei processi di UpCycling.

L'insieme delle soluzioni, proposto in fase di progetto, traduce almeno uno degli approcci NbS descritti nella stesura della rilettura critica sui due progetti di ricerca (PUE + PIRU), all'interno dei quali è stato impiegato per affrontare una o più sfide relative alla mitigazione e all'adattamento agli effetti del CC sugli impianti urbani con soluzioni di circolarità.

Nella Figura 19, si descrive come il sistema di NBS viene applicato in diversi tipi di ecosistemi e in diverse situazioni urbane.

Dare priorità alle infrastrutture verdi come strumento basato sulla natura per ricostruire meglio e aumentare la resilienza climatica offre l'opportunità di sviluppare una strategia centralizzata che integri diversi strumenti politici per le infrastrutture verdi. L'esecuzione di una valutazione dell'impatto normativo ambientale offre la capacità di identificare le lacune, eliminare le incongruenze e sviluppare una politica ambientale strategica, integrata e coerente per soluzioni basate sulla natura.

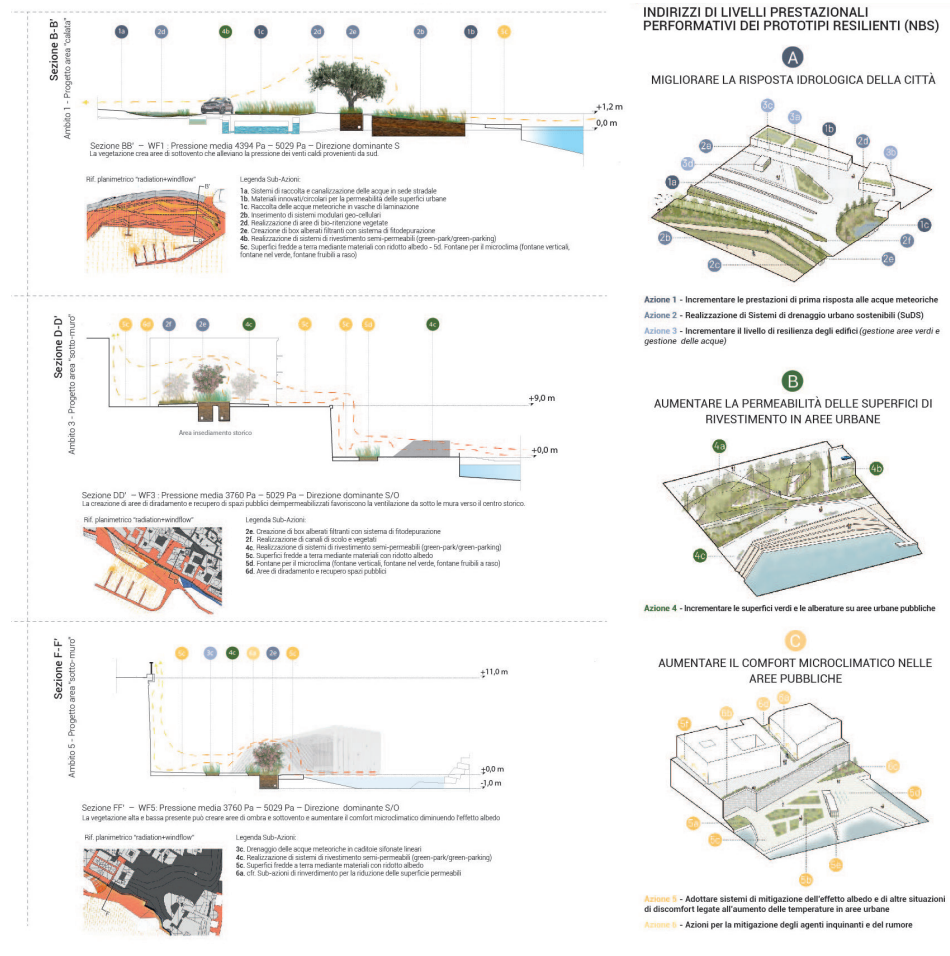


Fig. 19. PUE Taranto. sistema di NBS viene applicato in diversi tipi di ecosistemi e in diverse situazioni urbane. (fonte: elaborazione ABITALab, 2021)

### 6.2.3 Progetto tecnologico delle NBS coerente con la strategia di adattamento e mitigazione per le infrastrutture verdi

Le soluzioni tecnologiche così fondate andranno a caratterizzare la Greenbelt (cfr 6.1.2, Fig. 20). Nel dettaglio questa infrastruttura verde permette di identificare le aree all'interno della base del tessuto urbano dove applicare le strategie di mitigazione e le tecnologie per l'adattamento, nonché le componenti ecologiche e idrologiche, le funzioni paesaggistiche e le aree che dovrebbero essere permanentemente protette dall'urbanizzazione e dallo sviluppo [40].

Tale strategia come mezzo per aumentare la resilienza climatica, ridurre il rischio per la vita e la proprietà, diminuendo la frequenza delle riparazioni o sostituzioni a causa di eventi meteorologici estremi e catturando e trattando il deflusso da superfici impermeabili.

Gli strumenti utilizzati per la definizione delle soluzioni tecnologiche supportano l'OSS 11 delle Nazioni Unite Città e comunità sostenibili, che riguarda la garanzia che le città e gli insediamenti umani siano inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili. Ci si riferisce anche all'SDG 13 delle Nazioni Unite - Azione per il clima, che mira a combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti.

Come risultato dell'applicazione del concetto NbS in una varietà diversa di contesti urbani, in Figura 20 vengono presentati delle soluzioni tecnologiche e in ciascuna delle soluzioni proposte, almeno uno degli approcci NbS è stato utilizzato per affrontare uno o più aspetti a rischio in fase di adattamento o mitigazione.

Si illustra inoltre nella Figura 9 come l'applicazione tecnologica delle NbS venga applicata in una varietà di ecosistemi.

Le condizioni climatiche urbane possono essere migliorate con l'ombreggiatura, l'evapotraspirazione, la diminuzione delle temperature e la mitigazione degli effetti delle isole di calore. Inoltre, gli effetti di protezione e frangivento riducono la dispersione del calore dagli edifici durante l'inverno.

Nei climi caldi, l'abbassamento della temperatura dell'aria estiva riduce il consumo energetico dell'aria condizionata, risparmiando così indirettamente CO<sub>2</sub>. Le piante sequestrano anche CO<sub>2</sub>, con conseguente risparmio diretto di CO<sub>2</sub>. Nelle aree urbane, l'aumento della vegetazione fornisce molteplici servizi ecosistemici oltre a moderare i cambiamenti climatici regionali [41] (Jenerette et al. 2011). Inondazioni, ondate di caldo e scarsità d'acqua nelle città possono essere mitigate dagli ecosistemi urbani e dalle infrastrutture verdi urbane.

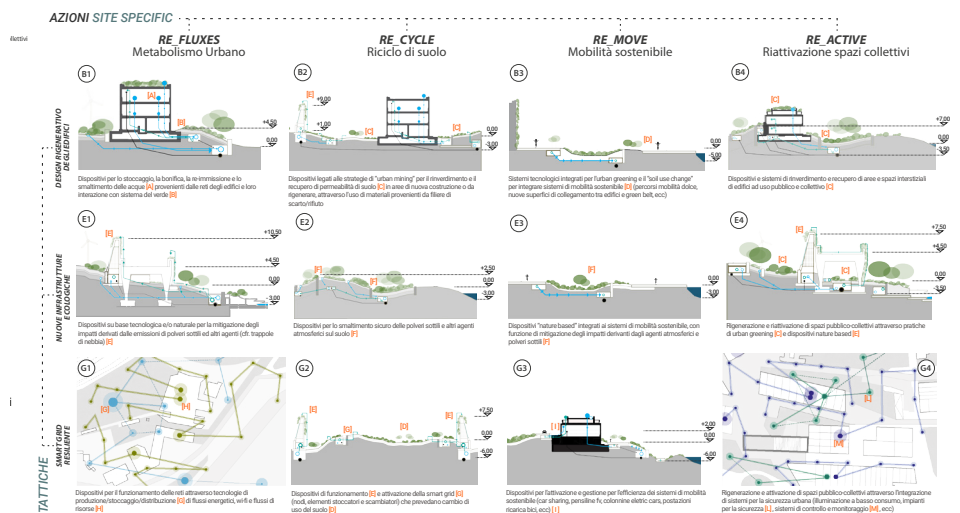


Fig. 20. PIRU Taranto. Soluzioni tecnologiche applicabili alla Green Belt. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

La mitigazione del clima, la riduzione dell'inquinamento acustico, il deflusso delle acque e l'erosione del suolo sono tutti vantaggi delle foreste urbane [33].

Le soluzioni tecnologiche così proposte ed orientate ad una resilienza sistemica, sia nella risposta prestazionale, sia nella configurazione circolari, riferita ai processi produttivi che la caratterizzano, va a valutare la loro diretta attuazione e i benefici derivanti.

A questo proposito esistono numerosi indicatori di stato per ciascun servizio ecosistemico in relazione all'approvvigionamento.

Nell'elaborazione del progetto tecnologico, all'interno dell'approccio metodologico riferito anche all'Advanced Design Process, vengono dunque prese in considerazione le sollecitazioni che in ambito progettuale, influenzano il metabolismo urbano.

L'obiettivo nella formulazione progettuale ai fini esplicativi è di restituire un impianto strategico completo per il raggiungimento della circolarità per la resilienza. In questo senso le esperienze progettuali contribuiscono al posizionamento delle aree verdi di Taranto e alla mitigazione delle sue minacce urbane fornendo informazioni e strumenti per l'amministrazione locale. L'utilizzo dell'approccio parametrico attraverso la successione di analisi tipica dell'ADP, come strumento di supporto alle decisioni, nell'elaborazione strategica permette di contrastare il cambiamento climatico per cui l'analisi ha individuato una serie di criticità, restringendo il focus degli obiettivi strategici della pianificazione urbana.

La mancanza di contatto con la natura e il deterioramento delle condizioni microclimatiche delle città possono contribuire alla recente contrazione delle città.

Le conclusioni evidenziate nella strategie proattiva (Fig. 21), troveranno riscontro nella descrizione della prototipologica (Prototipologia 2) fornendo una soluzione tecnologica resiliente capace di rispondere in maniera ecosistemica.

La disamina fin qui descritta intende contribuire a dimostrare come l'infrastruttura verde urbana può mitigare le inondazioni, il riscaldamento e le minacce all'approvvigionamento idrico che colpiscono l'ecosistema della città, secondo tecnologie di UpCycling e circolarità capaci di produrre e rendere generativi i livelli di qualità ambientale e sociale.



Fig.21. PIRU Taranto. Strategia Proattiva. (fonte: elaborazione ABITAlab, 2021)

La Green Belt Map localizza i dispositivi ecologici, progettati in loro profilo energetico-ambientale e configurativo - spaziale

# Green Parking ad Alta Resilienza

Parte della sperimentazione "PVC-UpCycling Economia Circolare e Rifiuti Zero con l'upcycling degli scarti provenienti dai processi di gestione degli impianti elettrici. Dal de-manufacturing con il recupero e riciclo del pvc dei cavi elettrici di impianti per l'energia al re-manufacturing per prodotti a basso impatto ambientale"  
 POR Calabria 2014-20. Asse 1. Azione 1.2.2

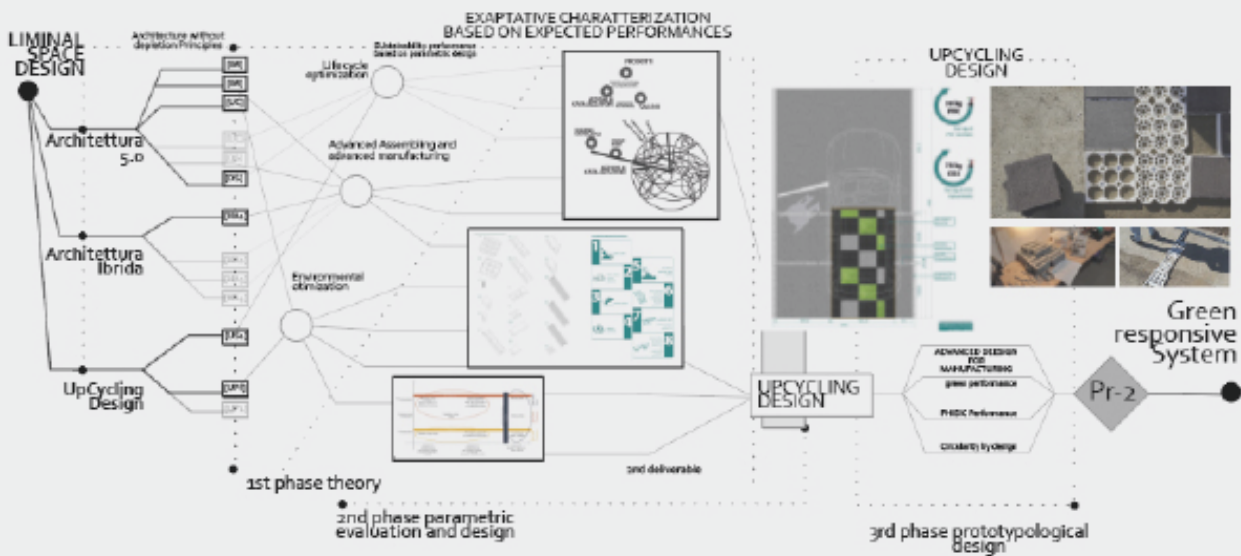
[www.pvcupcycling.com](http://www.pvcupcycling.com)

Installata presso c/o REDEL, Campo Calabro (RC)  
 22/05-13/06 2021

Soggetto Proponente : R.ED.EL Reggio Calabria Manager Aziendale: AU Umberto Barreca  
 Partners: Unical/Diatic Prof. Girolamo Giordano (resp.scientifico)  
 Enea Trisaia Ing.Piero De Fazio (resp.scientifico)  
 Referente per il progetto Prof.ssa Arch. Consuelo Nava (Prof. Associato UNIRC, resp.scientifico)  
 Communication PMOpenLab

Traiettoria S3 (7.4) Nuove tecnologie energetiche e riutilizzo di scarti e rifiuti per ridurre l'impatto ambientale con circolarità verso (6.1/6.2/6.3)  
 SMART MATERIALS/PROCESS/SOLUTIONS

Fig. 21. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato declinato sulla Prototipologia 2 concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo. D. Lucanto, PhD Research 2022.



*Data Design Process*

La seconda prototipologia descritta riprende i concetti legati alla NBS e li traduce nell'esperienza progettuale legata alla sperimentazione su un Green Parking ad Alta Resilienza, condotta nello svolgimento del progetto PVC UpCycling (POR Calabria 2014-20. Asse 1. Azione 1.2.2). [34].

Relativamente al progetto di ricerca PVC UpCycling, il sistema di contabilità ambientale "adattivo" per la sperimentazione e la costruzione di modelli di gestione sostenibile della filiera processo/prodotto, misurano l'impatto del progetto, descrivendo diverse tipologie di informazioni per descriverne le relazioni di fasi, nodi, problemi, tangenti, spazi operativi (Figura 22 sx).

Il modello trasferisce gli attributi prestazionali del sistema prototipato per avviare filiere di riciclo, capaci di autogestirsi in termini energetici, per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, che messe a sistema intercettano le capacità di configurarsi come ecosistema resiliente.

Il sistema circolare così trattato risulta capace di progettare l'innovativo modello di filiera in simbiosi industriale su scenari PVC-MPS e la piattaforma collaborativa per prodotti di ecodesign open source, offrendo un esempio sperimentale di intervento sulla catena del valore tramite l'utilizzo di NBS.

Dalla fase di de-manufacturing a quella di re-manufacturing, i modelli circolari attivati dalla nuova filiera innovativa del PVC-MPS attraverso la quale è possibile costruire una piattaforma collaborativa per lo scambio di informazioni, intercettano la fase di ecodesign, trasferendo la possibilità di intervenire sulla produzione di prototipi di PVC-Upcycling.

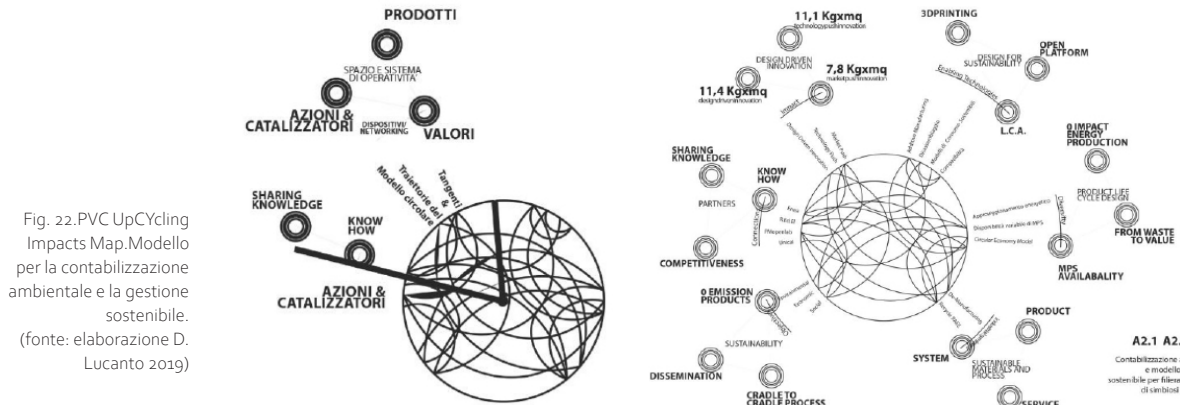


Fig. 22. PVC UpCycling Impacts Map. Modello per la contabilizzazione ambientale e la gestione sostenibile. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

La costruzione di un modello innovativo di filiera in una prospettiva circolare consente di descrivere in modo completo gli output e le condizioni che si verificano durante tutto il processo di produzione dell'MPS a carica di materiale dalla fase di de-produzione alla fase di rigenerazione. (Figura 22 dx). I modelli circolari attivati dalla nuova filiera PVC-MPS innovativi in tal senso attivano la fase sperimentale.

Intercettare la fase di eco-design trasferendo la possibilità di intervenire sulla produzione di prototipi di PVC-Upcycling permette di indagare anche tutta la contabilizzazione degli impatti relativi alle quantità di PVC MPS utilizzate, dimensionando così le attività in grado di innescare sia la produzione circolare con l'obiettivo "zero rifiuti", sia un sistema energeticamente sostenibile, sia gli obiettivi definiti nella strategia di adattamento e mitigazione degli effetti del CC. La realizzazione di modelli grafici rende accessibile il sistema teorico necessario per la progettazione di un modello di test sostenibile capace di rispondere alle qualità richieste. La scalabilità dei concetti, restituita in forma grafica, sintetizza il progetto del processo di elaborazione dei dati e li confronta con quelli che vengono chiamati i tre momenti dell'Eco-Design [35]:

- INDIVIDUAZIONE DI MATERIALI E PROCESSI A BASSO IMPATTO

Nel ciclo produttivo del PVC UpCycling è possibile proporre un modello sostenibile per il riciclo e il riutilizzo dei materiali derivanti dai componenti RAEE, che sono attualmente i rifiuti in più rapida crescita nei paesi della Comunità Europea.

- PROGETTAZIONE DEL CICLO DI VITA DEI PRODOTTI

Convertire il ciclo produttivo aziendale da un sistema lineare tradizionale a un modello circolare permette di abbandonare il vecchio processo basato su un modello di consumo "Prendi, fai, usa, smaltisci" realizzando un prodotto-sistema UpCycling, riuscendo nell'ibridazione con la produzione additiva per declinare i paradigmi dell'industria 4.0 secondo uno schema circolare.

-PROGETTAZIONE PER LA SOSTENIBILITÀ

Iniziare a progettare secondo le regole di compatibilità per il riciclo UpCycling significa tenere conto di un prodotto qualificando tutti i suoi componenti per facilitare lo smontaggio dei vari materiali.

Il sistema di sperimentazione applicato nella definizione del Green Parking del progetto PVC Upcycling mira alla sintesi delle pratiche consolidate nello sviluppo sperimentale del progetto nello sviluppo di un prototipo, leggibile attraverso la categorizzazione delle NBS, che riesca a soddisfare i requisiti di sostenibilità ambientale, secondo le regole di valutazione di impatto ambientale LCA, applicate alle tipologie di rifiuti specifiche per il trattamento, nella processi di progettazione di prodotti, e di intercettare i servizi e i sistemi che possono essere applicati ad un modello sostenibile di gestione della filiera circolare per il trattamento degli MPS ottenuti da PVC riciclato da rifiuti di tipo RAEE. (Figura 23).

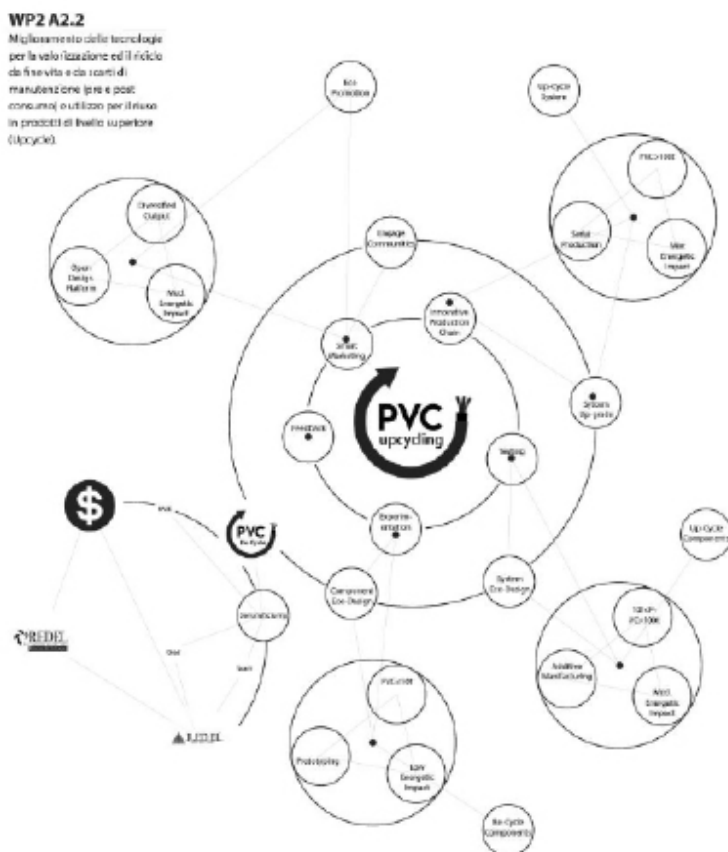


Fig. 23.PVC UpCycling Circular Process Map. Modello per l'innovazione della simbiosi industriale. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

Il processo di "Simbiosi Industriale"<sup>11</sup> [36] che si genera nella sperimentazione, assume già di per se un carattere ecosistemico, per l'utilizzo di risorse come MPS (seconda materia prima), per cui i rifiuti nel ciclo produttivo e i loro sottoprodotti, interferiscono con altri processi e catene del valore. In tal senso non si può che riferirsi ad un tipo di approccio che si interfaccia con il L.C.A. è necessario definire le caratteristiche degli strumenti operativi che devono essere utilizzati nel settore industriale per sviluppare un sistema di soluzioni innovative.

In aggiunta a questo si intende dichiarare la funzione responsiva del sistema in tale traiettoria, che per esempio nel caso del Green Parking ad alta resilienza riguarda la capacità di combinare un sistema capace di reagire in modo positivo agli effetti climatici dovuti a fenomeni estremi (bombe d'acqua), incorporando un ciclo produttivo modificabile secondo due parametri riguardanti l'approvvigionamento energetico e la disponibilità di MPS [37].

L'unità funzionale si riferisce alle variabili che considerano il funzionamento del sistema, in cui il rischio per il quale incentivare la produzione di materiali con un basso livello di emissioni deve essere derivato dalle emissioni prodotte dai materiali di scarto<sup>12</sup>.

Il ciclo di lavorazione, descritto nel modello di contabilizzazione (FIG. 24) con l'impiego di macchine, riesce a lavorare 350 kg di materiale impiegando un quantitativo energetico di consumo pari a 58 kWh. L'impianto fotovoltaico disponibile in produzione, di 125 MW soddisfa il 90% del fabbisogno energetico di fornitura aziendale su base annua. Se si analizzano i consumi su base mensile, naturalmente nei mesi più favorevoli per l'irraggiamento la percentuale di copertura aumenta. Su un ciclo produttivo di 6h, il fabbisogno energetico stimato su base mensile si assesta quindi su 1392 KW

PROVA	SCENARIO	QUANTITÀ COMPOUND PVC/RESINA (Kg)	MODULO (m <sup>2</sup> km)	INCREMENTO DIMENSIONALE (% Kg)	PVC/ BAMBÈ ALLUMINIO (Kg/m <sup>2</sup> )	Mp X Ciclo (Costo/ore)	Consumo energetico (KWh)
7x4,8x0,8 cm	1.A.a	2,389	85x85	-	-	20mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	1.A.b	2,394	85x85	33% (0,818)	-	20mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	1.A.c	2,296	85x85	38% (0,201)	-	45mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	2.A.a	1,440	100x80	-	-	200mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	2.A.b	2,318	100x80	29% (0,608)	-	140mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	3.A.a	1,324	130x103	-	-	350mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	3.A.b	1,526	130x103	33% (0,512)	-	227mq	58 kWh
7x4,8x0,8 cm	3.A.c	1,843	100x100	41% (0,818)	-	190mq	58 kWh

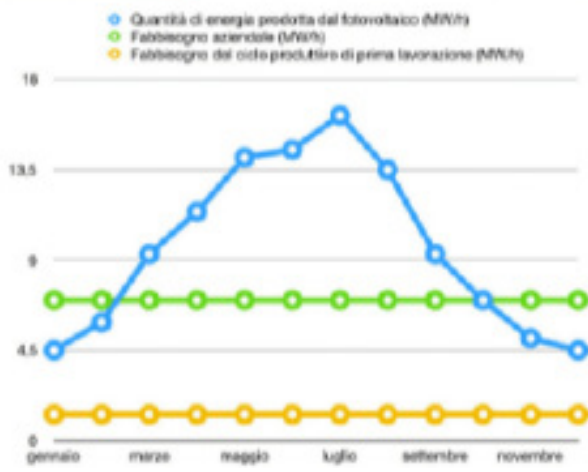


Fig. 24. PVC UpCYcling Modello per la contabilizzazione energetica ed ambientale. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

### Formulazione degli scenari di sperimentazione

La formulazione degli scenari di cantiere-laboratorio presso gli spazi della R.ed.el, capofila del progetto PVC UpCycling vede la realizzazioni di due sperimentazioni applicative, con i relativi scenari, la cui sintesi si è riversata nella sperimentazione del terzo scenario. Questo processo intende prevedere le applicazioni che utilizzano componenti di PVC ibrido, quale MPS in differenti consistenze, polverino sciolto, polverino stampato su più formati, con lo scopo di contabilizzare la quantità di materiale PVC riciclabile su un'unità funzionale e definirne anche un profilo energetico-ambientale per la riduzione di CO<sub>2</sub> corrispondente al sistema realizzato.

Per lo scenario I (Fig. 25) si sperimenta un rivestimento per pavimentazioni esterne realizzato tramite le piastrelle in PVC riciclato ed applicato su massetto armato esistente.

Scheda Tecnica	
Dimensioni	4,9x 7x0,5 cm
Peso	33g
TVOC dopo 28 giorni - EN ISO 16000 - 6	µg/mc
Isolamento acustico - EN ISO 717/2 -	db
Rumore dell' impatto nell' ambiente - NF S 31074 -	
Classificazione Europea - EN ISO 10874 (EN 685)	classe
Resistenza al fuoco - EN 13501 -	classe
Resistenza allo scivolamento sul bagnato - DIN 51 - 130 -	classe
Gruppo di abrasione - EN 660 - 2 -	gruppo
Conducibilità termica - EN ISO 10456 -	W/(mK)
Solidità alla luce - EN 20105 B02	grado

Fig. 25.PVC UpCycling Scheda tecnica scenario 1. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

Lo scenario II (Fig. 26) ha visto la realizzazione di un piazzale carrabile per movimentazione mezzi di piccolo carico, dove il prodotto PVC UpCycling vergine in polverino ibridato in malta cementizia.

Scheda Tecnica		
	dato certificato	dato sperimentale
Densità in opera		kg/mc
Peso specifico		N/mc
Resistenza a compressione certificata - UNI EN 13892 -2		N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a flessione certificata - UNI EN 13892 - 2		N/mm <sup>2</sup>
Conducibilità termica certificata - UNI EN 12667		W/mK
Tempo utile di applicazione		
Temperatura di applicazione		classe
Pedonabilità dal la posa in opera		classe
Fattore di resistenza al vapore acqueo		
Permeabilità al vapore		Kg/msPA
Condizioni di conservazione - D.M. 10 maggio 2004		
Durata - D.M. 10 maggio 2004		
Rese in opera in funzione dello stato di compattazione		
Reazione al fuoco - D.M. 10 marzo 2005		
Resistenza al fuoco - D.M. 26 giugno 1984		
Abbattimento rumore da calpestio		

Fig. 26.PVC UpCycling Scheda tecnica scenario 2. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

Lo scenario III (Fig. 27), oggetto della lettura critica della seconda prototipologia vede la realizzazione del Green Parking costituito da una sezione stradale con asfalto drenante e da blocchi a spessore in pvc riciclato, utilizzando un sistema ibridato con tecnologie additive, attraverso stampa di componenti stampati in 3D da PLA e blocchi in pvc MPS stampati.

Scheda Tecnica	
	dato normato
Densità in opera	dato specifico kg/mc
Peso specifico	N/mc
Resistenza a compressione certificata - UNI EN 13892 -2	N/mmq
Resistenza a flessione certificata - UNI EN 13892 -2	N/mmq
Conducibilità termica certificata - UNI EN 12667	W/mK
Tempo utile di applicazione	
Temperatura di applicazione	classe
Pedonabilità dalla posa in opera	classe
Fattore di resistenza al vapore acqueo	
Permeabilità al vapore	Kg/msPA
Condizioni di conservazione - D.M. 10 maggio 2004	
Durata - D.M. 10 maggio 2004	
Resa in opera in funzione dello stato di compattazione	
Reazione al fuoco - D.M. 10 marzo 2005	
Resistenza al fuoco - D.M. 26 giugno 1984	
Abbattimento rumore da calpestio	

Fig. 27.PVC UpCYcling  
Scheda tecnica scenario  
1. (fonte: elaborazione  
D. Lucanto 2019)

La definizione degli scenari così composti seguendo le prestazioni illustrate nelle schede tecniche intende caricare altri due obiettivi per meglio definire l'approccio prototipologico del Green Parking:

- valutare le possibili configurazioni "cooperative" rintracciate nell'implementazione delle tecnologie già disponibili in azienda (scenari realizzati) e quali ricadute queste possono avere nel modello di business e di filiera innovativa;
- valutare quali aspetti prestazionali attribuire al sistema in modo che questi possano adeguatamente rispondere con il loro funzionamento alle sollecitazioni mutevoli dovuti agli estremi eventi climatici, in modo includere le tecnologie da adottare.

La lettura delle informazioni in formato scheda-tecnica permette, in questa fase, la sistematizzazione dei dati rilevabili dalle attività di laboratorio e le indicazioni di caratteri/requisiti e prestazioni rilevanti, con studio del quadro normativo di riferimento del sistema/scenario illustrato.

## Green Parking ad Alta Resilienza

Prima di descrivere il contributo del Green Parking (GP) come NBS nei processi di UpCycling ed Architettura 5.0 per gli scenari di transizione climatica, è necessario definire il modello per il riutilizzo degli scarti in PVC e la logica secondo la quale questo si riconosce nei processi di prototipazione.

L'ibridazione ottenuto nella realizzazione di questo scenario porta con sé un approccio innovativo ad alto contenuto tecnologico, con l'utilizzo di tecnologie additive con processo a controllo digitale, in cui l'ecodesign si innova verso la produzione di scenari sostenibili (scenario greenparking). Il modello di ecodesign utilizzato di tipo "ibrido" punta a riformare ed innovare il sistema-prodotto ed è quindi formulato sull'innovazione spinta dal mercato (market push) e su quella governata dalla tecnologia (technology push).

Questo modello sostiene gli scenari nelle tre dimensioni riferite alla produzione minima, media e massima di PVC nel processo di Upcycling.

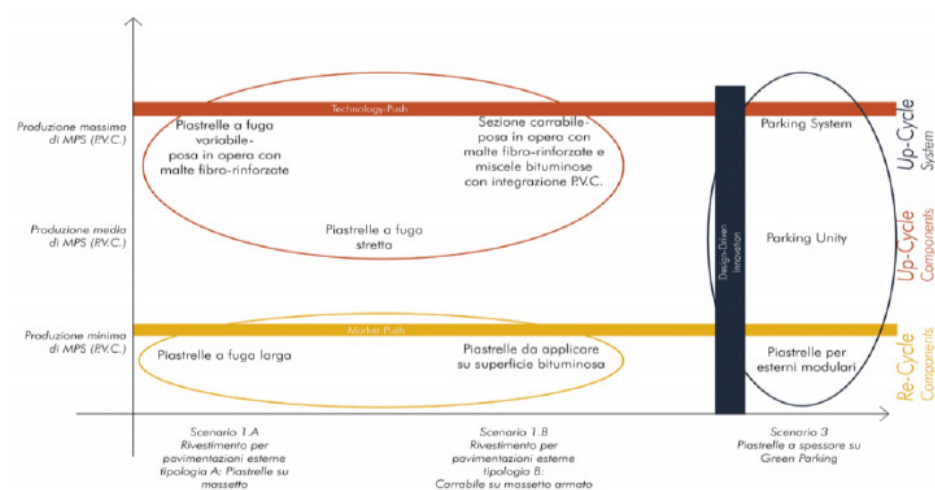


Fig. 28. Modello per la sperimentazione Design Driven degli scenari PVC UpCycling. (fonte: elaborazione D. Lucanto 2019)

Procedendo con la descrizione tecnica del sistema GP questo si compone di 58 blocchi a spessore in PVC riciclato delle dimensioni di 16,30x17,31x5,00 cm; 58 alloggi per in blocchi in PVC riciclato delle dimensioni di 16,60x15,60x3,40 cm, 33 moduli alveolari dei quali 18 permettono l'inerbimento, e 15 sono destinati al riempimento in ghiaia, entrambi della misura di 16,60x15,50x5 cm; vi sono inoltre 4 giunti strutturali in PLA stampati in 3D, e 52 elementi per la canalizzazione delle acque in PLA stampati in 3d.

Secondo la quantificazione messa a bilancio nello svolgimento del progetto PVC UpCycling gli impatti relativi alla realizzazione di scenario prevedono l'utilizzo di 24 Kg di PVC per mq di scenario messo in opera, che consentono un risparmio per mq di scenario messo in opera di 50 Kg CO<sub>2</sub>.

La sperimentazione realizza quanto previsto nel progetto in tema di additive manufacturing e realizzazione di scenario con componenti ibridi e provenienti da processi di ecodesign. La realizzazione di un'unità funzionale di misura 280\*450 cm, di un green parking altamente resiliente, con un sistema integrato di assorbimento delle acque per funzionamento della superficie permeabile e semipermeabile vegetale e ghiaia, con un massetto di completamento già sperimentato (scenario 1) e con un sistema stampato e componibile a misura, per lo smaltimento delle acque meteoriche, che svolge la funzione di canale e di giunto.

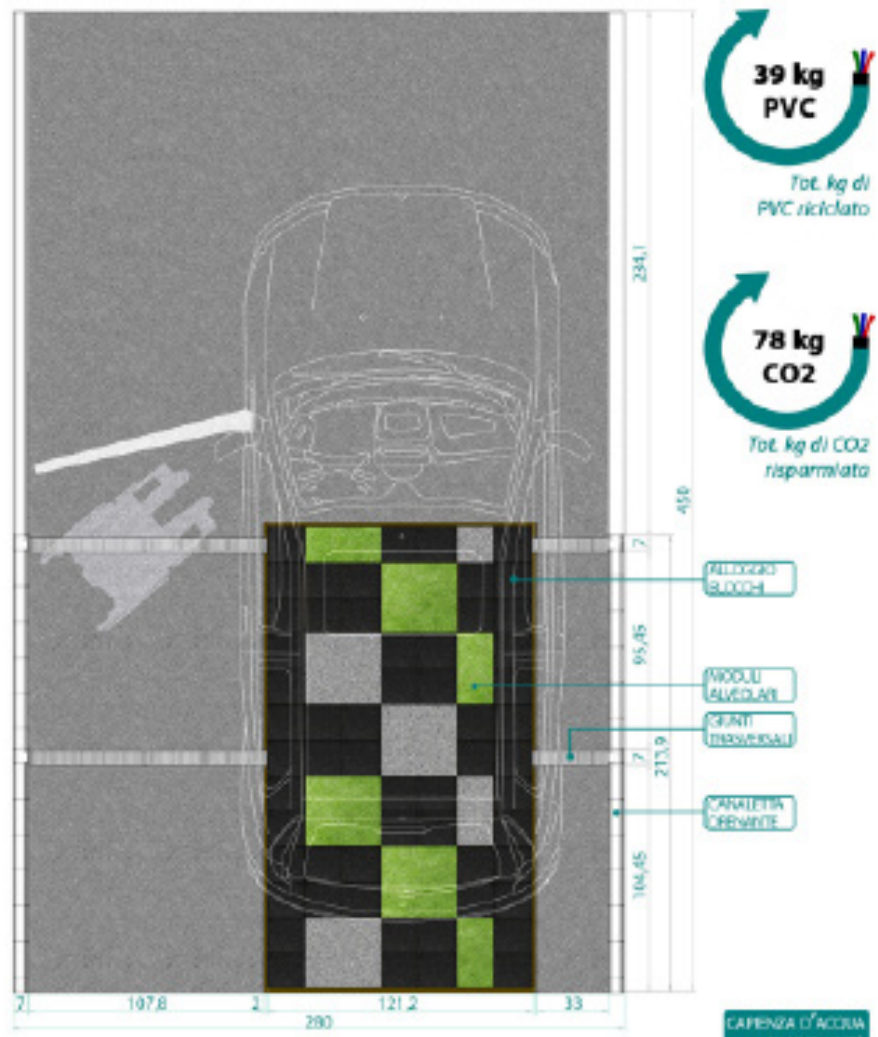


Fig. 29. PVC UpCYcling  
Schema planimetrico ed impatti del Green Parking. (fonte: elaborazione F. Autelitano 2019)

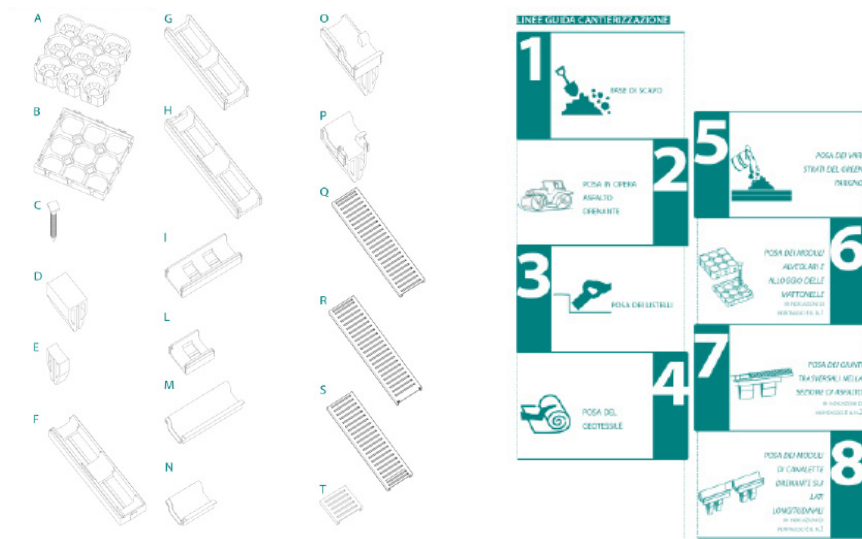


Fig. 30. PVC UpCYcling  
Abaco dei componenti e schema di assemblaggio Green Parking. (fonte: elaborazione F. Autelitano 2019)

La sperimentazione condotta ha lo scopo quindi di aumentare le capacità prestazionali del sistema di riferimento per assimilare i processi naturali che gli permettono di reagire alle sollecitazioni provenienti dai fattori di contesto ambientale, e considerare anche quanto previsto nel progetto in termini di produzione additiva e realizzazione di scenari per componenti ibridi derivati da processi di eco-design.

L'obiettivo diventa quindi quello di realizzare un parcheggio a verde funzionale e ad alta resilienza di 280 x 450 cm che nel suo funzionamento diventa capace di aumentare la capacità di assorbimento dell'acqua al fine di creare una superficie impermeabile e semipermeabile per piante e ghiaia, nonché un massetto di completamento già collaudato (come nello scenario 1) e un sistema di drenaggio delle acque piovane stampato e modulare che fungerà da sia un canale che un raccordo per lo smaltimento delle acque piovane.

La superficie di carico è rinforzata con una rete alveolare in PLA (acido polilattico, una bioplastica). La rete alveolare ospita gli spessi blocchi di PVC riciclato e il riempimento semipermeabile e permeabile, consentendo il collegamento dei moduli componenti al sistema di smaltimento delle acque. Con una capacità di circa 1,61 metri cubi, quest'ultimo è dimensionato e costruito per rispondere immediatamente ad un sovraccarico dovuto al dilavamento della pioggia (bombe d'acqua). È possibile recuperare e riutilizzare l'acqua convogliata allo scopo di impregnare una superficie permeabile, oppure per mantenere o impermeabilizzare la superficie. Il processo di stampa 3D può essere utilizzato anche per creare prototipi di componenti; uno stampo per la produzione con altri materiali e uno che sia conforme agli standard industriali. Il funzionamento del Green Parking diventa quindi assimilabile a quello di una sezione stradale con asfalto drenante, l'innovazione che conferisce i caratteri della resilienza nel sistema è l'ibridazione con tecnologie additive - stampa 3D di componenti e blocchi per l'integrazione di PVC MPS (Fig.7).



Fig. 31. Posa in opera del Green Parking per gli scenari PVC UpCycling. (fonte: elaborazione PMopenlab, 2019)

Fig. 32. Dettaglio del sistema di drenaggio del Green Parking per gli scenari PVC UpCycling. (fonte: elaborazione PMopenlab, 2019)



Fig. 33. Configurazione definitiva del Green Parking PVC UpCycling. (fonte: elaborazione PMopenlab, 2019)



## Note

1. La definizione di Prototipologia è un sistema di categorizzazione definita nell'ambito della sperimentazione progettuale, in base alla quale la definizione di significato semantica occupano una posizione più centrale di altri. Per citare un caso pratico, quando viene richiesto di dare un esempio del concetto mobile, la sedia è nominata più frequentemente di sgabello. La teoria del prototipo è stata applicata anche nella linguistica, come parte del sistema di associazione tra elementi fonologici e semantici.

2. Va notato che Gould è stato poco coerente nell'uso del concetto di exaptation, anche all'interno di un singolo articolo (ad esempio, Gould, 1991). Anche se le definizioni di exaptation citate testualmente qui sembrano riflettere il suo uso più comune (la citazione del 1991 è stata introdotta da Gould e Vrba nel 1982), in altri momenti, sembra usare il termine per comprendere usi nuovi ma senza funzione o come conseguenze di caratteristiche esistenti.

Per chiarezza concettuale, è fondamentale distinguere tra exaptation, come Gould (1991) l'ha definita nei passaggi citati, e i sottoprodotti che sono estranei a un funzionamento in senso biologico. Nella sezione successiva, esaminiamo vari usi che Gould fa del termine exaptation. Tuttavia, in questo articolo, usiamo exaptation coerentemente con le definizioni sopra citate, facendo riferimento solo a meccanismi che hanno nuove funzioni biologiche che non sono quelle che hanno causato la loro originale selezione. In biologia gli usi senza funzione sono indicati come "effetti", "conseguenze", o "sottoprodotti". Questi due floni che sono facilmente confusi nella discussione di Gould del termine exaptation sono qui districati e trattati separatamente.

3. PUE - Piano Urbano Esecutivo - Il supporto tecnico-scientifico per la redazione del piano urbanistico esecutivo dell'area INTO1 del porto di Taranto, di cui è responsabile scientifico il prof. Matteo di Venosa (Unich), è stato sviluppato in due fasi: [1] durante la prima fase sono state realizzate le analisi parametriche di riferimento per la determinazione di indirizzi e tipologie di soluzioni di tipo urbanistico localizzati; [2] nella seconda fase, si è provveduto alla rappresentazione di modelli di soluzioni tipologiche, approfondendo il quadro di informazioni climatiche localizzate tramite l'implementazione delle analisi parametriche.

4. PIRU - Piano Integrato di Riqualficazione Urbana - L'esperienza del concorso PIRU per Taranto, coordinato dal prof. di Venosa (unich), ha consentito di lavorare sull'adozione di strategie adeguate a necessità di adattamento e mitigazione e la traduzione di queste due in azioni resilienti e circolari site specific. L'area di intervento riguardava "cintura" verde attorno alla zona compresa tra il porto mercantile e Borgo.

5. Le definizioni innovative dei processi circolari nel settore edile hanno un ruolo cruciale da svolgere in questa transizione.

Secondo la Nuova Strategia Industriale della Commissione Europea, l'edilizia è uno dei settori chiave, ora chiamati ecosistemi, per "costruire un mercato unico più forte per la ripresa dell'Europa". Per formare la nostra tabella di marcia per la transizione, la Commissione desidera discutere le azioni future con il nostro settore e raccogliere raccomandazioni. Numerosi

documenti, come PNEE a livello nazionale e il Piano d'azione per l'economia circolare a livello europeo, delineano i nostri principi guida.

Teoricamente, la sostenibilità può essere definita per interi sistemi, le loro parti costituenti da sole non possono essere sostenibili in quanto sono le loro interrelazioni che consentono un risultato complessivamente sostenibile efficace. Deve essere chiaro che la stessa regola vale per la costruzione, qualunque sia la natura dell'edificio, dalle case, agli ospedali, dai ponti alle dighe. In effetti, le condizioni locali, l'ingegneria, la progettazione, l'installazione, il funzionamento, le fasi di fine vita e molte altre caratteristiche hanno tutti impatti specifici.

6. *"Attraverso la creatività, che è una manifestazione del pensiero associativo, gli uomini del Mediterraneo si sono avvalsi di strutture sufficientemente ridondanti da poter essere cooptate funzionalmente per esigenze diverse e molteplici, anche quando le condizioni ambientali sono mutate molto rapidamente. Queste forme sono gli archetipi. Da luoghi di osservazione degli astri, le stesse strutture creative diventano passaggi per l'oltretomba, porte delle fortezze, e, più tardi, ordini architettonici. In realtà, nessuno di questi usi è mai stato categorizzato in modo così razionale e monofunzionale prima dell'affermarsi dell'idealismo platonico. La tradizione del funzionalismo nella regione del Mediterraneo, prima di Platone, è quindi fondamentalmente irrazionale, nel senso che la forma non è determinata dalle necessità dell'uso, ma, al contrario, la funzione, o meglio, le funzioni sono la manifestazione della creatività della forma archetipica. E, se pensiamo al bacino del Mediterraneo senza essere distratti dagli artificiosi confini politici del dopoguerra, le forme di cooptazione funzionale degli archetipi iniziano più di diecimila anni fa, a Gobekli Tepe, e proliferano ovunque fino all'età del Bronzo."*

7. *"L'adattamento è diventato una questione importante nelle discussioni nazionali e internazionali sui cambiamenti climatici. Numerosi termini e concetti sono diventati di uso comune a seguito dei rapporti dell'IPCC, delle discussioni nel contesto dell'UNFCCC e dei dialoghi della comunità climatica in generale. Questo documento esamina i termini e i concetti chiave di adattamento utilizzati dalla comunità dei cambiamenti climatici e da altre istituzioni. Si rilevano conflitti e contraddizioni allo scopo di sensibilizzare diversi organismi alle divergenze, ma in particolare le Parti della Convenzione e gli esperti che partecipano all'IPCC. Data la necessità di promuovere una comprensione comune tra le varie parti interessate e le potenziali implicazioni finanziarie delle varie definizioni, sembra importante che l'IPCC e l'UNFCCC lavorino verso definizioni comuni, almeno per un insieme fondamentale di termini e concetti."* [38]

8. *"La recente adozione e rapida diffusione dei concetti relativi alla trasformazione nella ricerca sulla mitigazione dei cambiamenti climatici richiedono un'analisi sistematica e aggiornata. In questo articolo, affrontiamo questa lacuna intraprendendo una revisione sistematica di articoli che utilizzano termini relativi alla trasformazione nella letteratura delle scienze sociali sulla mitigazione del cambiamento climatico. Attingendo a un corpus di 198 articoli identificati da Scopus, troviamo un campo di ricerca diversificato e frammentato che si concentra fortemente sui livelli nazionale, cittadino e internazionale, sul settore energetico e sui paesi ad alto reddito. Sebbene l'uso della terminologia della trasformazione sia aumentato rapidamente, ci sono poche definizioni condivise, il che costituisce probabilmente una seria sfida per la borsa di*

studio e l'elaborazione di politiche basate sull'evidenza. Per facilitare un approccio alla ricerca più cumulativo e di impatto, proponiamo la mitigazione del cambiamento climatico trasformatore come nuovo termine generico per le varie trasformazioni sociali legate alla mitigazione necessarie per raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi. Concludiamo individuando le priorità per la ricerca futura." [39]

9. "Recentemente il principio di esecutività, in quanto "possibilità", ha trovato una più specifica declinazione nella progettazione tecno-logica ambientale il cui ambito di interesse si dirige verso la gestione e il controllo delle scelte ambientali all'interno dell'economia circolare che, in questa sede, si esplicitano nella logica delle 3R. Il significato tradizionale di pro-jectare si irrobustisce, esplicitando punti di vista ulteriori nell'affrontare la complessità del reale: la coscienza dell'utilizzo consapevole delle risorse e della gestione del fine vita rende ancora più esplicito nel progetto il senso del fattore "tempo". Nella recente storia il tempo, riferito alla durata dell'edificio, ha imposto il requisito di manutenibilità; riferito alla durata delle risorse, ha compreso il tema del risparmio energetico e dell'utilizzo di energia rinnovabile per la sostenibilità ambientale; riferito alla realizzazione ha imposto riduzione dei costi, maggior sicurezza in cantiere, ecc. A sua volta la variabile costo non comprende più il solo costo di costruzione e di gestione ma incorpora ciò che viene denominato "costo del ciclo di vita" dell'edificio.

10. Come notato in precedenza, i vantaggi delle infrastrutture verdi sono consolidati, tuttavia, l'implementazione tradizionale è stata lenta a causa dei costi iniziali di progettazione, costruzione e conservazione del territorio [14]. Altri ostacoli all'implementazione includono quadri normativi irregolari, mancanza di coinvolgimento della comunità e attenzione alle infrastrutture verdi per la gestione delle acque piovane. La precedente ricerca sulla politica delle infrastrutture verdi si è concentrata principalmente sull'integrazione delle politiche, sul coinvolgimento delle parti interessate, sui modelli di finanziamento; o realizzazione del progetto. Sebbene questo lavoro abbia un valore significativo, per ottenere una maggiore diffusione delle infrastrutture verdi, è essenziale comprendere i singoli strumenti politici che ne consentono l'attuazione, il modo in cui funzionano e i risultati ambientali per i quali sono progettati. L'uso vario degli strumenti politici che consentono l'implementazione delle infrastrutture verdi è meglio compreso attraverso un'analisi degli impatti normativi presentati in questa sintesi di prove qualitative. L'analisi dell'impatto della regolamentazione ambientale è un metodo per supportare il processo decisionale e politico consentendo l'implementazione di soluzioni basate sulla natura.

11. La simbiosi industriale, come parte del campo emergente dell'ecologia industriale, richiede una risoluta attenzione al flusso di materiali ed energia attraverso le economie locali e regionali. La simbiosi industriale coinvolge industrie tradizionalmente separate in un approccio collettivo al vantaggio competitivo che coinvolge lo scambio fisico di materiali, energia, acqua e/o sottoprodotti. Le chiavi della simbiosi industriale sono la collaborazione e le possibilità sinergiche offerte dalla vicinanza geografica. Questo articolo passa in rassegna la letteratura sulla piccola simbiosi industriale e alcuni antecedenti, nonché i primi sforzi per sviluppare parchi eco-industriali come realizzazioni concrete del concetto di simbiosi industriale. La revisione dei progetti è organizza-

ta attorno a una tassonomia di cinque diversi tipi di scambio di materiali. La corrispondenza input-output, i processi delle parti interessate e il budget dei materiali sembrano essere strumenti utili per promuovere lo sviluppo del parco eco-industriale. Approcci evolutivi alla simbiosi industriale si sono rivelati importanti nel creare il livello di cooperazione necessario per gli scambi multipartitici.

## Riferimenti bibliografici

1. Nava, C. (2019), *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo, Progetto*, Aracne editrice, Roma
  2. Lucarelli, M. T., & Rigillo, M. (2018). Resilienza e cultura tecnologica: la centralità del metodo. *Techne*, 15, 60-64.
  3. Stahel, W. R., & MacArthur, E. (2019). *The circular economy: A user's guide*. Routledge.
  4. Kowasch, M. (2022), "Circular economy, cradle to cradle and zero waste frameworks in teacher education for sustainability", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 23 No. 6, pp. 1404-1425. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-10-2021-0428>
  5. Gould, S. J. (1980). The evolutionary biology of constraint. *Daedalus*, 39-52.
  6. Naboni, E. (2014). Sustainable design teams, methods and tools in international practice. *Detail Green*, 14, 68-73.
  7. Unnikrishnan, V. U., & Barbato, M. (2015). Performance-Based Comparison of Different Design Alternatives and Retrofit Techniques for Residential Buildings Subjected to Hurricane Hazards. In *Structures Congress 2015* (pp. 1596-1607).
  8. Naboni, E., Meloni, M., Coccolo, S., Kaempf, J., & Scartezzini, J. L. (2017). An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*, 122, 1111-1116.
  9. Nava, C., & Melis, A. (2021). A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, 103-111.
  10. Melis, A., Lara-Hernandez, J. A., & Melis, B. (2022). Learning from the biology of evolution: Exaptation as a design strategy for future cities. *Smart and Sustainable Built Environment*.
  11. Mangano G. e Leuzzo A, 2022. Co-design e tecnologie abilitanti. 15 esperienze progettuali per la ricerca di frontiera e le comunità in transizione. Aracne, Roma
  12. PIRU Taranto, marzo-aprile 2021: Concorso, coordinatore: prof. di Venosa. Elaborazioni grafiche: Leuzzo A., Lucanto D., e Mangano G., 2021. Resp. scientifica Nava C.
  13. PUE Taranto, dicembre 2020-aprile 2021: Concorso, coordinatore: prof. di Venosa. Elaborazioni grafiche: Leuzzo A., Lucanto D., e Mangano G., 2021. Resp. scientifica Nava C.
  14. Perini, K., Chokhachian, A., Dong, S., & Auer, T. (2017). Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-Met and TRNSYS by grasshopper. *Energy and Buildings*, 152, 373-384.
  15. Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal of cleaner production*, 276, 124215.
  16. Geng, Y., Sarkis, J., & Bleischwitz, R. (2019). How to globalize the circular economy.
  17. Tagliagambe, S. (1997), *Epistemologia del confine*, Il Saggiatore, Milano.
  18. Schiaffonati, F., Mussinelli, E. and Gambaro, M. (2011), *Tecnologie dell'Architettura per la progettazione ambientale*, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 1, pp. 48-53
  19. Losasso, M., & D'Ambrosio, V. (2014). Progetto ambientale e riqualificazione dello spazio pubblico: il grande progetto per il centro storico di Napoli sito Unesco/Environmental project and public space rehabilitation: the great project for the historic center of Naples Unesco World Heritage Site. *Techne*, 7, 64.
  20. Losasso, M., & D'Ambrosio, V. (2014). Progetto ambientale e riqualificazione dello spazio pubblico: il grande progetto per il centro storico di Napoli sito Unesco/Environmental project and public space rehabilitation: the great project for the historic center of Naples Unesco World Heritage Site. *Techne*, 7, 64.
  21. Robinson, G. M., & Carson, D. A. (2016). Resilient communities: transitions, pathways and resourcefulness. *The Geographical Journal*, 182(2), 114-122.
  22. Nava, C. (2022). Regenerative Design and Hybrid Buildings to Address Climate Change. In *INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives* (pp. 1889-1901). Springer, Cham.
  23. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
  24. Celi, M. (2014). *Advanced Design Cultures. Long-Term Perspec.*
- Nava, C. (2020). Advanced design for manufacturing of integrated sustainability "Off-Shore" and "Off-Site" Prototype-MVP "S2\_HOME". *Civil Engineering Journal*, 6(9), 1752-1764.

27. Consuelo, N. (2019). DESIGN DRIVEN INNOVATION "OFF-SHORE" E "OFF-SITE" volume della colla Quaderni SID
28. Nava, C. (2021). Advanced Sustainable Design (ASD) for Resilient Scenarios. In *Bioclimatic Approaches in Urban and Building Design* (pp. 255-274). Springer, Cham.
29. Panno, A., Carrus, G., Laforteza, R., Mariani, L., & Sanesi, G. (2017). Nature-based solutions to promote human resilience and wellbeing in cities during increasingly hot summers. *Environmental research*, 159, 249-256.
30. Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Laforteza, R. (2019). Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors?. *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 3-12.
31. Anderson V, Gough WA. Enabling Nature-Based Solutions to Build Back Better—An Environmental Regulatory Impact Analysis of Green Infrastructure in Ontario, Canada. *Buildings*. 2022; 12(1):61. <https://doi.org/10.3390/buildings12010061>
32. Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., De Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental research*, 159, 509-518.
33. Nowak, D. J., Crane, D. E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, J. T., & Bond, J. (2008). A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Aboriginality & Urban Forestry*. 34 (6): 347-358., 34(6).
34. Nava, C. (2020). PVCUPCYCLING-CIRCULAR ECONOMY AND ZERO WASTE:"UPCYCLING" WASTE FROM ELECTRICAL SYSTEMS. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 19(10).
35. Vallet, F., Eynard, B., Millet, D., Mahut, S. G., Tyl, B., & Bertoluci, G. (2013). Using eco-design tools: An overview of experts' practices. *Design Studies*, 34(3), 345-377.
36. Tseng, M. L., Tan, R. R., Chiu, A. S., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2018). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis?. *Resources, conservation and recycling*, 131, 146-147.
37. Stapleton, M., Hoshina, H., Sawamoto, K., Kubaski, F., Mason, R. W., Mackenzie, W. G., ... & Tomatsu, S. (2019). Critical review of current MPS guidelines and management. *Molecular Genetics and Metabolism*, 126(3), 238-245.
38. Levina, E., & Tirpak, D. (2006). Adaptation to climate change. Key terms.
39. Moore, B., Verfuether, C., Minas, A. M., Tipping, C., Mander, S., Lorenzoni, I., ... & Whitmarsh, L. (2021). Transformations for climate change mitigation: A systematic review of terminology, concepts, and characteristics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(6), e738.
40. Ginelli, E., & Pozzi, G. (2019). The direction of ideas for the Internet of Things. cHOMgenius project. Prototype System&SharedProject. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (18), 254-262. <https://doi.org/10.13128/techne-7537>



## I sistemi responsivi di frontiera: dal “green wall” per involucri al “liminal space” in ambito urbano

### *Abstract*

Enhanced on both a morphological and a performance level, the liminal space enhances its functionality and plays a critical role in the restoration process by extending the life of building facades and reducing the long-term maintenance costs [2].

As part of the analysis of the concepts proposed for the formulation of the Green Responsive Model, we aim to contribute to the advancement of technological applications and digital simulations related to the integration of zero carbon construction processes, as well as the development of multiple processes aimed at achieving climate neutrality as a means of enhancing sustainability in the built environment.

As a result of a series of performance adaptations to carbon sequestration technologies [5], the succession of topics covered is ideal for the model of transitions. By optimizing the adaptability of the UpCycling project within the project (see for example), the project will contribute to reducing the effects of climate change by contributing to the mitigation of factors contributing to it.

A systemic approach to liminal space, based on the principles of the Green Responsive Model, is also highlighted as contributing to the protection of the environment from environmental damage such as extreme heat radiation and high rainfall [6], thereby indicating the necessity of taking a systemic approach based on the principles of the Green Responsive Model.



Cyber Green Voltaics,  
IAAC Project 2020.  
<https://iaac.net/project/cgv-cyber-green-voltaics/>

## 7.1 I sistemi responsivi di frontiera: dal "green wall" per involucri al "liminal space" in ambito urbano

### 7.1.1 *Liminal Space: Impatti ambientale e concept per la sperimentazione*

Si descrive in questo capitolo la configurazione tecnologica e ambientale del Liminal Space. Nel contributo che si intende fornire nello sviluppo della tesi dottorale ci si sofferma in particolare, sulla capacità del design circolare di tradurre i processi avanzati di controllo e gestione nel progetto di un'unità tecnologica di frontiera.

Si presenta così l'esperienza definita dal processo di Design Avanzato Circolare applicato al sistema ambientale di frontiera, con una sperimentazione che, nelle prototipologie, riprende ed anticipa i temi del modello sperimentale "Green Responsive System (G.R.S.)".

Lo "spazio liminale" negli edifici ibridi, secondo la revisione della letteratura, rappresenta oltre il 40% della perdita di calore in inverno e del surriscaldamento in estate [1], oltre all'energia incorporata che è coinvolta a causa della sua presenza con riferimento al l'organismo edilizio come massa predominante di sistema.

Lo spazio liminale nei suoi aspetti morfologici accresciuto nelle sue prestazioni dal GRM aiuta il processo di recupero estendendo la durata delle facciate degli edifici e riducendo i costi di manutenzione a lungo termine [2].

L'analisi dei concetti proposti per la definizione del GRM vuole contribuire all'avanzamento delle applicazioni tecnologiche e delle simulazioni digitali nell'integrazione dei processi per i processi di costruzione Zero Carbon ed elaborando la sostenibilità nell'ambiente costruito attraverso la definizione di molteplici processi per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica [3].

La capacità che il prototipo/modello è chiamato ad esprimere riguardano le prestazioni misurate sull'unità ambientale di riferimento, considerando le relazioni tra l'intorno ambientale e l'organismo edilizio, innovando il sistema ambientale di riferimento attraverso l'utilizzo in Up-Cycling di nuovi materiali da costruzione e dei sistemi integrati adottati.

Il concetto "green", attribuibile allo sviluppo del modello da testare in ambiente sperimentale intende allargare il campo di indagine verso tutti quei sistemi di natura biologica ed ecologica. L'approccio prototipologico abilita la sperimentazione su materiali, componenti e sistemi per l'architettura bioecologica con un alto profilo ambientale e con un carico ambientale prossimo allo zero.

Grazie alla cooptazione funzionale [4] dei componenti, la sperimentazione sul LS aumenta le capacità di configurazione, dei dispositivi che lo caratterizzano come stocicatori di CO<sub>2</sub> e come mitigatore di emissioni di gas climalteranti nell'ambiente.

La successione degli argomenti trattati interpreta adeguatamente le possibili teorie e i metodi per ogni "modello delle transizioni" e si basa sull'adattamento prestazionale delle tecnologie di sequestro del carbonio [5] e sulla mitigazione dei fattori che contribuiscono a ridurre gli effetti del cambiamento climatico [7] ottimizzando l'adattabilità dell'approccio dell'UpCycling nel progetto.

Viene inoltre evidenziato come l'integrazione con i sistemi biologici contribuisca alla protezione dai danni ambientali quali irraggiamento di calore estremo e precipitazioni elevate [6], da cui la necessità di un approccio sistemico-responsivo e di Regenerative Design per lo spazio liminale, secondo i principi del Green Responsive Model.

7.1.2 Definizione di Green Wall e classificazione tecnologica

Con il termine "Green Wall" ci si riferisce strettamente a tutte le superfici murarie vegetate. Nell'ambito della tecnologia dell'architettura la definizione di GW va oltre il rinverdimento dell'involucro edilizio e la copertura delle superfici con la vegetazione. In questo ambito, una parete verde può essere definita come: "Un sistema in cui le piante crescono su una superficie verticale come la facciata di un edificio in modo controllato e con manutenzione regolare" [7]. I termini e le definizioni usate in letteratura per riferirsi a tutti i tipi di pareti verdi [10] si dividono in *Vertical Green Systems (VGS)* e *Living Wall (LW)*.

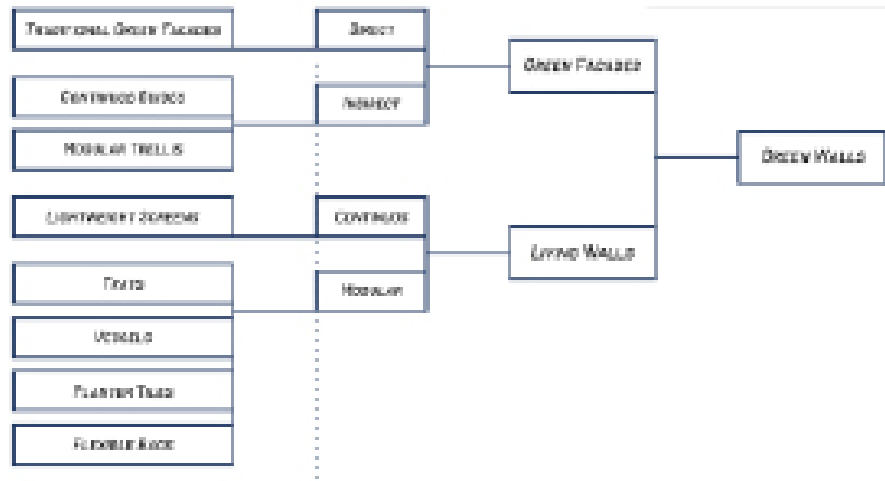


Fig. 1. Sintesi delle definizioni per classificazione dei sistemi di rinverdimento verticale,[7].

*Vertical Green System*

I sistemi per il rinverdimento verticale (VGS) sono disponibili in una varietà di configurazioni che vanno dalle più semplici e basilari alle più complesse e high-tech. Diversi tipi e sistemi di pareti verdi richiedono approcci diversi nella progettazione, installazione e manutenzione [8]. Questi possono essere classificati in due grandi gruppi in base al tipo di vegetazione e alla struttura portante.

I sistemi di inverdimento diretto e indiretto, due tipi di facciate verdi caratterizzati l'utilizzo di piante rampicanti o pensili che crescono lungo il muro sia verso l'alto che verso il basso.



Fig. 2. Grid and Wire-Rope Net Systems, MFO Park Switzerland (<http://commons.wikimedia.org> 2013, <http://christianbarnardblog.blogspot.com> 2013)

*Sistema per l'inverdimento diretto*

Nel sistema di inverdimento diretto le piante vengono direttamente giustapposte sul sistema di chiusura verticale. Il tipo di vegetazione utilizzato in questo sistema tecnologico viene selezionato in base alla loro capacità di attaccarsi direttamente a un muro senza un sistema di struttura aggiuntivo, le radici sono piantate nel terreno o in fioriere che ne consentono il loro sviluppo verticale.

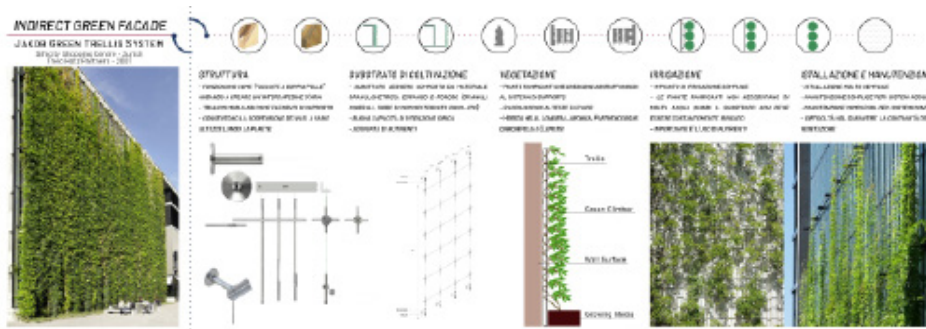


Fig. 3. Sistemi per il rinverdimento verticale diretto. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

*Sistema di inverdimento indiretto*

Non tutte le specie vegetali hanno le capacità richieste per la realizzazione dei sistemi per il rinverdimento diretto, queste necessitano di ulteriori sistemi di struttura portante per poter mantenere la loro posizione e sviluppare la loro crescita lungo il muro. Queste caratteristiche definiscono il sistema di inverdimento indiretto dove lo spazio per il radicamento è collocato nel terreno o in fioriere che possono essere posizionate nella parte inferiore della facciata o a più intervalli lungo l'altezza dell'edificio [9]. Creando un'intercapedine d'aria tra la superficie dell'edificio e la vegetazione, le facciate verdi indirette funzionano come "facciate a doppia pelle". I sistemi di reti di cavi e funi metalliche [23], [10], i sistemi di rete metallica [11] e i sistemi di pannelli modulari a traliccio sono le sottocategorie più utilizzate.

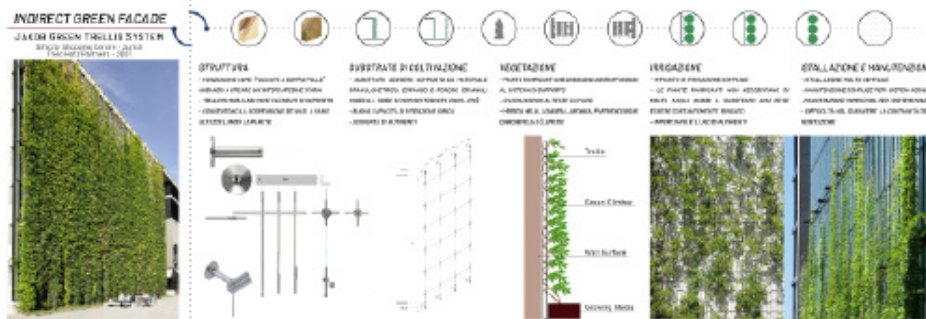


Fig. 4. Sistemi per il rinverdimento verticale indiretto. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

### Living Wall

I Living Walls sono infrastrutture più complesse che richiedono una struttura portante con diverse modalità di fissaggio [12], il loro funzionamento può essere assimilato a quello di un materiale ecocompatibile, questo approccio può rappresentare un’innovazione relativamente recente nel rivestimento delle pareti [13].

A differenza dei sistemi per il rinverdimento verticale, i Living Walls possono sostenere la vegetazione che è radicata in un substrato attaccato al muro stesso, piuttosto che alla base del muro [14]. Un’altra elemento di caratterizzazione può essere individuato nella crescita uniforme lungo la superficie verticale, che va a coprire vaste aree e adattandosi a diverse tipologie edilizie, questo inoltre, consente di integrare una maggiore varietà di specie vegetali [15]. I Living Walls possono essere classificati in due tipologie: sistemi continui e sistemi modulari [16].

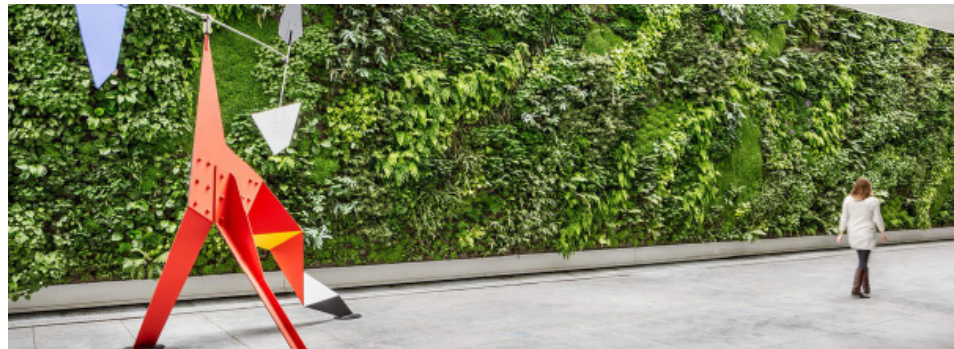


Fig. 5. San Francisco Museum of Modern Art Living Wall, by Habitat Horticulture. Photo © Habitat Horticulture

### Sistema continuo

Patrick Blanc, botanico e paesaggista francese, è considerato l’inventore del sistema di Living Walls continue noto come “giardino verticale” o “muro di stuoie vegetali” [6], [23].

Il sistema è costituito da due strati di tessuto sintetico con tasche riempite con substrati di coltura che accolgono l’apparato radicale [17]

Le pareti in tessuto sono sostenute da una struttura e sostenute da una membrana impermeabile contro la facciata per prevenire le infiltrazioni di umidità nel sistema parete. Nelle stuoie vegetate, i nutrienti e l’acqua vengono portati alle radici attraverso un sistema di irrigazione nella parte superiore del muro [2].

Come con le pareti in materassino vegetale, le pareti sospese con tasche sono costituite da contenitori di tessuto attaccati a schienali rigidi. In questi contenitori, il terreno di semina viene riempito con feltro o plastica [17].

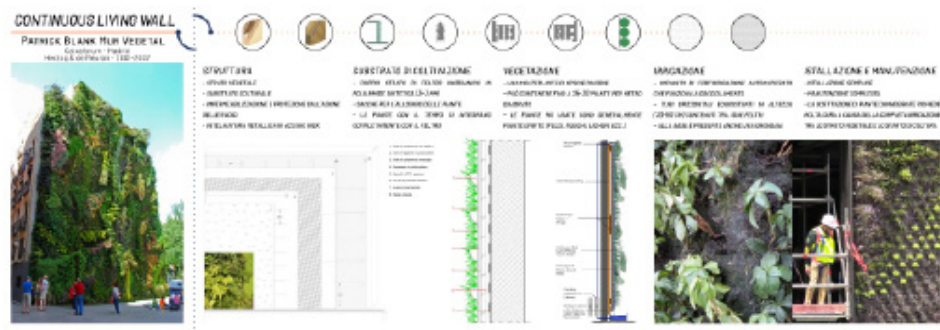


Fig. 6. Sistemi per il rinverdimento verticale Continuous Wall. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C. Nava, correlatore D. Lucanto, 2021)

### Sistema modulare

I Living Walls modulari vengono differenziati dai sistemi continui per composizione, montaggio e peso. I sistemi modulari sono composti da contenitori che riprendendo la struttura del modulo possono assumere la forma di: vasi, vassoi, sacchetti flessibili, fioriere in piastrelle, gabbie in filo metallico, scatole con cornice, fioriere piene con fori pretagliati o pannelli. In alcuni casi, i contenitori sono suddivisi in celle singole più piccole e posizionati perpendicolarmente o ad angolo rispetto alla parete di fondo. Potrebbero anche essere costituiti da una serie di abbeveratoi o mini-fioriere orizzontali impilate verticalmente [18]. Questi contenitori contengono i terreni di coltura per supportare il materiale vegetale. Di solito sono pre-vegetate fornendo un effetto istantaneo dopo l'installazione. Questo sistema richiede un'irrigazione e una fertilizzazione regolari a diversi livelli lungo il muro utilizzando la gravità per distribuire l'acqua.

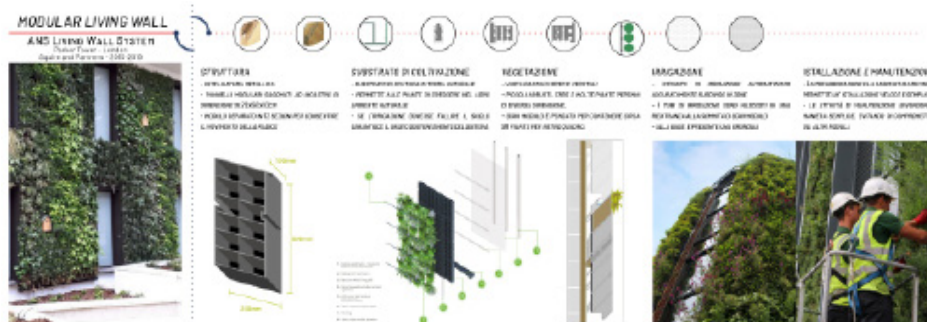


Fig. 7. Sistemi per il rinverdimento Continuous Wall. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

### 7.1.3 Configurazione dei componenti nel sistema tecnologico di Green Wall

Negli ultimi anni l'innovazione tecnologica delle pareti verdi ha riguardato principalmente la progettazione dei loro elementi (elementi portanti, substrati di coltura, vegetazione, irrigazione, drenaggio) al fine di ottenere soluzioni tecniche più efficienti e migliori prestazioni in tutte le fasi della costruzione.

Con l'evoluzione dei sistemi di pareti verdi, vengono presi in considerazione più tipi di edifici (come spazi commerciali e grattacieli), metodi di costruzione (muri nuovi o esistenti) e superfici [9].

#### Elementi di supporto

Le facciate verdi quando sono giustapposte all'edificio creano un'intercapedine d'aria tra la superficie dell'edificio e la vegetazione. Le strutture di supporto impediscono la caduta della vegetazione.

I sistemi modulari o continui ancorano e sostengono la vegetazione, aumentando la resistenza del sistema ai fattori ambientali (es. vento, pioggia, neve).

Le facciate verdi indirette possono essere sostenute da cavi, fili o tralicci in acciaio inossidabile o acciaio zincato [19]. Per piante rampicanti con fogliame denso si possono utilizzare strutture in acciaio e cavi di trazione.

Per le piante a crescita lenta, griglie e reti metalliche hanno intervalli più piccoli.

Alcuni sistemi indiretti di facciata verde, per lo più quelle che utilizzano i sistemi a tralicci modulari, includono vasi riempiti con substrato e singole strutture di supporto, consentendo agli elementi di essere sospesi lungo il muro.

I living wall prevedono come strumento di sostegno del sistema una cornice e un supporto per le piante. Il sistema di Living Wall continuo, si compone di un telaio fissato alla parete, formando un vuoto tra il sistema e la superficie.

Il pannello di base è tenuto in posizione da questo telaio. I livelli sono supportati dal pannello di base. Alla base sono fissati con punti metallici strati di schermi permeabili, flessibili e a prova di radici. Viene quindi creata una tasca sullo strato esterno dello schermo per

l'introduzione dell'apparato vegetativo (vedi Fig. 7).

LWS modulare può assumere diverse forme (ad es. vassoio, vasi, fioriere o borse flessibili) che richiedono una struttura diversa.

I moduli sono in genere realizzati con materiali leggeri, tra cui plastica (come polipropilene o polietilene) e lamiere (come alluminio, acciaio zincato e acciaio inossidabile). I lati di ogni modulo sono interbloccati per garantire la continuità del sistema.

#### *Supporti per l'apparato radicale*

Le facciate modulari richiedono substrati di coltura leggeri per accogliere ogni elemento sospeso e adattato alle specie vegetali e alle condizioni ambientali selezionate.

Le LWS continue idroponiche richiedono un apporto costante di acqua e sostanze nutritive a causa della loro mancanza di substrato. La coltura idroponica utilizza schermi costantemente inumiditi da un sistema di irrigazione per coltivare piante senza terreno. La mancanza di terreno è compensata dall'acqua di irrigazione che fornisce nutrienti per la crescita delle piante.

È comune che le LWS modulari siano riempite con un terreno di coltura composto da composti organici e inorganici [20], [21], o includano uno strato di substrato inorganico, solitamente schiuma, per ridurre il peso. È comune includere un substrato di coltura basato su una miscela di substrato leggero e materiale granuloso, espanso o poroso (ad esempio, granuli minerali con particelle medio-fine, fibre di cocco o tessuto riciclato) per garantire una buona ritenzione idrica [22]. I nutrienti per la crescita delle piante possono essere aggiunti al substrato (ad es. miscele di fertilizzanti organici e inorganici, chelati metallici, minerali, nutrienti e ormoni per le piante). Diversi LWS modulari indicano che i substrati di coltivazione dovrebbero essere inseriti in sacchi di geotessile per prevenire il distacco. Ci sono due opzioni per questi sacchetti: possono occupare l'intero modulo e consentire l'inserimento di più piante, oppure possono coprire il substrato di coltura di ciascuna pianta singolarmente. Una copertura frontale può essere inclusa su ciascuna pianta per evitare che i substrati di coltura cadano.

#### *Vegetazione*

A seconda delle condizioni climatiche, delle caratteristiche costruttive e delle condizioni ambientali verrà scelta la vegetazione adeguata. La longevità della vegetazione è una preoccupazione nei sistemi analizzati.

L'inverdimento verticale con piante rampicanti è economico. Le specie vegetali possono avere fogliame sempreverde o deciduo. Le piante decidue perdono le foglie durante l'autunno, conferendo all'anno un forte cambiamento visivo. Le radici delle piante rampicanti si attaccano a una superficie verticale per sostenersi, tuttavia, le piante rampicanti possono anche essere sostenute da strutture [23] dove possono sostenersi (ad es. ). In Germania e Francia erano tradizionalmente usati per rivestire le pareti esterne di piccoli edifici. Le pergole nei climi estivi caldi erano comunemente ombreggiate con viti [24]. Inoltre, le piante rampicanti hanno un raggio di crescita limitato. Occorrono circa 3-5 anni perché alcune specie raggiungano la copertura completa [25], mentre altre impiegano 10 me altre 25 m. È stato determinato che diverse piante rampicanti, sia perenni (*Hedera helix*, *Lonicera japonica*) che decidue (*Parthenocissus quinquefolia*, *Clematis* sp), si sviluppano in modo diverso a seconda della densità del fogliame dopo un anno.

Il sistema di pareti viventi consente nuovi concetti estetici di pareti verdi basati sull'esplorazione di motivi, variazioni di colore, trama, forme e densità del fogliame, vitalità e crescita. Le pareti verdi sono ora in grado di integrare arbusti, erbe e piante perenni purché siano soddisfatte le loro esigenze di irrigazione e nutrienti. Con i sistemi idroponici, puoi coltivare un'ampia varietà di piante: semi, talee e piante coltivate. Per un'adeguata crescita delle piante, la vegetazione viene selezionata in base all'effetto estetico desiderato [20]. Secondo le intenzioni artistiche di un determinato edificio, è importante analizzare lo sviluppo della pianta, il colore, la fioritura, il fogliame e la composizione complessiva della pianta (come l'inquadratura nel contesto urbano, la pubblicità di un'attività o la distinzione di uno spazio interno o di un edificio) .

La vegetazione deve, tuttavia, avere basse esigenze di irrigazione (es. piante autoctone), adattarsi alle condizioni locali di esposizione (es. vento, precipitazioni, caldo, siccità e gelo) per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità.

Alcuni LWS modulari utilizzano tappeti succulenti invece di piante perenni e arbusti nelle pareti verdi. L'uso di piante resistenti alla siccità come le piante grasse riduce le esigenze di irrigazione. Inoltre, queste specie vegetali richiedono poca manutenzione e contribuiscono a ridurre il peso del sistema. Nelle piccole pareti, i tappeti succulenti possono sembrare superfici pianeggianti con vegetazione. Incorporando piante perenni e arbusti in paesaggi più ampi, è possibile creare paesaggi ornamentali grazie alla loro varietà di colori e trame. Inoltre, alcuni arbusti possono essere applicati anche su superfici inclinate (es. *Juniperus chinensis*, *Juniperus conferta*, *Euonymus Fortunei*, *Cotoneaster*, *Cotoneaster Horizontal*, *Vitex rotundifolia*).

Nelle città senza terreno agricolo, i muri verdi hanno un potenziale particolare per l'agricoltura urbana, riducendo l'impatto ambientale della produzione e distribuzione di cibo [26]. Verdure ed erbe aromatiche possono essere integrate nelle pareti verdi come fioriere o vasi, aumentando le potenzialità funzionali del sistema stesso.

#### *Drenaggio*

Il drenaggio dei liquidi in eccesso nelle pareti verdi avviene per gravità.

Con LWS continuo e modulare, i geotessili favoriscono il drenaggio lungo la membrana permeabile prevenendo la crescita delle radici.

Utilizzando le vaschette modulari, è possibile migliorare il drenaggio e riutilizzare l'acqua in eccesso sovrapponendo moduli e materiali. I sistemi modulari possono avere fondi concavi, inclinati, perforati o porosi o assorbenti per un migliore drenaggio [27]. Il fondo del modulo può anche essere riempito con un materiale filtrante [28] (es. sabbia inoculata o altro mezzo per purificare l'acqua piovana e rimuovere i metalli pesanti) o con un riempitivo inerte [65] che favorisca il drenaggio e lo sviluppo delle radici (es. argilla, ardesia espansa, ghiaia). I lati e le facce posteriori dei moduli dei sistemi modulari sono talvolta progettati con scanalature o fori per una migliore aerazione e rimuovere l'umidità in eccesso.

#### *Irrigazione*

Le esigenze irrigue dipendono dal tipo di impianto, dalle piante utilizzate e dalle condizioni climatiche.

L'acqua è necessaria per nutrire le piante che crescono su facciate modulari e LWS. Nutrienti, fertilizzanti, minerali, fosfati, amminoacidi o materiali idroponici possono essere aggiunti all'acqua di irrigazione per migliorare la crescita della vegetazione.

Nella parte superiore dell'LWS, un tubo di irrigazione continuo fornisce acqua. Nella LWS continua, i sistemi di irrigazione sono fissati alla sommità della struttura. Lo schermo permeabile di LWS continuo distribuisce l'acqua e le sostanze nutritive in modo uniforme.

Nella parte superiore di alcune LWS modulari è prevista una rientranza sotto forma di vassoi. I fori per l'irrigazione a gravità sono inclusi nella rientranza dei vassoi [9], [10], [16].

Nei vassoi, i fori di drenaggio consentono all'acqua in eccesso di irrigare i moduli.

Sono disponibili diversi materiali per i tubi di irrigazione (ad es. gomma, plastica, tubi termoplastici, silicone).

## 7.2 Sistemi Tecnologici Naturali: Innovazione radicale nell'utilizzo di miceli

L'utilizzo di meccanismi naturali per programmare la materia in modo bottom-up è emerso negli ultimi anni come risultato della convergenza di strumenti biotecnologici e di progettazione. Un'alternativa alle schiume sintetiche viene sviluppata utilizzando la rete fibrosa del micelio.

Le condizioni di incubazione, i metodi di fabbricazione e la composizione del materiale nell'attuale ricerca sui materiali a base di micelio sono da considerarsi di frontiera, le implicazioni delle proprietà dei materiali e della tecnologia progettuale sono oggetto di discussione per l'architettura e il design e vengono influenzati da diversi campi scientifici affini (Biologia, Chimica, Scienze dei Materiali, Ingegneria Chimica).

Se si considera il trasferimento nei processi che includono l'Architettura Ibrida come uscita sperimentale, i risultati mostrano una chiara correlazione tra funghi, substrato, proprietà dello stampo e condizioni di incubazione sulle caratteristiche finali del materiale, tra cui densità, assorbimento d'acqua e resistenza alla compressione.

La parte vegetativa dei funghi saprofiti è composta da una rete di filamenti fibrosi (ife) intrecciati, microscopici, a forma di tubo. I funghi saprofiti si nutrono di materia organica morta e sono quindi decompositori cruciali negli ecosistemi [29]. La loro capacità unica di decomporre strutture molecolari complesse è stata utilizzata per il biorisanamento ambientale dei rifiuti agricoli e un'ampia varietà di composti chimici, inclusi coloranti tessili [30], terapeutici [31], esplosivi, e altri inquinanti. Una recente revisione discute l'utilizzo dei funghi per scopi industriali e mostra che, sebbene i materiali di origine fungina siano ampiamente utilizzati nei prodotti industriali, il loro potenziale biotecnologico è sottovalutato [32] (Hyde et al., 2019).

L'incubazione del micelio fungino con i rifiuti vegetali produce materiali porosi biodegradabili che possono sostituire differenti materiali nell'industria dell'architettura e del Design. Il micelio fungino colonizza gradualmente il substrato mentre decompone la materia vegetale, fungendo da fibra e materiale legante (Fig. 8). Dopo l'essiccazione, questo complesso forma un biocomposito poroso (Fig. 9). Poiché il micelio cresce rapidamente, richiede un'irrigazione limitata, consuma e utilizza rifiuti vegetali e ha proprietà meccaniche ed estetiche uniche, la sua integrazione nelle catene del valore industriali può fornire una soluzione essenziale per migliorare i cicli di vita dei prodotti.

Fig. 8. Mycelium  
Structure of the  
hyphae. [https://www.  
microscopemaster.com/  
mycelium.html](https://www.microscopemaster.com/mycelium.html)



Fig. 9. Insight Mycelium,  
Critical Concrete.  
[https://criticalconcrete.  
com/insights-mycelium/](https://criticalconcrete.com/insights-mycelium/)



Nell'ultimo decennio, c'è stato un aumento del numero di aziende e brevetti relativi ai materiali del micelio [33]. Ecovative Design LLC ([www.ecovatedesign.com](http://www.ecovatedesign.com)) è un'azienda leader in questo campo. I materiali a base di micelio vengono sviluppati principalmente per essere utilizzati come prodotti di imballaggio protettivo e materiali isolanti per sostituire i tradizionali materiali a base di polistirene, che è l'obiettivo principale della ricerca [34]. Va notato che MycoWorks Inc. ([www.mycoworks.com](http://www.mycoworks.com)) è un'altra azienda che sta esplorando i compositi di micelio. È stata fondata da Philip Ross e ricercatori associati [35] che sono state condotte alcune delle prime esplorazioni di mattoni a base di micelio.

Attualmente, l'azienda si concentra sulla produzione di sostituti della pelle a base di micelio, secondo il suo sito web. Un'altra azienda leader che esplora il potenziale industriale dei compositi a base di micelio è MyCoPlast, recentemente riorganizzata come Mogu (<https://www.mogu.bio/>), che sta sviluppando alternative sostenibili per applicazioni di interior design e product design, attualmente con un focus sui pavimenti e piastrelle acustiche. Sono state stabilite numerose partnership accademiche e commerciali tra l'azienda e i suoi partner.

Il micelio è la base per le prime strutture architettoniche documentate basate sul micelio e i primi padiglioni erano formati da mattoni di micelio modellati in stampi di plastica di forma rettangolare basati su una forma elementare. Nel corso del 2014, Ecovative ha prodotto mattoni di micelio per il progetto HiFi di The Living (Fig. 11) (<http://www.thelivingnewyork.com/>), la più grande struttura architettonica composta da micelio fino ad oggi, esposta al MoMA PS1 di New York City. I mattoni di micelio sono stati utilizzati per rivestire la struttura interna del padiglione, che consiste in una struttura metallica. Lo stesso anno, Ross ha introdotto una piccola struttura contenente mattoni vivi di micelio chiamata Mycotectural Alpha, una struttura che ha colonizzato continuamente il substrato per tutta la mostra, fondendo i mattoni insieme senza adesivo e fornendo anche un'opportunità per la raccolta di funghi freschi come un risultato della rete del micelio.



Fig. 10. Hy-Fi, The Organic Mushroom-Brick Tower Opens At MoMA's PS1 Courtyard, 2014. <https://www.inexhibit.com/it/case-studies/new-york-hy-fi-installazione-al-moma-ps1/>

Ci sono stati numerosi progetti architettonici recenti tra cui Rahman, Arredia e il padiglione Kerela di Yassin, in cui la miscela di micelio e substrato è stratificata su una struttura in legno a forma di poligono senza sembrare colonizzarla o servire a qualsiasi scopo strutturale. Nel padiglione della Biennale di Seul 2017 di Dirk E. Hebel e Philippe Block, come parte del progetto vengono utilizzati mattoni di micelio di forma personalizzata con geometrie più complicate. I moduli sono uniti tra loro da falegnameria in legno, risultando in una struttura autoportante a forma di albero che utilizza parte delle capacità strutturali del micelio per creare una struttura autoportante a forma di albero.



Fig. 11. MycoTree at The 2017 Seoul Biennale of Architecture and Urbanism. <https://mycl.bio/news/article/myco-tree-2017-seoul-biennale-architecture-and-urbanism>

#### *Applicazioni tecnologiche nella produzione additiva*

C'è stata una rapida crescita nell'uso della produzione additiva (AM) come metodo per la produzione di prodotti tridimensionali mediante deposizione graduale strato per strato di materiali nell'ultimo decennio. C'è una crescente necessità di utilizzare questa tecnologia, che è direttamente collegata ai suoi vantaggi come forma di prototipazione rapida in grado di produrre parti geometricamente complesse senza aggiungere costi aggiuntivi [36], il che contribuisce alla sua crescente popolarità. Per questo motivo, la tecnologia è stata sviluppata in un modo che ha consentito l'uso di un'ampia gamma di materiali in un'ampia gamma di settori, come quello automobilistico, aerospaziale, edile, medico e alimentare e molti altri.

A seconda del tipo di processo e dello stato del materiale, AM può essere suddiviso in diverse categorie. Esistono vari tipi di processi di produzione additiva, inclusi processi a base liquida, a base solida, a base di polvere e a base di gas [37], oltre a nuove sottocategorie che si sono sviluppate come risultato della combinazione di due o più differenti tipi, come la stampa 3D a base di liquame.

Nel caso di materiali a base di micelio, l'applicazione della produzione additiva si riferisce alla creazione di materiali compositi a base di micelio che combinano substrati lignocellulosici con l'inoculazione di un ceppo fungino durante o dopo il processo di produzione. Le varie applicazioni dell'AM ai materiali a base di micelio rappresentano estensioni degli attuali progressi nella biostampa a causa dei loro processi unici e dei nuovi sviluppi. Nell'ingegneria dei tessuti e nella medicina rigenerativa, questa tecnica è utilizzata principalmente per fabbricare microrganismi viventi, scaffold e la trasformazione di materiali in tessuti viventi complessi senza l'uso di organismi viventi [38]. Sebbene la differenziazione tra gli attuali approcci di AM sia alquanto flessibile, gli approcci AM utilizzati con materiali a base di micelio possono essere in gran parte classificati in tre aree principali di indagine: deposizione del nucleo del substrato; scaffold a base di filamenti; e bio-inchiostri.

### LDM Mycelium Printing

Questa metodologia di fabbricazione può essere associata alla LDM, una tecnica di stampa 3D in cui un materiale pastoso viene depositato strato per strato. La maggior parte delle sperimentazioni presenti in letteratura utilizza questa metodologia per sviluppare una pasta estrudibile in materiale lignocellulosico per la fabbricazione di una struttura di ponteggio. Il processo di deposizione è solitamente seguito dall'inoculazione dell'impalcatura del nucleo del substrato con un ceppo fungino selezionato.

Questi approcci spesso si traducono in strutture simili a vasi su piccola scala, come si vede nel lavoro di Fraunhofer UMSICHT [39]. Nel caso della sperimentazione sviluppata presso l'IAAC di Barcellona [40], l'uso dell'argilla come substrato principale ha caratterizzato il processo di produzione additiva. La struttura reticolare risultante è stata stampata e progettata per essere l'ideale per il processo di post-inoculazione.



Fig. 12. Mycelium 3D printer process. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127520305931>

### FDM Mycelium Printing

Questo approccio di fabbricazione è un'estensione delle stampanti FDM (fused deposition modeling) ampiamente disponibili, che sfruttano la ricerca di filamenti specifici che contengono nutrienti sufficienti per migliorare il legame interfacciale del micelio. Il filamento viene prima stampato e successivamente inoculato con il ceppo fungino desiderato. Queste opportunità sono arrivate con la commercializzazione dei primi filamenti di legno sul mercato, come Laywoo-D3 o Growlay [41].

A causa della loro composizione e capacità di assorbire acqua, questi filamenti possono servire come mezzo per la crescita delle piante, o in questo caso, dei funghi. Le indagini su questa applicazione sono per lo più accademiche e sottolineano il ruolo degli scaffold stampati in 3D.

Notevoli esperimenti in quest'area provengono dalla ricerca di dottorato di Nicole Alima [42] sui bio-scaffold, e dal tavolo Myco Mensa sviluppato da Richard Beckett [43]. Queste sperimentazioni sono caratterizzate utilizzando strumenti di progettazione generativa e meno sulla definizione delle proprietà e delle prestazioni dei materiali.



Fig. 13. Kay Parthy Growlay Filament. <https://www.3ders.org/articles/20180702-kai-parthy-launches-new-bio-degradable-growlay-3d-printing-filament-for-indoor-farming.html>

### 7.3 Sistemi tecnologici responsivi

#### 7.2.1 Costruzione della domanda prestazionale orientata alla responsività del LS

L'innovazione radicale che si intende perseguire nella sperimentazione progettuale per la definizione della risposta prestazionale e configurativa per l'UpCycling del Liminal Space, trasferisce nel sistema tecnologico, progettato in ambito urbano, importanti livelli di ibridazione tra configurazione tecnologiche complesse e sistemi di simulazione predittiva strategica, anticipando nella struttura la metodologia utilizzata per la lettura critica posta nella Prototipologia 3.

Con riferimento al modello definito nell'ADP l'obiettivo della sperimentazione stringe il campo di indagine alla realizzazione di edifici complessi ad elevate prestazioni energetico-ambientali [44].

Il comportamento dinamico nella nuova configurazione del sistema "Liminal Space", attiene alla separazione e all'integrazione delle prestazioni attese dal sistema "involucro" e "pelle", è riferito agli output della sperimentazione progettuale, mirando all'innovazione di prodotto e alla progettazione avanzata di sistemi di involucro responsivo, che nella loro configurazione fisica e digitale, prevedono la realizzazione di sistemi tecnologici reattivi con un forte profilo bioclimatico, trasferibili nelle tre componenti del LS: suolo, copertura, facciata e pelle (Fig. 13) [45].

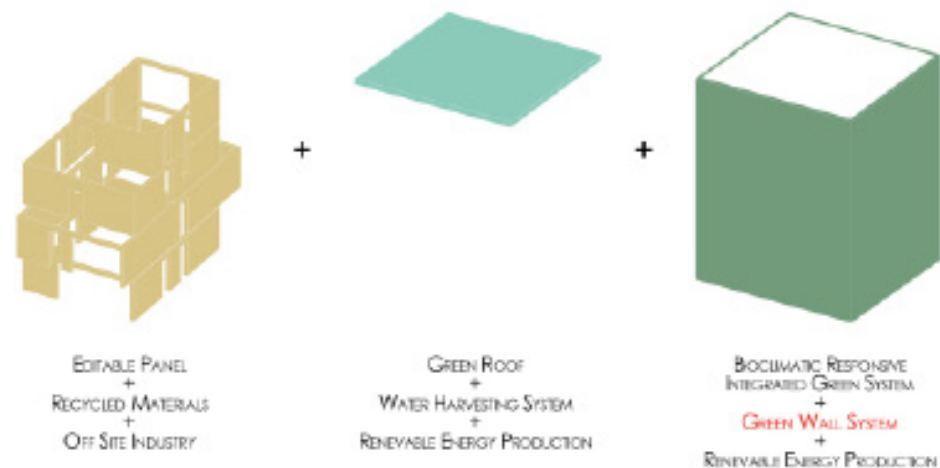


Fig.14 .Concept per'elaborazione dei re componenti del LS, suolo, copertura, facciata e pelle. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

Nella configurazione proposta in ambito progettuale l'architettura "reattiva" degli edifici, infatti, ha accelerato la ricerca di materiali avanzati e componenti integrati. L'indagine teorica riferita al campo disciplinare scientifico ha fatto riferimento alla valutazione analitica delle prestazioni energetico-ambientali e della durabilità, ha prodotto modelli e programmi, come sistemi a supporto della progetto [46].

Il progetto della risposta prestazionale dei sistemi tecnologici rappresenta il primo livello in cui l'Advanced Circular Design esprime un forte contenuto di innovazione, trasferito nella formulazione dei paradigmi, nell'utilizzo delle tecnologie abilitanti per la costruibilità dei sistemi costruttivi in Off-Site, per gli edifici ibridi (Fig. 14). La configurazione progettuale si è evoluta in sistemi ancora più avanzati in cui la sostenibilità ambientale, la circolarità delle risorse e l'avanzamento dei sistemi costruttivi industrializzati genera, nel complesso intreccio delle relazioni, dei veri e propri "dispositivi sensibili", al fine di migliorare le prestazioni energetico-ambientali, la sicurezza e anche migliori condizioni di gestione e utilizzo del sistema così integrato. Quando si tratta di preparare il sistema tecnologico alla prototipazione, quindi alla configurazione prototipologica, la capacità di offrire una risposta sistemica in fase di progettazione è abilitata dagli strumenti capaci di tradurre l'efficacia delle soluzioni ed innovare il sistema di produzione circolare, attraverso la dimensione emergente di questi dispositivi e di tutti i modelli che mostrano soluzioni innovative e intelligenti.

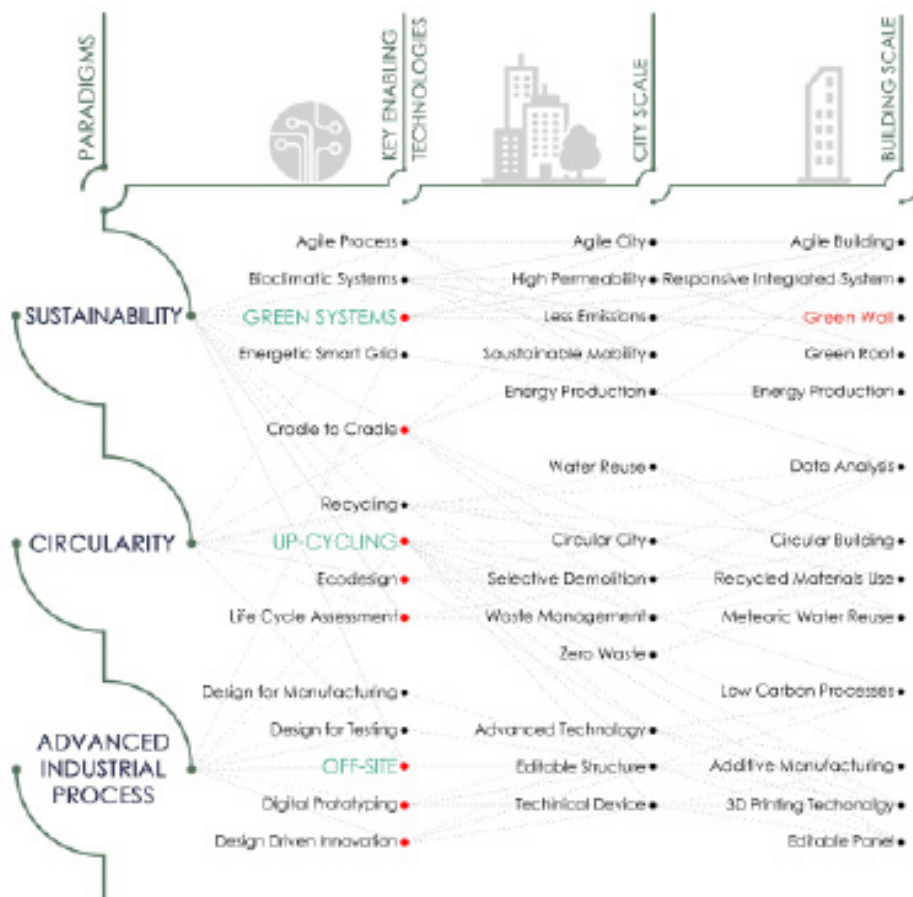


Fig. 15. Schema per l'utilizzo delle Tecnologie Abilitanti per la costruibilità dei sistemi costruttivi in Off-Site, per gli edifici ibridi. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

La traduzione reale dei modelli digitali che seguono l'approccio, fin qui discusso nella ricerca dottorale, creano una dimensione che supera la capacità degli strumenti di prototipazione per rispondere nei risultati alla simulazione predittiva, producendo vere estensioni "cibernetiche" con tale evidenza [47].

"Non si tratta di discutere di quanto "la tecnologia sia in grado di mostrare i muscoli", semmai in un contesto fisico particolarmente vulnerabile e fragile, si tratta di prendere in prestito le caratteristiche essenziali della tecnologia cibernetica, come il calcolo automatico e l'automazione, il autoregolamentazione e comunicazione avanzata a sistemi di processi dedicati e controllati, al fine di salvaguardare l'ambiente e migliorare la qualità della vita delle comunità, seguendo e individuando l'innovazione dei settori che producono beni e servizi trasformando naturale e artificiale ecosistemi." In termini strumentali, quando un tale processo incide sull'upcycling di prodotti con la trasformazione di scarti materiali e scarti in materie prime per altri prodotti, lo scenario si attua con l'acquisizione in azienda di tecnologie più performanti sui temi della "End of life", riciclo e upcycle, con miglioramenti significativi nei processi innescati per la filiera del riciclo; con integrazione con macchinari esistenti e per tutte le tecnologie "additive" per la pre-prototipazione tipica da ecodesign (KETs, advanced manufacturing for Industry 4.0)" [48].

La progettazione dei sistemi tecnologici responsivi configurati all'interno del Liminal Space come sistemi di frontiera multifunzionali in grado di adattarsi a requisiti prestazionali e condizioni al contorno mutevoli nel tempo possono essere descritti come involucri edilizi rispondenti ad un progetto rigenerativo, seconda una classificazione generica che però permette di descrivere la loro capacità di modificare le proprie caratteristiche e comportamenti in un dato contesto [49].

Lo studio da effettuare per indagare sulle condizioni sistemiche possono relative al contesto più articolarsi in:

- (1) analisi delle condizioni ambientali. Graficizzazione delle temperature medie nell'arco annuale, studio della velocità del vento, dell'umidità relativa e della copertura nuvolosa totale, sempre riferita all'arco annuale (Fig. 16);
- (2) analisi delle sollecitazioni. Questo tipo di analisi prevede la graficizzazione delle sollecitazioni relative alla radiazione solare percepita in superficie, e all'incidenza ed alla direzione media dei venti, senza considerare gli ostacoli (Fig. 17).

Fig. 16. Graficizzazione delle temperature medie nell'arco annuale, studio della velocità del vento, dell'umidità relativa e della copertura nuvolosa totale, sempre riferita all'arco annuale. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

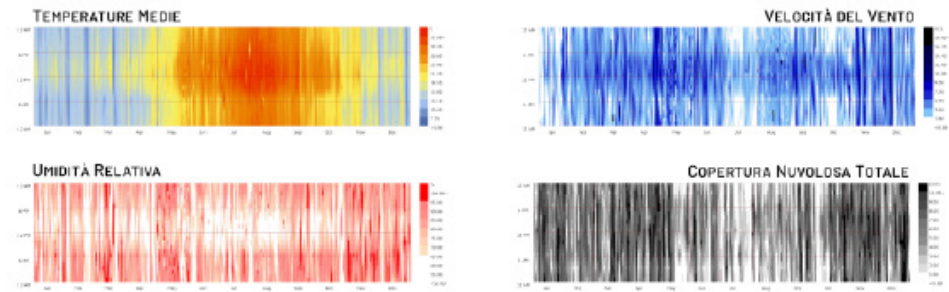
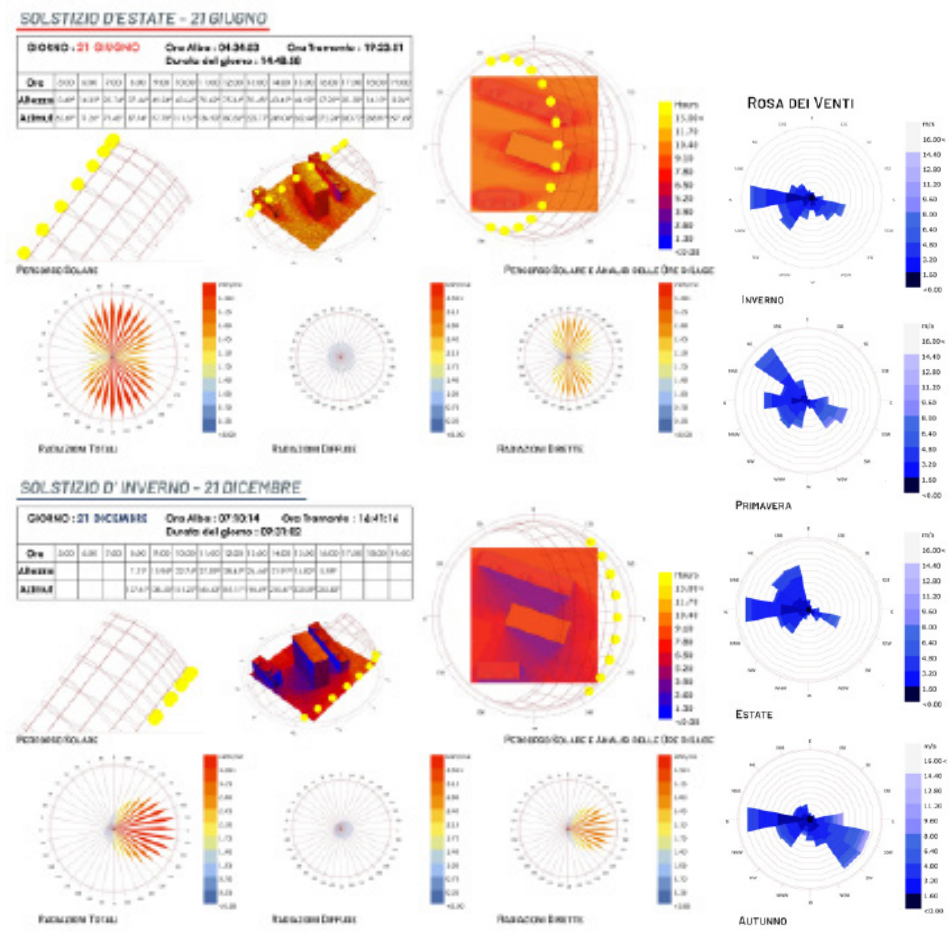


Fig. 17. Graficizzazione delle sollecitazioni relative alla radiazione solare percepita in superficie, e all'incidenza ed alla direzione media dei venti. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)



7.2.2 La progettazione iterata dei profili energetico-ambientali nella configurazione responsiva

La prestazione fisica quale risultato per le operazioni di iterazione dei profili energetico-ambientali nel funzionamento responsivo del sistema di frontiera all'interno del Liminal Space si fonda sui dati leggibili dalle corrispondenti relazioni fisico-tecniche, dalle quali si ricava la configurazione a catalogo in grado di trasferire il portato teorico definito dagli indici prestazionali in parametri di controllo per la progettazione rigenerativa del sistema di frontiera [50].

I parametri di controllo diventano così la regola che guiderà questi cambiamenti nella configurazione prestazionale del sistema progettato, permettendo la definizione degli indici prestazionali nella configurazione fisica del sistema che si intende sperimentare.

La reattività delle singole soluzioni di facciata è determinata dai parametri di base, ma la sua connettività crea un'efficace soluzione globale ai problemi ambientali.

La sistematizzazione dei dati diretti si pone così come la base analitica per l'approfondimento e la progettazione avanzata dei sistemi tecnologici.

La base teorica prevede la schematizzazione delle caratteristiche che influenzano i flussi di calore solare, questi infatti nella configurazione a catalogo guideranno il cambiamento di temperatura, provocando un cambiamento nella configurazione fisica della facciata.

**DIRECT DATA**

DATA	FACCIATA	ORE DI LUCE DIRETTA	RADIAZIONI SOLARI DIRETTE	RADIAZIONI SOLARI DIFFUSE	RADIAZIONI SOLARI TOTALI	VENTO
SOLSITIZIO D'ESTATE 21 GIUGNO	SUD - EST	10 ORE	2,40 kWh/m <sup>2</sup>	1,05 kWh/m <sup>2</sup>	3,50 kWh/m <sup>2</sup>	2 km/h
	SUD - OVEST	8 ORE	2,80 kWh/m <sup>2</sup>	1,40 kWh/m <sup>2</sup>	3,50 kWh/m <sup>2</sup>	10 km/h
	NORD - OVEST	8 ORE	1,75 kWh/m <sup>2</sup>	1,40 kWh/m <sup>2</sup>	3,15 kWh/m <sup>2</sup>	35 km/h
	NORD - EST	10 ORE	1,75 kWh/m <sup>2</sup>	1,05 kWh/m <sup>2</sup>	2,80 kWh/m <sup>2</sup>	5 km/h
	COPERTURA	16 ORE	5,85 kWh/m <sup>2</sup>	1,90 kWh/m <sup>2</sup>	7,80 kWh/m <sup>2</sup>	
EQUINOZIO D'AUTUNNO 22 SETTEMBRE	SUD - EST	8 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	1,00 kWh/m <sup>2</sup>	1,20 kWh/m <sup>2</sup>	2 km/h
	SUD - OVEST	6 ORE	0,20 kWh/m <sup>2</sup>	0,80 kWh/m <sup>2</sup>	1,10 kWh/m <sup>2</sup>	10 km/h
	NORD - OVEST	6 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	0,80 kWh/m <sup>2</sup>	1,00 kWh/m <sup>2</sup>	15 km/h
	NORD - EST	8 ORE	0,20 kWh/m <sup>2</sup>	0,80 kWh/m <sup>2</sup>	1,00 kWh/m <sup>2</sup>	25 km/h
	COPERTURA	13 ORE	3,80 kWh/m <sup>2</sup>	1,50 kWh/m <sup>2</sup>	5,30 kWh/m <sup>2</sup>	
SOLSITIZIO D'INVERNO 21 DICEMBRE	SUD - EST	6 ORE	3,15 kWh/m <sup>2</sup>	0,35 kWh/m <sup>2</sup>	3,15 kWh/m <sup>2</sup>	12 km/h
	SUD - OVEST	4 ORE	2,10 kWh/m <sup>2</sup>	0,70 kWh/m <sup>2</sup>	2,80 kWh/m <sup>2</sup>	2 km/h
	NORD - OVEST	4 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	0,70 kWh/m <sup>2</sup>	0,70 kWh/m <sup>2</sup>	10 km/h
	NORD - EST	8 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	0,30 kWh/m <sup>2</sup>	0,70 kWh/m <sup>2</sup>	12 km/h
	COPERTURA	9 ORE	1,05 kWh/m <sup>2</sup>	0,85 kWh/m <sup>2</sup>	1,90 kWh/m <sup>2</sup>	
EQUINOZIO DI PRIMAVERA 20 MARZO	SUD - EST	8 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	1,35 kWh/m <sup>2</sup>	1,35 kWh/m <sup>2</sup>	3 km/h
	SUD - OVEST	6 ORE	0,20 kWh/m <sup>2</sup>	1,50 kWh/m <sup>2</sup>	1,50 kWh/m <sup>2</sup>	5 km/h
	NORD - OVEST	6 ORE	0,15 kWh/m <sup>2</sup>	1,35 kWh/m <sup>2</sup>	1,20 kWh/m <sup>2</sup>	15 km/h
	NORD - EST	8 ORE	0,20 kWh/m <sup>2</sup>	1,05 kWh/m <sup>2</sup>	0,90 kWh/m <sup>2</sup>	25 km/h
	COPERTURA	13 ORE	1,60 kWh/m <sup>2</sup>	2,50 kWh/m <sup>2</sup>	4,10 kWh/m <sup>2</sup>	

Fig. 18. Schematizzazione dei fattori endogeni che ne influenzano il funzionamento adiabatico. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

Quest'ultimo approccio tiene conto delle condizioni ambientali in continua evoluzione o dei fattori endogeni che ne influenzano il funzionamento adiabatico (Direct data) (Fig. 18). Le prestazioni di un sistema che si basa sulle interazioni fisiche, deve considerare le azioni sinergiche con più di una sollecitazione, portando infine a un comportamento emergente all'interno di un sistema che è più della somma delle sue parti.

Grasshopper, con il plug-in Ladybug, è stato quindi utilizzato per l'analisi sul primo modello generico. Si consideri la base del modello come capace di creare un progetto qualitativo passando da domini (o aspetti di progettazione) diversi all'interno di un processo di progettazione. Tuttavia, il primo modello di Grasshopper forma un processo più lineare, in cui ogni passaggio è codificato continuamente all'interno dello stesso modello [51].

La suddivisione della tabella per l'analisi delle sollecitazioni dirette è suddivisa in righe considerando i periodi di maggiore sollecitazione (equinozi e solstizi), in colonna sono presenti le variazioni riferite all'orientamento della superficie studiata.

Le ore di Luce diretta unitamente alla Radiazione diretta, danno un'importante descrizione di come il funzionamento della parte sollecitata viene sottoposto a stress climatici, l'indice di radiazione diffusa unito alla velocità del vento (la velocità del vento influenza ogni tipo di prestazione), descrivono le sollecitazioni che influenzano il comfort ambientali nelle immediate vicinanze della parte studiata, riferiscono quindi sulle prestazioni del LS.

Dopo aver creato il primo modello prestazionale con l'analisi delle sollecitazioni dirette, ne è stato creato un secondo che valuta i fattori che esercitano un'azione indiretta (Indirect Data) sia sulle condizioni di comfort sia sulle prestazioni del sistema oggetto di indagine (Fig. 19).

Utilizzando questo modello, diversi domini di progettazione potrebbero essere differenziati più facilmente. Il secondo modello, tuttavia, si basa su un'immagine gradiente, quindi i parametri di input sono individuati tramite le variazioni che questo subisce.

Fig. 19. Graficizzazione delle sollecitazioni relative all'azione indiretta (Indirect Data) sia sulle condizioni di comfort sia sulle prestazioni del sistema oggetto di indagine. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C. Nava, correlatore D. Lucanto, 2021)

### INDIRECT DATA

STAGIONE	MESE	VARIAZIONE DI TEMPERATURA	PRECIPITAZIONI	PRESSIONE DEL VAPORE ACQUEO	VELOCITA' DEL VENTO	UMIDITA' RELATIVA
INVERNO	GENNAIO	6° - 15°	35 MM - 125 MM	980 PA	8 KM/H - 35 KM/H	67%
INVERNO	FEBBRAIO	5° - 15°	30 MM - 125 MM	1014 PA	8 KM/H - 35 KM/H	66%
INV / PRI	MARZO	9° - 17°	25 MM - 120 MM	1052 PA	7 KM/H - 34 KM/H	66%
PRIMAVERA	APRILE	11° - 20°	20 MM - 75 MM	1257 PA	5 KM/H - 32 KM/H	65%
PRIMAVERA	MAGGIO	14° - 24°	10 MM - 55 MM	1496 PA	5 KM/H - 30 KM/H	61%
PRI / EST	GIUGNO	18° - 28°	0 MM - 30 MM	1985 PA	5 KM/H - 27 KM/H	58%
ESTATE	LUGLIO	22° - 30°	0 MM - 30 MM	2108 PA	5 KM/H - 25 KM/H	55%
ESTATE	AGOSTO	22° - 32°	0 MM - 55 MM	2145 PA	5 KM/H - 24 KM/H	57%
EST / AUT	SETTEMBRE	19° - 28°	15 MM - 60 MM	2100 PA	5 KM/H - 26 KM/H	62%
AUTUNNO	OTTOBRE	15° - 24°	25 MM - 125 MM	1662 PA	5 KM/H - 30 KM/H	68%
AUTUNNO	NOVEMBRE	12° - 20°	30 MM - 135 MM	1377 PA	7 KM/H - 34 KM/H	69%
AUT / INV	DICEMBRE	9° - 17°	40 MM - 135 MM	1085 PA	8 KM/H - 35 KM/H	67%

Questo sistema di approccio rende possibile razionalizzare e semplificare la complessità del processo di progettazione, costruibile con i dati climatici in entrata ad alta densità riflettendo su ciascun modello prestazionale al fine di identificarne i punti di forza e di debolezza, e stabilire dei range all'interno dei quali misurare le prestazioni utili.

Così strutturato, il processo di costruzione della domanda prestazionale all'interno del processo di progettazione parametrica per il GRS richiede la comprensione dei vantaggi della computazione quando si affrontano problemi ben strutturati e dei loro svantaggi quando si affrontano problemi mal strutturati [37]. Affinché all'interno della progettazione e dello sviluppo dello stesso strumento parametrico, il codice/programma parametrico possa avere una valenza di linguaggi che supportano la programmazione orientata agli oggetti (OOP), un oggetto può essere visto come una struttura che contiene sia dati che procedure (informazioni) e algoritmi. La comprensione di queste procedure consentirà al progettista di riflettere sui dati di input e output, rendendo possibile un processo cooperativo e iterativo di tentativi ed errori tra l'atto computazionale e quello progettuale.

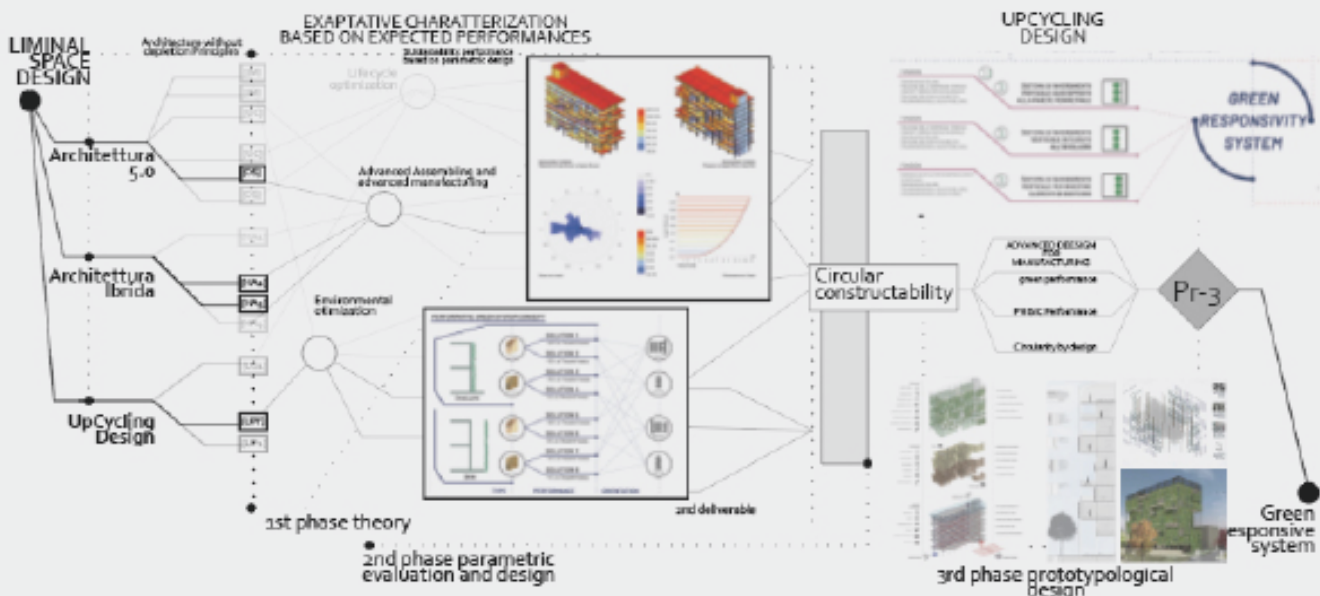
## Progetto dell'involucro di un edificio ibrido

Parte della sperimentazione condotta attraverso la correlazione della tesi "Advanced Sustainable Design e Prototipazione di sistemi Green di Frontiera. Sperimentazione per il nuovo edificio residenziale nel quartiere Ferrovieri in periferia Sud a Reggio Calabria"

Atelier di tesi: "Territori fragili: ambiente, rischio e cambiamenti climatici. Edifici agili in città circolari e resilienti."

Studente: Roberta Raso  
 Tutore: Prof.ssa Consuelo Nava  
 Co-tutor: Prof. Martino Milardi  
 Tutor PMopenlab: Arch. Domenico Lucanto, Arch. Andrea Procopio

Fig. 20. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato declinato sulla Prototipologia 3 concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo. D. Lucanto, PhD Research 2022.



### 7.3 Advanced Design Process per la costruzione dell'involucro di un edificio ibrido

*L'ibridazione delle soluzioni tecnologiche e delle componenti edilizie è un tema ricorsivo nell'ultimo secolo che non ha però trovato una compiuta e diffusa attuazione capace di innovare i paradigmi del costruire<sup>3</sup>. Su tale scia sono state sviluppate molteplici esperienze più o meno paradigmatiche, configurate però più come suggestioni futuristiche che non come nuovi modelli produttivi<sup>4</sup>. Ci si riferisce ad esempio al gruppo Archigram con il progetto "Plug in city", a Kisho Kurokawa e all'approccio progettuale basato sulla Filosofia della simbiosi alla base della Capsule Tower o alle più concrete ricerche sull'ibridazione in architettura e sulle tecnologie appropriate di Giorgio Ceragioli [53].*

La definizione della struttura costruttiva e impiantistica costituente l'involucro dell'edificio ibrido esaminato e descritto nella sua parte prototipologica, esplicita le specifiche tecniche di interfaccia e tipologiche dell'impianto progettuale.

Il sistema prototipologico degli obiettivi tecnologici identifica nell'edificio ibrido:

- i componenti con degli indici prestazionali definiti a catalogo e le relative specifiche tecniche prestazionali alla base delle successive attività di progettazione tecnologica [54];
- la configurazione sperimentale valutando l'efficienza e la competitività prestazionale del modello nel ciclo di vita [55].

Il confronto viene fatto basandosi sui principi della progettazione rigenerativa tra prestazioni attese dall'impianto generale, e prestazioni raggiunte con l'adeguamento tecnologico dei componenti a catalogo inseriti in un sistema costruttivo avanzato.

La verifica della disponibilità di una base di dati ambientali rilevati in ambiente parametrico e di letteratura sufficientemente affidabili ha tuttavia evidenziato significativi limiti nei dati diretti relativi a prestazioni attese simulate e prestazioni ottenute in fase di progettazione, sia per la specificità dei materiali utilizzati o in programma rispetto alle esigenze locali, sia per la natura sperimentale della metodologia parametrica di raccolta dei dati.

Ne consegue la necessità di adottare per il trasferimento delle metodologie di ADP delle stime parametriche che risponda alla domanda prestazionale ad esso riferita (cfr. Cap. 7.2.2), restituendo un progetto verificabile attraverso la valutazione reiterata dei modelli prestazionali (cfr. Cap 7.2.3) dell'oggetto della sperimentazione di tesi basato sulla performance ambientale rispetto al modello progettuale definitivo.

L'interazione con gli apparati bioricettivi, attribuibili alla configurazione Green del sistema svolge un ruolo positivo nell'innovazione dei modelli considerati, innovando la logica di sistema responsivo all'interno del sistema tecnologico.

L'integrazione di organismi semplici di base organica, come miceli, muscoli e/o apparati vegetativi a sé stanti nel sistema tecnologico di frontiera, può creare collettivamente ambienti efficienti ed efficaci senza il coinvolgimento di un cervello centrale attraverso un'attenta calibrazione governata da diverse soglie. Quando il Liminal Space si fonda su questo modello, questo diventa in grado di ottenere risultati efficaci pur utilizzando una minima quantità di energia.

### 7.3.1 Costruzione del metodo sul progetto

Sulla base dei risultati nella costruzione dei profili energetico-ambientali nella configurazione responsiva del progetto di tesi, si introducono le caratteristiche morfologiche e la capacità ricettiva delle radiazioni solari sul caso dell'edificio scelto, progetto di una ricerca di tesi di laurea in Architettura.

La disponibilità delle risorse solari è stata simulata utilizzando i plug-in in Grasshopper di Ladybug. Gli strumenti di modellazione 3D di Rhino sono integrati con l'editor di algoritmi grafici di Grasshopper. Come descritto nella parte relativa ai tools, il plug-in è un modellatore parametrico collegato a un software di rendering 3D, è stato utilizzato nel campo della modellazione virtuale.

La modellazione parametrica si riferisce alla generazione di elementi di progetto basati su parametri. Pertanto, specifici set di regole generati da algoritmi controllano la generazione e la variazione degli elementi all'interno di un progetto.

Sulla base dei diversi modelli convalidati EnergyPlus [55], Ladybug esegue simulazioni energetiche basate sulla geometria generata in Rhinoceros, Grasshopper e il file ClimatePlus Weather (EPW) della posizione target (Fig. 21).

Non appena gli edifici e i loro dintorni urbani sono stati modellati in 3D, i parametri di input e i dati necessari per simulare l'irraggiamento solare sono stati modellati sui profili climatici di Reggio Calabria considerando il file EPW climatico, il periodo di analisi (anno intero), riferito ad un vettore per la direzione nord reale e la dimensione media di celle a griglia per analizzare la radiazione sulle superfici di prova (tetti e facciate separatamente). La radiazione è stata misurata in kWh/m<sup>2</sup>/anno che ha raggiunto la geometria di prova rappresentata da una maglia colorata.

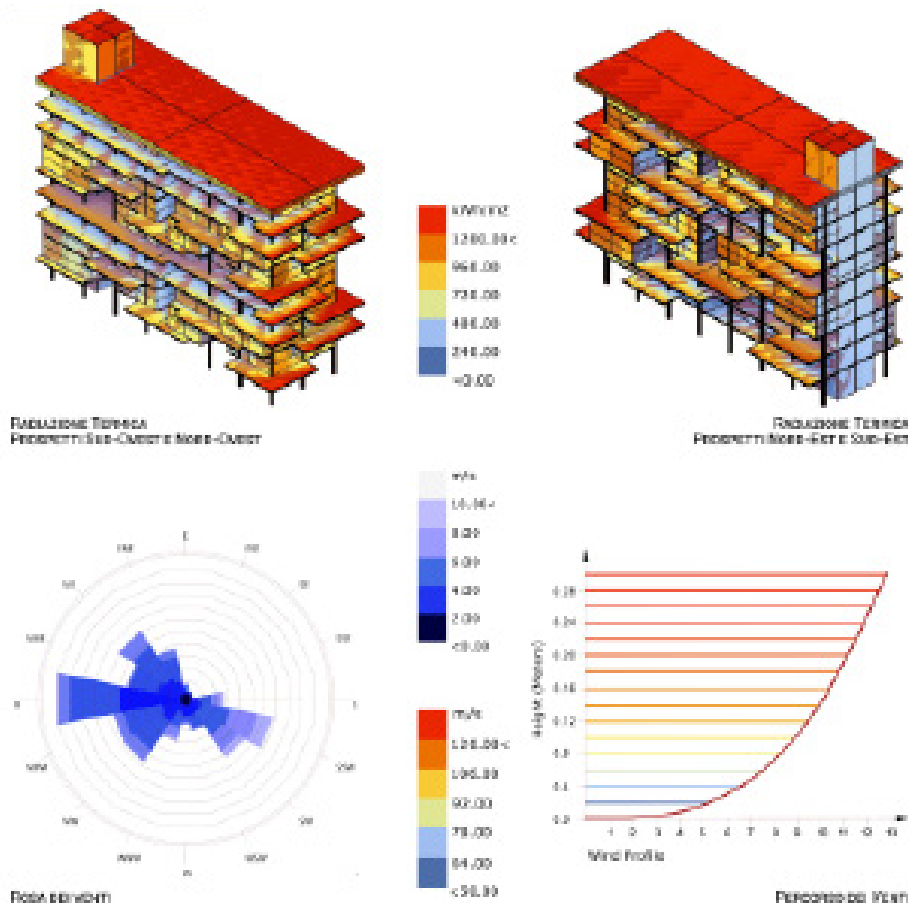


Fig. 21. Restituzione grafica delle simulazioni energetiche basate sulla geometria generata in Rhinoceros, Grasshopper e il file ClimatePlus Weather (EPW) della posizione target. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

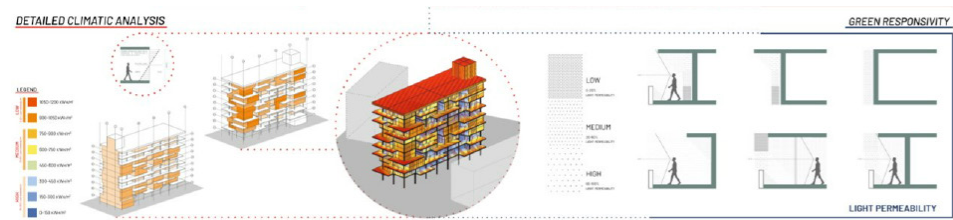
Advanced Design Process per la costruzione dell'involucro di un edificio ibrido

Il risultato delle analisi è stato inizialmente utilizzato per formulare il diagramma applicato all'edificio dell'irraggiamento globale per determinare le aree della copertura e della facciata più adatte per l'integrazione di pannelli bioricettivi, che favoriscono la proliferazione di elementi vegetativi.

La radiazione globale massima annuale a Reggio Calabria è di 1.926 kWh/m<sup>2</sup> per un orientamento nord e un angolo di inclinazione di 24° (Fig. 22). Ci sono 1.062 kWh/m<sup>2</sup> di facciate nord libere e 1.051 kWh/m<sup>2</sup> di facciate est/ovest libere.

Di conseguenza, l'intero quadrante nord presenta una combinazione inclinazione/azimut per un utilizzo ottimale dell'irradiazione - inclinazioni comprese tra 0° e 53°. La latitudine locale (15,7°S) consente di accettare anche l'azimut sud per le applicazioni su copertura.

Fig. 22. Diagramma applicato all'edificio dell'irraggiamento globale (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)



L'esposizione diretta e il livello di permeabilità della facciata (Fig. 23) sono stati i criteri principali per la scelta dei moduli. Per le coperture sono stati simulati solo moduli standard.

L'estetica della proposta, tuttavia, ha avuto molto a che fare con il design della facciata, motivo per cui sono stati testati sia i moduli personalizzati che quelli standard. Il vantaggio dei moduli personalizzati è che, oltre al loro valore estetico, possono essere personalizzati nelle loro dimensioni, rivestendo una facciata con una superficie maggiore, aumentando potenzialmente l'apporto di luce diurna. La figura presenta le caratteristiche per la definizione dei parametri, declinando le prestazioni riferite all'orientamento delle facciate (Fig. 21), dando indicazioni a catalogo rispetto alle prestazioni fisico tecniche, alla funzione tecnologica (Skin, ENvelope), ai livelli di permeabilità e alla configurazione dei dispositivi di irraggiamento, predisponendo un sistema vegetativo, e la sua relativa conformazione tecnologica, coerentemente con i livelli di irraggiamento percepiti.

Fig. 23. Graficizzazione dei prestazioni riferite all'orientamento delle facciate. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

PARAMETER DEFINITION								
ORIENTATION	THERMAL RADIATION	MODULES	SOLUTIONS	FACADE SOLUTIONS	LIGHT PERMEABILITY	SHADING DESIGN	DECORATIVE PLANT	HYDROPONICS PANEL
SOUTH - EAST	150-300 kWh/m <sup>2</sup>	1A0C2AB0DAGTAS	SOLUTION 5-7	Skin	HIGH	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	YES
	300-450 kWh/m <sup>2</sup>	0D2C2BC44E5EE84BC78C8BCD	SOLUTION 5-7	Skin	HIGH	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	YES
	450-600 kWh/m <sup>2</sup>	0D2C3C4C5D8C8B8CDD	SOLUTION 5-7	Skin	MEDIUM	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	YES
	600-750 kWh/m <sup>2</sup>	1AB0AAE5D79C88D0	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	MEDIUM	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
	750-900 kWh/m <sup>2</sup>	6A2E78E5AD7ABD8A	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	MEDIUM	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
	900-1050 kWh/m <sup>2</sup>	2D38A8D7A08A	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	LOW	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
1050-1200 kWh/m <sup>2</sup>	4B407D	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	LOW	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO	
SOUTH - WEST	300-450 kWh/m <sup>2</sup>	0E2D3F4F5C8E7F78E7	SOLUTION 5-7	Skin	HIGH	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	YES
	450-600 kWh/m <sup>2</sup>	0E2D3F4F5C8E7F7E7	SOLUTION 5-7	Skin	MEDIUM	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	YES
	600-750 kWh/m <sup>2</sup>	0E2D3F4F5C8E7F7D7	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	MEDIUM	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
	750-900 kWh/m <sup>2</sup>	1F2F3C4D7F7E8E	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	LOW	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
	900-1050 kWh/m <sup>2</sup>	1F2F3C4D7F7E8D	SOLUTION 1-3	ENVELOPE	LOW	HORIZONTAL	⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
NORTH - WEST	150-300 kWh/m <sup>2</sup>	2D4L40L70HL80HL	SOLUTION 6-8	Skin	HIGH	VERTICAL	Ⓜ ⊕	YES
	300-450 kWh/m <sup>2</sup>	0HL20HL40HL80HL	SOLUTION 6-8	Skin	HIGH	VERTICAL	Ⓜ ⊕	YES
	450-600 kWh/m <sup>2</sup>	0HL2H453HL80HL	SOLUTION 6-8	Skin	MEDIUM	VERTICAL	Ⓜ ⊕	YES
	600-750 kWh/m <sup>2</sup>	0HL20HL60HL80HL	SOLUTION 3-4	ENVELOPE	MEDIUM	VERTICAL	Ⓜ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
	750-900 kWh/m <sup>2</sup>	0H40HL80HL	SOLUTION 3-4	ENVELOPE	MEDIUM	VERTICAL	Ⓜ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕	NO
NORTH - EAST	0-150 kWh/m <sup>2</sup>	0D030H060030H	SOLUTION 3-4	ENVELOPE	HIGH	VERTICAL	Ⓜ ⊕	NO
	150-300 kWh/m <sup>2</sup>	1H2H3H04003H0H700H	SOLUTION 3-4	ENVELOPE	HIGH	VERTICAL	Ⓜ ⊕	NO

### 7.3.2 Configurazione responsiva del sistema di involucro

L'efficienza di conversione dei moduli personalizzati e standard è stata fissata con un range che permette l'aumento delle prestazioni con una riduzione della trasmittanza che varia tra il 4% ed il 20%.

Le soluzioni di facciata messe a sistema (Fig. 24) vengono declinate in base all'efficienza energetica [41] e alla risposta prestazionale [42], quindi applicabili alla prototipologia per tipo e orientamento dopo essere divise in:

- dispositivi di facciata costituenti l'involucro dell'edificio, che quindi assolvono al funzionamento di separazione interno esterno;
- dispositivi di facciata costituenti il rivestimento dell'edificio assolvendo al ruolo di "pelle".

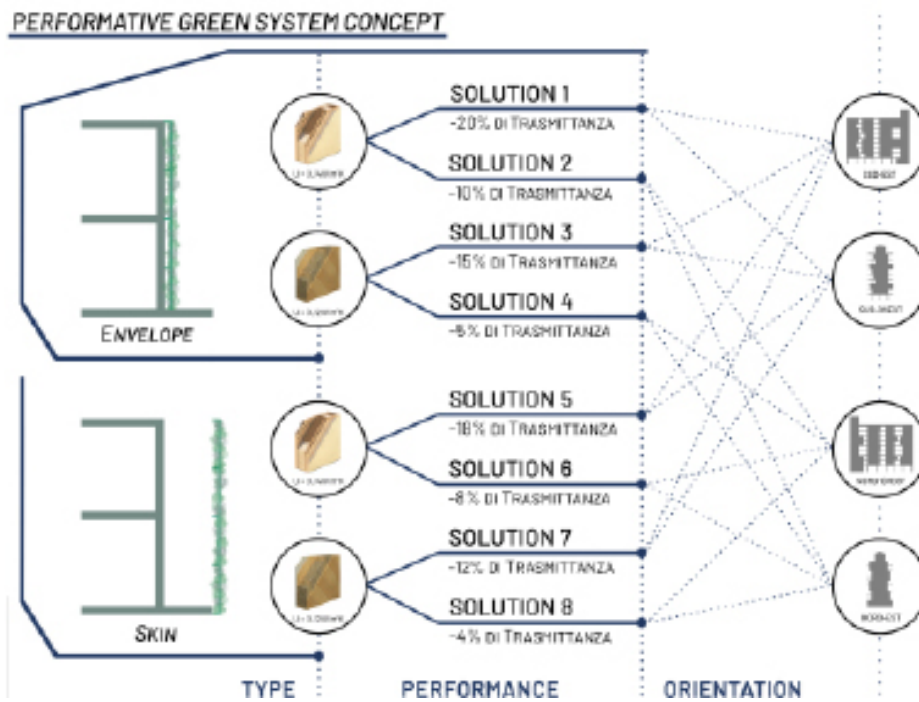


Fig. 24. Restituzione grafica delle soluzioni di facciata messe a sistema. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

Con questi presupposti si passa alla seconda fase della sperimentazione prototipologica, ovvero la configurazione responsiva del sistema di involucro, dopo che nella prima fase sono stati descritti gli aspetti, le condizioni e i criteri di progettazione necessari.

Per sviluppare dei sistemi tecnologici, che pur avendo delle risposte prestazionali differenti, riescano a lavorare insieme "all'economia della prestazione", questa fase si concentra sulla creazione di modelli prestazionali a catalogo, che possono essere visti come casi di studio di componenti tecnologici. La ricerca delle possibilità di utilizzo di un approccio parametrico richiede la comprensione della struttura e del funzionamento di questi modelli.

Utilizzando la ricerca in base alla progettazione come metodologia di base per la creazione di modelli parametrici, questa fase si concentrerà principalmente sulla risposta prestazionale complessiva che il sistema è in grado di offrire.

Particolare rilevanza per la prestazione complessiva e la progettazione integrata dei componenti, viene data alla trattazione della facciata sud-est, che ovviamente subisce le radiazioni più consistenti nell'arco della giornata.

Nel funzionamento di base, sia come pelle che come involucro, i componenti per l'integrazione della vegetazione offrono una risposta proattiva all'economia delle prestazioni. Da questo stimolo ambientale, cambiano le configurazioni prestazionali del sistema di facciata, questa auto-ombreggiatura diminuisce immediatamente la qualità di cambiamento di stratificazione nei componenti sottostanti.

Nei componenti a catalogo (Fig. 25) il cambiamento della stratificazione nella soluzione tecnologica adottata, si verifica solo quando il guadagno di calore solare provoca un cambiamento nella temperatura superficiale, quindi in base all'orientamento, provocando un cambiamento nella risposta prestazionale della facciata. In questo modo, la prestazione adiabatica può essere progettata solo dove è necessario, con riferimento alla sua connettività con il quartiere. Grazie alla precisa integrazione del sistema prestazionale a catalogo e del meccanismo per l'integrazione con la vegetazione, il sistema assume una maggiore flessibilità e, in definitiva, funziona in modo responsivo.

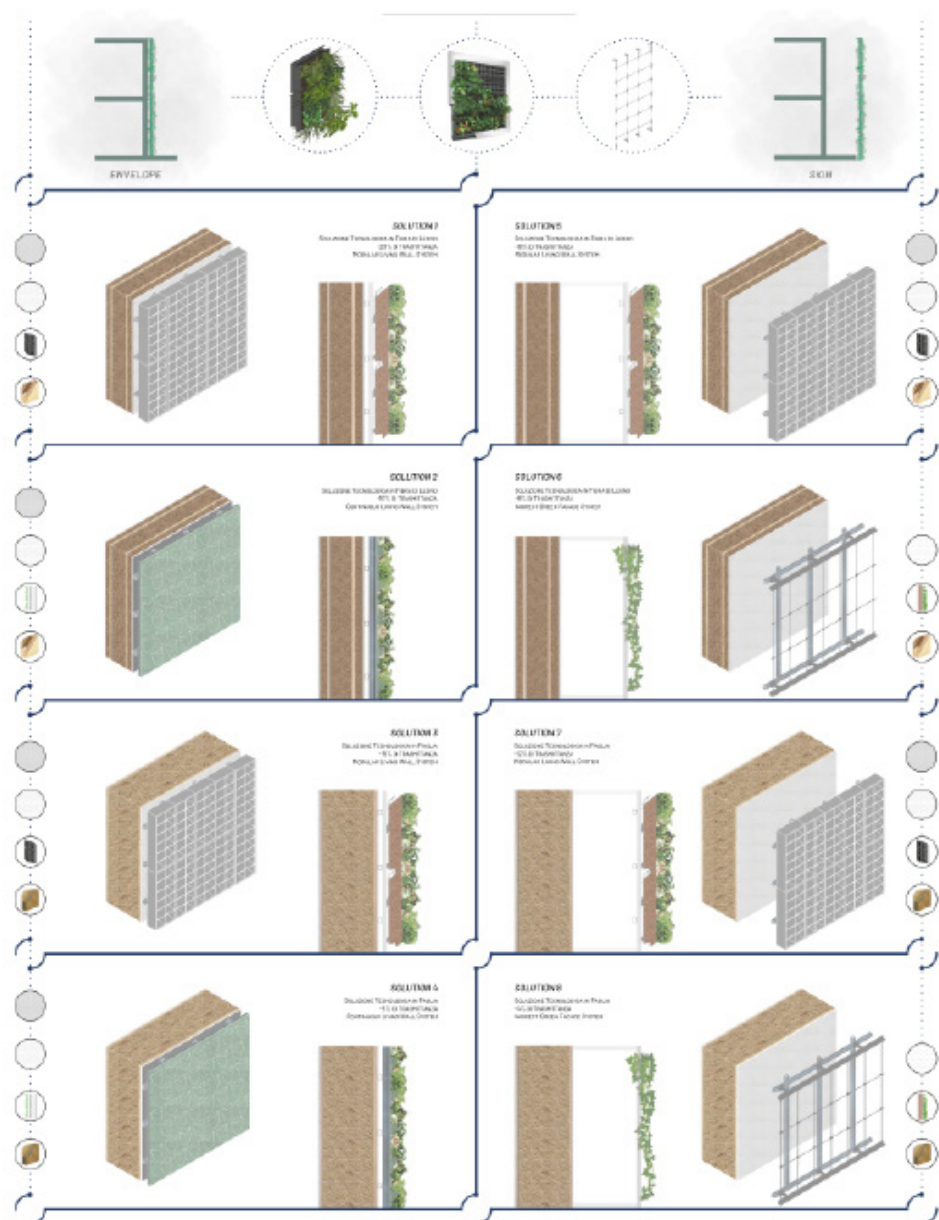


Fig. 25. Catalogo delle configurazioni prestazionali del sistema di facciata. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)



Quest'ultimo approccio può quindi tenere conto delle condizioni ambientali in continua evoluzione e del funzionamento dei componenti in fase d'uso.

Le prestazioni di sistema si basano quindi sulle interazioni dei componenti, che diventano integrate in un modo che comprende più di una risorsa, portando infine a un comportamento responsivo all'interno del sistema progettato, comprendente:

(i) dispositivi e, sistemi adattivi incorporati negli elementi di involucro e di rivestimento della copertura dell'edificio che migliorano le condizioni ambientali attraverso un sistema di involucro verde;

(ii) dispositivi di pelle basati su tecnologie idroponiche, costituenti sistemi decentralizzati ad impatto locale in quanto il meccanismo di flusso di risorse è regolamentato dallo stesso dispositivo;

(iii) dispositivi di ombreggiamento, una sorta di brise-soleil, aventi un sistema di controllo centralizzato o decentralizzato basato sui sistemi di vegetazione che gli consente di adeguarsi fornendo output configurativi diversi.

La definizione geometrica dei dispositivi di schermatura è stata l'unica variabile nell'analisi delle prestazioni di luce diurna di ciascuna opzione di progetto.

Questi dispositivi sono stati generati utilizzando strumenti parametrici con risultati configurativi all'interno di Grasshopper.



Fig. 27. SX: Sezione cielo terra esemplificativa del funzionamento del funzionamento definitivo del componente di involucro progettato. DX Alto: Esploso assometrico. DX Basso: Vision Finale. R. Raso, 2021



Fig. 27. Parametri per la definizione configurativa dei sistemi di ombreggiamento. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)

I quattro parametri utilizzati dal Galapagos Genetic Algorithm™ (GA) per generare le alternative di progettazione per i dispositivi di ombreggiatura sono stati [45]:

1. Seme ad angolo casuale: che definisce l'angolo di inclinazione dei dispositivi di ombreggiatura nel piano XY; variava da +45° a -45° sul piano della facciata lungo i nodi dei dispositivi di schermatura. Ciò è stato ottenuto con un componente generatore di numeri casuali.
2. Profondità del dispositivo di ombreggiamento: da 0,1 m a 1,1 m.
3. Divisioni di facciata: ovvero il numero dei dispositivi di ombreggiamento lungo ciascuna facciata
4. Funzione di divisione: che serviva per regolare la distanza tra ogni dispositivo; variava da larghezze equidistanti a crescenti come definito da una curva di funzione.

Questi quattro parametri (mostrati in Figura 27) sono stati definiti per i dispositivi di ombreggiamento sia sulla facciata est che su quella ovest. Allo stesso modo sono stati generati anche i dispositivi di ombreggiamento dell'atrio per ridurre al minimo il SI sul tetto e sulla facciata sud dell'atrio.

Per la progettazione dei dispositivi di ombreggiamento dell'atrio (Fig. 28), il risolutore evolutivo Galapagos è stato eseguito con una definizione di fitness per ridurre al minimo l'irradiazione solare e la varianza tra i nodi di analisi nelle alternative di progettazione generate. Per la progettazione dei dispositivi di schermatura della facciata, le ottimizzazioni sono state eseguite con una funzione fitness per ridurre al minimo la deviazione standard per un fattore di luce diurna target del 2% e per ridurre al minimo l'irraggiamento solare annuale. La funzione fitness è stata definita come la somma di queste due variabili; ma poiché i valori numerici medi del SI calcolato sui nodi di analisi erano molto grandi rispetto ai valori DF calcolati, sono stati prima moltiplicati per un fattore di peso di 0,01.

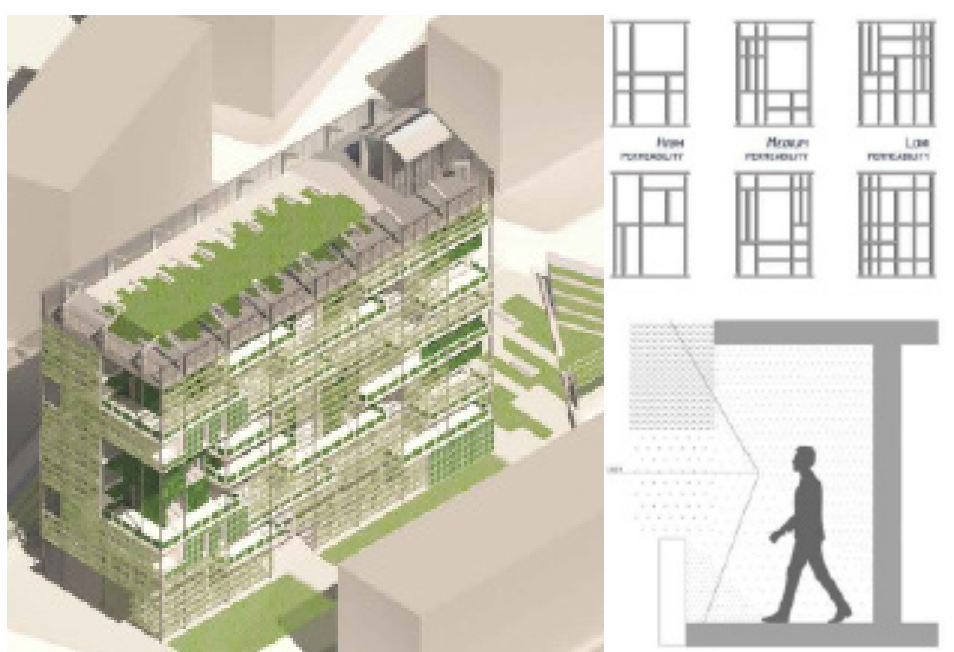


Fig. 28. Schema della permeabilità visiva e predisposizione a catalogo dei sistemi di ombreggiamento. (fonte: elaborazioni per la tesi di R. Raso, relatrice C.Nava, correlatore D.Lucanto, 2021)



## Progetto ecophigital Green System per il Liminal Space in ambito urbano

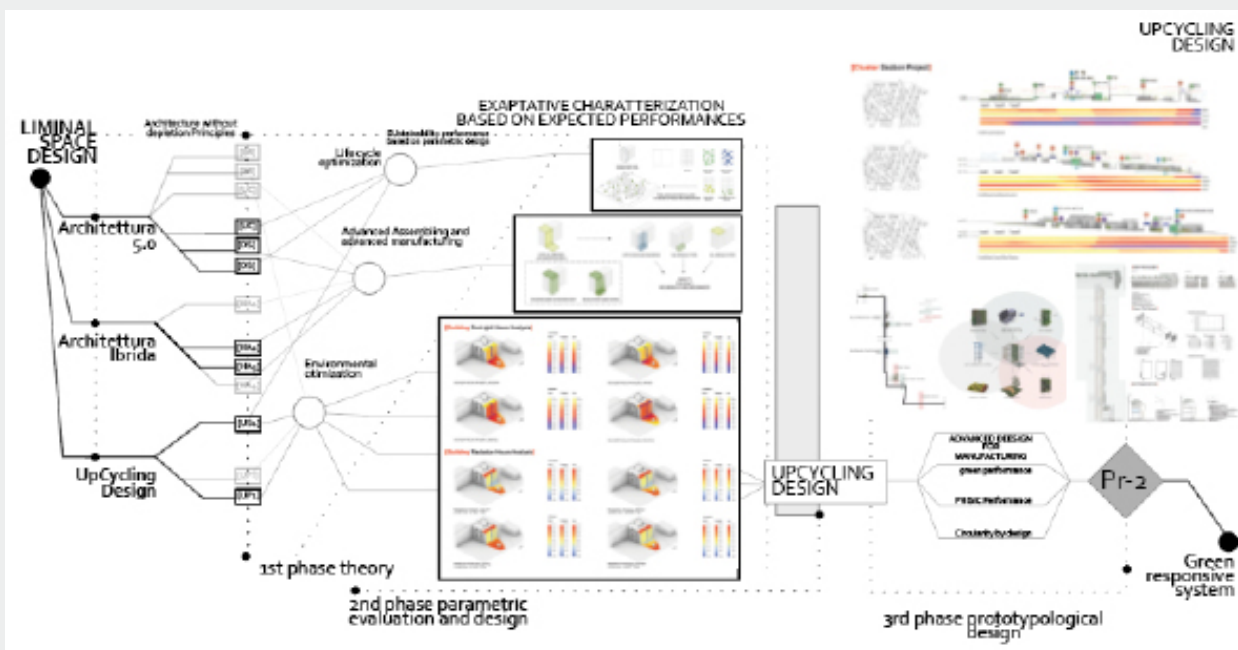
Parte della sperimentazione condotta nel progetto "URGES\_Green Urban Shapes. Qualità, efficienza e benessere di quartiere"

Atelier di tesi: "Territori fragili: ambiente, rischio e cambiamenti climatici. Edifici agili in città circolari e resilienti."

Riferimenti: POR FESR 2014-2020 REGIONE BASILICATA - LINEA A – asse 4 - Riquilificazione degli edifici/ Efficienza Energetica (green e digitale)  
Periodo: 17 novembre 2020 - in corso

Team: Università degli Studi della Basilicata – Dipartimento delle Culture Europee del Mediterraneo (DiCEM) con Agenzia Lucana di Sviluppo ed Innovazione in Agricoltura (ALSIA), Universidad de Sevilla, Departamento de Proyectos Arquitectonicos, University of Ljubljana\_ Faculty of Architecture, Università degli Studi Chieti Pescara – Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria – Dipartimento di Architettura e Territorio, Team ABITAlab: Prof.ssa C. Nava (Responsabile scientifica per la sede di Reggio Calabria), componenti: Arch. G.Mangano (RTdA), Arch. Ing. S.Cascone (RTdA), PMopenlab srls

Fig. 29. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato declinato sulla Prototipologia 4 concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo. (fonte: elaborazione D.Lucanto per phd, 2022).



#### 7.4 Contributo all'interno della ricerca competitiva URGES

Il workshop internazionale si è tenuto dall'8 al 13 maggio 2022 nell'ambito del progetto di ricerca URGES del quale il centro ABITAlab dArTe è partner.

Il laboratorio di progettazione "green" che si è occupato, alla scala urbana ed architettonica, del quartiere-pilota ARCO e di un edificio-pilota ERP di Matera, per cui si è prevista la sperimentazione e la realizzazione di un dimostratore denominato "EcoPhigital Device", ha coinvolto tutti i ricercatori ABITAlab e gli studenti dell'Atelier di tesi, in unico team di lavoro. Il contributo del team ABITAlab dArTe ha riguardato lo studio e la messa in pratica attraverso l'approccio del Regenerative Design, dei fattori di contesto per l'ottimizzazione ambientale ed ecologica delle componenti progettati.

Nel dettaglio lo studio su tre diverse scale Urbana, di Cluster e di Edificio è stato orientato alla stesura di una proposta progettuale che traduca il tema della "green shape" in un dispositivo con un forte carattere innovativo che assuma le caratteristiche e le qualità prestazionali del dimostratore, ad alte prestazioni di tipo energetico-ambientale.

Il dimostratore oggetto della fase progettuale si configura come un sistema per il rinverdimento del Liminal Space.

L'innovazione proposta dal sistema ha riguardato: l'approccio rigenerativo per l'ottimizzazione delle componenti e lo studio della responsività del sistema; l'utilizzo di materiali innovativi in ottica circolare e per l'integrazione bioecologica e la riduzione delle emissioni relative alla fase di produzione; lo studio di sistemi di natura vegetale e sensori per favorire il metabolismo e lo stoccaggio delle emissioni di CO<sub>2</sub>; la configurazione e la progettazione di un sistema integrato di monitoraggio per valutare e validare l'apporto ecologico del sistema progettato in termini di riduzione della presenza nell'aria di CO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e mitigazione dell'effetto isola di calore attraverso il controllo di umidità e temperatura superficiale.



Fig. 30. Partecipanti al lavoro durante il WS internazionale a Matera Laboratorio progettuale URGES, 2022.

#### 7.4.1 Condizioni di contorno ambientale relative al quartiere Arco di Matera

Lo scopo dell'analisi Urbana (Fig. 31) effettuata nell'ambito del quartiere Arco di Matera è di definire le caratteristiche ambientali in ambito digitale per valutare come questi possano supportare la progettazione rigenerativa di distretti urbani di tipo ecologico e circolare [45].

L'importanza degli strumenti digitali viene evidenziata dal processo di Advanced Design sia per collegare i domini prestazionali in modo che si possano ottenere co-benefici dall'approccio interscalare, sia per collegare le scale di progetto in modo che si possa ottenere una prestazione complessiva di alta qualità dal salto di scala.

In sostanza, l'integrazione degli script parametrici viene orientata alla scala urbana allo sviluppo di componenti personalizzati, per affrontare problemi specifici associati alla progettazione rigenerativa, sulla condivisione dei dati tra domini e scale, sulla risoluzione di obiettivi contrastanti, sulla gestione di grandi quantità di dati attraverso tecniche di ottimizzazione e sulla ricerca di soluzioni di progettazione intelligenti utilizzando l'apprendimento automatico [46].

Come risultato del salto di scala, un singolo/multiplo componente edilizio, edificio, spazio, distretto e città viene interconnesso ai servizi ecosistemici (Fig. 32).

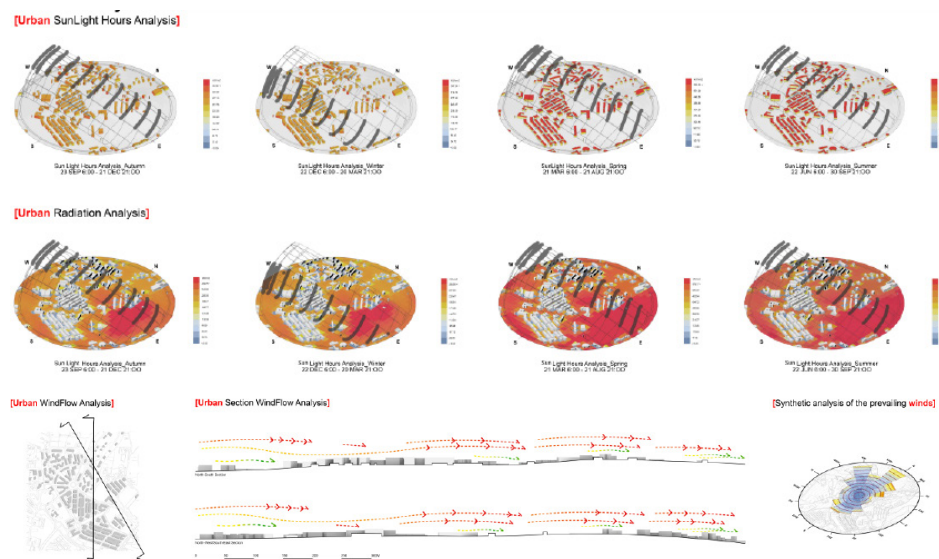


Fig. 31. Analisi rigenerativa urbana al Laboratorio progettuale URGES. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

Fig. 32. Sezioni Ambientali per la definizione delle sollecitazioni ventose al Laboratorio progettuale. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

L'approccio interscalare ha consentito al gruppo di progettazione con un approccio interscalare la strategia progettuale più efficace per raggiungere obiettivi rigenerativi.

Attraverso l'accoppiamento di script specifici del dominio e salti su scala digitale si è in grado di creare connessioni digitali all'interno dell'ecosistema, dell'ambiente costruito e tra gli esseri umani, gli utenti del quartiere per esempio [44].

Ma in questo senso sarà necessario un ulteriore approfondimento alle scale successive, la scala urbana, circoscritta al quartiere Arco, non è in grado di fornire le risposte adeguate a questioni come il cambiamento climatico, la biodiversità e la salute umana.

Gli obiettivi attuali, riferiti alla prototipologia descritta dal dispositivo EcoPhigital intende concentrarsi sulla riduzione degli impatti negativi intermini di riduzione dei livelli di emissioni di CO<sub>2</sub> e puntare a un consumo energetico operativo "neutro". Tuttavia, è sempre più evidente che i quartieri di nuova costruzione e ristrutturazione devono andare oltre la riduzione del loro impatto ambientale per fornire benefici ecologici e sociali positivi. Per questo motivo è necessario sviluppare un approccio integrato che affronti una serie di fattori, comprese le considerazioni ecologiche, la resilienza ai cambiamenti climatici, la circolarità, l'uso rigenerativo dello spazio e il miglioramento della salute.

Gli studi in letteratura chiariscono il ruolo della simulazione nei processi di modellazione ambientale. Il campo di indagine riferito allo stato dell'arte dimostra che sono sufficienti alla progettazione singoli strumenti o suite di strumenti che forniscono i mezzi minimi per modellare i servizi ecosistemici [47].

Rispetto ai livelli prestazionali definiti in fase di progettazione, l'unico limite può essere individuato nel fatto che i plug-in in GH, riescono ad un affrontare un solo vantaggio ecologico per singola iterazione in un determinato momento.

Si può affermare che gli strumenti di simulazione esistenti sono stati sviluppati per affrontare un problema ambientale isolato. Un progetto che riguarda la riduzione del consumo di energia e delle emissioni operative e incorporate; il miglioramento del comfort termico interno e del comfort visivo; i flussi di modellazione all'interno e intorno agli edifici come acqua ed aria e restituirli in un processo avanzato dove superare questi aspetti [44]. Esistono anche altri strumenti progettati specificamente per modellare il comfort termico esterno e i modelli di inquinamento atmosferico. Se queste scale fossero separate o raggruppate solo per l'analisi e la simulazione di domini esterni o interni, sembrerebbe indicare che sono correlate alla prestazione energetica dell'edificio o del distretto.

La modellazione della strategia progettuali per il LS nelle sezioni di prospetto (Fig.33) richiede strumenti di ampia portata che possano confrontare le soluzioni tecnologiche adottate sulla scala del Cluster, con i livelli di comfort percepiti dall'utente, per risolvere i problemi convenzionali riscontrati fin'ora in ambito urbano, e risolvibili nell'ambito della tecnologia dell'architettura, nonché quelli che rispondono a una serie di obiettivi prestazionali, compresi quelli relativi alle prestazioni fisico-tecniche e alle prestazioni ecologiche di ecosistema. Nell'ambito dei sistemi rigenerativi, è necessario combinare modelli di una o più variabili dell'ecosistema (clima locale, cicli idrici locali, modelli comportamentali di altre specie, modelli naturali di crescita della vegetazione).

Una simulazione parametrica consente l'integrazione dei domini di simulazione e la personalizzazione delle problematiche ambientali. I vantaggi collaterali e il salto di scala sono due concetti aggiuntivi che possono essere utilizzati per spiegare meglio questo approccio. L'ambiente parametrico ci consente di affrontare più problemi ecologici contemporaneamente. È importante integrare i vari problemi ambientali in modo olistico. La simulazione energetica, l'illuminazione diurna e i calcoli dell'energia incorporata sono in genere inclusi in questi strumenti. Per collegare l'interno con l'esterno, edifici, quartieri e città devono essere correlati nel loro insieme, ciò che è tradotto per esempio dall'UHI.

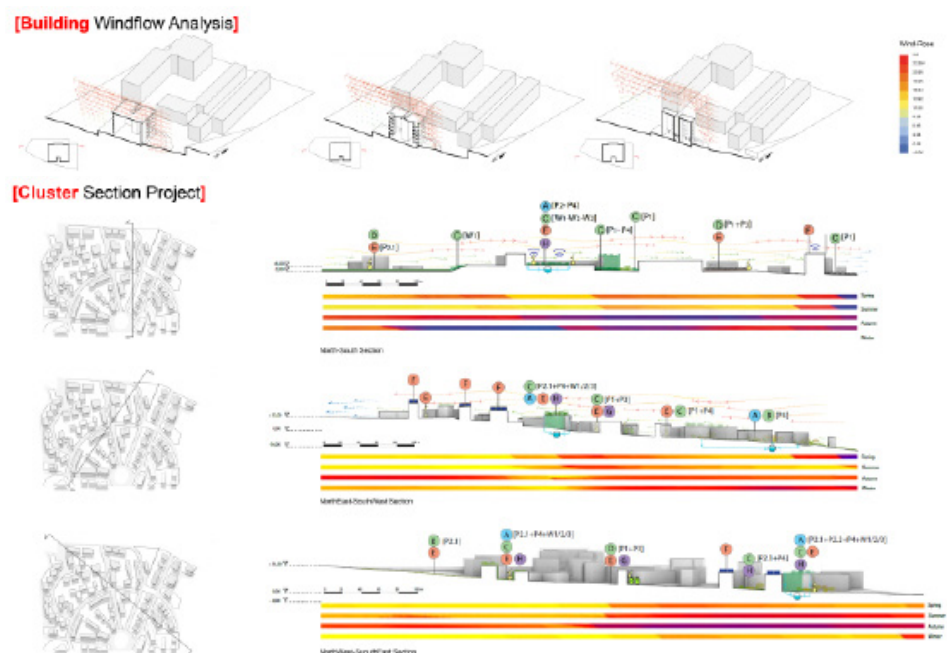


Fig. 33. Progetto tecnologico per la riduzione del consumo di energia e delle emissioni operative e incorporate; il miglioramento del comfort termico interno e del comfort visivo; i flussi di modellazione all'interno e intorno agli edifici come acqua ed aria e restituirli in un processo avanzato dove superare questi aspetti. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

**[Cluster Strategy]**



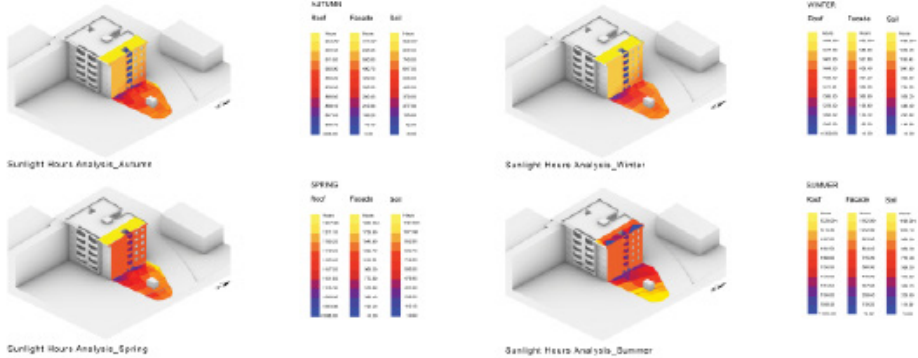
**LEGENDA**

P1 - Zero-emissions	P2 - Green building	P3 - Green building (2030 criteria)	P4 - Green building (2050 criteria)
P5 - Permeable	P6 - Permeable (2030 criteria)	P7 - Permeable (2050 criteria)	
P8 - High permeability/Environmental quality	P9 - High permeability/Environmental quality	P10 - High permeability/Environmental quality	
P11 - Productive	P12 - Productive	P13 - Productive	
P14 - Urban fabric	P15 - Urban fabric	P16 - Urban fabric	
P17 - Green building	P18 - Green building	P19 - Green building	
P20 - Green building	P21 - Green building	P22 - Green building	
P23 - Green building	P24 - Green building	P25 - Green building	
P26 - Green building	P27 - Green building	P28 - Green building	
P29 - Green building	P30 - Green building	P31 - Green building	
P32 - Green building	P33 - Green building	P34 - Green building	
P35 - Green building	P36 - Green building	P37 - Green building	
P38 - Green building	P39 - Green building	P40 - Green building	
P41 - Green building	P42 - Green building	P43 - Green building	
P44 - Green building	P45 - Green building	P46 - Green building	
P47 - Green building	P48 - Green building	P49 - Green building	
P50 - Green building	P51 - Green building	P52 - Green building	
P53 - Green building	P54 - Green building	P55 - Green building	
P56 - Green building	P57 - Green building	P58 - Green building	
P59 - Green building	P60 - Green building	P61 - Green building	
P62 - Green building	P63 - Green building	P64 - Green building	
P65 - Green building	P66 - Green building	P67 - Green building	
P68 - Green building	P69 - Green building	P70 - Green building	
P71 - Green building	P72 - Green building	P73 - Green building	
P74 - Green building	P75 - Green building	P76 - Green building	
P77 - Green building	P78 - Green building	P79 - Green building	
P80 - Green building	P81 - Green building	P82 - Green building	
P83 - Green building	P84 - Green building	P85 - Green building	
P86 - Green building	P87 - Green building	P88 - Green building	
P89 - Green building	P90 - Green building	P91 - Green building	
P92 - Green building	P93 - Green building	P94 - Green building	
P95 - Green building	P96 - Green building	P97 - Green building	
P98 - Green building	P99 - Green building	P100 - Green building	

Fig. 34. Strategie di progettazione a livello di Cluster. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

Gli effetti delle isole di calore urbane sono principalmente causati dalle superfici con un alto livello di albedo e dal riscaldamento antropico, che si traduce in temperature dell'aria e della superficie notturne e diurne elevate che possono generare situazioni di discomfort [48]. La contromisura più efficace è l'inverdimento urbano, poiché riduce direttamente i meccanismi di guadagno solare che incrementano questi effetti [49]. Un programma di piantumazione di alberi è il mezzo più efficace e più consigliato per ridurre la temperatura della superficie del suolo nelle città, ma non sempre questa è una soluzione percorribile, o comunque sufficiente, in ambito urbano. Le superfici verticali che separano gli interni degli edifici e il loro esterno, hanno un ruolo fondamentale nella definizione degli effetti che regolamentano il LS [50]. Raffreddando le superfici del verticali, infatti, l'UHI può essere mitigata, la temperatura dell'aria interna può essere abbassata e la domanda di energia di raffreddamento può essere ridotta. L'applicazione del GRS, sebbene ancora come pratica sperimentale, o molto legata all'estetica "verde" sta diventando popolare come mezzo per migliorare l'estetica di un edificio, migliorare l'ambiente e ristabilire un collegamento tra natura e città.

**[Building SunLight Hours Analysis]**



**[Building Radiation Hours Analysis]**

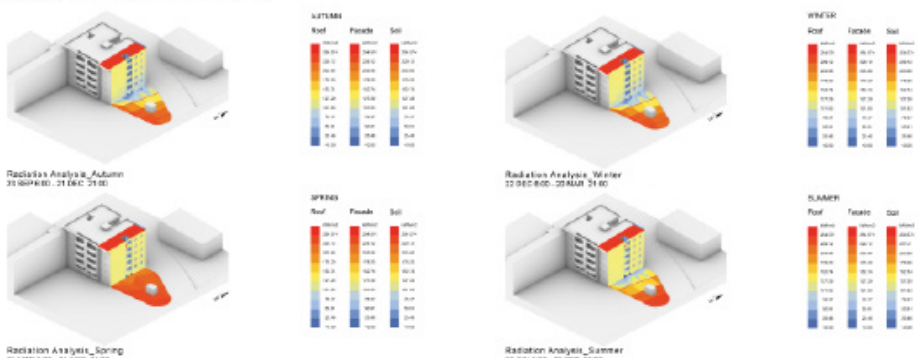


Fig. 35. Analisi ambientali applicate all'edificio pilota. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

Si punta soprattutto ad aumentare, con un intervento alla scala di edificio, l'introduzione del verde nelle città congestionate, tematica diventata diffusa negli ultimi anni anche grazie ai progressi tecnologici, ma che per questo ancora necessita di forti indagini sperimentali, per definire la migliore configurazione per i sistemi per il rinverdimento verticale, integrati nella progettazione tecnologica dell'edificio.

L'integrazione della vegetazione sulla superficie dell'edificio pilota è un modo efficace per controllare il prospetto di guadagno di calore poiché la vegetazione assorbe il calore solare ed evapora l'acqua attraverso le funzioni biologiche e il metabolismo, un processo noto come evapotraspirazione che crea essenzialmente un effetto di raffreddamento in l'ambiente circostante.

Il potenziale di raffreddamento per evaporazione dello strato di vegetazione può dipendere da caratteristiche della vegetazione come la densità del fogliame e lo spessore delle foglie, ma anche la posizione che questo assume nella suddivisione dei componenti comporta dei cambiamenti rilevanti nella disposizione e progettazione ottimale [51].

In quest'ottica si provvede ad individuare le tre unità tecnologiche che compongono il GRS (Fig. 36) nella sezione del LS, la cui configurazione definisce il sistema denominato l'"EcoPhigital Device".

I sistemi adottati nel contesto definito evidenziano come l'utilizzo di tetti verdi, vegetazione in facciata, ed un sistema suolo che integra il sistema edificio con alberi domestici e persino zone umide integrate, contribuisca ai tre principi fondativi nel progetto di ricerca URGES: Quality; Efficiency; Wellbeing of the neighborhood.

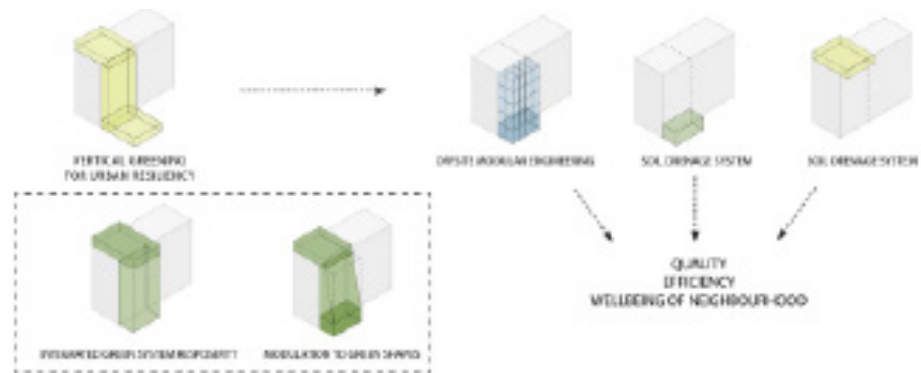


Fig. 36. Schema per la definizione delle tre unità tecnologiche che compongono il GRS (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

- I tetti verdi sono progettati con una piantumazione estensiva: un tetto verde intensivo viene fornito con acqua e sostanze nutritive e il suo substrato è generalmente più spesso di 0,25 m, mentre un tetto verde estensivo non è irrigato e ha un substrato molto meno profondo, di solito 0,06–0,15 m;

- Il verde della facciata è costituito da rampicanti o rampicanti che radicano nel terreno o substrati artificiali, attaccandosi direttamente alla superficie del muro o coprendo indirettamente il muro attraverso sistemi di supporto come tralicci o corde. Poiché le piante utilizzano altre strutture per svilupparsi, non devono investire nel proprio apparato statico, un adattamento evolutivo che spesso consente loro di crescere molto più velocemente degli alberi;

- Il sistema suolo viene definito dallo spazio aperto direttamente adiacente agli edifici, tipicamente all'interno della stessa proprietà, avente un ruolo nella rete blu-verde (cioè basata sull'acqua e sulla vegetazione) della città. In un'ottica sistemica a livello di Cluster, questo tipo di infrastruttura permette di stabilire una relazione diretta dei sistemi naturali nelle città, migliorando la biodiversità attraverso componenti infrastrutturali blu-verdi, fornendo opportunità per la progettazione biofilica e promuovendo la cultura sostenibile e la vita sociale attraverso attività per diversi gruppi sociali e di età.

L'analisi del quartiere e la definizione del layout per la caratterizzazione climatica del EcoPhigital Device è stata quindi modellata considerando dei moduli base fissati dall'impianto costruttivo delle tipologie costruttive esistenti (Fig. 37).

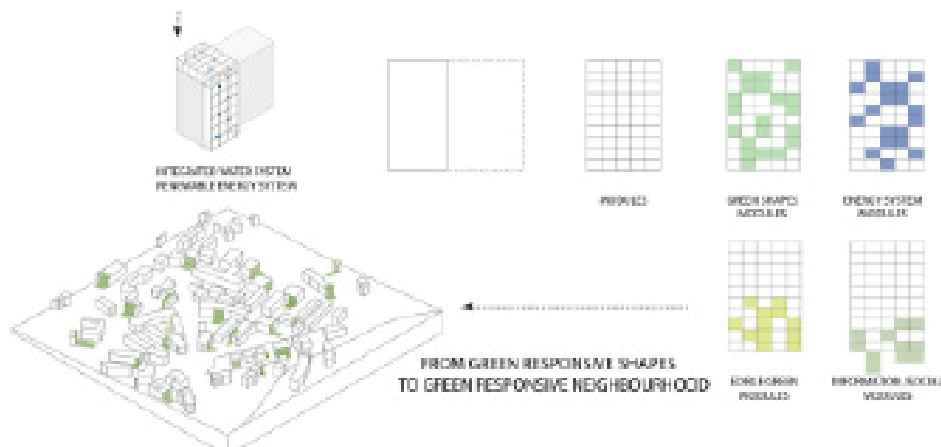


Fig. 37. Analisi del quartiere e definizione del layout per la caratterizzazione climatica. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

Considerando il sistema tecnologico esistente illustrato in figura, le possibili strategie "tradizionali" per migliorare le prestazioni termiche delle pareti esistenti escludono l'uso del riempimento delle cavità, dell'isolamento delle pareti interne o esterne [52]. Sebbene l'isolamento riduca la perdita di calore delle pareti, si stima che la convezione spinta dal vento possa aumentare la perdita di calore dalle superfici degli edifici del 50% [51].

In questo senso l'utilizzo del GRS intende indagare la modifica del valore U del sistema parete in un prototipo di una parete giustapposta su una muratura esistente isolata, con un trattamento di rivestimento di facciata LWS esterno.

La muratura esistente quale sistema di supporto interessato, con orientamento ad est, è costituita da: intonaco per a base di calce (1,5 cm); mattone coibentato 15 cm; intercapedine d'aria (5 cm); polistirene espanso estruso (6 cm); strato di rinzafo (1 cm); mattone di cottosemi pieno a faccia vista (5,5x12,25cm).

Per studiare la differenza di trasmissione termica tra una parete intercapedine esistente ricoperta da uno strato esterno di vegetazione muraria viva e una senza, è stato usato un metodo semplificato per valutare la trasmissione di flusso di calore e la conducibilità termica delle due posizioni delle pareti.

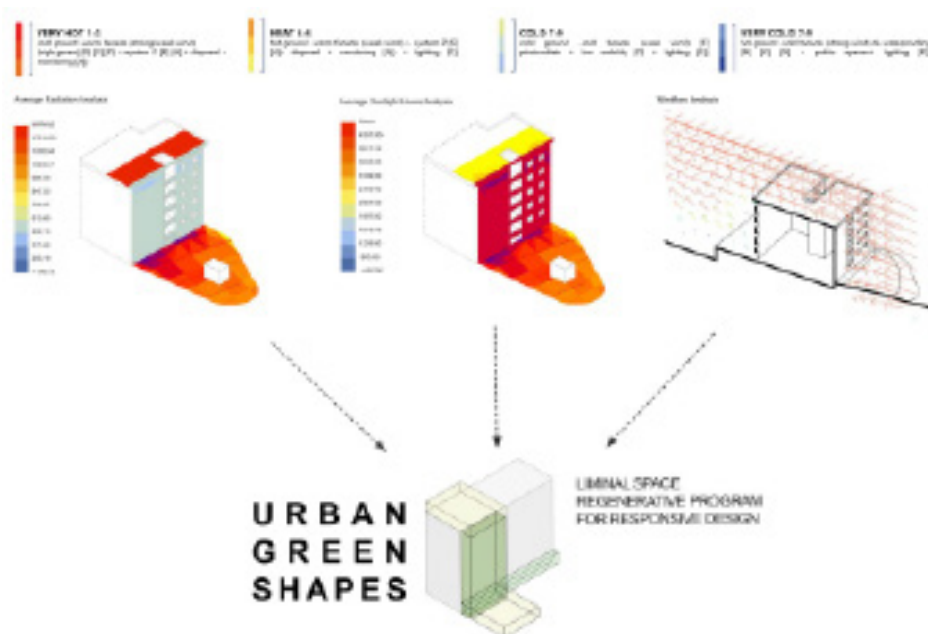


Fig. 38. Definizione delle qualità del UGS basate sulla catalogazione delle condizioni di comfort definite dalle analisi parametriche. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

Esistono diversi metodi per misurare e calcolare il valore U in ambito parametrico di un edificio esistente.

Viene delineato un metodo per studiare attraverso il plug-in di GH Bombyx, insieme il valore della trasmittanza, e il GWP dell'edificio esistente (Fig. 38).

Considerando un regime adiabatico definito dall'standard delle temperature medie individuate nelle analisi sull'edificio è stato registrato un valore U finale, che rappresenta l'intero periodo di analisi, ovvero:

- Valore U finale per la parete in muratura intercapedine con l'applicazione del GRS:  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- Valore U finale per la parete in muratura intercapedine senza il dispositivo per il greening:  $0,650 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La configurazione finale (Fig. 39) mostra il raggiungimento degli obiettivi fissati in ambito tecnologico e l'integrazione con sistemi innovati che definiscono nella sua interezza il sistema EcoPhigital Device.

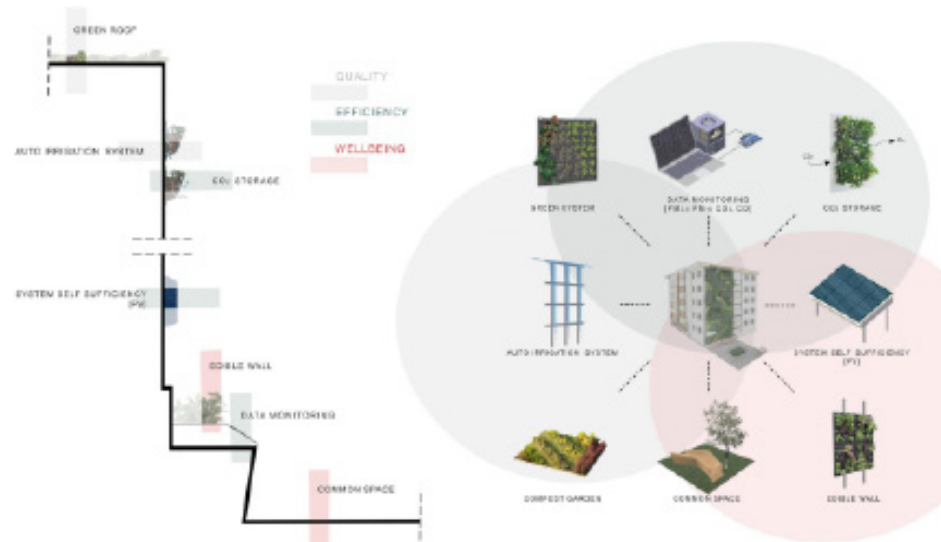


Fig. 39. Configurazione finale dell'EcoPhigital Device. (fonte: elaborazioni ABITAlab per URGES, 2022)

In conclusione si ottiene:

- l'utilizzo del GRS come dispositivo di rivestimento in facciata/suolo per l'installazione della parte vegetativa in superficie verticale (facciata) e orizzontale (suolo + copertura);
- l'integrazione nella vegetazione di un sistema di tipo Edible a servizio della comunità;
- l'integrazione di un sistema di monitoraggio sperimentale, tramite la realizzazione di un sistema di sensoristica, basata sulla tecnologia, per il monitoraggio di  $\text{CO}_2$  e  $\text{PM}_{10}$ ;
- la configurazione del tetto verde intensivo composto da  $0,7 \text{ mm}$  di spessore del suolo,  $1 \text{ mm}$  di altezza della chioma e  $\text{LAI} = 2$  due, con copertura verde al  $25\%$  [53] (Fig. 40).

La riduzione della temperatura della superficie del tetto, della temperatura interna e del consumo di energia è sostenuta dalle soluzioni tecnologiche, risultanti dal progetto definitivo.

L'EcoPhigital device è stato progettato per il prospetto est dell'edificio pilota.

Questo prospetto è stato selezionato per la sua facilità di retrofit, oltre che per la coerenza con gli obiettivi che si intendeva dimostrare.



Grazie all'utilizzo del sistema GRS si opera una riduzione dell'85% di albedo, la quantità di calore disperso nell'area circostante diminuisce, migliorando il microclima interno ed esterno. Il vantaggio di queste strategie anche sulle aree urbane è confermato inoltre dalla temperatura superficiale esterna, che è l'indicatore di prestazione diretta. Come evidenza lo studio della prototipologia, gli indicatori di resilienza definiti sono utili strumenti parametrici per ottenere una strategia di impatto degli effetti del CC che si conclude con un'azione di retrofit precisa, capace di tradurre in relazione alla mitigazione dei cambiamenti climatici in estate.

Attraverso diversi indicatori si ha la possibilità di confrontare varie soluzioni al fine di scegliere la migliore strategia in termini di adattabilità e mitigazione basata sul rischio climatico locale. Lo studio prosegue con l'implementazione della metodologia applicata, attribuendo a ciascuna un peso adeguato indicatore e introducendo una scala di priorità, in relazione alle diverse condizioni meteorologiche e al contesto urbano.

Inoltre, ulteriori ricerche sono necessarie per estendere il metodo agli altri componenti dell'edificio per monitorare il feedback tra gli edifici e il loro quartiere e configurare tipologie e sistemi di GRS e progetti di LS sempre più adattivi e circolari.



(pagina precedente)  
AI visioning di un GRS  
realizzato attraverso  
sperimentazione su MI-  
DJourney. *D. Lucanto*  
2022.

## Riferimenti bibliografici

1. Shafiee, E., Faizi, M., Yazdanfar, S. A., & Khanmohammadi, M. A. (2020). Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, 181, 106923.
2. Ottel , M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419-3429.
3. Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia*, 18, 507-520.
4. Gould, S. J. (1980). The evolutionary biology of constraint. *Daedalus*, 39-52.
5. Mecca, U., Piantanida, P., Rebaudengo, M., & Vottari, A. (2019). Indirect Green Façade systems: A proposal of a global performance indicator for in/out evaluation. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(6-3), 467-474.
6. Amorim, F., & Mendonça, P. (2017). Advantages and constraints of living green façade systems. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8(2), 124-129.
7. Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and sustainable energy reviews*, 41, 863-871.
8. Perez, G., Rincon, L., Vila, A., Gonzalez, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied energy*, 88(12), 4854-4859.
9. Perini, K., Ottel , M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1(01), 1.
10. Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., & Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 39, 139-165.
11. Tsai, Y. C. (2012). U.S. Patent No. 8,296,997. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
12. Corradi, L. (2010). U.S. Patent No. 7,832,144. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
13. Bribach, C., & Rossomano, D. (2011). Vertical garden panel. US, 59518, A1.
14. Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, OR: Timber press.
15. Chen, Q., Li, B., & Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and buildings*, 61, 298-307.
16. Fox, M., Morewood, J., Murphy, T., Lunt, P., & Goodhew, S. (2022). Living wall systems for improved thermal performance of existing buildings. *Building and Environment*, 207, 108491.
17. Gandy, M. (2010). The ecological facades of Patrick Blanc. *Architectural Design*, 80(3), 28-33.
18. Kio, P., & Ali, A. K. (2021). In situ experimental evaluation of a novel modular living wall system for industrial symbiosis. *Energy and Buildings*, 252, 111405.
19. Roofs, G. (2008). *Introduction to Green Walls Technology, Benefits & Design*. Estados Unidos: Greenroofs.org.
20. Fukuzumi, Y. (1996). U.S. Patent No. 5,579,603. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
21. Sichelto, C. (2010). U.S. Patent Application No. 12/562,087.
22. Bindschedler, P. E., & Lassalle, F. (2010). U.S. Patent No. 7,757,436. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
23. Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland, OR: Timber press.
24. Pérez, G., Rinc n, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy conversion and management*, 52(4), 1861-1867.
25. Koumoudis, S. (2011). U.S. Patent No. 7,926,224. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
26. Russo, A., Escobedo, F. J., Cirella, G. T., & Zerbe, S. (2017). Edible green infrastructure: An approach and review of provisioning ecosystem services and disservices in urban environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 242, 53-66.
27. Laurence, M., & Sabin, R. (2011). Plant wall and modules for growing plants. US, 107667, A1.
28. Deutsch-Aboulmahassine, E. D. (2009). U.S. Patent No. 7,627,983. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

29. Cossio, M. L. T., Giesen, L. F., Araya, G., Pérez-Cotapos, M. L. S., VERGARA, R., Manca, M., ... & Héritier, F. (2012). Brock Biology of Microorganism, Instrumentos Familiares.
30. Salame, T. M., Knop, D., Levinson, D., Yarden, O., & Hadar, Y. (2013). Redundancy among manganese peroxidases in *Pleurotus ostreatus*. *Applied and environmental microbiology*, 79(7), 2405-2415.
31. Cruz-Morató, C., Ferrando-Climent, L., Rodríguez-Mozaz, S., Barceló, D., Marco-Urrea, E., Vicent, T., & Sarrà, M. (2013). Degradation of pharmaceuticals in non-sterile urban wastewater by *Trametes versicolor* in a fluidized bed bioreactor. *Water research*, 47(14), 5200-5210.
32. Pointing, S. (2001). Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied microbiology and biotechnology*, 57(1), 20-33.
33. Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). Mycelium composites: a review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241-257.
34. Holt, G. A., McIntyre, G., Flagg, D., Bayer, E., Wanjura, J. D., & Pelletier, M. G. (2012). Fungal mycelium and cotton plant materials in the manufacture of biodegradable molded packaging material: Evaluation study of select blends of cotton byproducts. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6(4), 431-439.
35. Attias, N., Danai, O., Abitbol, T., Tarazi, E., Ezov, N., Pereman, I., & Grobman, Y. J. (2020). Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119037.
36. Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A. G. T., ... & Stadler, M. (2019). The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97(1), 1-136.
37. Singh, T.; Kumar, S.; Sehgal, S. 3D Printing of Engineering Materials: A State of the Art Review. *Mater. Today Proc.* 2020, 28, 1927–1931. [Google Scholar] [CrossRef]
38. Bose, S.; Koski, C.; Vu, A.A. Additive Manufacturing of Natural Biopolymers and Composites for Bone Tissue Engineering. *Mater. Horiz.* 2020, 7, 2011–2027. [Google Scholar] [CrossRef]
- Murphy, S.V.; Atala, A. 3D Bioprinting of Tissues and Organs. *Nat. Biotechnol.* 2014, 32, 773–785. [Google Scholar] [CrossRef]
38. Fraunhofer UMSICHT Projekt-Steckbrief. Available online: <https://fungifactoring.de/fungi-factoring/projekt-steckbrief/> (accessed on 10 March 2022).
39. Yildirim, D. Zoetic Morphologies 3D Printed Active Wall Systems through Mycelial Biomass. Available online: <https://www.iaacblog.com/programs/zoetic-morphologies/> (accessed on 10 March 2022).
40. Parthy, K. Polymer Mixture for 3D Printing for Creating Objects with Pore Structures. DE Patent Application DE102013011243A1, 8 January 2015. [Google Scholar]
41. Alima, N.; Snooks, R.; McCormack, J. Bio Scaffolds. In Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES, Shanghai, China, 1 January 2022; pp. 316–329. [Google Scholar]
42. Myco Mensa: Mycelium Table. Available online: <http://www.richard-beckett.com/myco-mensa-mycelium-table/> (accessed on 11 February 2022).43.
43. Fiorito, F., & Santamouris, M. (2017). Tecnologie ad alta prestazione e il futuro della progettazione architettonica. *Techne*, 13, 72.
44. Almusaed, A. (2010). Biophilic and bioclimatic architecture: analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture. Springer Science & Business Media.
45. Rossetti, M., & Pepe, D. (2015). La cura del dettaglio come condizione per l'efficienza energetica degli edifici scolastici/The care of detail as condition for energy efficiency in school buildings. *Techne*, 9, 123.
46. Durdyev, S., Mohandes, S. R., Mahdiyar, A., & Ismail, S. (2021). What drives clients to purchase green building?: The cybernetic fuzzy analytic hierarchy process approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
47. Nava, C. (2021). Advanced Sustainable Design (ASD) for Resilient Scenarios. In *Bioclimatic Approaches in Urban and Building Design* (pp. 255-274). Springer, Cham.
48. Shade, C., Kremer, P., Rockwell, J., & Henderson, K. (2020). The effects of urban development and current green infrastructure policy on future climate change resilience. *Ecology and Society*, 25(4).
49. Brandt, S. L. (2009). The city as liminal space: Urban visibility and aesthetic experience in postmodern US literature and cinema. *Amerikastudien/American Studies*, 553-581.
50. Roudsari, M. S., Pak, M., & Smith, A. (2013). Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. In Proceedings of the 13th international IBPSA conference held in Lyon, France Aug (pp. 3128-3135).

51. Amina, N., & Fatiha, B. (2021) The using of generative algorithm aided design tool (Rhinoceros/Grasshopper/Ladybug) to control solar access in urban street of hot-arid climate (Ouargla). *Revue EL-Bahith en Sciences Humaines et Sociales* ISSN, 13(01).
52. Ceragioli G., Comoglio Maritano, N. (1995), *Adaptable Technologies, typologies and evaluations for low-cost housing in the Megalopolis of developing countries*, MG, Belo Horizonte.
53. Mussinelli, E., Tartaglia, A., & Di Pasquale, J. (2017). L'innovazione tecno-tipologica per l'applicazione di sistemi ibridi alla produzione dell'edilizia abitativa: tra cultura tecnologica e sperimentazione applicativa. *Techne*, 13, 287.
54. Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Mistretta, M. (2014). Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. *Energy and Buildings*, 72, 371-381.
55. Spiridigliozzi, G., Pompei, L., De Santoli, L., Cornaro, C., & Bisegna, F. (2019). Testing the Revit–EnergyPlus interoperability by the use of Ladybug tools. In *Proceedings of BSA2019*.
56. Ibrahim, Y., Kershaw, T., & Shepherd, P. (2020). Improvement of the Ladybug-tools microclimate workflow: A verification study. *Building Simulation and Optimization*.
57. Ibrahim, Y., Kershaw, T., & Shepherd, P. (2020). Improvement of the Ladybug-tools microclimate workflow: A verification study. *Building Simulation and Optimization*.
58. Nadiri, P., Mahdavejad, M., & Pilechiha, P. (2019). Optimization of Building Façade to Control Daylight Excessiveness and View to Outside. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 90(2).
59. Blanco, E., Pedersen Zari, M., Raskin, K., & Clergeau, P. (2021). Urban ecosystem-level biomimicry and regenerative design: Linking ecosystem functioning and urban built environments. *Sustainability*, 13(1), 404.
60. Poinet, P., Tamke, M., Thomsen, M. R., Scheurer, F., & Fisher, A. (2018). Schema-based workflows and inter-scalar search interfaces for building design. In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 329-335). CRC Press.
61. Mauree, D., Naboni, E., Coccolo, S., Perera, A. T. D., Nik, V. M., & Scartezzini, J. L. (2019). A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 733-746.
62. Nuruzzaman, M. (2015). Urban heat island: causes, effects and mitigation measures-a review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67-73.
63. Hami, K., Draoui, B., & Hami, O. (2012). The thermal performances of a solar wall. *Energy*, 39(1), 11-16.
64. Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L., & Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112100.
65. Malys, L., Musy, M., & Inard, C. (2014). A hydrothermal model to assess the impact of green walls on urban microclimate and building energy consumption. *Building and environment*, 73, 187-197.

Parte 4  
Sperimentazione progettuale per il prototipo G.R.S.



## Dal Progetto MVP al Prototipo G.R.S.

### *Abstract*

In the proposed rereading, the drift assumed is intended to identify in the proposed exercises on MVPs the key factors that can be used to orient the experimentation efficiently, reduce errors due to unknown unknowns, and intercept potential interlocutors for the definition of UpCycling. For the development of a CO<sub>2</sub> recovery and storage system, it is essential to develop an interdisciplinary UpCycling method. In light of the fact that a disciplinary field overlaps and integrates multiple fields of science and engineering, it is crucial to take into account the fact that the disciplinary field overlaps and integrates multiple fields. As an IT professional, it is essential to work closely with experts in a wide variety of fields, including automation, control, civil engineering, mechanical engineering, and biology.

As a result of the development of this method, it can be used to predict and simulate the effects of design choices on external comfort, for example. The integration of vegetation, the use of different materials on the ground floor and in the envelope of the building are based on the principles of circular construction.

To do this, it is recommended that field measurements be performed under the required boundary conditions.

Based on the simulation results, it appears that the UTCI values calculated in the daytime period in the project scenario are lower (about 2 points) than in the starting scenario, which suggests that the UTCI values are affected by the average radiant temperature.



## 8.1 Riferimenti teorici nel passaggio dall'MVP al GRS

Lo studio e l'illustrazione delle prototipologie 3 e 4, hanno di fatto dimostrato quale processo di design digitale si possa utilizzare per allallala sistemi tecnologici green responsivi con alte prestazioni ecologiche e circolari. Al fine di integrare e innovare tale approccio con pratiche da UpCycling e con prestazioni verso la neutralità carbonica, in fase di sperimentazione progettuale per la prototipazione GRS, si avanza con una esperienza di laboratorio presso ABITAlab dArTe UNIRC, che intercetta nelle fasi più tipiche dell'innovazione di prodotto, le attività utili a progettare il GRS, dalla formulazione MVP [1] alla sua prototipazione. Si xcvcndnhm la progettazione del GRS ad un processo di design avanzato in UpCycling in cui sistemi e componenti vengono progettati nella loro alterazione per potersi adattare a nuovi cicli di vita dei prodotti, a nuovi scenari rigenerativi dei contesti in cui sono inseriti. Pertanto se nelle precedenti prototipologie si è discusso di sistemi tecnologici TRL-7, già dimostratori, nel trattato che segue si percorre l'iter che porta dal TRL-1 al TRL-4 (cfr. Cap.8) verso il TRL-6 (cfr. Cap.9), dal concept al prototipo.

Dall'esperienza progettuale dei concept per il Minimum Viable Product (MVP) [1], si avvia il processo di sperimentazione integrando con il minimo impiego di risorse possibile l'idea di concept in dei pre-prototipi dal carattere innovativo.

La traiettoria assunta nella rilettura proposta mira a identificare nelle esercitazioni proposte sugli MVP i fattori chiave identificati per orientare la sperimentazione in modo efficiente, riducendo gli errori dovuti a incognite non considerate ed intercettando la domanda di innovazione per la definizione del progetto dell'UpCycling.

Una volta chiarita la definizione di MVP in UpCycling, i fattori chiave per mezzo di uno studio di mappatura sistematico, si definisce le domande di ricerca e il protocollo da utilizzare. Gli elementi fisici, di rete, software e interattivi dell'uomo rientrano tutti nel processo rigenerativo, rendendolo un sistema complesso in diverse dimensioni [2]. Declinare il paradigma dell'UpCycling attraverso il design rigenerativo nel processo per la definizione di un MVP evidenzia la stretta relazione tra componenti software e hardware, ciascuno specializzato in una diversa scala architettonica e scalabilità operativa.

Al fine di sviluppare un metodo di UpCycling interdisciplinare che possa orientare il sistema progettato al recupero ed allo stoccaggio della CO<sub>2</sub> (Fig.1), è necessario considerare che l'ambito disciplinare si sovrappone e integra molteplici campi della scienza e dell'ingegneria, ingegneri informatici, informatici e professionisti delle reti devono lavorare a stretto contatto con esperti di un'ampia gamma di settori, tra cui automazione, controllo, ingegneria civile, meccanica ingegneria e biologia.

I paradigmi, i processi e le pratiche dell'ingegneria del software sono strettamente correlati allo sviluppo dell'MVP per il passaggio alla definizione del GRS. I dispositivi progettati dagli studenti, durante il tirocinio di tesi presso ABITAlab, sono diventati parte integrante del processo di ricerca con l'emergere delle potenzialità riscontrate nei progetti per l'UpCycling. È fondamentale che i sistemi progettati in UpCycling, come le soluzioni proposte nei paragrafi successivi, prendano in considerazione un sistema completo, che includa l'approvvigionamento basato sull'Urban Mining, la visione per nuovi modelli d'uso delle applicazioni per utenti finali, l'integrazione dei dispositivi con l'ambiente circostante attraverso i processi del Design Rigenerativo, formando così un sistema misto hardware-software [3].

La realizzazione di innovazioni radicali è un fattore cruciale per il conseguimento degli obiettivi prefissati nella progettazione di sistemi ecologici, che ponendosi come dispositivi in grado di reagire all'aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, agiscono in un contesto ambientale definito dagli scenari di cambiamento climatico.

Le esigenze eterogenee derivanti dallo studio delle emissioni dei singoli prodotti che entrano a far parte di un componente per l'architettura, necessitano sempre più di cicli tecnici

controllati (Fig. 1), diventando una sfida importante per i processi di produzione integrata. Accanto a queste circostanze esterne, aumenta la complessità funzionale dei sistemi tecnici, che costituisce un'altra grande sfida nello sviluppo del prodotto. Da qui si parte per avere un approccio sistemico che nell'industria delle costruzioni introduce metodi di sviluppo agili in risposta alle domande di ricerca poste in circostanze simili.

Lo sviluppo incrementale di prodotti funzionali che possono essere spediti a potenziali clienti ha aiutato il settore a ridurre i tempi di sviluppo e ad allineare dinamicamente i prodotti con le esigenze dei clienti. In questo contesto, un'attenzione particolare è stata posta sul prodotto minimo vitale (MVP).

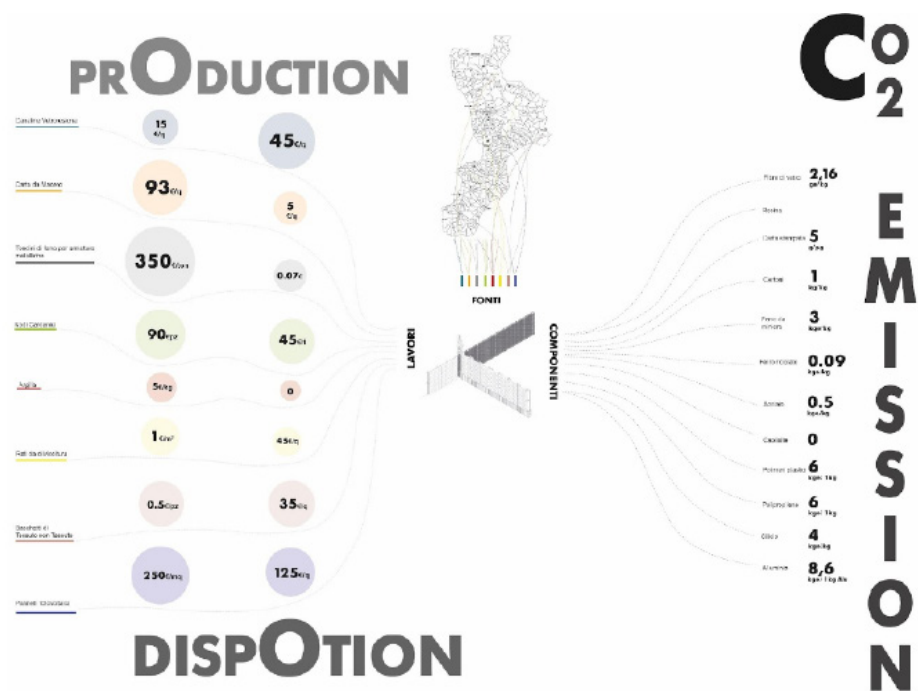


Fig. 1. Analisi delle emissioni di CO<sub>2</sub>. (fonte: elaborazione F. Filice, E. Catalano per Workshop GRS 2022)

Un MVP è un prodotto con funzionalità appena sufficienti per soddisfare le richieste minime in termini di consumo di materiali, risposta alle condizioni ambientali in regime di CC e UpCycling di sistemi costruttivi avanzati.

Gli MVP prodotti nella fase laboratoriale sono generalizzati e per essere applicabili a qualsiasi tipo di filiera o prodotto rispondono a domande di ricerca che cercano di intercettare problematiche relative alla gestione di rifiuti speciali e non come MPS. In merito a questo, gli aspetti relativi all'utilizzo di prodotti che non hanno riscontro in pratiche già normate è comunemente considerato poco applicabile ai sistemi tecnici da commercializzare, ma può trovare ampio spazio nel campo della sperimentazione prototipale di frontiera. Tuttavia, l'idea di convalidare in modo iterativo le principali preoccupazioni e rischi nello sviluppo del prodotto applicando la minor quantità di tempo e risorse è ugualmente condivisa come un passo necessario per affrontare le sfide sopra descritte.

Sulla base della dichiarata domanda di innovazione connessa ai temi della sostenibilità e della transizione ecologica e digitale, si deducono i principali problemi e questioni a cui far corrispondere una risposta in termini di innovazione di processo, progetto, prodotto.

Seguendo anche l'approccio più tipico del Design Thinking [4], la fattibilità (*possiamo farlo?*), la desiderabilità (*lo vogliono?*) e la fattibilità (*dovremmo farlo?*).

La grande disponibilità di pubblicazioni sull'upcycling in discipline che vanno dall'ingegneria e gestione agli studi sui consumatori, e la letteratura sull'upcycling possono contribuire

ad allargare la conoscenza sui processi per chiudere i cicli dei materiali [5], nonché a promuovere opportunità economiche, stimolare l'imprenditorialità, sostenere la cultura del prosumerismo e sostenere il riutilizzo rispetto al riciclo [6]. L'esempio può venire anche dal fashion design, dove oltre a ridurre gli impatti ambientali associati alla produzione e al consumo di abbigliamento, l'upcycling può anche ridurre la necessità di produrre nuovi vestiti [7].

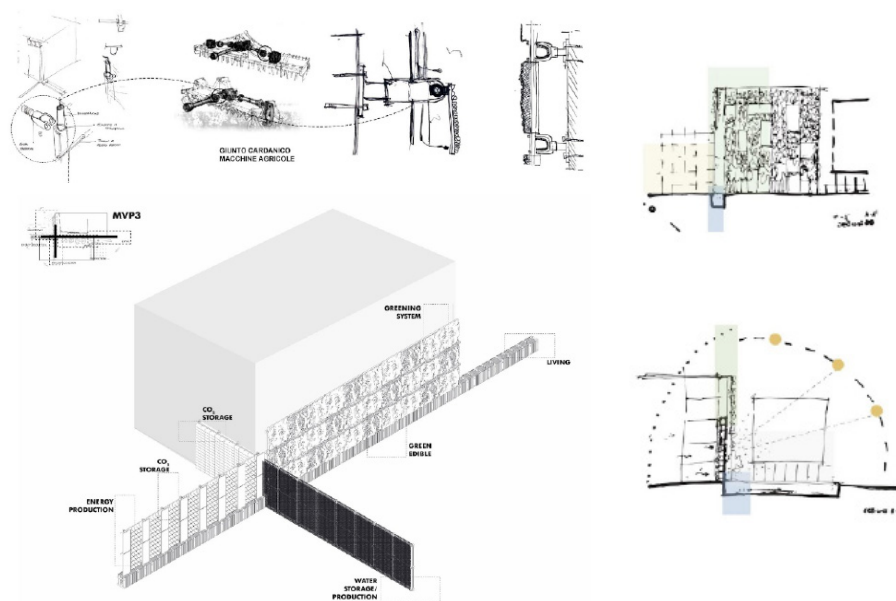


Fig. 2. Schema per la progettazione rigenerativa. (fonte: elaborazione F. Filice, E. Catalano per Workshop GRS 2022)

### *Upcycling research questions*

Le catene del valore dell'upcycling sono caratterizzate da sfide, fattori di successo e meccanismi causali che possono essere apparentemente sconosciuti, o comunque inaspettati, da qui si evidenzia la necessità di affrontare con metodi sperimentali per approcciare sistematicamente queste sfide. Inoltre, secondo la ricerca, le pratiche di upcycling tendono ad essere su piccola scala e di nicchia. L'indagine in ambito dell'esperienza condotta con la formulazione "della domanda di innovazione" indirizza la research questions che cerca di facilitare la transizione verso l'adozione di queste pratiche su scala architettonica (Fig. 2).

È essenziale avere una chiara comprensione delle sfide e dei fattori di successo coinvolti nell'espansione di un'attività di upcycling. Questo studio mira a comprendere meglio le interconnessioni e le interdipendenze tra i fattori rilevanti per aumentare le attività di upcycling ed il loro trasferimento come componenti di architettura interscalari, applicabili in ambito urbano (Fig. 3).

In generale la formulazione della domanda di ricerca si compone di due parti, declinate dagli studenti:

- *Quali materiali di scarto o rifiuto intercettare a livello industriale su filiere diverse per l'upcycling di prodotti per l'architettura, sulla base di una revisione delle produzioni industriali in ambito locale?*

- *Quale strategia per aumentare le attività di upcycling in Architettura, come percepito dai principali attori nella catena del valore dell'upcycling?*

Per rispondere a queste domande di ricerca, si propone l'approfondimento di uno dei progetti trattato qui come caso studio, selezionato per sviluppare la lettura critica dell'esperienza laboratoriale. Il progetto in questione si concentra sull'indagare la catena del valore

all'interno dell'industria dei trasporti pubblici, ponendosi la domanda: *La mobilità su rotaie è davvero Green?* (Fig. 4)

La domanda di ricerca posta intende affrontare i temi dello smaltimento dei componenti di arredo dei treni prodotti dall'azienda Hitachi, recuperati dalla sede di Reggio Calabria. Andare oltre l'analisi degli impatti relativi alle emissioni di CO<sub>2</sub> in fase d'uso è l'approccio strategico che viene indagato.

Le attività relative al progetto dell'UpCycling vengono applicate alla componentistica di arredo, le maniglie dei corridoi, e gli elementi tubolari costituenti il piano porta pacchi.

L'analisi della filiera produttiva fa riferimento al rapporto di sostenibilità redatto nel 2021 dal Gruppo Ferrovie dello Stato, documento che illustra le attività intraprese dall'azienda per affrontare la mitigazione e l'adattamento dei cambiamenti climatici, e il piano industriale, articolato lungo l'orizzonte temporale 2022-2031, che si pone l'obiettivo di abilitare un sistema di infrastrutture resilienti, di mobilità sostenibile e lo sviluppo, di sistemi finalizzati all'autoproduzione di energia da fonti rinnovabili.

Sebbene nel rapporto l'approccio infrastrutturale prevalga, insieme all'abbattimento delle emissioni relative alla mobilità, si può notare come la produzione dei componenti venga riferita al solo processo di produzione e che gli obiettivi riguardano per lo più il mantenimento nel richiedere il minimo utilizzo di energia e di emissioni di CO<sub>2</sub>, ma per quanto riguarda il riciclo, il riuso o lo smaltimento dei rifiuti vi è un riferimento parziale e non chiaro. Basandosi su questa analisi, sommaria ed interpretativa, si può dedurre che esiste un GAP da colmare all'interno della filiera della mobilità su rotaia.

Il concetto di capacità di esattezza come base per tutti questi concetti, permette di declinare la definizione limite relativa alla capacità di fornitura come principio fondamentale della gestione delle risorse. I prodotti politici integrati (IPP) e la responsabilità estesa del produttore (EPR) si concentrano ancora sulla gestione delle risorse in base alle esigenze attuali e future.

Come strategia per promuovere lo sviluppo di prodotti più ecologici, la Comunità Europea ha introdotto l'IPP come strategia; al contrario, l'EPR, adottato da diversi paesi, è responsabilità del produttore nella raccolta e riciclaggio dei prodotti per suo conto al fine di ridurre l'impatto del prodotto durante il suo ciclo di vita.



Fig. 3. Sintesi degli MVP per la definizione del TRL. (fonte: elaborazioni G. Cirulla, A. Randisi per il Workshop GRS, 2022)



Fig. 4. Schema per la progettazione rigenerativa. (fonte: elaborazione D. Laganà per il Workshop GRS, 2022)

L'utilizzo dell'espedito della "Meridiana" come sistema prototipologico sulle quali declinare le domande di ricerca, con la sua forme definita a croce, è funzionale ad intercettare le diverse sollecitazioni dovute alle diverse latitudini e ai diversi orientamenti e a sperimentare sistemi costruttivi a catalogo per l'integrazione con dispositivi che, operando in UpCycling, intervengono sia sugli aspetti rigenerativi, produzione energetica e riduzione di risorse vergini, sia sugli aspetti relativi allo stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

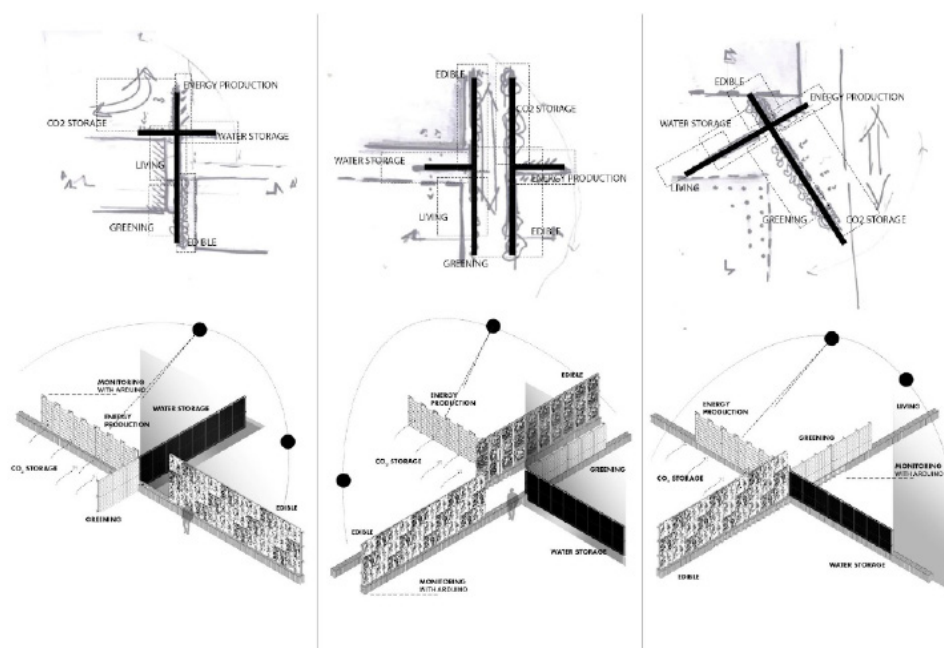


Fig. 5. Assonometria del funzionamento del dispositivo a "spalliera". (fonte: elaborazione di F.Filice e E. Catalano per il Workshop GRS, 2022)

Gli interventi chiave per aumentare le attività di upcycling e il ruolo delle diverse parti interessate nella loro attuazione, sono così declinate sia individualmente che in un'azione sistemica concatenata.

Ovviamente nella scena contemporanea l'utente media ha acquisito una certa familiarità con il "riciclo" dei rifiuti, ma i profitti delle industrie spesso richiedono che il prodotto risultante debba avere un valore migliore o addirittura superiore rispetto all'oggetto originale. Questo paradigma del cosiddetto "upcycling", in questo contesto, necessita di una strategia economicamente e ambientalmente praticabile in cui la sperimentazione nel campo del design e dell'architettura possa essere quella di trasformare direttamente il prodotto che si individua in una filiera che si intende ottimizzare, evitando l'estrazione mineraria ad alta intensità di CO<sub>2</sub> e riuscendo ad immagazzinare le emissioni di CO<sub>2</sub> presenti nell'am-

biente (Fig. 5). Richard Buckminster-Fuller in Life Magazine ha affermato: "L'inquinamento non è altro che risorse che non stiamo raccogliendo".

L'uso dell'EC può inoltre comportare impatti positivi come la riduzione della domanda di materie prime, la riduzione del consumo di risorse, nonché la prevenzione degli impatti negativi derivanti dallo sfruttamento e dalla lavorazione delle risorse naturali. Nell'economia circolare, così come nell'economia lineare, i rifiuti minerari possono essere riutilizzati attraverso tecniche di riciclo per realizzare prodotti e sottoprodotti.

Oltre ad offrire un'interessante alternativa alla gestione dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (rifiuti elettronici), l'estrazione urbana, come metodo applicato alla progettazione dell'MVP per la gestione della filiera a circuito chiuso, riduce il consumo di materie prime e stimola la circolarità nella filiera oltre ad essere un modo sostenibile per sfruttare le risorse minerarie.

Viene presentata una sintesi, rappresentata in figura 6, delle principali soluzioni adottate con un modello di CE per la gestione dei rifiuti elettronici, evidenziandone l'importanza del recupero all'interno del tessuto urbano e la classificazione dei materiali minerali secondo le procedure minerarie urbane di riutilizzo in componenti innovati per l'edilizia.

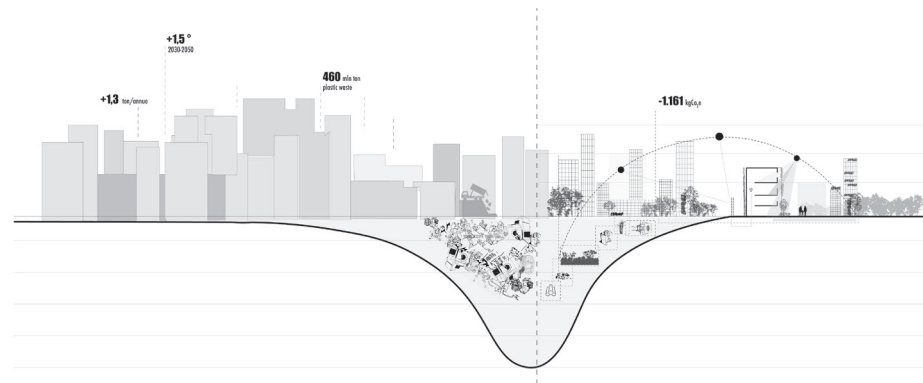


Fig. 6. URBAN MINING PROCESS. (fonte: elaborazione F. Filice, E. Catalano per Workshop GRS 2022)

### UpCycling Laboratories 4 GRS

Per promuovere un impatto strategico sostenibile da tradurre nel design avanzato dei componenti per il GRS, la seguente valutazione si concentra sulle procedure di UpCycling nella più recente frontiera, considerando la gestione dei rifiuti elettronici e l'utilizzo dei concetti di progettazione rigenerativa come un'opportunità per recuperare e riciclare materiali, nonché gestire i rifiuti e l'energia in modo efficiente (Fig. 7).

Il quadro è adattivo per associare al pensiero progettuale rigenerativo come l'upcycling, l'aggiornamento e la rigenerazione di energia, acqua e materiali, e anche per tracciare i loro flussi mediante misurazione, monitoraggio e divulgazione degli ingredienti.

I framework di riferimento per l'adozione dei principi relativi alla progettazione circolare, come quelli adottati per Arup SPeAR (Sustainable Project Appraisal Routine), REGEN, LENSES (Living Environments in Natural, Social and Economic Systems) e Peter e Willis Framework, possono essere applicati nel processo di progettazione integrativa per un dialogo aperto in fase di progettazione iniziale.

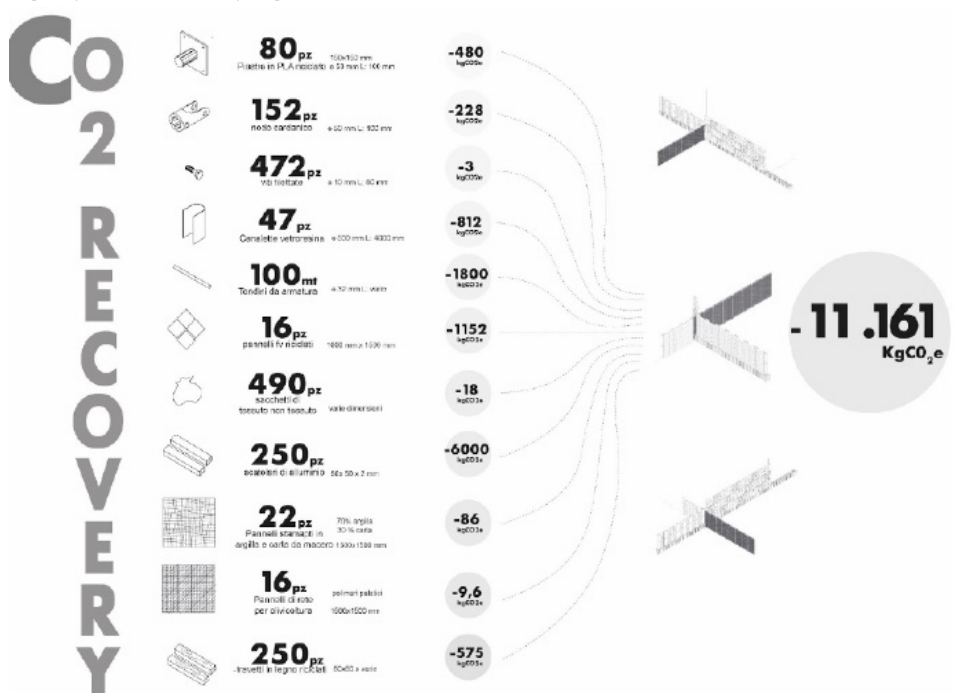


Fig. 7. Schematizzazione delle possibilità di recupero della CO2. (fonte: elaborazione di F.Filice e E. Catalano per il Workshop GRS, 2022)

In sintesi, il concetto di architettura ecologica si pone come un principio flessibile all'interno dei principi di economia circolare per abbracciare sia i principi e le fasi legate al design rigenerativo (Fig. 7), sia per spostare le pratiche di bioedilizia dal funzionamento isolato, come pratiche puntuali in precisi interventi, all'approccio sistemico per la proliferazione dei sistemi naturali (Fig. 8). Kiel Moe [10] ha articolato per rispondere a questo i ruoli dei vari agenti inerenti allo slancio tecnologico dell'isolamento e alle sue pratiche associate: architetti, ingegneri, scienziati, materiali, equazioni, termodinamica, codici, standard di test, imprenditori, accademici, marketing e consumatori. La teoria scientifica sull'energia, la termodinamica applicata in modo semplice e riduttivo alla progettazione degli edifici attraverso standard, codici e singoli indici che dominano le attuali pratiche di bioedilizia non risulta infatti sufficiente.

L'approccio dell'UpCycling, deve anche necessariamente riflettersi sull'attuale condizione di prestazione riferita alla qualità della vita e ai livelli di comfort, principi che si basano sul presupposto che il comfort umano si ottiene in equilibrio tra perdite e guadagni di calore e

necessita di un ambiente eterogeneo [10].

Un nuovo approccio progettuale per la sostenibilità rigenerativa va oltre l'*epistemologia* dell'efficienza energetica e della conservazione. Ha bisogno di un approccio ecologico per introdurre calore, luce, vento e acqua e per progettare gerarchie energetiche funzionali alla transizione ecologica. In poche parole il design ecologico non può essere giustificato semplicemente dall'aggiunta del verde o di altri sistemi più o meno strutturali.

Ad ogni modo, gli approcci di progettazione ecologica devono anche andare oltre una comprensione ingegneristica di efficienza, isolamento e riduzione.

L'approccio progettuale ecologico per l'architettura che abbiamo definito 5.0 mira espressioni architettoniche delle gerarchie e dei flussi di energia e risorse negli edifici.

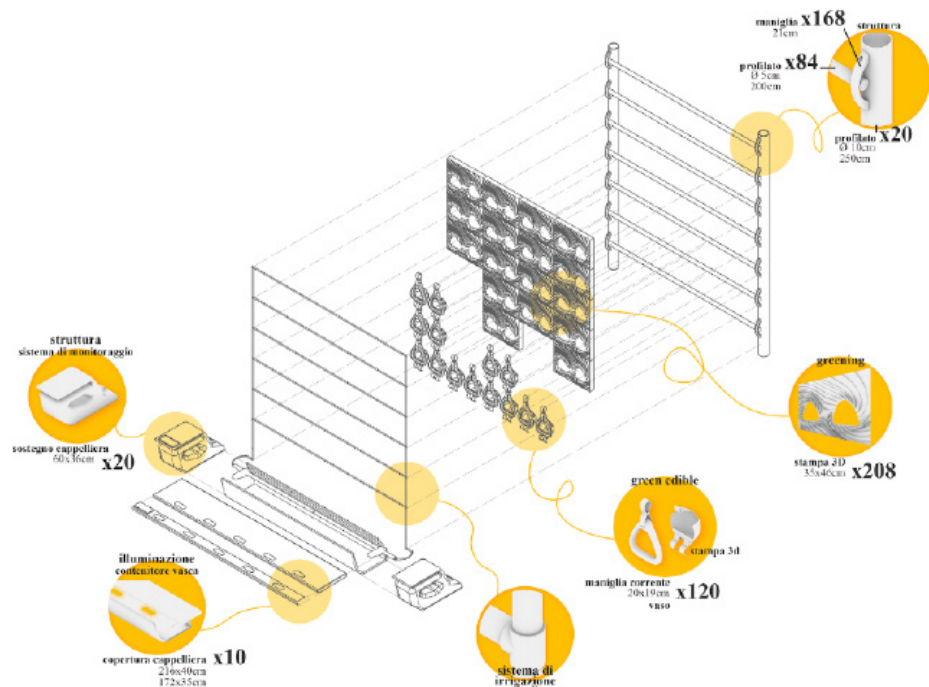


Fig. 8. Sintesi dell'MVP 4 per la definizione del sistema tecnologico. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

E' importante che vi sia un'approfondita ricerca interdisciplinare tra i temi riferiti all'architettura ed all'ecologia. Nella sperimentazione sulla meridiana come prototipologia in attesa del suo processo di UpCycling, il primo passo per avviare un protocollo sulla ricerca della capacità bioricettiva del componente, in ottica di transizione da un modello di tipo MVP alla definizione del GRS, è riconoscere che le strutture devono seguire un salto frattale (Fig.9) da un livello di scala all'altro.

Si nota come la predisposizione di alette formate come spirale, che partendo dalla geometria della maniglia oggetto di UpCycling, sono organizzate per integrare e accogliere al loro interno le masse di cellule vegetative. Le strutture biologiche e le strutture digitali devono entrambe rispettare l'esigenza della frattalità, una delle informazioni di vita più rilevanti per l'architettura 5.0.

La variazione delle altezze nelle iterazioni della forma del materiale ha consentito lo studio effettivo della quantità di materiale utilizzato in questi modelli fisici, nonché la loro capacità di bioricettività attraverso l'utilizzo del tool Ladybug.

Il plug-in in questione, fin qui utilizzato per l'analisi dei fattori di contesto ambientale, viene qui utilizzato per la valutazione della capacità bioricettiva, valutando i livelli di umidità relativi alla diversa esposizione (Fig.10).

Il passaggio successivo nella rilettura della sperimentazione con la metodologia TRL esporrà in dettaglio ulteriori prove meccaniche per dimostrare l'efficienza delle pratiche di UpCycling nelle forme proposte dai modelli applicativi del GRS.

Questa personalizzazione dell'esame del materiale stampato in 3D è stata rafforzata anche dal confronto con altre strategie di fabbricazione digitale che saranno espone nella sezione seguente, per dimostrare la capacità strumentale della stampa 3D per raggiungere la sostenibilità nell'utilizzo dei materiali e nei processi di produzione.

In ambito di indagine dell'effetto delle sollecitazioni ambientali sul valore medio della radiazione solare sulla superficie trattata viene cercato:

il valore del coefficiente di correlazione tra il parametro di abbinamento della crescita di vegetazione spontanea e la media dei valori di radiazione solare sulle superfici del componente; i parametri della geometria dell'ambiente urbano all'interno del quale viene inserito (rapporto altezza-larghezza (H/W)) e l'orientamento della strada sono i parametri urbani più rilevanti responsabili dei cambiamenti microclimatici in un canyon urbano, che verrà successivamente definito[11].

#### CLIMATE ANALYSIS

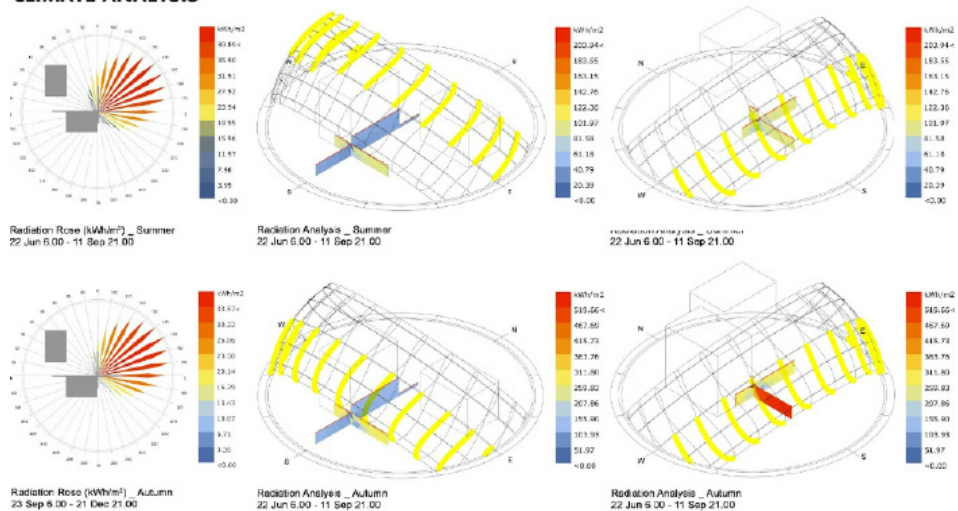


Fig. 9. Analisi delle sollecitazioni che influenzano i fattori di comfort. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

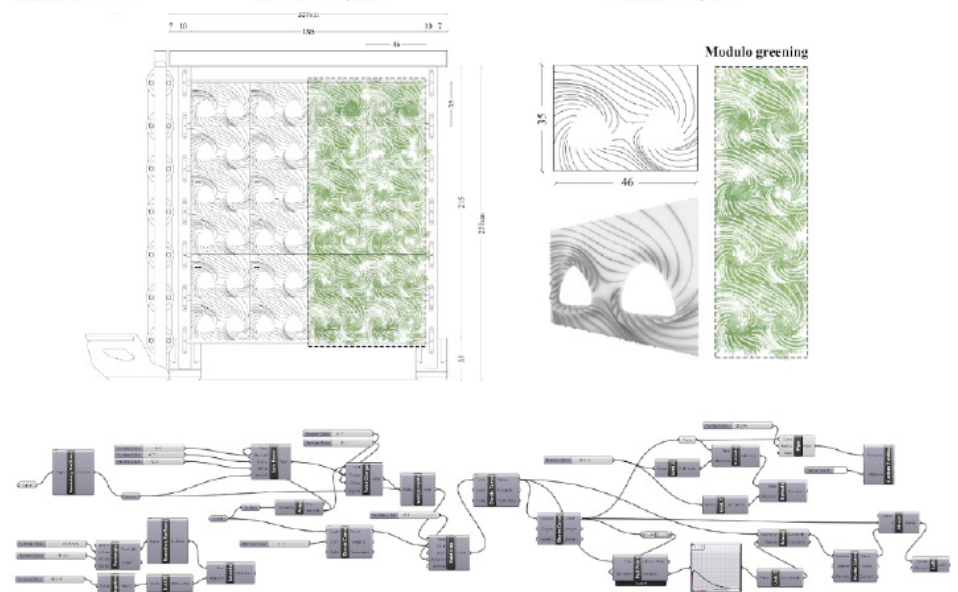


Fig. 10. Script parametrico per la definizione del componente bioricettivo. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

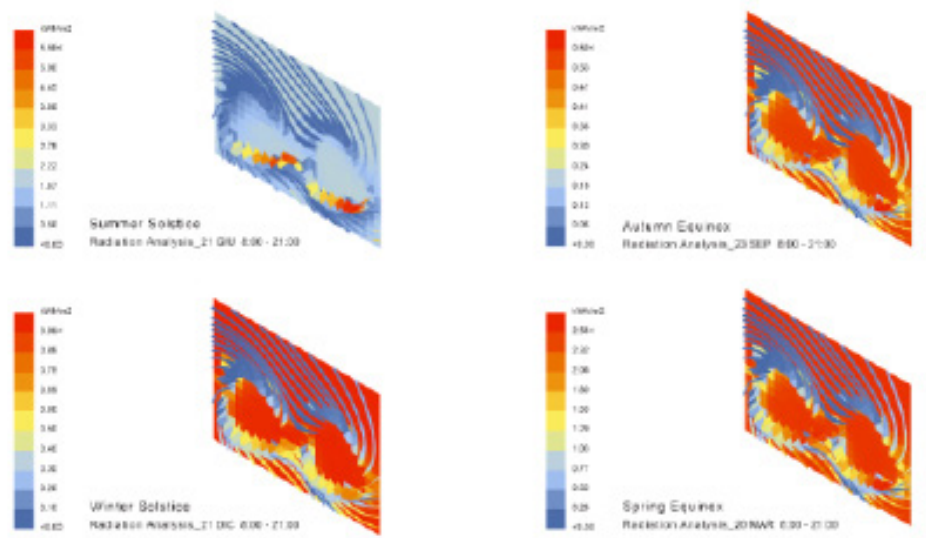


Fig. 11. Valutazione parametrica della capacità biorcettiva. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

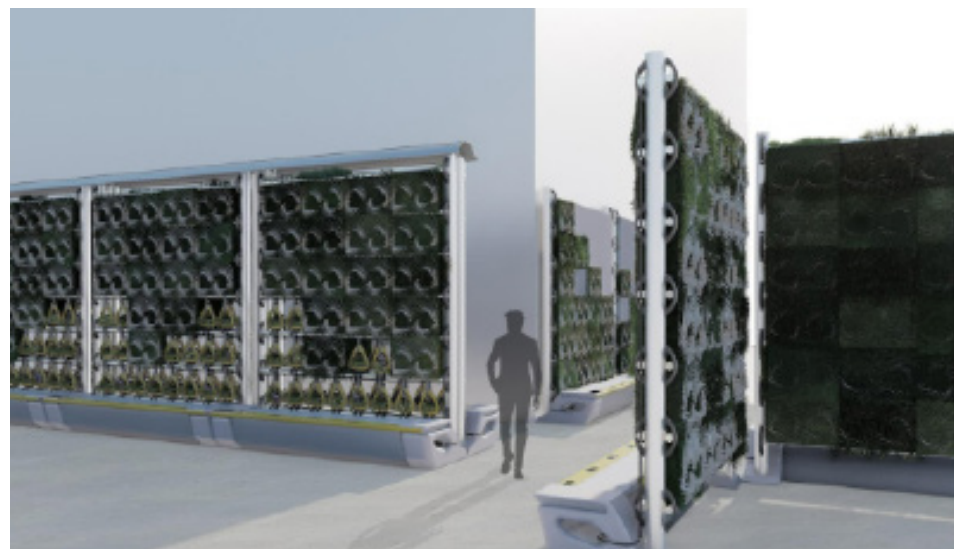


Fig. 12. Visioning finale dell'MVP 4. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

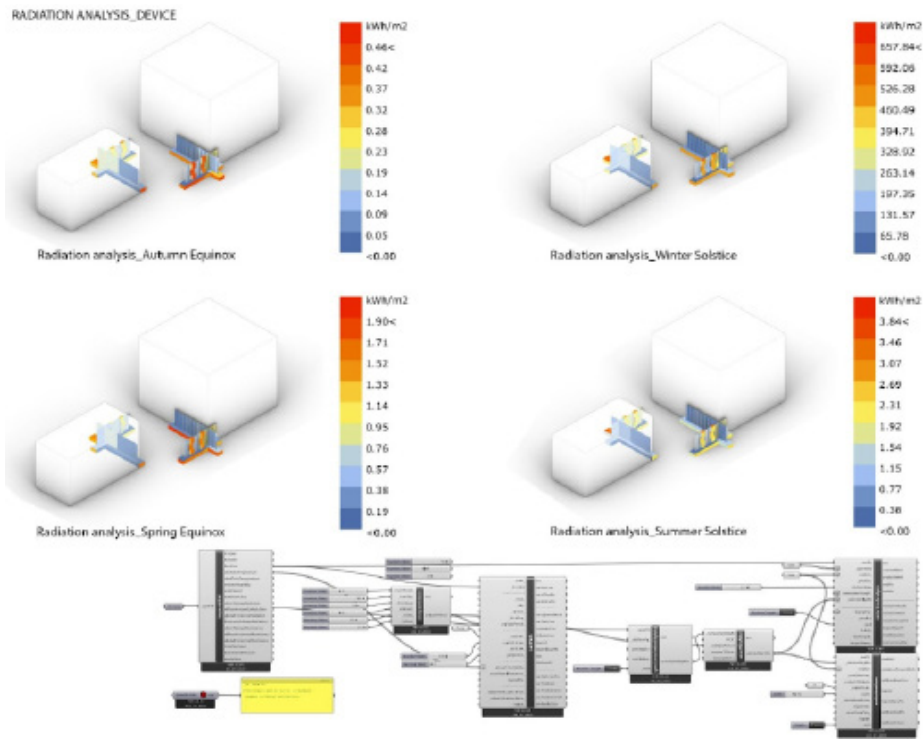


Fig. 12. Valutazione parametrica del contesto di applicazione. (fonte: elaborazione di V.Cordi e D.Laganà per il Workshop GRS, 2022)

## 8.2 Formulazione sperimentale per il trasferimento della metodologia TRL

Come strumento per valutare la maturità delle tecnologie durante lo sviluppo di sistemi complessi, la NASA ha introdotto la scala del livello di prontezza tecnologica (TRL) negli anni '70. Il Mars Curiosity Rover della NASA ha utilizzato i dati TRL per prendere decisioni multimilionarie di gestione della tecnologia [12].

Molti settori, inclusi i sistemi di alimentazione e l'elettronica di consumo, utilizzano oggi questa scala di valutazione per la valutazione del livello di maturità tecnologica.

Già nella trattazione Ipersostenibilità e Tecnologie Abilitanti, Consuelo Nava offre un'importante integrazione sull'applicazione della metodologia TRL nel settore delle costruzioni, in particolare per valutare l'industrializzazione dei sistemi costruttivi nella ricerca-progetto per la S2 Home [13].

Alcune pratiche relative ai TRL, tuttavia, sollevano preoccupazioni a causa di prove aneddotiche. L'applicazione della metodologia TRL nell'esperienza laboratoriale (Fig. 13) analogamente si fonda sulla base di esperienze semi-strutturate con gli studenti dell'Atelier di Tesi, per cui la documentazione raccolta in fase di ricerca segue le linee guida organizzative relative allo sviluppo e alla dimostrazione della tecnologia.

L'esperienza laboratoriale viene così divisa in tre filoni di sperimentazioni paralleli (Process Mapping, Prototyping, Regenerative Design) per l'individuazione dei caratteri trasferibili in una metodologia progettuale definita TRL base, e per la validazione di ogni passaggio mantenendo l'approccio interscalare.

L'applicazione della metodologia e del modello teorizzato viene quindi limitata all'oggetto-caso di studio, con approccio speculativo dei singoli laboratori evidenziandone: le aree che utilizzano e producono una quantità sufficiente di dati e hanno obiettivi chiari su ciò che si sta cercando di ottenere attraverso il progetto dell'UpCycling; gli scenari in cui sono stati sviluppati algoritmi ed approcci adeguati per renderli pienamente funzionanti nei rispettivi campi di interesse; le situazioni in cui diventa necessaria una restituzione grafica per operare il confronto empirico dei dati ottenuti.

**ABITA lab**  
Centro interuniversitario  
di Architettura Biocologica ed  
Innovazioni Tecnologica per l'Ambiente

in collaborazione con  
**pm openlab**  
Ricerca e Trasferimento Tecnologico  
Transizione Ecologica e Digitale

# TRL LAB EXPERIENCE

## Climate neutrality and zero carbon

Process Mapping - Prototyping - Regenerative Design

**PROGRAM**

**TRL 0-1**  
lun. 04 luglio\_h. 9:00/12:30 – 14:30/17:30  
mart. 05 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30

**TRL 2**  
mart. 12 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30  
merc. 13 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30  
[Lab experience Mid Review]  
giovedì 14 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30

**TRL 3**  
lun. 18 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30  
mart. 19 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30

**TRL 4**  
mart. 26 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30  
merc. 27 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30  
[Lab experience Final Review]  
giovedì 28 luglio\_h. 9:30/12:30 – 14:30/17:30

**Process Mapping [PM]**  
Arch. RTdA Giuseppe Mangano  
(ABITAlab dArTe)

**Prototyping [PT]**  
Arch. PhD student D. Lucanto  
(ABITAlab dArTe)

**Regenerative Scenarios [RS]**  
Arch. PhD Alessia Leuzzo  
(ABITAlab dArTe)

**Responsabile Scientifica**  
Prof.ssa Consuelo Nava

**TESISTI (Atelier 21/22)**

Catalano Eliana [PT]  
Cirulla Giovanna [PM]  
Cordi Valentina [PT]  
Filice Federico [RS]  
Laganà Daniela [RS]  
Priolo Omar [PT]  
Randisi Alessia [PM]  
Valerioti Emilio [PT]

**1 mese [60 h]**

c/o ABITAlab laboratories

Fig. 13. Programma di sperimentazione del laboratorio TRL Experience. (fonte: elaborazione G. Mangano, 2022)

Una grande influenza nella sfida all'innovazione radicale [14] riguarda il superamento del grado di incertezza e mancanza di comprensione dei rischi in termini di mancata mitigazione o adattamento alle condizioni di CC applicate al contorno.

Nonostante i rischi e l'incertezza (soprattutto in progetti complessi), i margini di errore non possono essere eliminati, possono essere notevolmente ridotti sfruttando il potenziale di gestione, grazie all'applicazione anticipata di software parametrici di tipo rigenerativo focalizzati sull'elaborazione dei requisiti tecnologici; sulla validazione della maturità della tecnologia richiesta; e sul progresso tecnologico necessario per soddisfare obiettivi, obiettivi e requisiti del programma/progetto.

Questa sezione fornirà un esempio dell'uso della metodologia TRL, orientata ad affrontare questa serie di problematiche nel progetto di un sistema di frontiera che assume le caratteristiche del GRS, attraverso un progetto di architettura, che nella sua realizzazione collettiva, con sistemi che operano in UpCycling.

Tutti i livelli di TRL (Fig. 13) non vengono utilizzati qui come mero esercizio, ma supporto la pianificazione del progetto per l'innovazione tecnologica [14].

Si considera quindi l'applicazione di un TRL (1-4), considerato come basso, utilizzato di solito per applicazioni o ancora in fase di sviluppo, quando ancora non sono stati raggiunti risultati promettenti sul piano della maturità.

#### Technology Readiness Level Definitions

TRL	Definition	Hardware Description	Software Description	Exit Criteria
1	Basic principles observed and reported.	Scientific knowledge generated underpinning hardware technology concepts/applications.	Scientific knowledge generated underpinning basic properties of software architecture and mathematical formulation.	Peer reviewed publication of research underlying the proposed concept/application.
2	Technology concept and/or application formulated.	Invention begins, practical application is identified but is speculative, no experimental proof or detailed analysis is available to support the conjecture.	Practical application is identified but is speculative, no experimental proof or detailed analysis is available to support the conjecture. Basic properties of algorithms, representations and concepts defined. Basic principles coded. Experiments performed with synthetic data.	Documented description of the application/concept that addresses feasibility and benefit.
3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept.	Analytical studies place the technology in an appropriate context and laboratory demonstrations, modeling and simulation validate analytical prediction.	Development of limited functionality to validate critical properties and predictions using non-integrated software components.	Documented analytical/experimental results validating predictions of key parameters.
4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment.	A low fidelity system/component breadboard is built and operated to demonstrate basic functionality and critical test environments, and associated performance predictions are defined relative to the final operating environment.	Key, functionally critical, software components are integrated, and functionally validated, to establish interoperability and begin architecture development. Relevant Environments defined and performance in this environment predicted.	Documented test performance demonstrating agreement with analytical predictions. Documented definition of relevant environment.
5	Component and/or breadboard validation in relevant environment.	A medium fidelity system/component breadboard is built and operated to demonstrate overall performance in a simulated operational environment with realistic support elements that demonstrates overall performance in critical areas. Performance predictions are made for subsequent development phases.	End-to-end software elements implemented and interfaced with existing systems/simulations conforming to target environment. End-to-end software system, tested in relevant environment, meeting predicted performance. Operational environment performance predicted. Prototype implementations developed.	Documented test performance demonstrating agreement with analytical predictions. Documented definition of scaling requirements.

Fig. 13. Step per la validazione TRL.

### 8.2.1 TRL 1 - Formulazione dei principi di base

Come riportato nella definizione legata al primo step per la validazione del TRL 1, questa richiede la formulazione del livello più basso di disponibilità tecnologica riferita al prototipo che si intende sperimentare. La ricerca scientifica, applicata al campo del design per la realizzazione del GRS, comincia così a dirsi avanzata sugli aspetti di ricerca applicata e sviluppo.

Gli esempi, riferiti al design computazionale, alla progettazione rigenerativa ed alle tecnologie di stampa 3D, riferiscono sulle proprietà di base della tecnologia adottata, software e hardware [15].

È evidente che il GRS punta a raggiungere con la sperimentazione applicata almeno il TRL-6, prototipo, che precede il dimostratore (TRL-7).

La progettazione computazionale è qui definita come un campo creativo che fa riferimento ad un'idea futuristica di intelligenza artificiale. Contrariamente alla credenza comune che una macchina non possa creare senza input, i progressi tecnologici hanno reso possibile la nascita di visioning, funzionale in questo caso alla formulazione di un concept visivo. Il quadro teorico (Fig. 14), riferito alla pratica applicazione del GRM ed alla teoria della progettazione circolare, viene applicato per comprendere i risultati ottenuti nella definizione dell'MVP.

Durante la fase di analisi, infatti, sono emersi diversi concetti che sono stati utilizzati per supportare i risultati. Questi in particolare fanno riferimento al paradigma di ricerca dell'*interpretativismo*, che porta prima della definizione degli scenari prestazionali ed alla sintesi metodologica ad intercettare ed evidenziare i temi generali, e lo stato dell'arte ad essi riferito.

La definizione del livello di innovazione circolare basata sullo stato dell'arte della tecnologia 3DC (Fig.15) sul mercato e l'individuazione dei caratteri per abilitare i processi di stampa 3D completa la formulazione dei principi base nell'applicazione pratica trasferita al progetto architettonico e all'edilizia. Gli sforzi delle organizzazioni commerciali stanno traducendo la ricerca di laboratorio in applicazioni su vasta scala, sviluppando la maturità della tecnologia. Per generare un set di dati utile per evidenziare la portata di queste applicazioni, abbiamo cercato e raccolto informazioni da imprese e società attualmente impegnate in servizi commerciali 3DCP: enti senza scopo di lucro, università e istituti di ricerca non sono stati inclusi in questa parte dell'analisi [16].

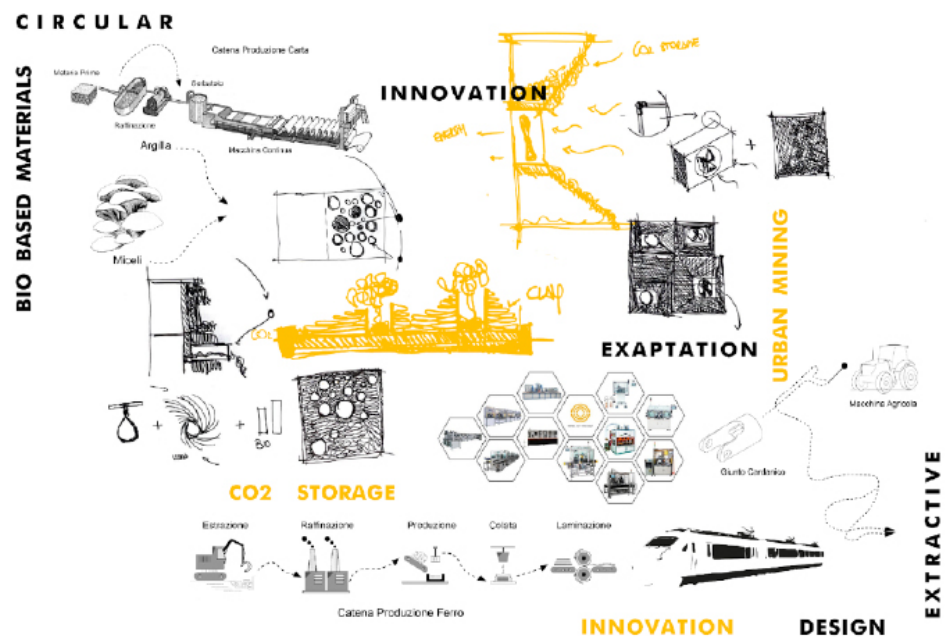


Fig. 14. Quadro teorico per la definizione del TRL 1. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

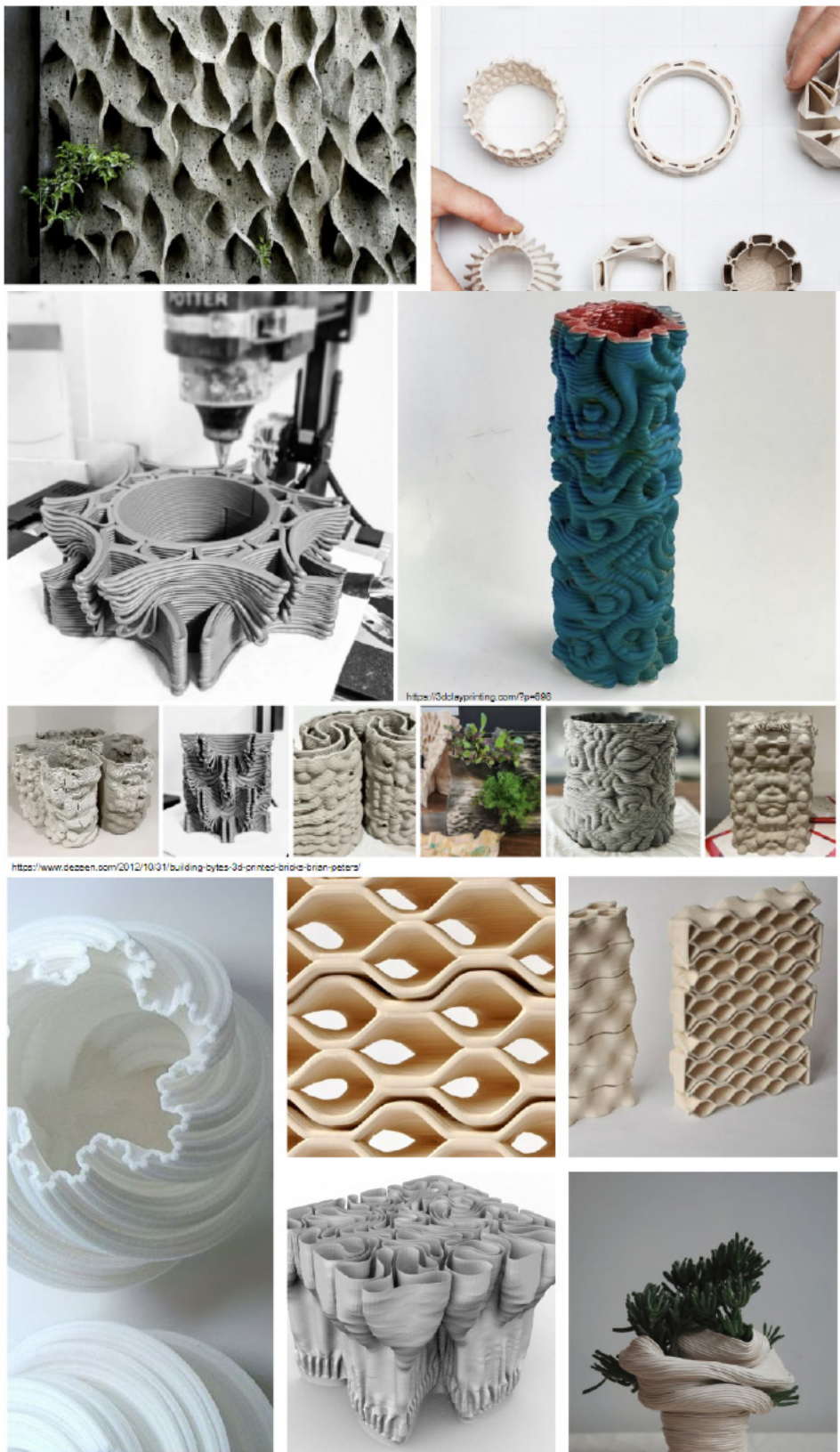


Fig. 15. Progetti di riferimento. Lavoro di ricerca degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

### 8.2.2 TRL 2 - Concept Tecnologico e formulazione del modello sperimentale di processo

La seconda fase del TRL definisce il concept tecnologico nel modello di sperimentazione riferito agli scenari per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. La formulazione del modello sperimentale si occupa di ridefinire i cicli di vita del prodotto di upcycling [17] che includono materie prime, design, produzione, consumo e rifiuti, il modello circolare deve essere progettato infatti già nella fase iniziale del processo.

Il rapporto tra materiale, prodotto e riciclabilità diventa fondamentale. Poiché l'upcycling del design del prodotto differisce dalla produzione di massa nel suo sistema per l'incremento del valore, viene ampliato nella sua definizione riferita al concetto di valore con la misura delle prestazioni ambientali in termini di consumi energetici evitati in fase di produzione ed emissioni di CO<sub>2</sub> risparmiate.

Per rendere efficace il modello del Green Responsive System diventa necessario definire il suo modello di gestione a fine vita, sulla base del framework Cradle to Cradle [18].

Di conseguenza, questo studio passa in rassegna il "processo di progettazione di upcycling" di progettazione e produzione di prodotti di upcycling in architettura [19].

Come si può notare dalla graficizzazione degli impatti una parte significativa del costo ambientale di produzione è determinata dalla progettazione degli MVP, che inizia con la rivalutazione dei rifiuti e l'aggiunta di funzionalità ed estetica ai materiali riciclati [20].

Gli studenti all'interno del laboratorio, in qualità di progettisti determinano una strategia di produzione e usabilità basata sulle specifiche dei materiali nella fase di generazione del concept. L'efficacia dei materiali del processo di progettazione dell'upcycling è determinata selezionando fonti di materiale riciclabili e capaci nel loro funzionamento di avviare dei processi di stoccaggio della CO<sub>2</sub>.

Il valore del materiale viene quindi definito ed aumentato, secondo le logiche di UpCycling, già quando il design oggetto di sperimentazione viene sottoposto al processo di selezione dei materiali e dei componenti.

Selezionando a catalogo quei materiali che altrimenti verrebbero scartati, si opera il riutilizzo in una catena del valore sostenibile per creare prodotti di design che aumentino la capacità prestazionale dei materiali.

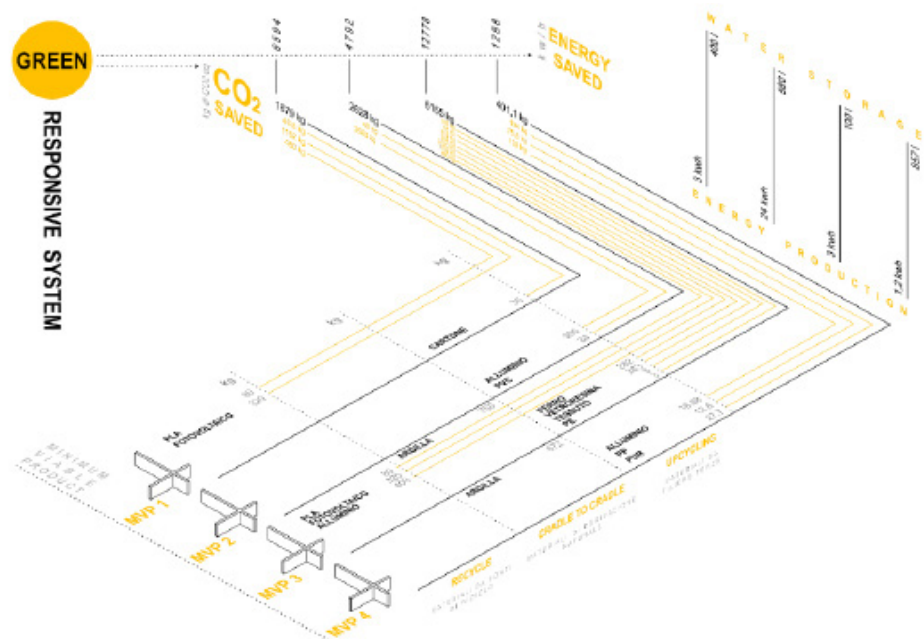


Fig. 16. Graficizzazione degli impatti degli MVP. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

Al di là degli obiettivi prefissati in fase di concept, nella formulazione del modello sperimentale è necessario approfondire un ulteriore sviluppo tecnologico riguardante l'ibridazione tecnologica dei sistemi in UpCycling, con i sistemi per il rinverdimento, quindi l'accoppiamento di strategie per incorporare i processi biorecettivi all'interno del componente /sistema prototipato. (Fig. 17)

Scegliere un sistema piuttosto che un altro significa ottenere servizi diversi, oltre a significare che il risultato può produrre qualità estetiche dissimili. Considerato che oggi, in un contesto procedurale e normativo sempre più complicato, la motivazione formale non può essere l'unico fattore su cui fondare un'opera, diventa quindi fondamentale chiarire quale sia la principale esigenza progettuale che si intende sostenere attraverso l'applicazione di sistemi bioricettivi.

Mahler e Aurik [21] hanno affermato che il processo di progettazione diventa più consapevole delle sue implicazioni quando questi considerano il ciclo di vita di un prodotto e la sua attività di vendita dei materiali, dall'ideazione del prodotto, attraverso la progettazione e la produzione circolare, mentre altri hanno approfondito lo studio sul ciclo di vita dei materiali come l'estensione del ciclo di vita del prodotto. Distinguere e separare i materiali tecnici e biologici nei prodotti per mantenerli sempre al massimo valore diventa possibile attraverso una progettazione e un uso efficaci dei materiali.

Pertanto, è necessario considerare l'upcycling dei rifiuti post-consumo come l'upcycling dei rifiuti pre-consumo, insieme all'elaborazione degli interventi per l'ottimizzazione di progetto.

Gli obiettivi definiti dal modello sperimentale quindi sono:

- 1) valutare le attuali prospettive teoriche della circolazione delle risorse e del ciclo di vita del prodotto concentrandosi sulla progettazione dell'upcycling;
- 2) condurre un modello di sperimentazione basato sul PLCA dei materiali utilizzati dagli utenti nella progettazione di prodotti in UpCycling;
- 3) indagare le caratteristiche dell'esperienza di vita materiale e i metodi di assemblaggio nell'attuale processo di progettazione dell'upcycling.

Durante la progettazione di prodotti di upcycling, i designer devono lavorare entro i parametri prescritti. In questo modo si facilita la circolazione dei materiali e si riducono gli sprechi. Il processo di upcycling enfatizza la sostenibilità attraverso la gestione dei rifiuti, la produzione, il consumo e utilizza meno materiali ed energia vergini [6].

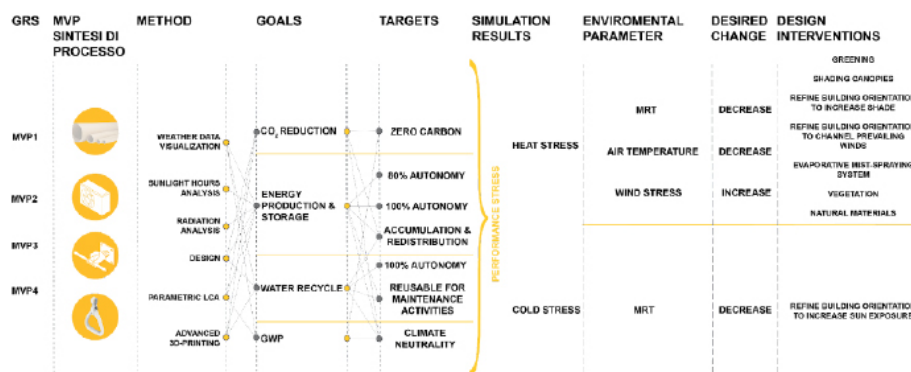


Fig. 17. Sintesi di metodo per il trasferimento degli MVP nella TRL exp. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

La sintesi offerta da questo passaggio affronta le potenzialità nella validazione delle tecniche avanzate legate alla stampa 3D di tipo LDM [16] e introduce un flusso di lavoro innovativo e robusto per la stampa di componenti 3D sconosciuti e di forma arbitraria che permettono di indagare le capacità bioricettive che i componenti di argilla possono ottenere con un determinato design (Fig. 18, Fig. 19).

Questo approccio integrato offre il vantaggio di rispondere direttamente a geometrie sconosciute attraverso la personalizzazione automatizzata del design delle prestazioni. Questo tipo di caratterizzazione permette di contestualizzare il lavoro all'interno dell'attuale stato dell'arte della stampa in argilla. Viene quindi descritta la metodologia di stampa 3D avanzata e l'esperimento di prototipazione utilizzato per testarla.

La stratificazione predittiva dei prototipi valida inoltre la "computational material strategy" che permette di definire il pacchetto tecnologico costituente il componente di frontiera. I dati sui materiali e sui componenti utilizzati in Bombyx sono quindi sottoposti ad un processo di ottimizzazione in Galapagos, attraverso il quale viene definita la stratigrafia, quindi lo spessore di ciascun componente, in modo da ottenere il GWP più basso.

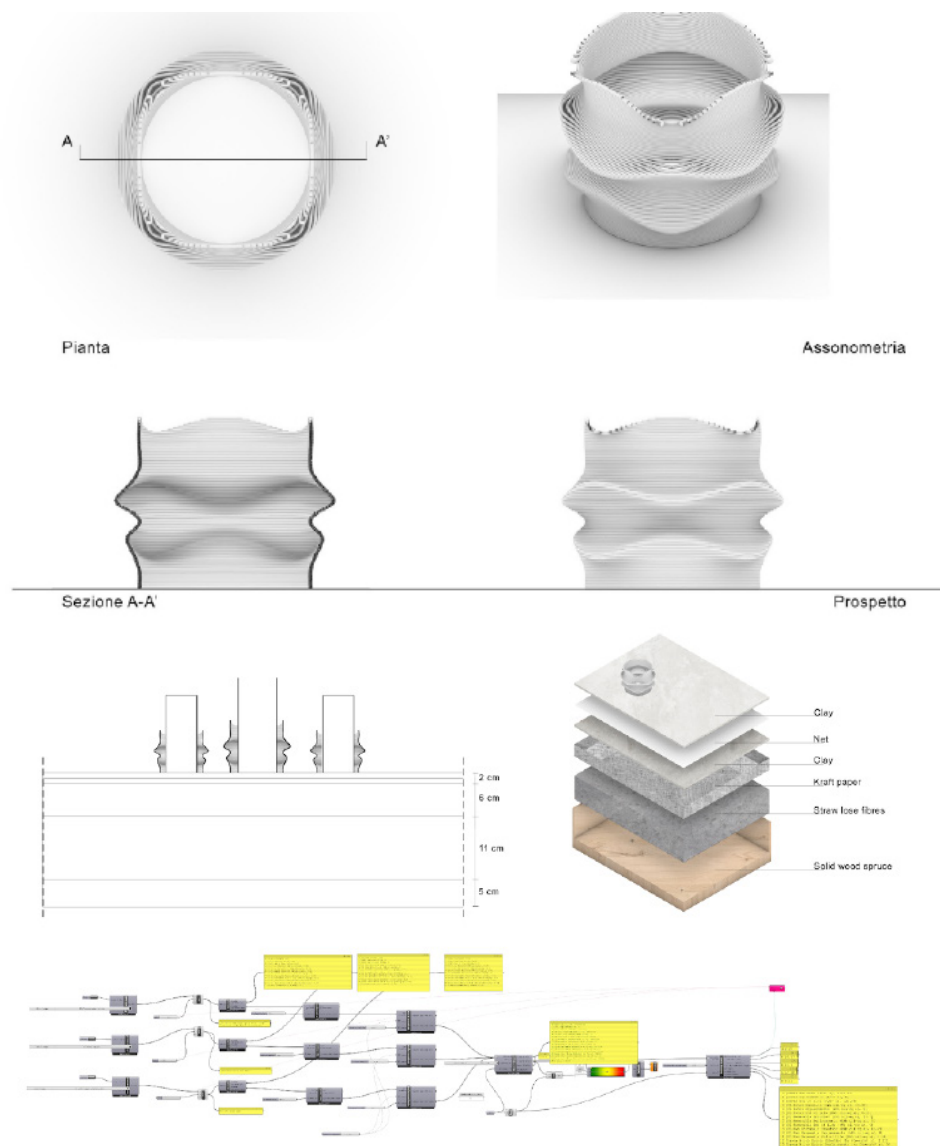


Fig. 18. Componente prototipologico realizzato nell'ambito del laboratorio di prototipazione. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

Ulteriori adeguamenti, riferiti all'aggiunta di nuovi materiali e componenti è stata eseguita tramite modifica dello script in Python dei componenti originali, dopo aver confrontato i risultati ottenuti acriticamente, con l'effettiva disponibilità dei materiali scelti in fase di ottimizzazione.

Chiaramente, l'obiettivo dell'attività laboratoriale è stato quello di validare in questo step l'approccio metodologico necessario a migliorare sia le prestazioni ambientali che la qualità architettonica.

Intercettare i parametri per definire la qualità architettonica non è facile e può essere parzialmente soggettivo, quindi una volta concluso l'attività laboratoriale collettiva (TRL-5) i risultati oggettivi delle prestazioni dei singoli sistemi progettati dagli studenti saranno utilizzati come indicatore della qualità architettonica.

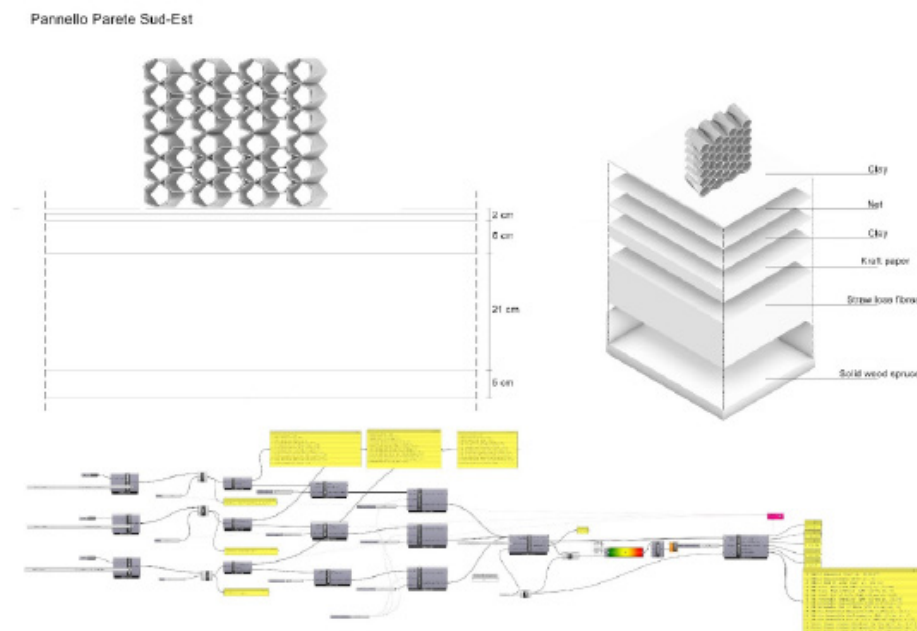


Fig. 19. Componente prototipologico realizzato nell'ambito del laboratorio di prototipazione. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.

Ancora, proseguendo nella sperimentazione di fase, gli studi condotti da DiNapoli e Pappenberger nella progettazione [22], trovano riscontro in questo step nella definizione dell'Universal Thermal Climate Index (UTCI). Questo è in grado di fornire previsioni globali attendibili riguardanti i rischi per la salute per l'esposizione a temperature estremamente elevate, o estremamente basse.

L'UTCI è stato sviluppato attraverso una collaborazione multidisciplinare di esperti dalla Commissione ISB 6 e dall'azione COST 730. Descrive il carico di calore fisiologico, chiamato stress, al quale il corpo umano è sottoposto per mantenere l'equilibrio termico con l'ambiente esterno circostante [23].

Il modello individuato per l'analisi in questione permette di orientare l'applicazione sperimentale sulla base di un modello di bilancio energetico, anziché, come fin qui operato, esclusivamente su parametri climatici come temperatura e umidità dell'aria.

Il regime dinamico di stress al quale viene sottoposto la prototipologia proposta permette, attraverso la definizione degli indici dell'UTCI, di combinare le condizioni di stress percepite dall'utente, con le qualità prestazionali del GRS, per rispondere all'aumento della temperatura della superficie terrestre dovute agli effetti del cambiamento climatico.

Grazie all'utilizzo dei plug in parametrici e dell'approccio del GRM, l'attività laboratoriale ha permesso di definire un modello di isolamento degli elementi termoadattativo per climi esterni permettendone l'ottimizzazione computazionale.

È importante considerare in fase di ottimizzazione tramite Galapagos, alcuni fattori come il bilancio termico umano, la fisiologia e l'abbigliamento, oltre che le caratteristiche fisico tecniche e la riflettività degli elementi progettati, quando si valutano gli effetti di temperature estremamente elevate, poiché questi fattori influenzano la capacità del corpo umano di mantenere la sua temperatura interna entro determinati limiti, indipendentemente dalla temperatura circostante.

A causa della natura computazionalmente intensiva e dispendiosa in termini di tempo la risoluzione del modello multinodo è avvenuta considerando un dato scenario generico, che declina in ambito sperimentale quanto già riferito sulla definizione di Canyon Urbano (Fig. 20), considerato come sistema prototipologico per lo sviluppo del pre-prototipo oggetto della sperimentazione sul GRS [24].

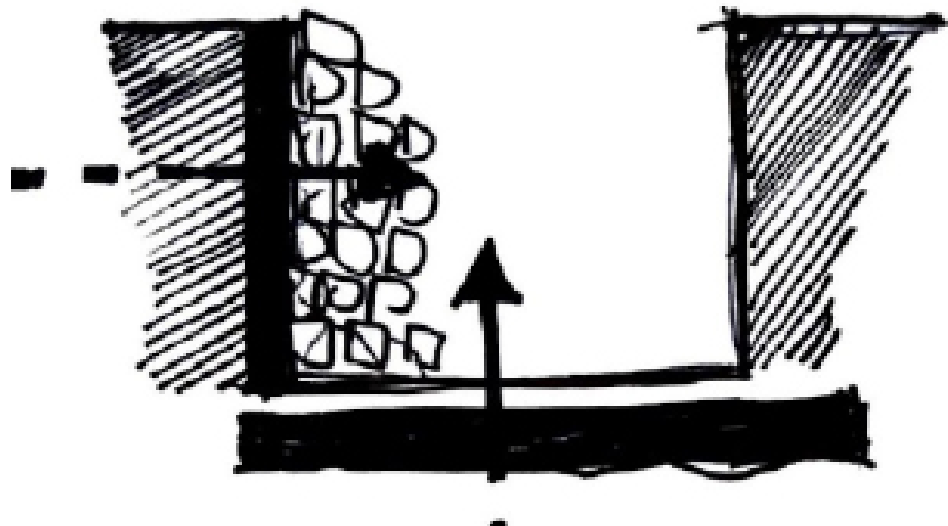


Fig. 20. Schematizzazione del Canyon Urbano. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

Una volta definita la configurazione dinamica degli scenari climatici all'interno del quale operare le simulazioni termiche, è possibile valutare diversi materiali con assorbimento solare variabile per vedere il loro impatto sulle prestazioni energetiche degli spazi urbani. In questo modo, si potrà ottenere la definizione della composizione materica del GRS attraverso un approccio computazionale. Questo processo permette di selezionare i materiali adeguati nella caratterizzazione del LS in modo da avere un impatto positivo in termini di emissioni [24].

La tabella in figura 21 fornisce informazioni dettagliate sulle proprietà dei materiali e sulle varianti di costruzione per i diversi input di simulazione.

Gli input di simulazione sono suddivisi in tre diverse varianti, considerando con diversi valori di assorbimento solare per ciascuna configurazione (Fig. 21) [25].

Nel canyon vengono selezionati quattro materiali di prova per confrontare gli effetti di ciascun componente.

La restituzione grafica permette di effettuare una prima sintesi analitica per confrontare le emissioni incorporate nel ciclo di vita degli stessi materiali, per poi andare a riferire sulla misura della variazione dell'assorbimento solare per vedere come influenzano l'MRT negli step successivi.

Il confronto mostra che i materiali caratterizzati da una forte emissività si riferiscono ai valori di temperatura radiante che superano i valori medi e assorbono la maggior parte della radiazione sotto forma di calore e ne riflettono una parte minore nel canyon.

I valori illustrati in figura 21 mostrano che poiché il profilo del canyon ha pareti alte, l'effetto di proiezione d'ombra, rende i risultati variabili, tuttavia questi risultati subiscono delle variazioni che rispondono allo stesso schema solo con alcune ore di differenziazione.

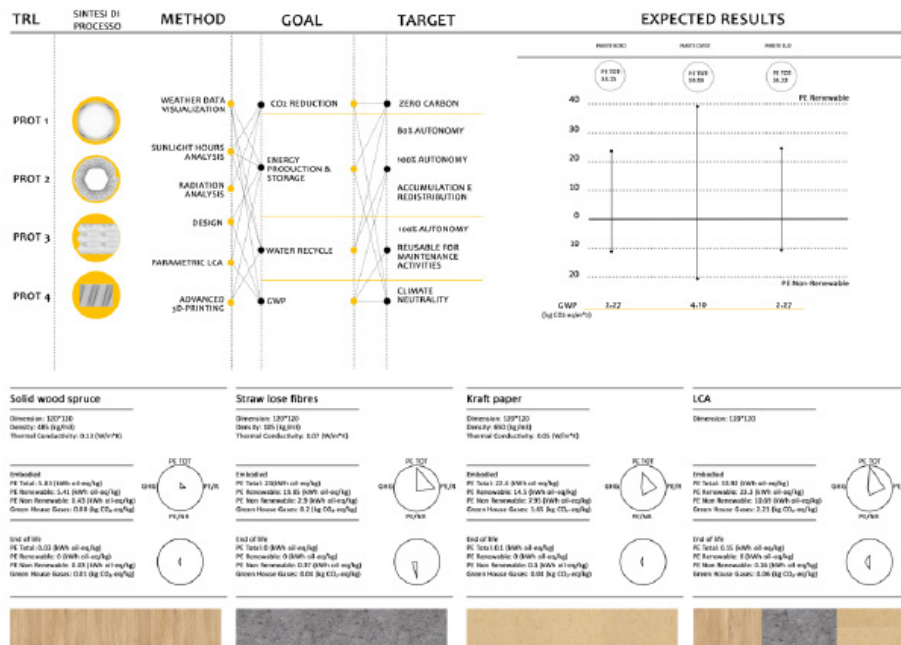


Fig. 21. . Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.

I valori MRT per i canyon studiati nella definizione degli scenari differiscono di 5-6 °C considerando le simulazioni ENVI-met effettuate sullo stato di fatto.

I flussi radianti delle onde corte e lunghe sono sommati dalla temperatura radiante media [26]. Poiché le radiazioni a onde corte vengono eliminate durante la notte [27], le differenze tra le simulazioni ENVI-met possono essere attribuite alle radiazioni a onde lunghe (Fig. 22).

I risultati hanno mostrato che in estate, il metodo progettuale proposto può ridurre l'UTCI media da 31,17 a 27,43 °C, una diminuzione di circa 3,74 °C, e ridurre la temperatura media di radiazione (MRT) da 43,94 a 41,29 °C, con una diminuzione di circa 2,65 °C.

La MRT in ciascuno dei punti di interesse, così come i valori medi attraverso i layout, sono illustrati nella Figura 23. L'andamento generale delle curve in tutti i modelli è congruente, tranne quando gli edifici ostacolano la radiazione del fascio.

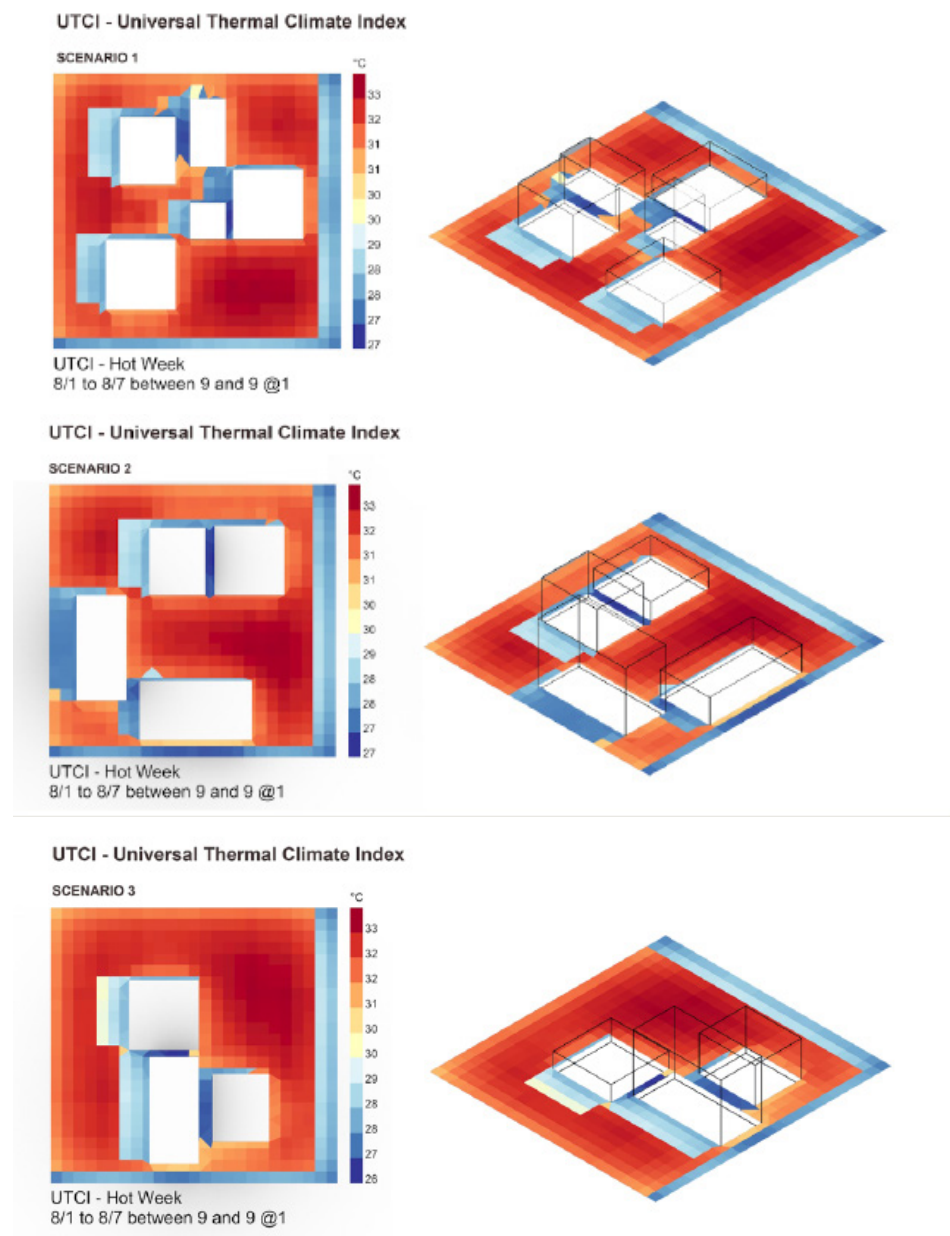


Fig. 20. Schematizzazione del Canyon Urbano. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

La differenza di temperatura massima si verifica con una differenza di 32,5 °C, mentre le altre differenze di temperatura massime non hanno superato i 13,5 °C alle 5:00. A parte i valori anomali, LB ha valori MRT più elevati durante le prime ore del mattino (5-8:00) di quasi 12 °C, quindi aumenta in tandem con EM durante le ore di punta e poi scende di quasi 10 °C durante la sera (18-20). L'analisi dei recettori in posizioni simili del canyon ha mostrato che fluttuavano in modo simile

Da questo primo approccio comparativo si può dedurre che la temperatura media radiante (MRT) è uno dei parametri più importanti per misurare il comfort termico delle aree urbane [28], [29]. Herrmann e Matzarakis [30] e Lin et al. [31] hanno sostenuto che la temperatura radiante media, insieme alla velocità del vento, svolgono un ruolo importante nell'influenzare le condizioni bioclimatiche termiche in estate.

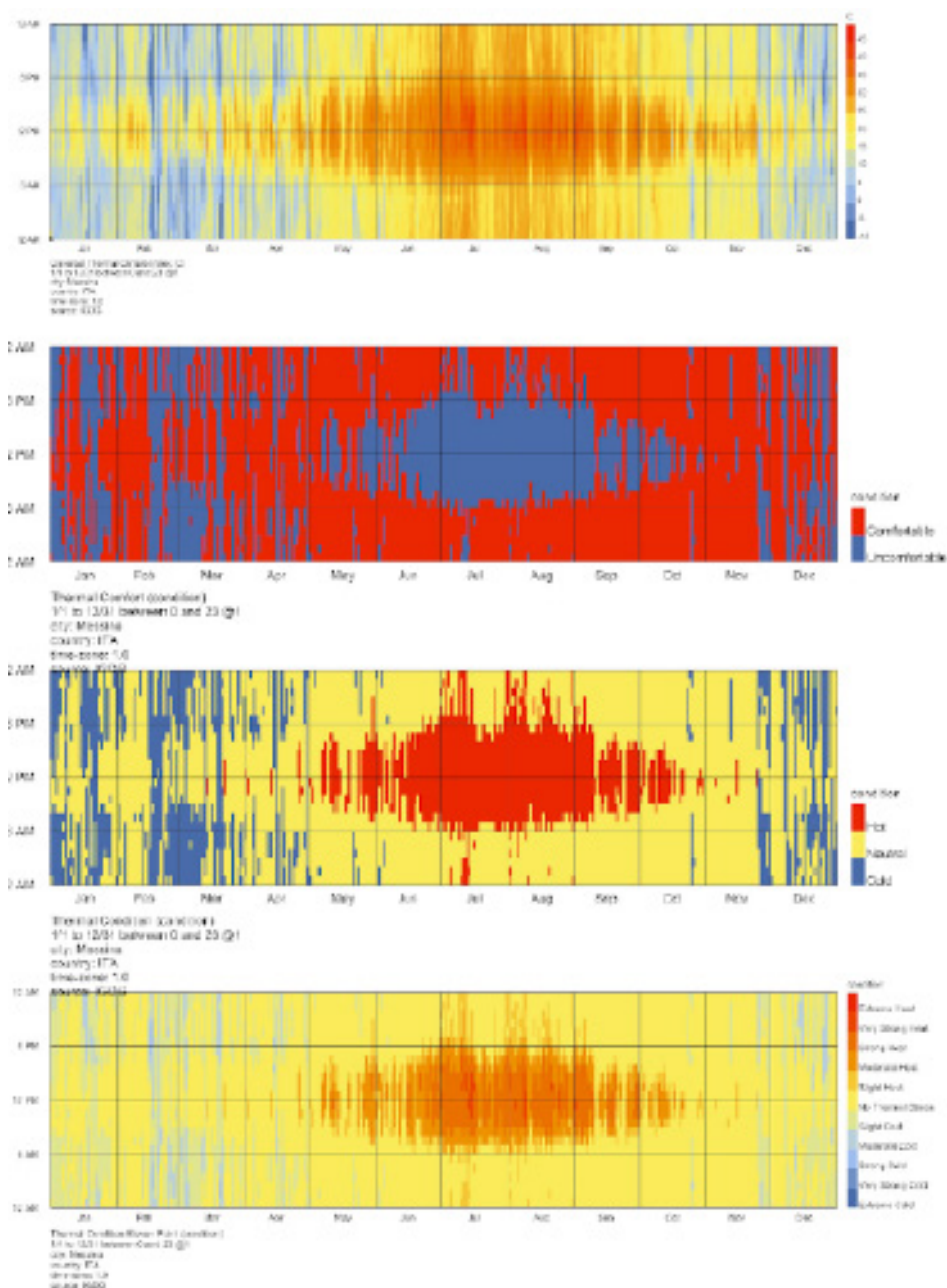


Fig. 21. . Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.

### 8.2.3 - TRL3 "Experimental proof of concept"

Quello che emerge dalle applicazioni sperimentali misurate nel TRL 3, riguardano il ruolo della MRT, considerando materiali utilizzati basso emissivi nel Progetto del LS all'interno del Canyon Urbano.

*"In sostanza, la temperatura media radiante riassume le radiazioni termiche ad onda lunga e ad onda corta, ed è definita come una temperatura uniforme in cui l'irraggiamento del corpo umano è uguale all'irraggiamento dell'effettivo involucro non uniforme, che è definito come la temperatura uniforme di un involucro immaginario contenente la stessa trasmissione di calore radiante. Il trasferimento di calore per irraggiamento tra il corpo umano e il suo ambiente nelle aree urbane è uno dei fattori più significativi nel processo di scambio di energia tra il corpo umano e l'ambiente circostante"* [32].

Il metodo di misurazione è molto importante quando si tratta di definire gli step per la validazione del TRL, verso lo step successivo. Per quanto riguarda l'utilizzo degli strumenti di misurazione in GH, è necessario l'utilizzo di diversi componenti per la definizione del workflow corretto.

Una metrica comune che è stata utilizzata in passato come misura del comfort è il voto medio previsto, che è stato sviluppato da Fanger [33].

La metodologia in questione dimostra che esiste una concezione del comfort che si basa sul presupposto che questo può essere raggiunto e mantenuto solo in un ambiente definito con condizioni al contorno nella progettazione di scenari climatici precisi e variabili.

Lo svantaggio critico di questi indici riguarda il cosiddetto Jumping Scale Effect. Si nota infatti che l'utilizzo di modelli di simulazione dal carattere predittivo per la valutazione del comfort esterno risulterebbe molto aleatorio per quanto riguarda i parametri per l'adattamento fisiologico di una persona che entra in un ambiente climaticamente diverso [34].

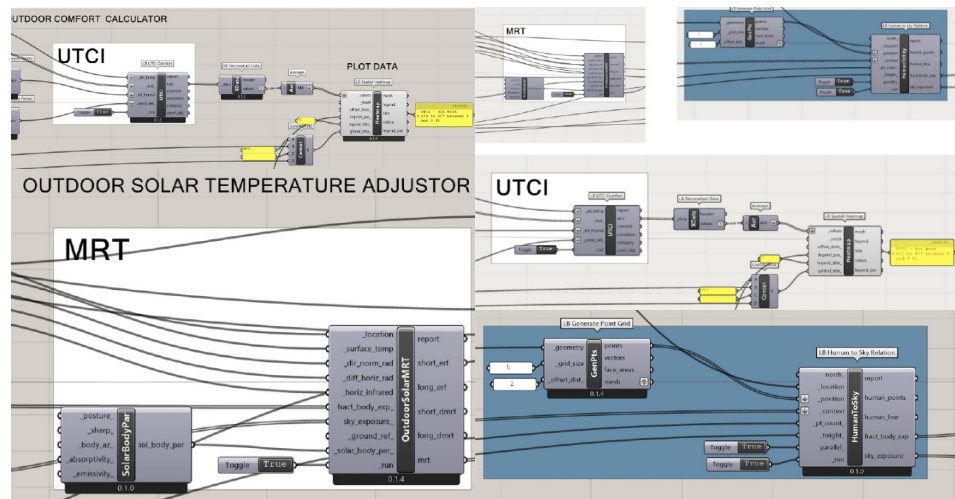


Fig. 22. Schematizzazione del Canyon Urbano. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

L'obiettivo diventa quindi quello di rileggere le metodologie presenti in letteratura, per sintetizzare un nuovo workflow capace di ottimizzare il comfort esterno in base agli effetti rilevanti della forma urbana e della vegetazione [14], [37].

Si inizia con le metodologie capaci di misurare l'effetto dell'isola di calore urbana su una scala di un isolato con ENVI-met 4, già affrontate nella presentazione della Prototipologia 4. Con lo strumento di simulazione CFD di ENVI-met, è possibile simulare la velocità del vento, la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante e così via in un ambiente urbano.

Sebbene alcuni parametri di output debbano ancora essere testati per l'affidabilità, in particolare per il calcolo della temperatura radiante media, la combinazione di ENVI-met con altri processi di simulazione e progettazione parametrica può aumentare la precisione delle simulazioni MRT e del comfort esterno, ed orientare la prototipazione del GRS verso sistemi traducibili in componenti per l'architettura in UpCycling del LS.

Il processo prevede una varietà di strumenti. La combinazione di questi strumenti di progettazione computazionale all'avanguardia può aumentare la capacità prestazionale del progetto. L'interesse della sperimentazione è quindi volto all'utilizzo dei risultati delle esperienze computazionali in fase di progetto e delle simulazioni ambientali per articolare le superfici architettoniche.

Questo tipo di articolazione trasmette un significato, che supera gli aspetti ornamentali, facilmente assimilabili alla progettazione parametrica.

Tali strumenti spesso si concentrano sulla facilità d'uso per consentire la loro applicazione interdisciplinare all'interno dell'ambiente costruito.

Mirano inoltre a consentire a designer e architetti di sfruttare la potenza degli strumenti di analisi e simulazione digitale nelle prime fasi del processo di progettazione.

In pratica, questi strumenti entrano nelle fasi successive del processo di progettazione e si concentrano sull'ottimizzazione di una singola opzione di progettazione.

Altri approcci mirano a creare modelli surrogati che consentono di perfezionare le opzioni di progettazione in tempo reale.

Per questa ricerca, all'interno di Grasshopper è stata generata una geometria di prova inserita negli scenari studiati per la definizione del MRT, ovvero le diverse configurazioni di Canyon Urban, a questi successivamente è stato applicato un algoritmo di Voxelizzazione. Sono stati implementati da un campo vettoriale, per informare l'algoritmo della posizione di ciascuna particella e tutte le posizioni aggiornate degli elementi del sistema sono state tracciate per frame.

Le tracce polilinee risultanti sono state convertite in un volume attraverso un metodo di conversione della struttura dati volumetrica. Una volta fissata la forma, il volume è stato convertito in una geometria poligonale [35]. Per approssimare il risultato è stato quindi utilizzato un insieme di voxel disposti nello spazio tridimensionale. In questa fase è possibile personalizzare il livello di unificazione e semplificazione.

In base alla capacità computazionale della macchina utilizzata, alle capacità di gestione 3D del software di analisi del target e agli obiettivi dell'utente, è possibile selezionare la risoluzione voxel distribuita.

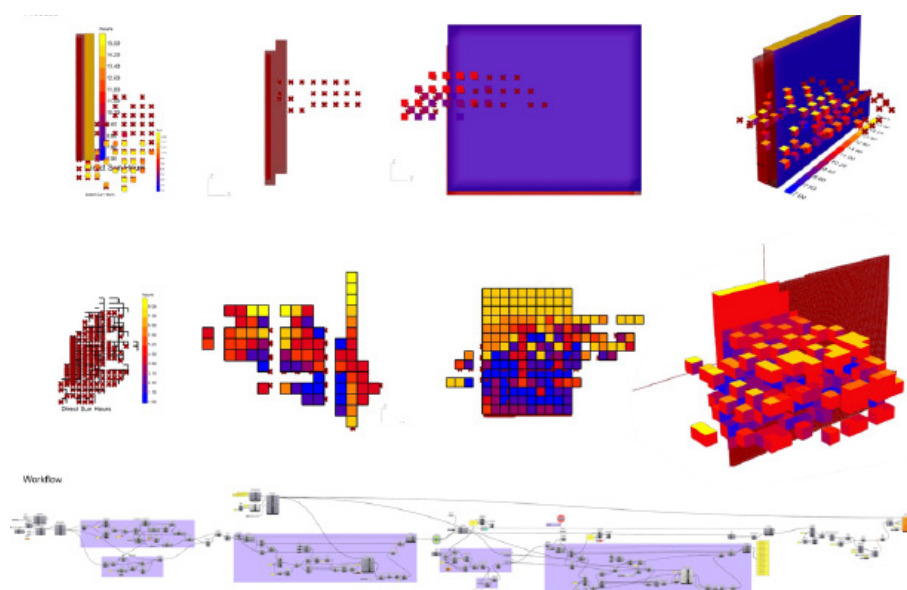


Fig. 23. - Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.

In questo passaggio è stata generata una gabbia rettangolare, che si avvicinava alla geometria che servirà nel passaggio successivo alla fase di ottimizzazione.

Come output è stato salvato un file STL. Pertanto, la gabbia finale è stata automaticamente codificata come una geometria mesh per l'importazione nel software di analisi ambientale. Basato sull'interazione tra voxel e contesto, il flusso di lavoro proposto produce voxel con attributi prestazionali incorporati.

Si propone in questo caso un nuovo modo di analizzare geometrie complesse, affrontando il problema dell'analisi ambientale di topologie complesse attraverso il metodo di approssimazione voxel proposto (Fig. 23).

Utilizzando questo metodo, è possibile eseguire analisi tridimensionali nelle prime fasi della progettazione, nonché attraverso strumenti di progettazione ampiamente utilizzati.

Sul sistema utilizzato, la mesh ad alta risoluzione qui presentata potrebbe richiedere più di settanta minuti per essere caricata in un programma CFD.

D'altra parte, il caricamento, la creazione di mesh e la simulazione del modello con voxel richiedono dai dieci ai venti minuti. Inoltre, il metodo consente di controllare la risoluzione della geometria all'interno del software di progettazione anziché tramite meshing nel software di simulazione.

In aggiunta a ciò, le analisi in tempo reale e la capacità di simulazione dei modelli Grasshopper consentono di introdurre un sistema di indicizzazione complesso delle varianti di progettazione (Fig. 24).

Per questa ragione, gli strumenti di simulazione disponibili, già ampiamente trattati, (Ladybug, Honeybee, Envi-Met) erano utilizzati per valutare i progetti nei loro parametri chiave su geometria, accessibilità, integrazione visiva e prestazioni ambientali.

Per valutare le prestazioni ambientali delle tipologie, le analisi della radiazione solare e il calcolo del comfort esterno vengono eseguiti utilizzando le librerie Ladybug e Honeybee all'interno del flusso di lavoro Rhinoceros 3D e Grasshopper.

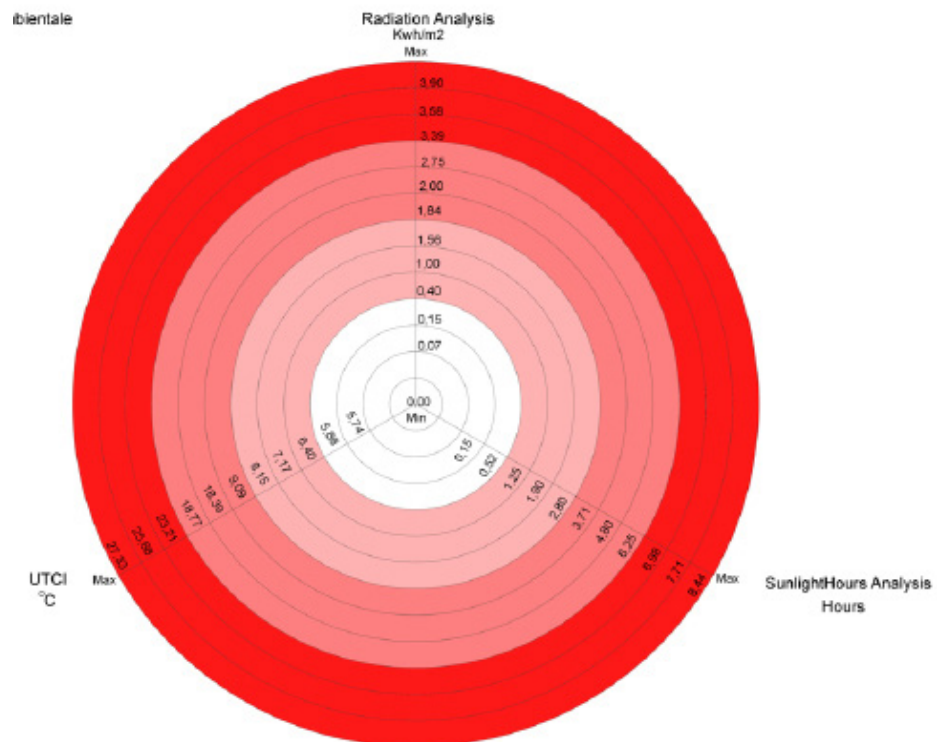


Fig. 24. Sistema di indicizzazione complesso delle varianti di progettazione. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

Gli strumenti Ladybug si concentrano infatti sugli indici di prestazione ambientale e simulano gli studi su sole e ombre. Honeybee consente di eseguire simulazioni sulla domanda di energia e sul microclima.

Considerando questi aspetti, utilizzando il feedback a vita, gli scenari possono essere ulteriormente ottimizzati e, di conseguenza, la qualità del design è aumentata.

Inoltre, in EnviMet sono state eseguite simulazioni di microclima e CFD, mentre il file di simulazione è stato scritto direttamente da Grasshopper e i risultati della valutazione sono stati rilette nella definizione del progetto (Fig. 25).

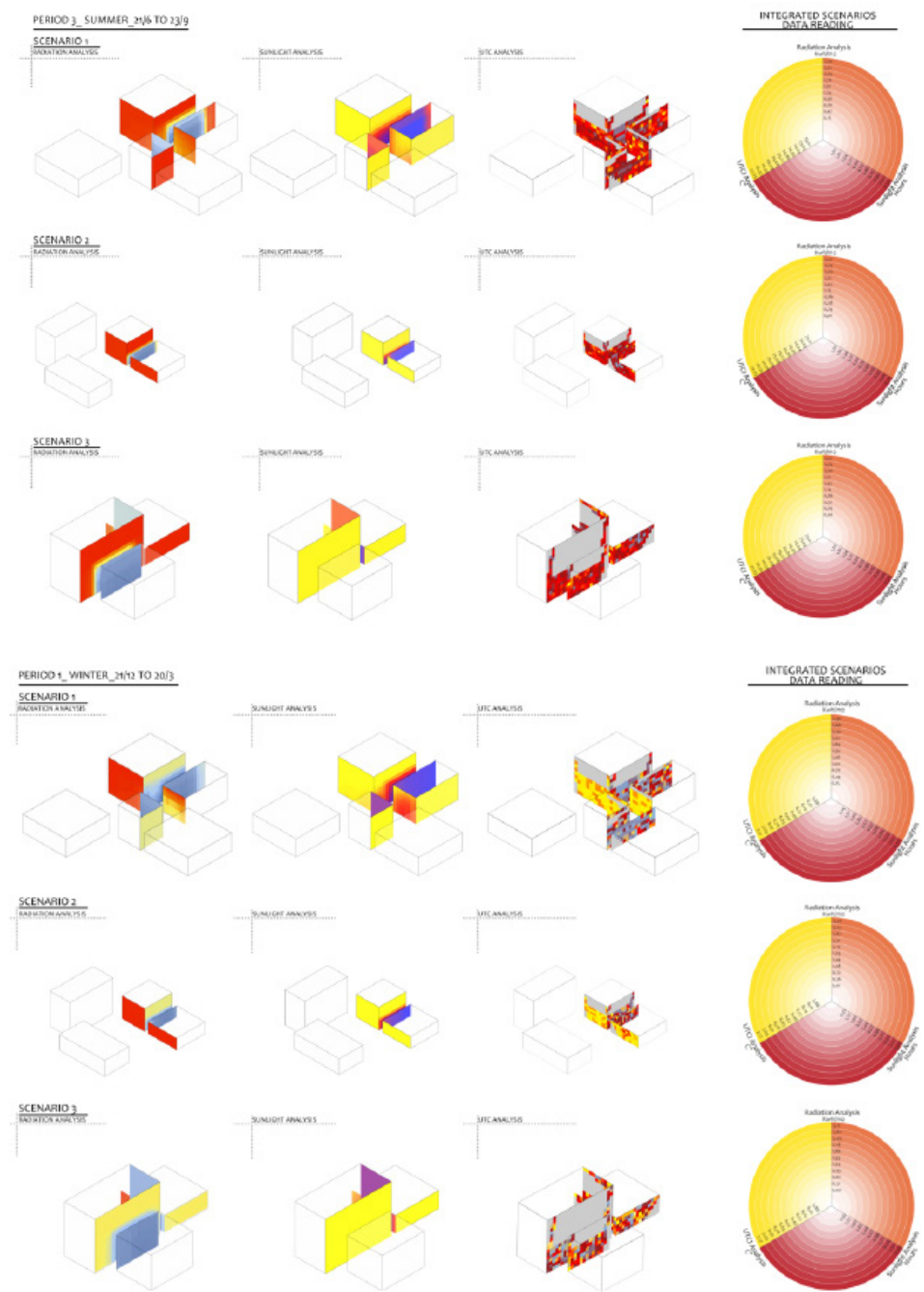


Fig. 25 . Simulazioni del micro clima. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.

#### 8.2.4- TRL 4 Sperimentazione sul modello prestazionale per la validazione del prototipo GRS

L'approccio sperimentale per la traduzione delle conclusioni, ottenute sul TRL-3 verso il TRL-4, nel prototipo GRS si realizza nel modello predittivo localizzato, basato sulla modellazione di un modello prototipologico di canyon urbano nel centro di Reggio Calabria con edifici di media altezza che lo circondano con edifici di altezze simili.

Nella Figura 3 si mostrano le due diverse configurazioni che possono essere analizzate:

1. Il canyon urbano, assimilabile come scenario di partenza, con edifici in cemento e asfalto che ricoprono la superficie del terreno (Fig. 26)

2. Il canyon urbano, definito come scenario di progetto, con edifici che presentano l'applicazione del GRS nello spazio liminale, ed un sistema suolo/edificio con un filare di alberi alti 15 m al centro del canyon; gli alberi hanno una densità dell'area fogliare (LAD) da 0,15 a 2,18 m<sup>2</sup> m<sup>-3</sup>. (Fig. 28)

Per tutte le simulazioni viene implementata la risoluzione della griglia di 3 × 3 m, secondo le linee guida AIJ, la risoluzione minima della griglia dovrebbe essere impostata a circa 1/10 della scala dell'edificio (circa 0,5–5,0 m) all'interno della regione, compresi i punti di valutazione intorno all'edificio target [36].

Le simulazioni sono condotte in una calda giornata estiva a Reggio Calabria per determinare quali parametri hanno il maggiore impatto. Una stazione meteorologica situata nel centro della città ha raccolto dati climatici. Le simulazioni ENVI-met utilizzano valori di input orari per temperatura e umidità relativa.

In questo step si presentano algoritmi per la generazione di voxel (pixel volumetrici) da nuvole di punti, curve e superfici. Oltre a voxelizzare superfici e curve, si formalizza un'estensione di questo metodo per voxelizzare nuvole di punti.

I layout sono stati modellati per quanto ragionevolmente praticabile ed efficacemente in termini di tempo all'interno di ciascun modello.

Le geometrie sono modellate in ENVI-met su base raster mentre per Ladybug-Tools sono modellate parametricamente in Grasshopper. La Figura 26, come anticipato, mostra le configurazioni geometriche e una presentazione 3D per ogni layout, dove queste configurazioni sono state stimate considerando, una configurazione urbana tradizionale di partenza. Le figure umane colorate con i gradienti, rappresentano i livelli di comfort percepito, la loro posizione indica i punti di interesse, che verranno ulteriormente analizzati e discussi.

Come si può notare dalla grafica analitica presentata, le condizioni di discomfort nella situazione iniziale aumentano uniformemente nei tre scenari, con l'avvicinarsi alle facciate dell'edificio.

Questo tipo di conferma giustifica l'ottimizzazione del LS e permette di definire la soluzione di fitness, da definire con l'ottimizzazione parametrica.

I risultati della simulazione estratti per questo studio sono i valori percepiti di temperatura dell'aria, definiti nella configurazione senza vegetazione al centro del canyon a 10,5 m dal suolo (cioè il punto medio del modello).

Questi risultati di convalida comprendono altri studi, che hanno trovato un ragionevole accordo tra i dati simulati e misurati di ENVI-met; secondo Lee et al. [36] ENVI-met si può ottenere una sovrastima della temperatura dell'aria, mentre Gusson e Duarte [37] hanno trovato un profilo molto simile con differenze massime di 3,3 °C per il clima mediterraneo. La bassa discrepanza delle temperature dell'aria, può essere spiegata dall'influenza degli edifici e dei materiali del suolo, questa infatti, mette in evidenza l'affidabilità dei modelli.

Con l'applicazione del metodo di trasferimento dei voxel, la progettazione dell'output può riferirsi direttamente all'UTCI.

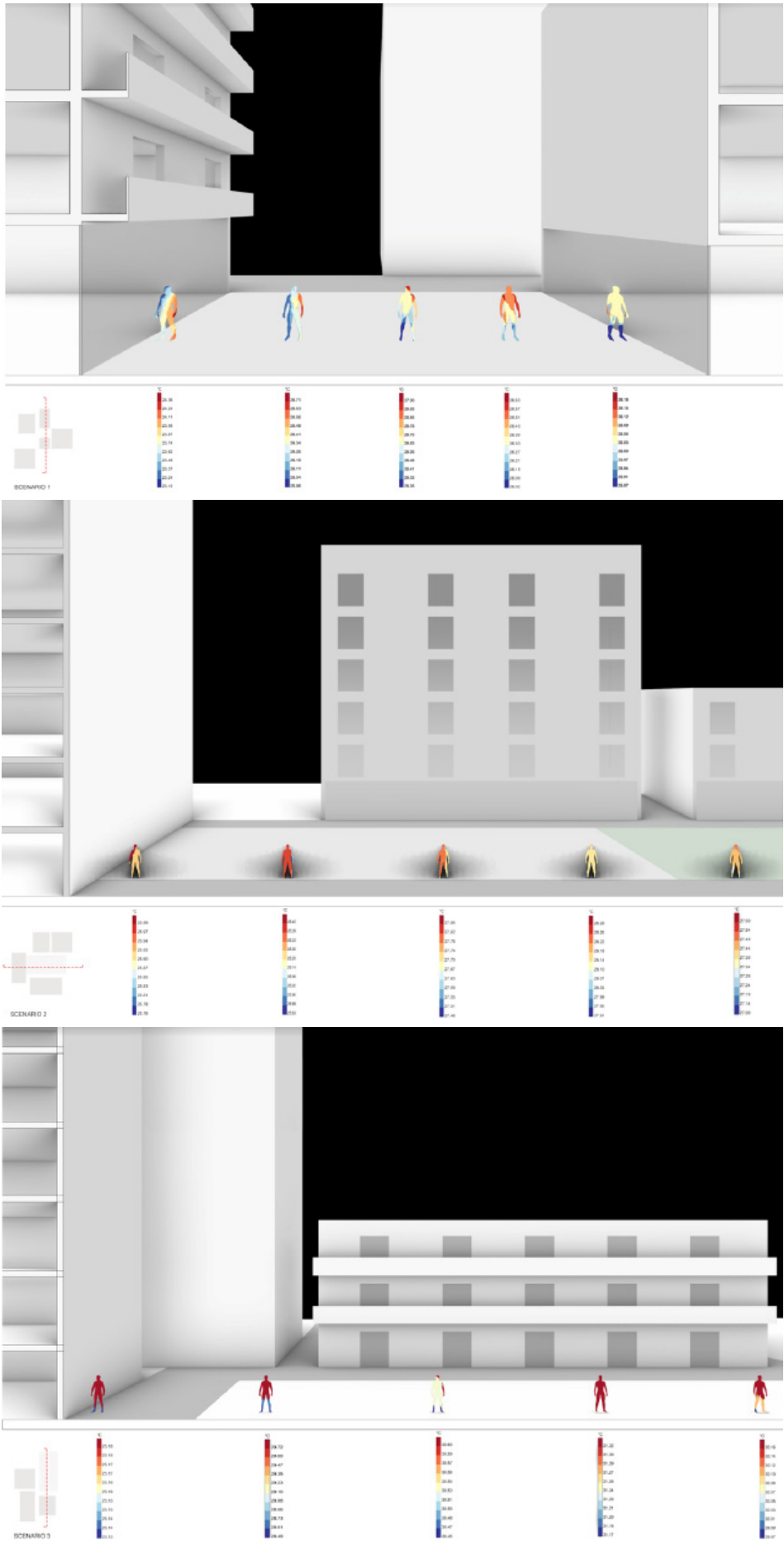


Fig. 26 . Scenari di Sperimentazione. Analisi parametriche rigenerative dello stato di fatto. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.

La capacità di interpolazione campionata tra la superficie ortogonale simulata e la topologia intricata, calata negli scenari mostrata in figura 27, è direttamente correlata al raggio di proiezione e al numero di campioni nell'interpolazione.

In quanto tale, non è solo un processo di trasferimento, ma anche un metodo di mappatura che influenza l'output dei dati, il che qualifica la posizione e l'area interessata della geometria che viene studiata.

Un ulteriore potenziale di ottimizzazione in fase di progettazione si è generato con l'utilizzo dell'approccio dei voxel per tradurre in dettaglio le gabbie ortogonali incorporate con i dati in gruppi di voxel di varie risoluzioni.

Utilizzando l'agilità della dimensione del voxel, è possibile combinare infatti diverse risoluzioni in un'unica topologia, consentendo così la mappatura simultanea di soluzioni tecnologiche dettagliate e applicabili diverse regioni della stessa geometria nello stesso spazio di tempo (Fig. 27).

Si sono verificate notevoli difficoltà durante il processo di creazione del workflow. Uno è il plug-in per la voxelizzazione, che è stato rilasciato a gennaio 2020 e viene utilizzato qui per elaborare i dati geometrici in Grasshopper.

Attualmente, l'interfaccia supporta solo tipi di dati interi, numerici e stringhe per l'esportazione, il che rappresenta una notevole limitazione, anche dettata dall'elevata capacità computazionale richiesta.

Pertanto, a differenza dei convenzionali workflow di progettazione ottimizzata, che codificano i dati sui colori in legenda come vettori 3D, la ricerca presentata ha esportato i dati sui colori come un elenco di componenti ottimizzati definiti in fase di TRL 2.

I dati sono stati convertiti quindi da vector a geometry. Inoltre, il software di analisi ha generato valori estremamente elevati e imprecisi come risultato del tipo di dati selezionato, quindi la codifica del colore è stata scelta come tipo di rappresentazione dei dati principale rispetto ai valori numerici.

La convezione rappresentativa lo standard di progettazione della normativa di riferimento è stata omessa nell'analisi, a favore della capacità di integrare i dati del riscaldamento solare, per superare con impostazioni di simulazione più avanzate, il concetto di prestazione ambientale.

Oltre ad essere efficiente dal punto di vista computazionale, in questo caso, la voluta omissione di indici prestazionali riferita allo standard di progettazione ambientale è stata anche per limitare i tempi di calcolo del software.

A tal fine possono essere utilizzati strumenti di simulazione meno complessi e più leggeri (in elaborazione). Infine, il flusso di lavoro proposto sottolinea l'importanza dell'ottimizzazione.

L'obiettivo raggiunto in questo passaggio è quindi lo sviluppo di un nuovo metodo per stimare il comfort esterno basato sugli effetti rilevanti della configurazione del LS sul microclima e sugli insiemi di parametri coinvolti, tenendo conto degli effetti rilevanti della forma urbana e dell'approccio riferito al Green Responsive Model.

Si raggiunge quindi l'obiettivo di sintetizzare un metodo per integrare software con diversi punti di forza al fine di raggiungere questo obiettivo principale, ovvero l'integrazione dello strumento di simulazione CFD ENVI-met con un processo di progettazione basato sulla Voxelizzazione tramite la programmazione in GH.

È stato dimostrato attraverso un confronto dei risultati della simulazione che il metodo proposto ha il potenziale per avere successo. Secondo i risultati di questo studio, possiamo concludere che questa combinazione di software può essere efficacemente utilizzata per stimare l'effetto delle scelte progettuali sul comfort termico esterno, utilizzando la combinazione di diversi plug-in in ambito parametrico.

ENVI-met, tramite Ladybug e Honeybee, può essere utilizzato per simulare gli effetti della vegetazione sul microclima calcolando parametri importanti come la velocità del vento, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa simulando gli effetti degli alberi sul microclima.

I calcoli della temperatura media radiante assicurano che l'effetto della massa termica delle superfici dell'edificio esposte alla radiazione solare venga preso in considerazione correttamente.

Inoltre, la rilettura critica, riferita all'esperienza laboratoriale di tipo sperimentale, sottolinea l'importanza della temperatura media radiante per UTCI; conferma che l'utilizzo del GRS all'interno del LS aument il comfort termico e che il flusso d'aria è un parametro importante che dovrebbe anche essere considerato, sottolineando la necessità di combinare CFD e modelli di energia transitoria in UTCI.

Il metodo sviluppato può essere utilizzato per prevedere e simulare l'effetto delle scelte progettuali sul comfort esterno, ad es. integrazione di vegetazione, utilizzo di materiali diversi per l'involucro edilizio e al piano terra, basati sui principi del costruire circolare.

Tuttavia, per fare ciò, si suggerisce la validazione con misurazioni sul campo nelle condizioni al contorno richieste.

Per quanto riguarda i risultati della simulazione i valori UTCI calcolati nel periodo diurno nello scenario di progetto risultano inferiori (circa 2 punti) rispetto allo scenario di partenza, indicando che i valori UTCI sono influenzati dalla temperatura media radiante.

Al contrario, i valori UTCI basati sui valori notturni sono più alti (circa 1 punto).

Valori simili possono essere osservati per la simulazione nei due scenari all'allontanarsi dal modello umano di riferimento rispetto al dispositivo GRS installato.

I risultati confermano le ipotesi del presente studio, ovvero l'importanza di combinare i diversi software per garantire che l'effetto massa termica, insieme ai fattori che influenzano il ciclo di vita vengano presi in considerazione durante la progettazione.

Una discussione sul comfort esterno può essere aperta dalla critica dei tre scenari di sperimentazione.

In corrispondenza della vegetazione, quindi del GRS, (cioè dove la velocità del vento è più bassa) i valori UTCI sono più bassi, mentre nel mezzo del canyon crescono notevolmente.

Questo risultato suggerisce l'importanza di considerare diversi tipi di vegetazione e forme per evitare la riduzione del flusso d'aria, inoltre è importante sottolineare l'importanza di combinare strumenti CFD con modelli energetici predittivi per simulare l'effetto della morfologia urbana, dei materiali, della vegetazione.

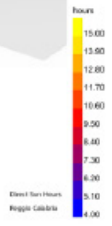
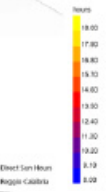
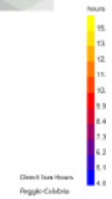
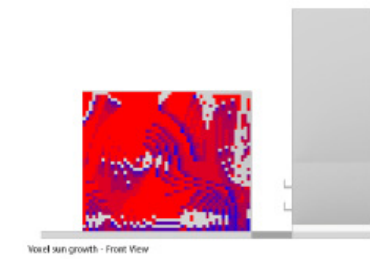
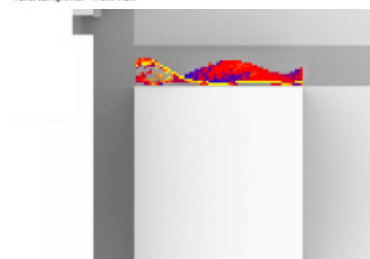
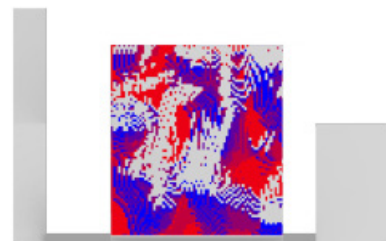
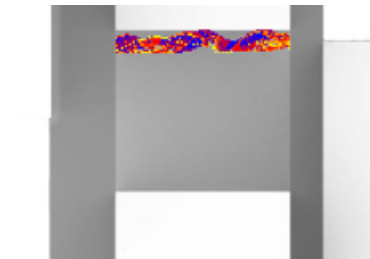
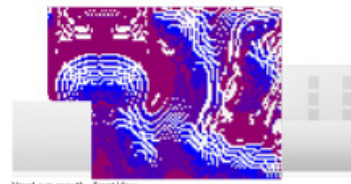
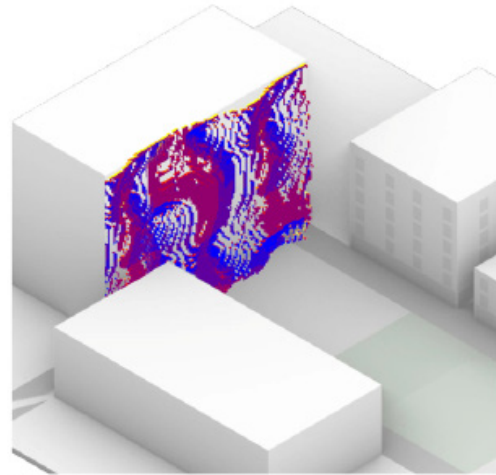
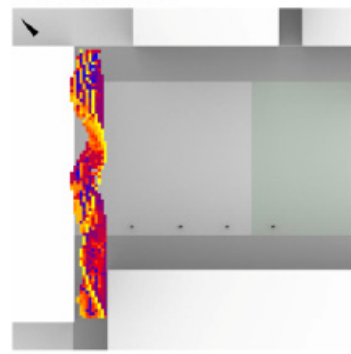


Fig. 27 . Scenari di Sperimentazione. Voxelizzazione degli scenari di progetto. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp.2022.



Fig. 28 . Scenari di Sperimentazione. Analisi del microclima considerando l'applicazione del GRS. Lavoro degli studenti all'interno del TRL Lab Exp. 2022.



## Riferimenti bibliografici

1. Lenarduzzi, V., & Taibi, D. (2016, August). MVP explained: A systematic mapping study on the definitions of minimal viable product. In 2016 42th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEEA) (pp. 112-119). IEEE.
2. Martins Pacheco, N. M., Vazhapilli Sureshbabu, A., & Zimmermann, M. (2021). A Role-Based Prototyping Approach for Human-Centered Design in Industry. In *Design for Tomorrow—Volume 2* (pp. 931-943). Springer, Singapore.
3. Naboni, E., & Havinga, L. (2019). *Regenerative design in digital practice: A handbook for the built environment*.
4. Plattner, H., Meinel, C., & Weinberg, U. (2009). *Design-thinking*. Landsberg am Lech: Mi-Fachverlag.
5. EMF, & McKinsey Company. (2012). *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*.
6. Lee, J., Sung, S., Kim, Y., Park, J. D., & Ahn, K. H. (2017). A new paradigm of materials processing—heterogeneity control. *Current opinion in chemical engineering*, 16, 16-22.
7. Farrant, L., Olsen, S. I., & Wang, A. (2010). Environmental benefits from reusing clothes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(7), 726-736.
8. Paras, M. K., & Curteza, A. (2018). Revisiting upcycling phenomena: a concept in clothing industry. *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(1), 46-58.
9. Storer, L., & Yang, C. H. (2009). Arup's environmental strategies: engineering+ sustainability+ architecture. Based on a lecture by Michael Sweeney.
10. Moe, K. (2014). *Insulating modernism*. In *Insulating Modernism*. Birkhäuser.
11. Naboni, E., Cimino, D., Margani, G., Evola, G., & Magri, C. (2018). Influenza dell'involucro edilizio sul clima indoor e outdoor: Studio di un canyon urbano in clima mediterraneo. In *Colloqui. AT. e 2018. Edilizia circolare* (pp. 1012-1023).
12. Héder, M. (2017). From NASA to EU: The evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *The Innovation Journal*, 22(2), 1-23.
13. Nava C. (2019, a cura di), *S2\_Home*. Design Driven Innovation "Off-Shore" e "Off-Site". Progetto di ricerca "S2 Home", dal concept al prototipo, Aracne editrice, Roma.
14. Verganti, R. (2009). *Design-Driven Innovation—Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*. Etas, Milano.
15. Jesus, G. T., & Chagas Jr, M. F. (2018). Integration Readiness levels evaluation and systems architecture: A literature review. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(4), 2374-36.
16. Li, T., Chang, J., Zhu, Y., & Wu, C. (2020). 3D printing of bioinspired biomaterials for tissue regeneration. *Advanced Healthcare Materials*, 9(23), 2000208.
17. Ma, G., Buswell, R., da Silva, W. R. L., Wang, L., Xu, J., & Jones, S. Z. (2022). Technology readiness: a global snapshot of 3D concrete printing and the frontiers for development. *Cement and Concrete Research*, 156, 106774.
18. Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
19. Ahn, S. H., & Lee, J. Y. (2018). Re-envisioning material circulation and designing process in upcycling design product life cycle. *Archives of Design Research*, 31(4), 5-20.
22. Di Napoli, C., Pappenberger, F., & Cloke, H. L. (2018). Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International journal of biometeorology*, 62(7), 1155-1165.
23. Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., ... & Kampmann, B. (2013). An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1), 5-10.
24. Galimshina, A. (2020). *Bombyx—A design-integrated parametric Life Cycle Assessment*. In Webinar at the University of São Paulo, Brasil. ETH Zurich, Chair of Sustainable Construction.
- 25.
26. Edition, S. I. (1993). *ASHRAE HANDBOOK*. Stephen Comstock (publisher), Atlanta.
27. Atef, A., Noureddine, Z., & Soufiane, F. (2015). SPUCAL\_mrt as a new model for estimating the mean radiant temperature in arid lands. *Energy Procedia*, 74, 273-280.
28. Hwang, R. L., Lin, T. P., & Matzarakis, A. (2011). Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor

thermal comfort. *Building and environment*, 46(4), 863-870.

29. Kántor, N., & Unger, J. (2011). The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment—the mean radiant temperature. *Open Geosciences*, 3 (1).

30. Herrmann, J., & Matzarakis, A. (2010). Influence of mean radiant temperature on thermal comfort of humans in idealized urban environments. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*, 522.

31. Lin, T. P., Matzarakis, A., & Hwang, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and environment*, 45(1), 213-221.

32. P. Bröde, G. Jendritzky, D. Fiala, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova, et al. The Universal Thermal Climate Index UTCI, vol 20, *Berichte Des Meteorologischen Instituts Der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* (2010), pp. 184-188

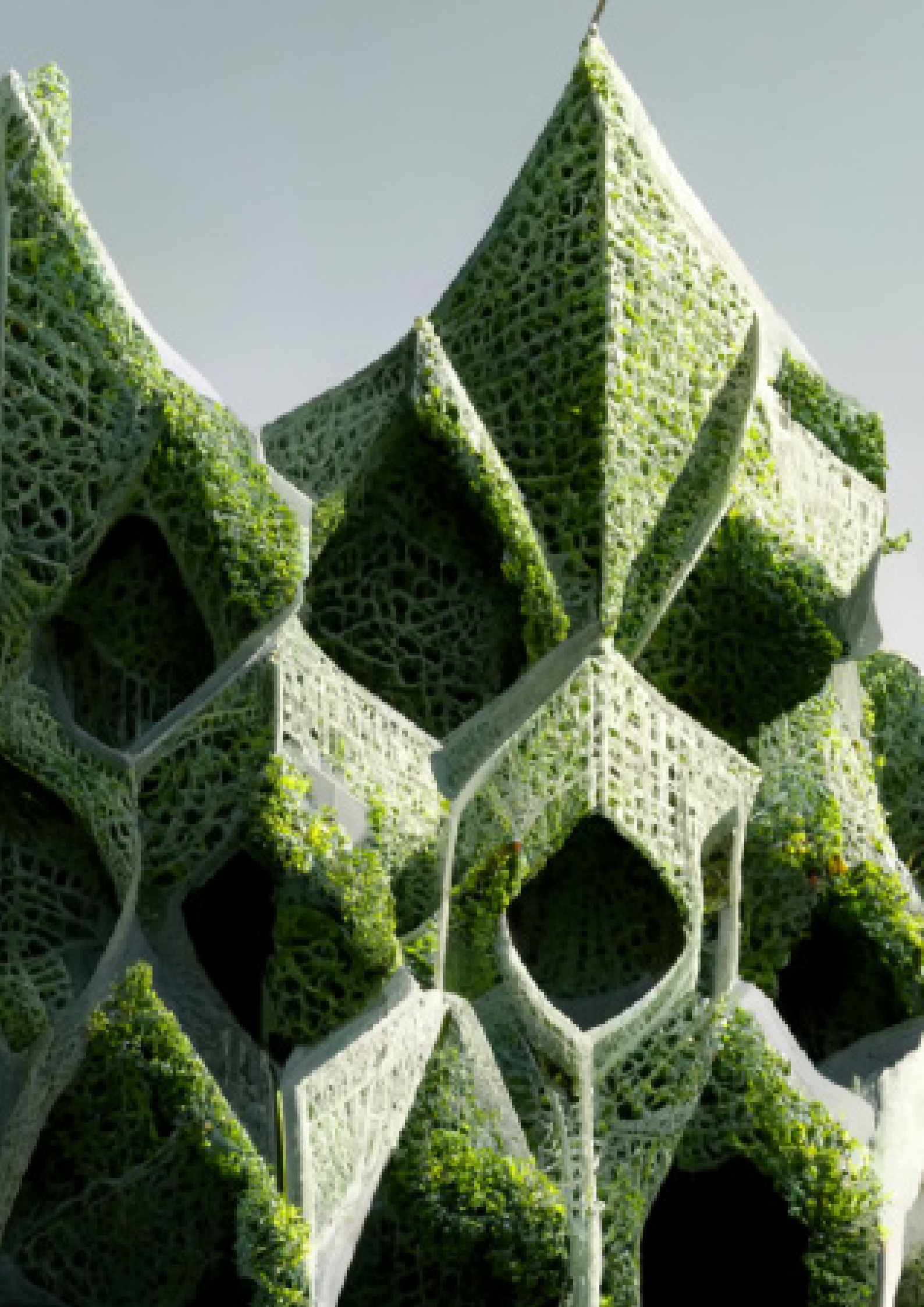
33. Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*.

34. Höpfe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and buildings*, 34(6), 661-665.

35. Museth K. (2013). 'VDB', *ACM Transactions on Graphics*, 32(3), pp. 1-22

36. Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., & Shirasawa, T. (2008). AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, 96(10-11), 1749-1761.

37. Gusson, C. S., & Duarte, D. H. (2016). Effects of built density and urban morphology on urban microclimate-calibration of the model ENVI-met V4 for the subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia engineering*, 169, 2-10.



(pagina precedente)  
AI visioning di un GRS  
realizzato attraverso  
sperimentazione su MI-  
DJourney. *D. Lucanto*  
2022.



## Validazione del prototipo G.R.S

### *Abstract*

Using the GRM approach, the only sustainability dimension considered is incorporated and operational energy, which entails a transition from a low-energy model to a zero-energy prototype optimized for the operation of the LS with the GRS. net positive. Prototypological approaches to the definition of TRL-5 in technology and morphology are not limited to contextual aspects and the optimization of component life cycle optimization, including the implications of the benefits that can be derived from it for the human being, but also the broader ecological impacts resulting from the biophilic approach as clarified in the definition of hybrid architecture (see Chapter 2). Using the methodological framework, we can establish a workflow that allows us to investigate all aspects of digital parametric design to robotic production, concluding the investigation at the level of TRL-5. A parametric environmental design process is used in this framework to analyze the automated experimental construction system. Also, all of the results were obtained in terms of the planning process of the approach, in a holistic sense, offering the necessary steps in order to make the prototypes repeatable in serial. This study demonstrated a first attempt to integrate design and manufacturing tools within a parametric environment. This allows for easy development and automated robotic installation of a 3D clay printing system that can be implemented and used for a variety of purposes, possibly even for the production of new construction materials. Further studies are required to test the feasibility of the proposed methodology, as well as to measure performance in a technologically relevant environment, in order to achieve TRL-6. Despite the positive initial results, further work is required to determine the feasibility of the proposed methodology.



Texture del Componente 1 del prototipo GRS  
(fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

## 9.1 Configurazione tecnologica e morfologica e modellazione digitale del prototipo, integrazione in scenari progettuali di frontiera, domini di profili energetico-ambientali

*Considerazioni sui domini prestazionali con riferimento all'avanzamento sul TRL-5*

Si considerano nella costruzione del dominio di sperimentazione gli aspetti prestazionali legati ai profili energetico-ambientali e di comfort nella definizione del TRL-4, nella definizione dello scenario tecnologico-ambientale verso l'ottimizzazione dell'unità tecnologica.

L'approccio del GRM tiene conto dell'energia inglobata ed operativa come unica dimensione della sostenibilità, per generare il passaggio quindi, da un modello a bassa energia ad un prototipo ad energia zero, ottimizzato nel funzionamento del LS con il GRS, verso un modello di energia netta positiva.

L'approccio prototipologico [1] verso il TRL-5 nella definizione tecnologica e morfologica non considera solo gli aspetti legati all'ottimizzazione dei fattori di contesto e l'ottimizzazione del ciclo di vita dei componenti, includendo i risvolti sui benefici che ne può trarre l'essere umano, ma anche l'insieme degli impatti ecologici più ampi, derivanti dall'approccio biofilico chiarito nella definizione di Architettura Ibrida (cfr. Cap. 2).

Nel corso della sperimentazione il concetto di Architettura Ibrida è stato tradotto nella metodologia definita sul GRM applicata nella sperimentazione TRL, per la definizione del GRS. Questo modello di innovazione di tipo radicale, attraverso l'approccio prototipologico, indaga il concetto di "Living Architecture", che emerge come contrappunto ai miglioramenti incrementali nei sistemi di valutazione ecologici e sostenibili.

Lo scopo della sperimentazione illustrata in questo capitolo, attraverso la realizzazione del prototipo GRS diventa quindi quello di integrare, nella sperimentazione prototipologica del GRM, gli aspetti legati all'ottimizzazione computazionale per la definizione di un "Work-Flow" originale che tiene conto sia degli aspetti legati al ciclo di vita dei componenti, sia dei fattori di contesto, per scoprire i compromessi e le interrelazioni tra questioni progettuali e le ricadute positive che questi possono avere sugli impatti ecologici più ampi, come l'aumento della biodiversità e degli aspetti prestazionali definiti dall'ambito del LS.

Le considerazioni verificate sul "dimostratore tecnologico" in un ambiente di laboratorio scientificamente rilevante (TRL-5), prendono in esame l'integrazione tra progettazione biofilica, salute e metriche climatiche, con riferimento a quanto discusso nella trattazione della pubblicazione "Biophilic Design and Climate Change" [2], di Julia Africa, et al.

Lo studio preso a riferimento suggerisce che la biofilia può fungere da "tessuto interstiziale" che collega varie scale e problemi ecologici: "Le migliori applicazioni della progettazione biofila possono essere distinte da altri progetti per la loro capacità di integrare sinergicamente l'edificio, il sito e gli occupanti attraverso la creazione di 'habitat' completo. L'habitat, in questo contesto, comprende i materiali, la struttura e il programma dell'edificio... un riconoscimento che queste caratteristiche comunicano abitabilità e comunità agli occupanti umani attraverso eoni di adescamento evolutivo, e che questo appello è sia desiderabile, confortevole e salutare".

*Integrazione in scenari progettuali di frontiera*

Nella costruzione del modello di contesto digitale viene preso ad esame, per integrare i risultati ottenuti nel raggiungimento del TRL-4, la composizione del GRS, che definisce lo scenario di frontiera utilizzato in fase di progettazione rigenerativa (cfr. Cap. 8, TRL-4) come caso di studio per il design testato della finestra al fine di raggiungere vari obiettivi.

Gli studi condotti intendono riferire sull'efficacia dell'implementazione di metriche di progettazione biofilica, con particolare riferimento all'ottimizzazione dell'illuminazione diurna, al ciclo di vita, e alla capacità del sistema di porsi come dispositivo bioricettivo nel suo funzionamento per forma. Quindi i prodotti di fase saranno misurati, con riferimento agli indici prestazionali utilizzati per la rilettura critica proposta nelle appendici 1,2,3.

Sulla base di questi obiettivi, sono state studiate diverse configurazioni morfologiche basate su combinazioni parametriche tra le possibili soluzioni del GRS da installare come dispositivo integrato nella lettura prototipologica del caso di studio.

Una volta definite le prestazioni ambientali ed i livelli di circolarità, si introduce la componente vegetale, provvedendo dunque in modo passivo all'ottimizzazione a-priori dei dispositivi più efficienti in grado di intercettare la luce solare diretta, ridistribuire le effettive radiazioni solari in ingresso e permettendo alla componente vegetale di riflettere la luce solare, migliorando la qualità dello spazio liminale riducendone la capacità radiativa sulla sua superficie superiore. [3]

Sulla base dei dati climatici della città di Reggio Calabria, in Italia (38°6'N, 15°39'E, 31 m s.l.m.), sono state condotte simulazioni del sistema di illuminazione diurna utilizzando i parametri climatici e i criteri di valutazione ambientale (Fig. 1).

Secondo la classificazione climatica Köppen-Geiger, questa regione gode di un cielo sereno quasi tutto l'anno nel deserto e il suo clima è mite e temperato [4].

Si assume che il sistema sia riferito alla sezione di involucro corrispondente al secondo piano dell'edificio e all'interno della sezione di LS definita nel capitolo 8 nei diversi scenari da Canyon Urbano con le finestre rivolte a sud.

Come piano di riferimento, si tiene conto del piano medio del livello umano (1,5 m di altezza) per simulare le prestazioni di illuminazione diurna in condizioni di illuminazione artificiale.

Ai fini dell'analisi è stata impostata una griglia di analisi contenente 0,3 m per 0,3 m di punti. Questi sono illustrati nella Figura 2 insieme agli altri parametri di simulazione.

Il software di modellazione Rhinoceros è stato utilizzato per generare il modello della stanza, mentre i plug-in LADYBUG + HONEYBEE per Grasshopper, che utilizzano il software Radiance, sono stati utilizzati nella simulazione della luce diurna e delle prestazioni ambientali.

Le metriche applicate in questo studio riferiscono sull'autonomia diurna spaziale e l'esposizione annuale del componente alla luce solare.

Queste metriche forniscono un'indicazione sull'adeguatezza dell'illuminazione diurna e sul funzionamento passivo.

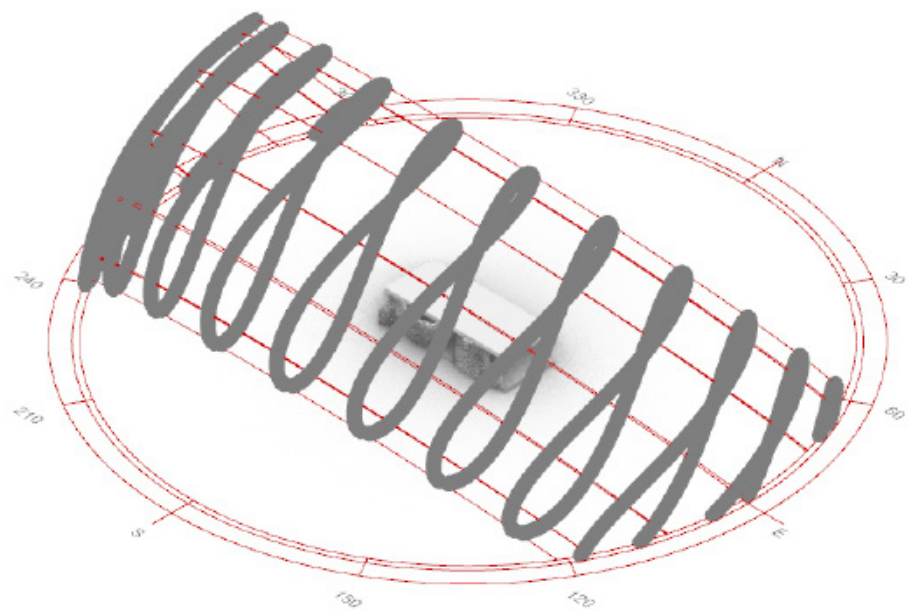


Fig. 1. simulazioni del percorso solare per individuare il sistema di illuminazione diurna utilizzando i parametri climatici e i criteri di valutazione ambientale. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

### *Multi Objective Optimization and Evaluation Criteria*

In fase di ACD del prototipo GRS formato da diversi componenti nella sperimentazione viene effettuata un tipo di ottimizzazione multi-obiettivo. Il termine "ottimizzazione" assume il compito di ricercare la soluzione (o le soluzioni) migliori da un intero insieme di soluzioni di un dato problema, per cui una modifica a un parametro di input può causare un cambiamento nel risultato. Nell'ambiente, in cui le prestazioni dell'edificio sono influenzate da varie proprietà progettuali (indicate anche come "parametri"), l'ottimizzazione viene implementata impostando un meccanismo di ricerca, che individua in modo efficiente attraverso combinazioni multiple i caratteri prestazionali progettuali e propone la scelta ottimale.

I valori di fitness, orientati a verificare i criteri valutativi parametrizzando:

- la percentuale di riempimento per minimizzare gli impatti sul ciclo di vita (Fig. 1);
- l'incidenza dei fattori di luce diurna, considerando il prototipo inserito in un ambiente senza ostacoli, per valutare le aree con maggiore capacità bio-ricettiva (Fig. 2);

Le prestazioni riferite ai criteri valutati riferiscono in questo caso sulla capacità di stoccaggio delle emissioni di CO<sub>2</sub> presenti nel LS (Cfr. Cap. 1,2; Appendice 1,2).

L'integrazione con i criteri valutativi riferiti alle prestazioni in AM (Cfr. Cap. 3; Appendice 3) permettono di variare i parametri superficiali di riversimento a seconda della capacità di porsi come dispositivi bioricettivi che definiscono i componenti ottenuti tramite stampa 3D LDM (Fig. 3).

Il workflow con i suoi tre algoritmi così presentati punta all'ottimizzazione dei componenti sui parametri per la definizione prototipologica del GRS, è orientata alla traduzione formale dei livelli prestazionali nella configurazione morfologica in ambiente digitale che permette di declinare l'uso dei parametri di ottimizzazione rispetto alle configurazioni possibili degli scenari elaborati sul TRL-4.

Si parte definendo le invariabili di progettazione considerando:

-la scala 1:2 dettata dal formato di Stampa della stampante WASP 4070 PRO con Kit Clay in dotazione al Laboratorio di Prototipazione del centro interuniversitario AbitaLAB del dipartimento dArTe, in convenzione con la start-up innovativa PMopenLAB;

-la scala definita dalla Voxelizzazione del LS, come parametro di vincolo che impedisce al componente parametrico di entrare negli angoli visivi verticali superiori durante il processo di ottimizzazione del ripiano luminoso. La metodologia di ottimizzazione multi-obiettivo viene qui utilizzata per identificare il design ottimale del GRS installato a ridosso della frontiera considerando sia la conformazione superficiale per incrementare la capacità bioricettiva, sia la percentuale e la conformazione in fase di stampa 3D per minimizzare il GWP [5].

La performance del GRS è stata dunque valutata sulla base dei seguenti criteri valutativi:

- minimizzare il percorso di Clay 3DPrinting considerando le caratteristiche del materiale, per raggiungere il valore più basso di GWP;
- massimizzare la percentuale a bassa esposizione così da ottenere, attraverso l'utilizzo di texture basate sul design biofilico, la capacità di ottimizzazione della capacità di ritenzione dell'umidità e aumentare la capacità di integrare vegetazione spontanea.

Il framework di ottimizzazione utilizzato in questa fase è auto-automatizzato, poiché il modello, la simulazione e la valutazione dell'ottimizzazione verrebbero eseguiti automaticamente su una tela. Questo framework parametrico necessita ovviamente di tutti i plug-in Grasshopper per Rhinoceros. Molti software e motori di simulazione hanno un ruolo in questo processo, poiché Grasshopper sarà responsabile della modellazione parametrica, il plug-in Diva per Grasshopper sarà responsabile della simulazione delle prestazioni della luce diurna, mentre gli algoritmi genetici (GA) saranno pronti per ottimizzare le soluzioni tramite il componente Galapagos che può eseguire l'ottimizzazione multi-obiettivo, come mostrato nella Figura 7.



Gli algoritmi di ottimizzazione sono utilizzati per trasferire soluzioni coerenti con la complessità di ricerca progettuale nell'ACD secondo un approccio multidisciplinare difficilmente conciliabile senza l'utilizzo di una metodologia operativa come quella proposta.

Nella ricerca per la definizione a "modello" del GRS, la maggior parte degli algoritmi di ottimizzazione (ad esempio algoritmi generativi, o algoritmi evolutivi) utilizzano meccanismi di ricerca stocastici, meccanismi che utilizzano un certo livello di casualità per coprire in modo efficiente ampi spazi di elaborazione applicata.

In questo modo, anche il meccanismo di innovazione più radicale può includere, nell'approccio olistico, la distribuzione e la gestione delle informazioni complesse, sottoforma di algoritmi ambientali, climatici e prestazionali (Fig. 5).

I framework di ottimizzazione sono stati utilizzati nella ricerca della forma ottimale del GRS nel LS su diversi ambiti applicativi, tra cui:

- l'ottimizzazione dell'involucro edilizio: utilizzo dell'ottimizzazione per individuare le strutture "Green" ottimali per edifici diversi, per ridurre l'impatto ambientale;
- l'ottimizzazione delle prestazioni del ciclo di vita: utilizzo di algoritmi di ottimizzazione per ridurre al minimo i costi del ciclo di vita e l'impatto ambientale di progetti nuovi o di ristrutturazione;

l'ottimizzazione del design: utilizzo del framework di ottimizzazione per ottimizzare layout semplici per ridurre al minimo i costi o le prestazioni energetiche e di illuminazione, l'aspetto e le proprietà strutturali di un sistema di supporto.

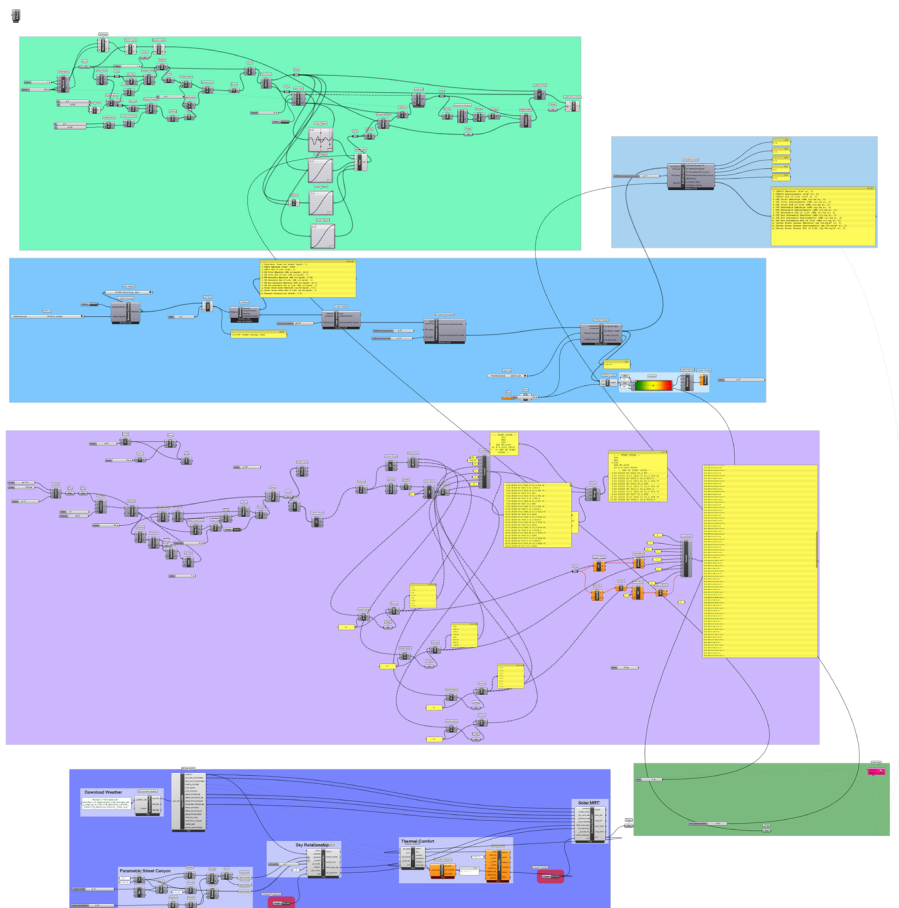


Fig. 5. pproccio olistico, la distribuzione e la gestione delle informazioni complesse, sottoforma di algoritmi ambientali, climatici e prestazionali. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

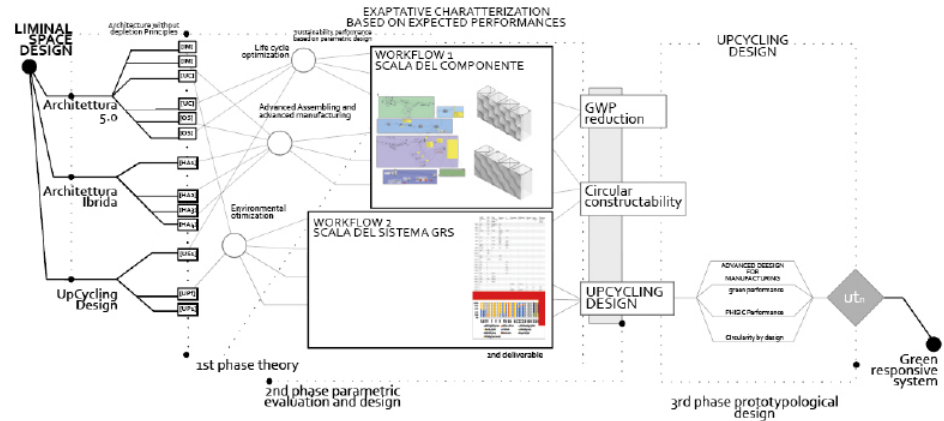
9.2 Prodotto della sperimentazione progettuale: costruzione del Workflow di processo e delle informazioni per il sistema GRS / Liminal Space in ADC

Il progetto del GRS ha come obiettivo la realizzazione attraverso l'utilizzo di stampa 3D di un prototipo di un componente industrializzabile di frontiera. Il suo sviluppo sperimentale subisce l'influenza della produzione additiva sull'edilizia con un materiale tradizionale, l'argilla cruda, del design performativo climatico e del LCT.

Le costruzioni in fango sono una tecnica ancestrale, basata sull'utilizzo di materiale locale con un'impronta ecologica prossima allo zero. È un materiale utilizzato in tutto il mondo, che consente un notevole riscaldamento invernale e raffreddamento estivo, grazie alle proprietà di inerzia termica. Inoltre, grazie alla capacità di assorbire ed evaporare, l'argilla offre un ambiente di autoregolazione dell'umidità, favorendo un clima interno sano.

Tuttavia, abbinandolo alla tecnologia di Advanced 3DP [6], l'obiettivo del progetto diventa quello di sviluppare un prototipo capace di indicare l'ottimizzazione della forma in argilla, considerando questa materiale da costruzione disponibile per qualsiasi componente innovato di frontiera, rilevante per il dominio prestazionale precedentemente definito.

Fig. 29. Lo sviluppo del framework sul design circolare avanzato declinato sull'apparato sperimentale del GRS concentra il ciclo di progettazione nell'iterazione di soluzioni alternative tra prestazioni, successiva valutazione e ottimizzazione. Sviluppo completo (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)



Qr Code - Media

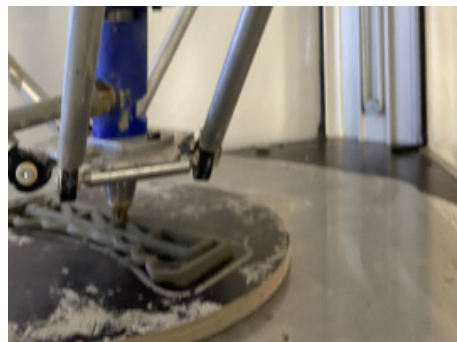


Fig. 6. Test effettuati presso il laboratorio di prototipazione del centro di ricerca ABITAlab UNIRC. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

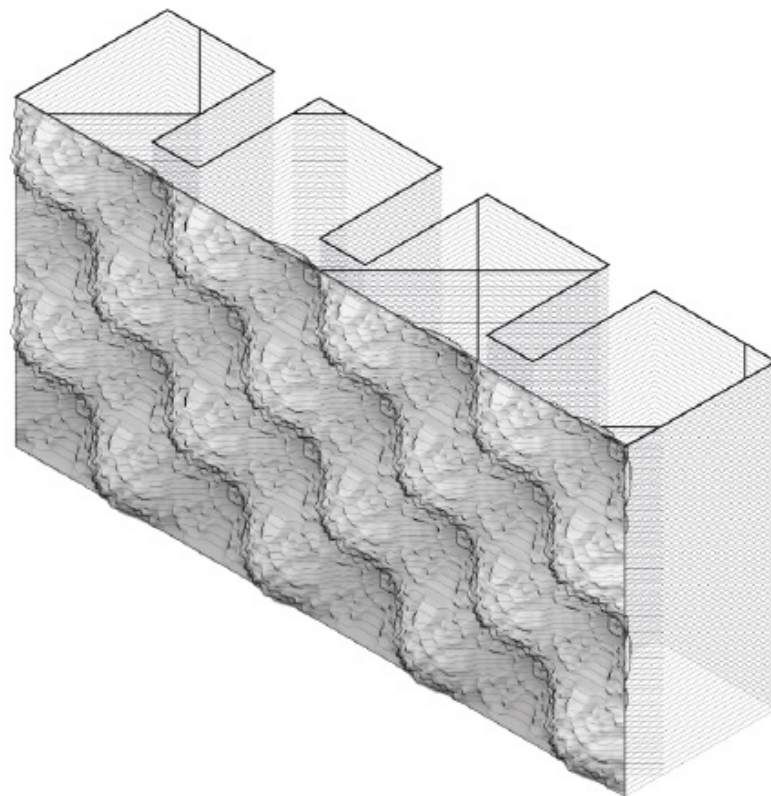
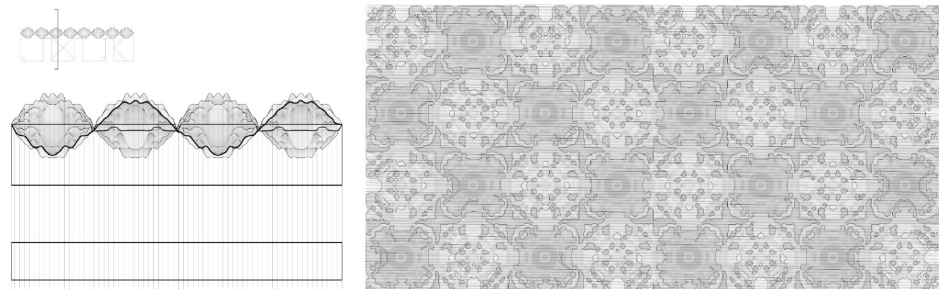


Le intere fasi dello studio sono riassunte nelle due componenti da realizzare nella fase di sperimentazione a chiusura del TRL-5 orientate sul GRS attraverso il GRM così descritto:

- il primo step riguarda la formulazione di un modulo base parametrico per definire le qualità superficiali e i dispositivi per l'assemblaggio [8];
- nel secondo step vengono sviluppate e integrate le simulazioni di luce diurna ed energetica;
- il terzo step è l'ottimizzazione multi-obiettivo.

La forma che segue si traduce in due opzioni alternative, dalle quali si ottengono il componente 1, rispondente ad un range con alta incidenza solare (Fig. 9), e al componente 2 rispondente ad un range con bassa incidenza solare (Fig. 10).

Successivamente, le soluzioni dei progetti vengono tracciate sul diagramma per caratterizzare la configurazione formale riferita agli obiettivi tra loro incrociati e vengono prodotti i modelli principali utilizzando la funzione di ottimizzazione incrementale.



Or Code - Elaborati

Fig. 9. Rappresen-  
tazione grafica del  
Componente 1. (fonte:  
elaborazioni D.Lucanto  
per il phd, 2022)

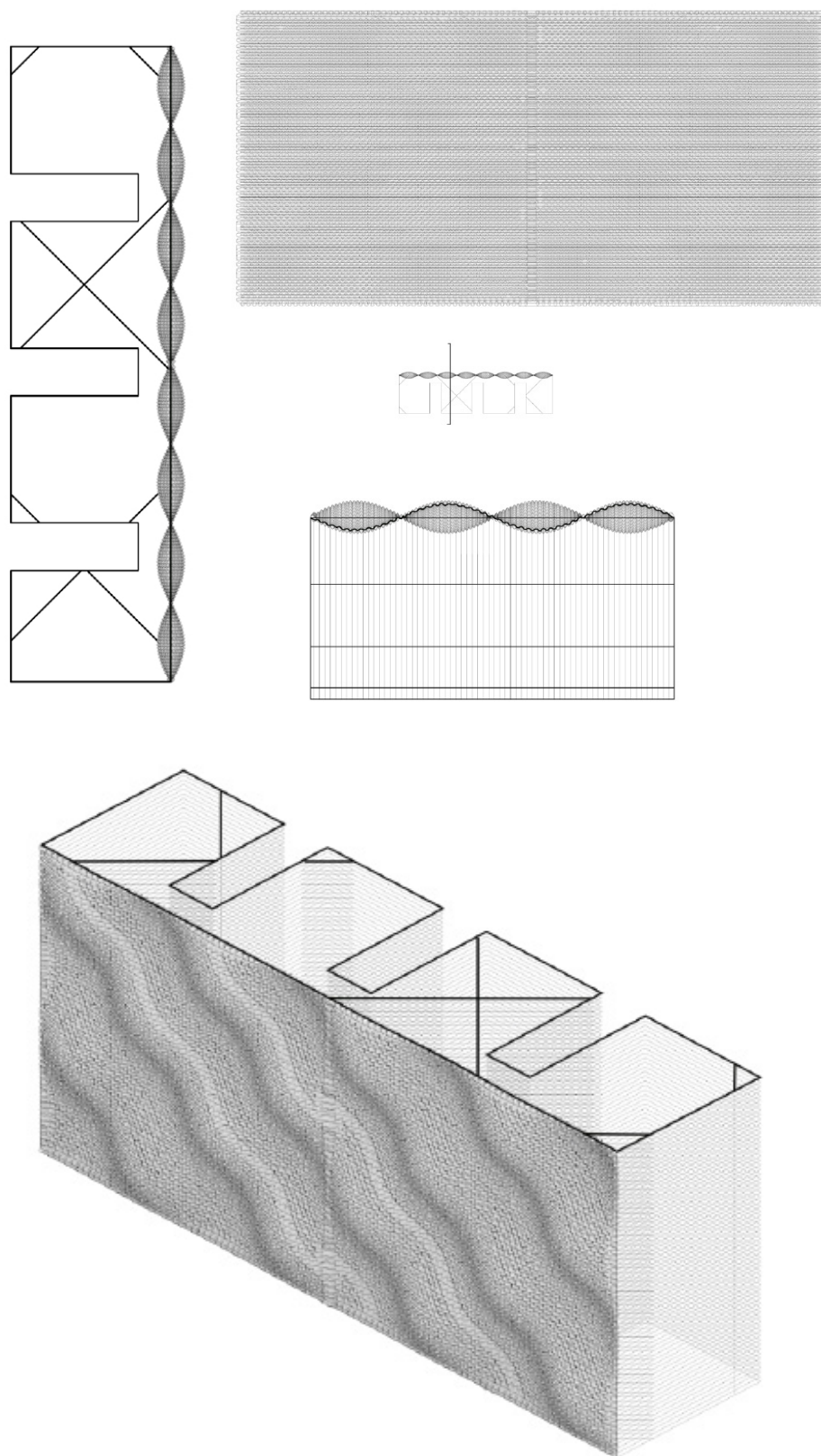


Fig. 10. Rappresen-  
tazione grafica del  
Componente 2. (fonte:  
elaborazioni D.Lucanto  
per il phd, 2022)

### Global Warming Potential Analysis

La valutazione degli impatti LCA si realizza in questa fase confrontando e ottimizzando diverse alternative di progettazione utilizzando il plug-in Bombyx 2.0 e Cardinal LCA in Grasshopper. A tale scopo, è stato utilizzato un modello locale rappresentativo e gestibile dell'edificio per esplorare diverse opzioni di progettazione senza dover modellare e analizzare l'intero edificio.

Quando si calcola l'LCA utilizzando una definizione di Grasshopper, l'ottimizzazione permette di stabilire la sua definizione di Grasshopper per la prima alternativa di progettazione, quindi può essere facilmente modificata per le alternative di progettazione successive [9] senza la necessità di definire l'LCA ripetutamente [10].

Durante il processo di esplorazione nella prototipazione del componente innovato di frontiera, si è scoperto che la scelta del materiale influisce sul carbonio incorporato dell'edificio in vari modi. Non c'è dubbio che diversi materiali da costruzione hanno valori GWP variabili (kg CO<sub>2</sub>e / kg), ad esempio l'acciaio tende ad avere valori più elevati rispetto al legno lamellare (CLT). Per calcolare con precisione l'impatto assoluto di un sistema edilizio, gli elementi progettati devono essere direttamente collegati al processo di calcolo dell'LCA [11].

Si considera, in questo caso, per l'argilla un GWP pari a 6,3 [12] considerando l'uso di energia primaria rinnovabile escluse le risorse energetiche primarie rinnovabili utilizzate come materie prime, ed una densità pari a 1 300 kg/m<sup>3</sup> [13].

I risultati ottenuti dal confronto dei diversi plug-in operato sull'analisi dei due componenti realizzati sono i seguenti:

- Componente 1 (Fig. 11)

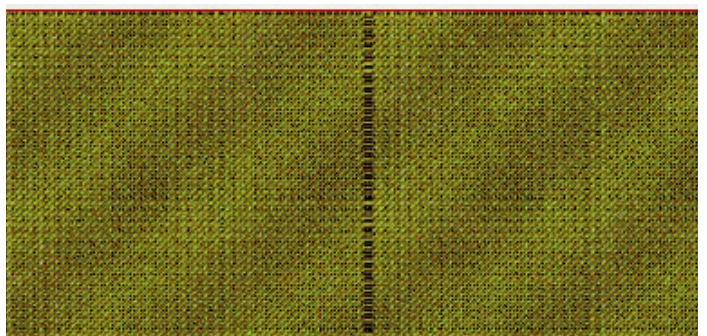
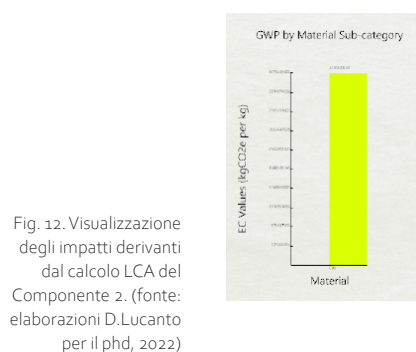
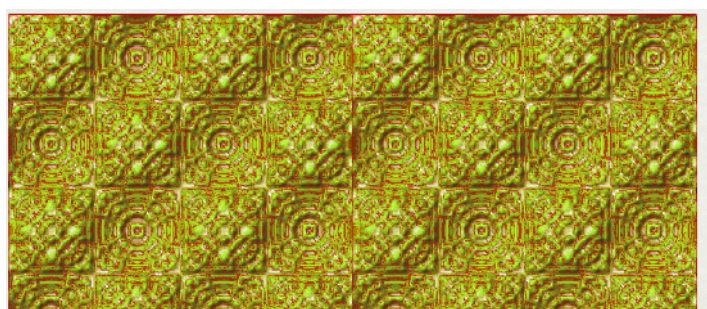
GWP - 486.7 (risultato ottenuto dall'analisi tramite Bombyx 2.0)

GWP - 337.6 (risultato ottenuto dall'analisi tramite Cardinal LCA);

- Componente 2 (Fig. 12)

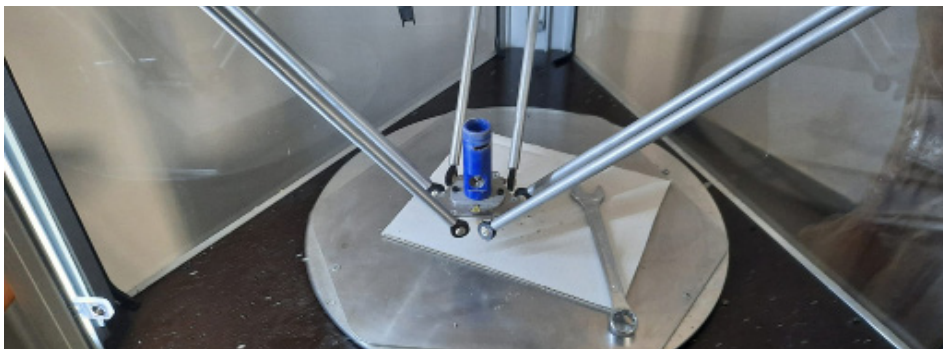
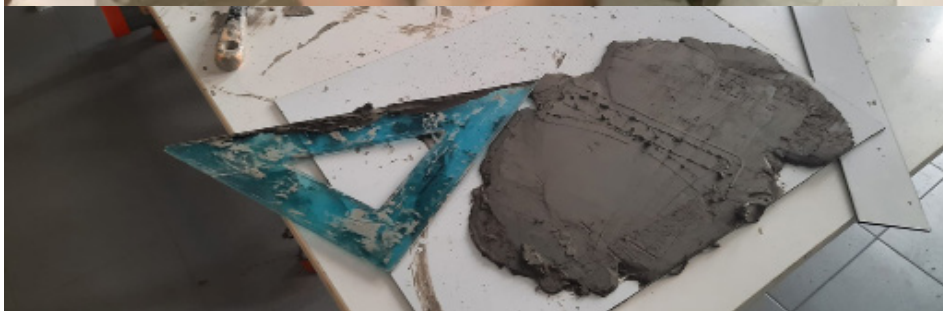
GWP - 243.2 (risultato ottenuto dall'analisi tramite Bombyx 2.0)

GWP - 339.8 (risultato ottenuto dall'analisi tramite Cardinal LCA)



La fase sperimentale è stata condotta utilizzando una stampante 3D Wasp 4070 Pro, con un kit clay adattato. Le miscele di argilla sono rimaste le stesse della fase di ricerca sull'ottimizzazione dei componenti [14] (Cfr. Cap. 5): la ricetta per la stampa prevede la miscela in argilla in gres, acqua, alcol nel rapporto tra 1 kg di argilla e 70 grammi di acqua, 2 spruzzi di alcol e acqua (Fig. 12). Quindi si procede con la stampa di nr. 2 componenti di seguito illustrati.

Utilizzando un compressore d'aria da 65-80 psi, l'argilla mescolata a mano è stata caricata in un serbatoio di argilla di alluminio fisso da 2.5 litri. Per iniettare l'argilla sono stati utilizzati tubi in vinile trasparente con diametro interno di 9,525 mm e lunghezza di 457 mm. Gli ugelli utilizzati hanno diametro fisso di 3,2 mm (Fig. 13).



Or Code - Video  
preparazione della  
sperimentazione

Fig. 12.Preparazione  
del materiale. (fonte:  
elaborazioni D.Lucanto  
per il phd, 2022)

Fig. 13.Preparazione  
dell'estrusore. (fonte:  
elaborazioni D.Lucanto  
per il phd, 2022)

### 9.3.2 Prodotto della sperimentazione prototipale: prototipazione alla scala di sistema GRS

Come primo prototipo, per la Early Design Phase, il concept è costituito da strati di argilla con altezza di Layer fissata a 0.7 mm. La successione degli strati nella formazione delle texture deve contenere un elevato livello di umidità, coerentemente con quanto fissato in fase di ottimizzazione, ma deve anche avere una geometria texturizzata che possa coadiuvare strutturalmente la prevenzione di possibili fessurazioni [15].

Questo strato non è solo caratterizzato da queste caratteristiche morfologiche, ma contiene anche il materiale come lana di roccia.

Nel secondo strato c'è uno strato ceramico meno poroso.

Lo strato è stato progettato per trattenere l'acqua ed è responsabile dell'aumento della rigidità del sistema nel suo insieme aumentando la ritenzione idrica. Per produrre queste condizioni, è importante valutare la percentuale di contrazione dovuta alla perdita di acqua prima e dopo il processo di asciugatura [16].

È infatti importante comprendere che i materiali subiscono diversi tipi di cambiamenti fisici a seconda del loro ambiente e anche delle condizioni climatiche in cui si trovano. La presenza di muschio e altre piante può anche comportare un aumento dei livelli di umidità e, con l'aumento della temperatura, l'acqua può danneggiare gravemente un oggetto in ceramica che di solito non viene danneggiato dall'umidità.

Nella prima fase della ricerca, è stato sviluppato un ampio framework basato su precedenti ricerche in campo ceramico, prendendo in considerazione componenti per testare diversi livelli di porosità e rugosità nelle superfici ceramiche. Grazie alla microstruttura di questo materiale ceramico tradizionale, l'avanzamento sperimentale e l'innovazione di sistema delle prestazioni può funzionare sia come tampone di calore che di umidità. È stato scelto l'uso dell'argilla bianca bentonitica poiché è stato dimostrato che il materiale offre un contenuto di umidità di equilibrio del 13% in condizioni di umidità standard del 50%, mentre il contenuto di umidità di equilibrio della caolinite nelle stesse condizioni è solo dello 0,7%.



Qr Code - Video delle fasi di prototipazione



Fig. 14. Prime sperimentazioni sui prototipi considerando i diversi tipi di cambiamenti fisici a seconda del loro ambiente e anche delle condizioni climatiche. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

Il prototipo del sistema GRS in scala reale verrà realizzato e integrato nella facciata della sede REDEL, impresa che si occupa di costruzione e manutenzione di impianti elettrici in bassa e media tensione ([www.redel.it](http://www.redel.it)), con un cantiere sperimentale nei mesi tra Dic. 2022 e Gen. 2023. L'efficienza del sistema per il profilo energetico ambientale verrà monitorata nei mesi successivi alla realizzazione del sistema inserito nel LS.



Qr Code -  
MediaStorytelling

Green Responsive System  
Centro InterUniversitario AbitaLAB dArTe UNIRC  
Reggio Calabria, Calabria, ITA

#### Letture Critica

(i) *innovazione nei processi di trasformazione*

Il GWP è stato stimato in: **24,97 (Kg CO<sub>2</sub>-eq / m<sup>2</sup>)**

(ii) *potenziale di reintroduzione nel ciclo biologico o tecnologico*

#### Isolante

Composizione del materiale: Argilla

Approvvigionamento: Riciclo

Potenziale rigenerativo: 100%

Percentuale di riciclo: 100%

**MCI: 1** (0 < MCI > 1)

(iii) *capacità di sequestro e risparmio di CO<sub>2</sub>*

Stoccaggio di carbonio =  $r \cdot CC \cdot BC \cdot 3,67 =$

$= 35,32 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \times 1 \times 3,67 =$

**= Stoccaggio di carbonio = 63,04 Kg/m<sup>3</sup>**

(iv) *prestazioni fisico-tecniche*

Density: 1300 Kg/m<sup>3</sup>

U value, 11.28 W/m<sup>2</sup>K

#### Dati prestazionali su emissioni per componente (Parametric LCA Calculator)

**Prototipo 1** (252m<sup>2</sup>)

[GHG 70 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>]

**Prototipo 2** (40 m<sup>3</sup>)

[GHG 90.1 kg CO<sub>2</sub>-eq]

[PE Renewable Embodied (kWh oil-eq a), 137.82]

[PE Renewable Replacements (kWh oil-eq a), 0]

[PE Renewable End of Life (kWh oil-eq a), 0]

[Green House Gasses Embodied (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a),  
461.41]

[Green House Gasses Replacements (kg CO<sub>2</sub>-eq/  
m<sup>2</sup> a), 0]

[Green House Gasses End of Life (kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup> a),  
5.99]

[GR-S]

## Green Responsive System

(1) *innovazione nei processi di trasformazione*

Q heating = 0

Q melting = 0

(2) *Caratteristiche tecnico-produttive*

Modello: Wasp kit clay 4070 pro

Volume di costruzione: 400 × 400 × 700 mm

Velocità di stampa: 280 mm/s<sup>2</sup>

Diametro ugello: 2.0mm Nozzle

Temperatura di stampa: 0

Altezza strato: 1mm

Proprietà del liquido: Argilla

#### Project credits:

Design Team:

Designer: D. Lucanto

Supervisor: C. Nava

Tutors: D. Lucanto, A. Leuzzo, G. Mangano

Team work: E. Catalano; F. Filice; D. Laganà; O. Priolo; V. Cordi; A. Randisi; G. Cirulla; E. Valerioti

Robotic 3D printing manufacturer:

D. Lucanto

Academic Start-up Partner:

PMOpenLAB srls ([www.pmopenlab.it](http://www.pmopenlab.it))

*Considerazioni conclusive sui prototipi realizzati: verso un workflow dedicato*

Attualmente, vi è una tendenza verso la progettazione parametrica orientata alla prototipazione per la valutazione delle prestazioni degli edifici, offrendo opportunità per l'ottimizzazione della progettazione e la selezione dei migliori risultati che possono essere realizzati in scala reale. Inoltre, c'è un crescente interesse nel trasferimento tecnologico, ai fini teorici e sperimentali, dei processi di costruzione automatizzati in Off-Site, principalmente utilizzando stampanti 3D industriali per la produzione di morfologie complesse e non standard. Attraverso il processo di sperimentazione affrontato, si intende quindi dimostrare la capacità di miglioramento del modello dell'ACD attraverso l'integrazione coerente di tali strumenti e processi di progettazione digitale avanzati trasferiti a processi di costruzione automatizzati.

In questo lavoro viene presentato il quadro metodologico (Cfr. Parte 2; Cfr. Parte 3) nei primi risultati della sperimentazione (Cfr. Parte 4) in merito all'integrazione di un ambiente di progettazione parametrica con un processo additivo robotico.

L'obiettivo è sviluppare un sistema di progettazione avanzata, restituibile in forma open source/personalizzata, che offra una soluzione alternativa e semplice per la stampa 3D dell'argilla nelle attività di costruzione robotica.

Il quadro metodologico include tutti i passaggi importanti per un'integrazione completa ed efficace in grado di ottenere un workflow che permette di indagare i temi della progettazione parametrica digitale alla produzione robotica, concludendo l'indagine sul TRL-5.

In questo quadro, si ottengono risultati in termini di analisi del sistema di costruzione sperimentale automatizzato, incluso il processo di Progettazione ambientale parametrica. Inoltre, si ottengono risultati in termini di processo di pianificazione dell'approccio sperimentale, in senso olistico, offrendo tutti i passaggi necessari per la replicabilità in serie dei prototipi realizzati.

Nel processo di validazione dei livelli sperimentali affrontati alle differenti scale del progetto avanzato dell'UpCycling, il sistema GRS si aggiunge ai casi studio catalogati e indagati nelle appendici dei capitoli 1, 2 e 3.

Nel quadro di test sinottico proposto di seguito (Fig. 15), è evidente come il GRS, può esporre tutti i livelli/indicatori prestazionali dedicati e come gli attributi e le capacità esprimono un sistema di alta qualità, che rappresenta certamente il "fattore positivo" per una qualsiasi configurazione di LS (Fig. 16).

In conclusione, questa indagine ha dimostrato un primo tentativo di integrare strumenti di progettazione e produzione in ambiente parametrico dal regenerative design per la neutralità climatica all'additive manufacturing. Ciò consente uno sviluppo facile ed efficace di un sistema automatizzato robotico per la stampa 3D dell'argilla, che può essere potenzialmente disponibile per ulteriori implementazioni e utilizzi, anche verso nuovi materiali di estrusione per i prototipi e di realizzazione nelle costruzioni.

Sebbene i primi risultati siano piuttosto promettenti, sono necessari ulteriori studi per testare la fattibilità della metodologia suggerita, insieme a una più approfondita misura delle prestazioni in ambiente tecnologicamente rilevante, con una maturità tecnologica verso il TRL-6.

	GWP KgCO <sub>2</sub> eqxt on	MCI 0 < MCI > 1	CO <sub>2</sub> Stocking Kg/m <sup>3</sup>	Density Kg/m <sup>3</sup>	U W/mK	Q Heating Jxm <sup>2</sup>	Q Melting Jxm <sup>2</sup>	Noozle mm	Layer Height	Printing Speed mm/s
IM-1	356	0,76	190000 x year	240	-	-	-	-	-	-
IM-2	70	0,67	0	65	-	-	-	-	-	-
IM-3	16,95	0,46	13,94	15,83 21,32	0,125	-	-	-	-	-
IM-4	-	0,85	1	1,72 2,2	-	-	-	-	-	-
IM-5	1,56	1	38,05	40 250	0,04	-	-	-	-	-
IM-6	2,09	1	69,05	160 280	0,05 0,07	-	-	-	-	-
IM-7	2,09 4,94	1	69,05	150	0,05 0,07	-	-	-	-	-
IM-8	22,09	1	35,7	125	0,05	-	-	-	-	-
UC-1	20,8	0,84	0	-	-	-	-	-	-	-
UC-2	-	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-
UC-3	182 256	1	0	2300	-	-	-	-	-	-
UC-4	1	69,05	-	1300	-	-	-	-	-	-
OS-1	18,5	1	-	-	0,16	-	-	-	-	-
OS-2	4,63	1	-	-	0,9	-	-	-	-	-
OS-3	8,4	1	-	-	0,73	-	-	-	-	-
OS-4	8,4	1	-	-	0,56	-	-	-	-	-
HA-1	4,83	1	69,05	-	0,52	-	-	-	-	-
HA-2	4,63	1	128,43	-	-	-	-	-	-	-
HA-3	5,63	0,34	128,43	-	-	-	-	-	-	-
HA-4	9,34	1	69,05	-	-	-	-	-	-	-
US-1	-	-	-	-	-	1286,9	4240,17	3	2	-
UP-1	-	-	-	-	-	0	0	2,5	0,7	200
UP-2	-	-	-	-	-	1286,9	4240,17	2	1	400
UPf-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>GRS</b>	<b>24,97</b>	<b>1</b>	<b>63,04</b>	<b>1300</b>	<b>11,28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>280</b>

Fig. 15. Tabella riassuntiva delle appendici dei casi studio comparate con la lettura critica del GRS. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

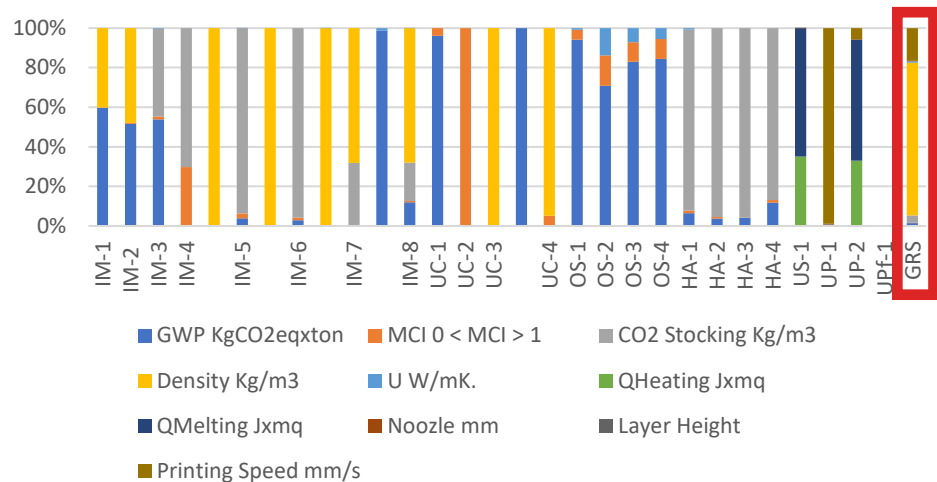
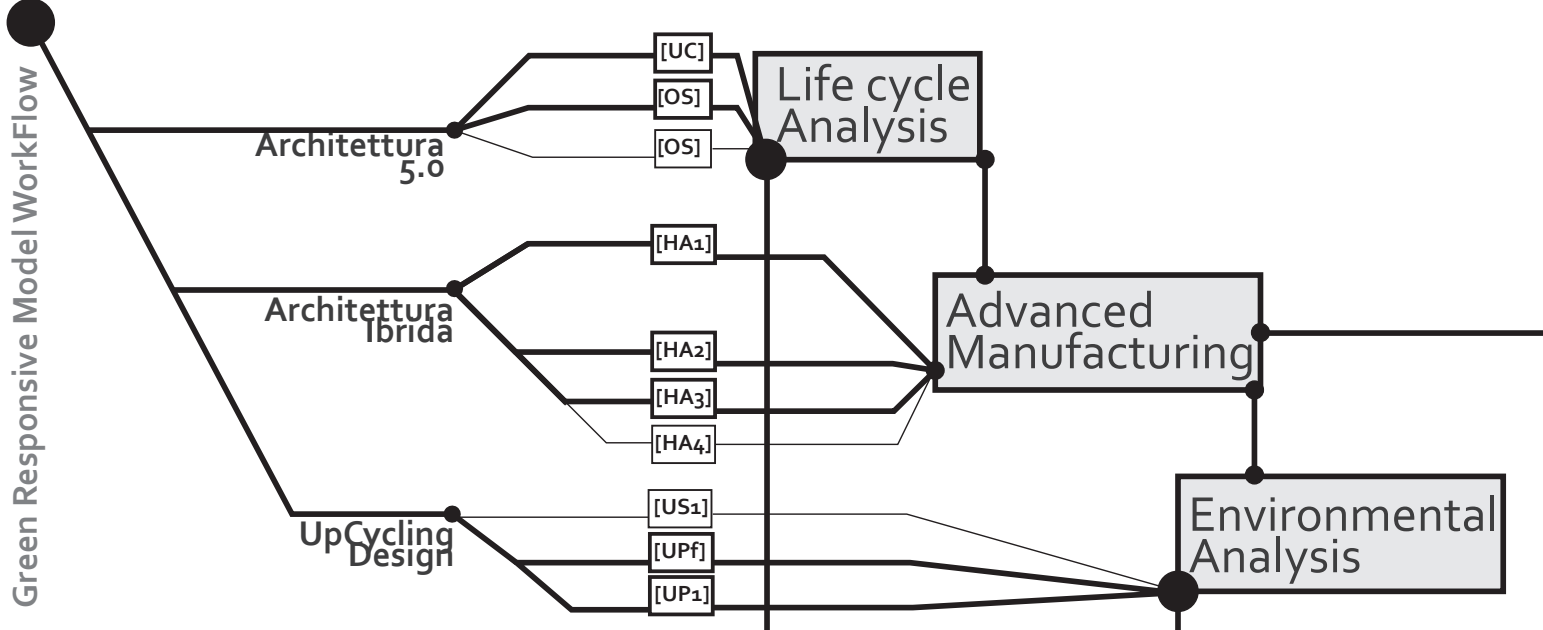
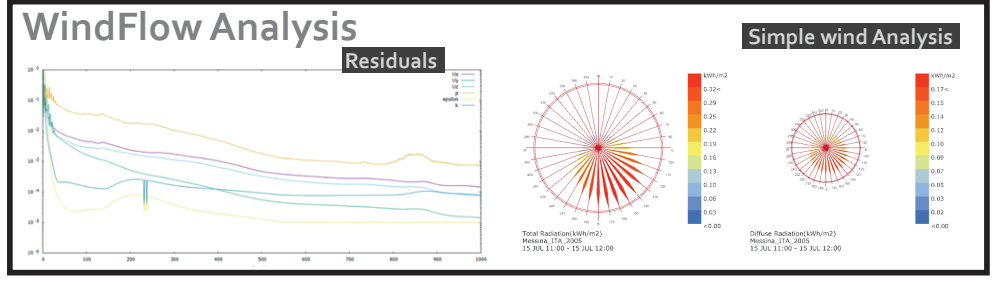
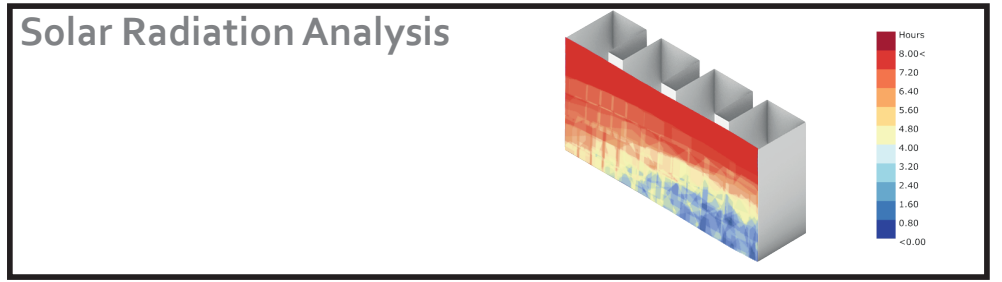
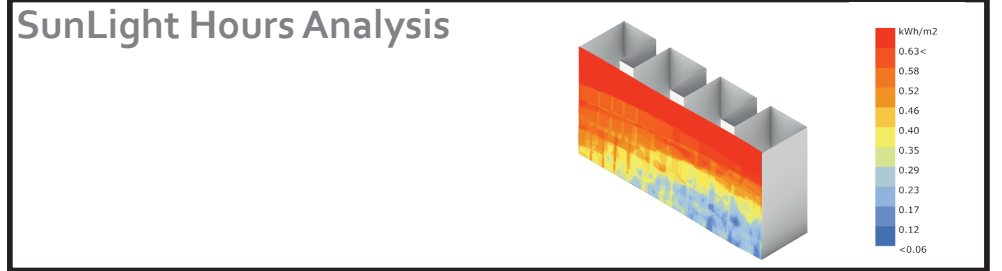
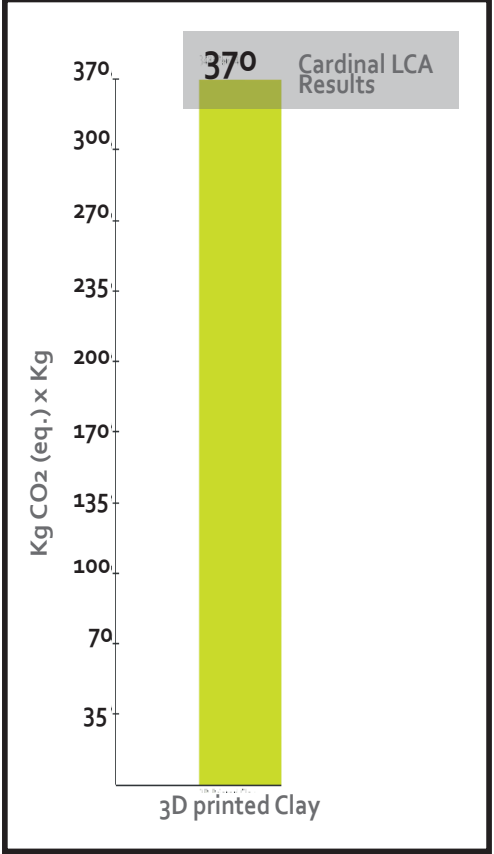
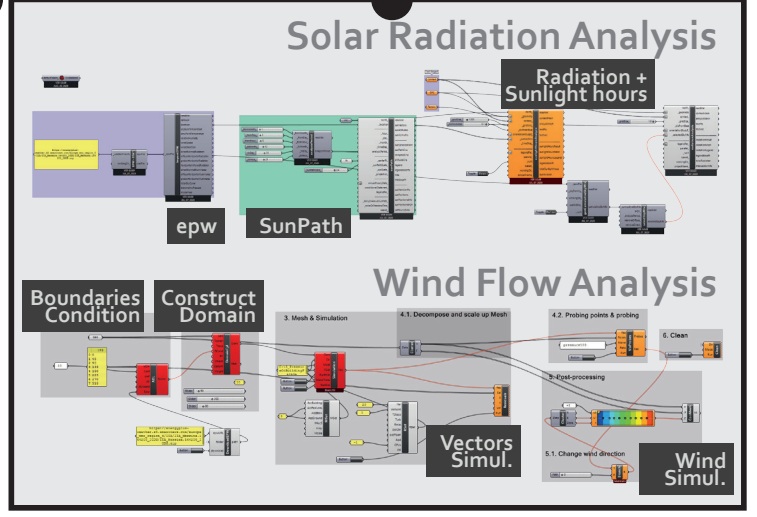
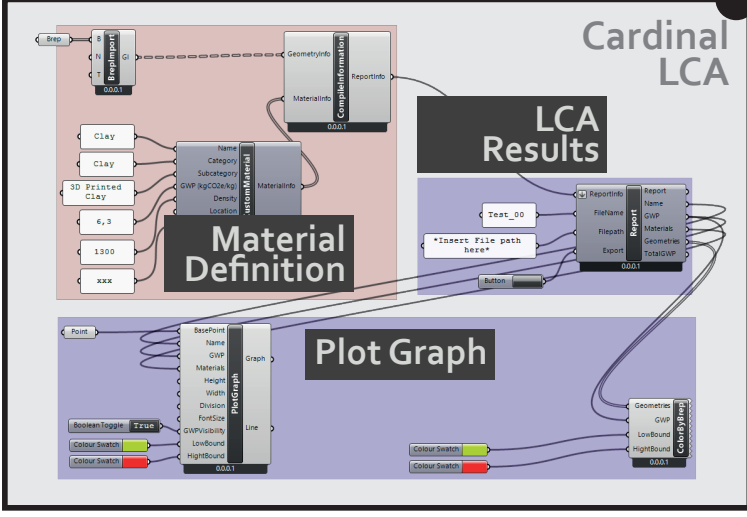


Fig. 16. Grafico riassuntivo delle appendici dei casi studio comparate con la lettura critica del GRS. (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

# Component Design



## Grasshopper Scripts Definition

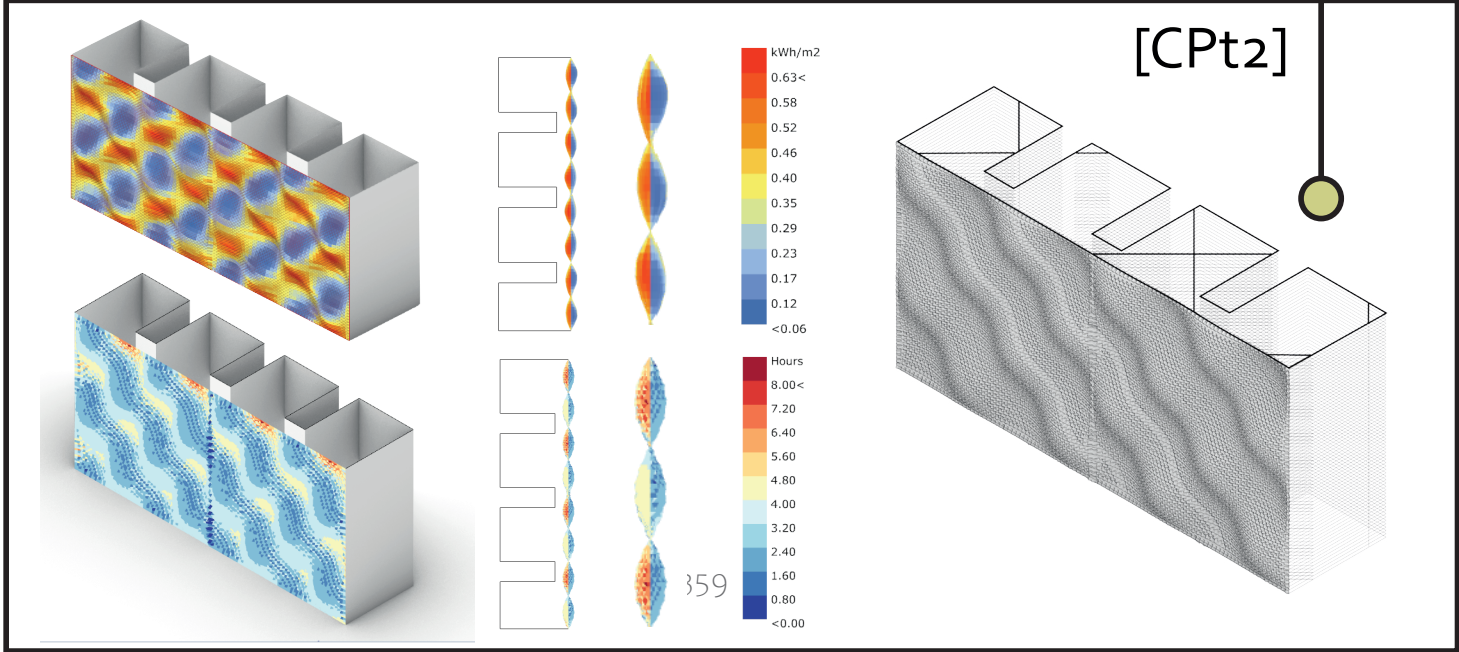
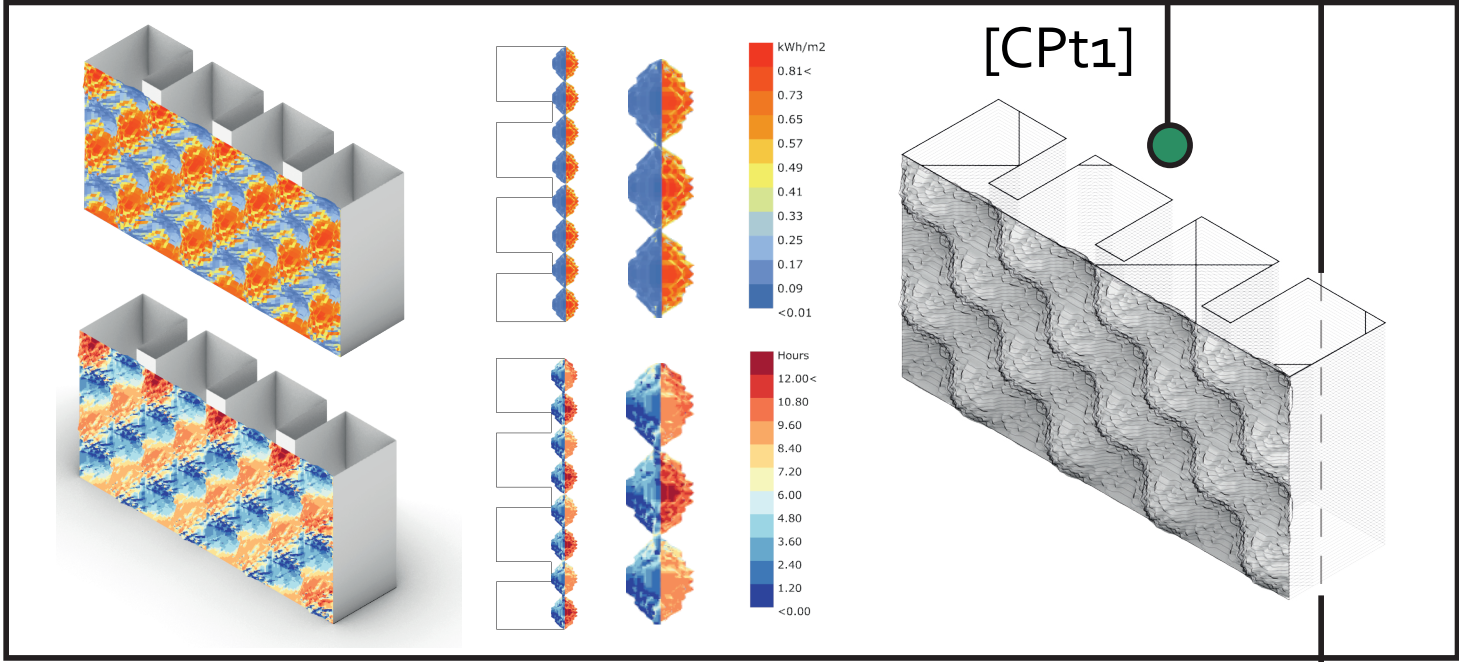
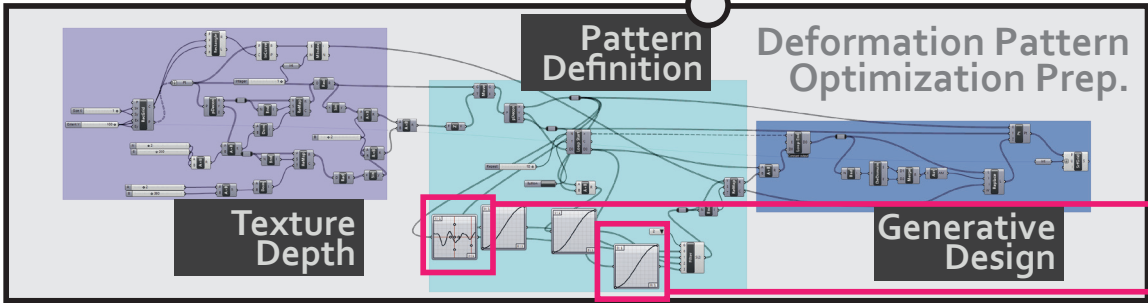


ACD

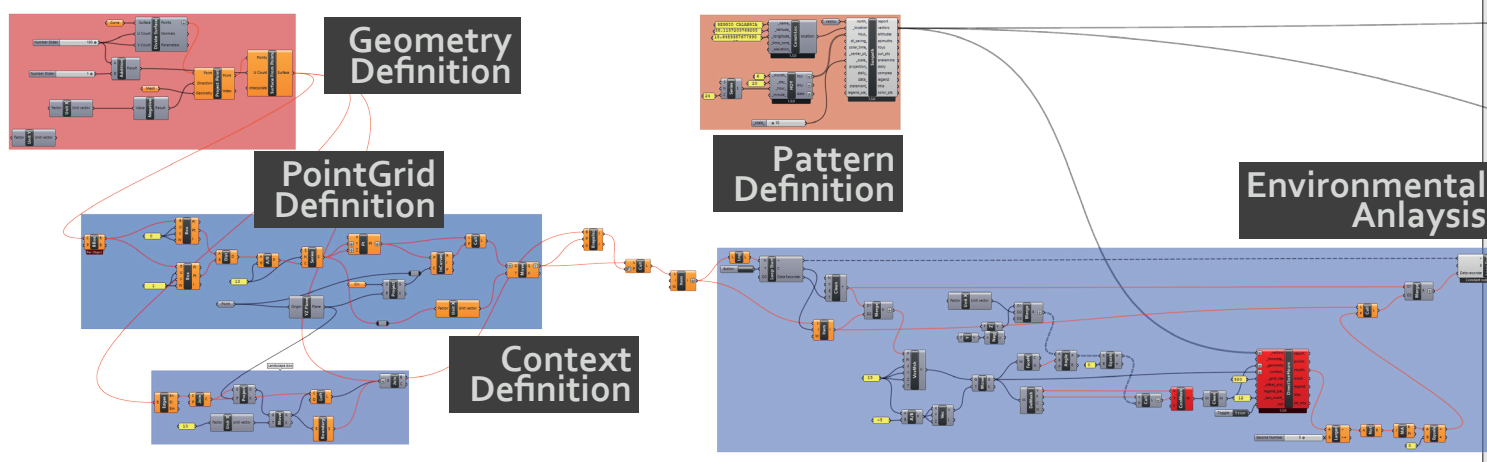
ADVANCED DEESIGN FOR MANUFACTURING  
GREEN performance  
PHYSIC Performance  
Circularity by design

[CPT1]

[CPT2]

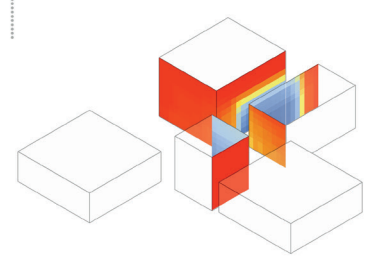


# [Green Responsive System Design]

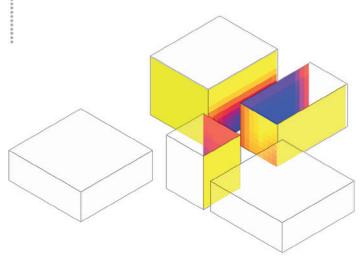


PERIOD 1\_SPRING\_20/3 TO 21/6

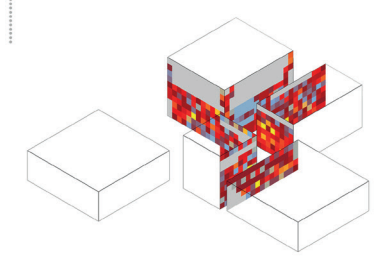
SCENARIO 1  
RADIATION ANALYSIS



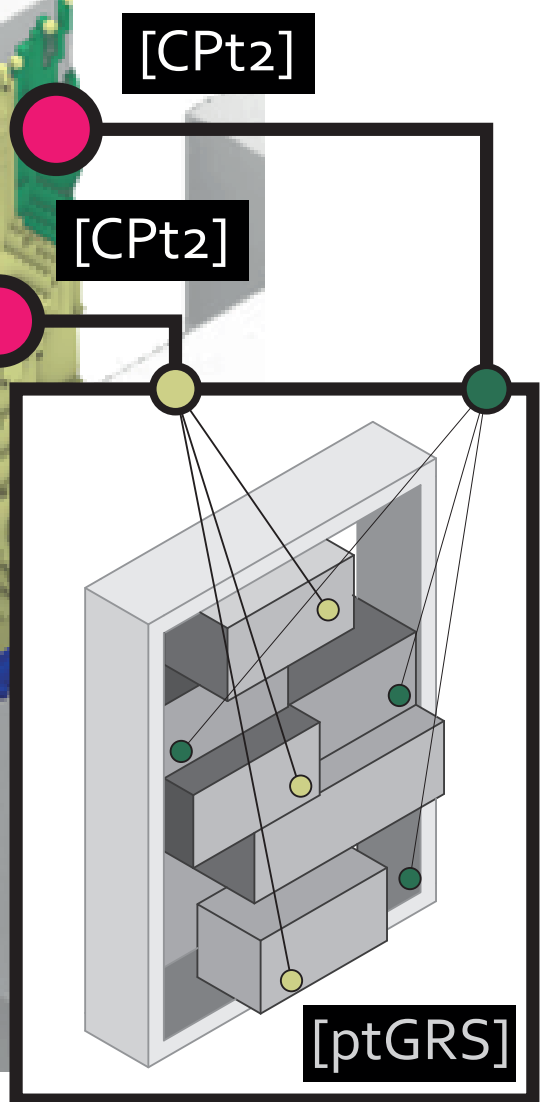
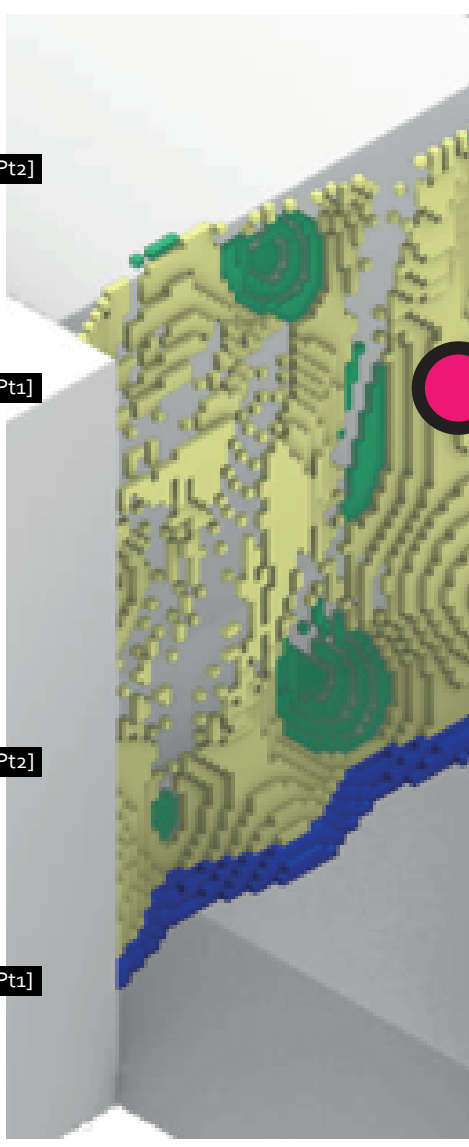
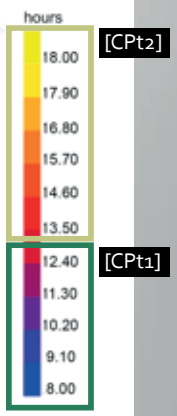
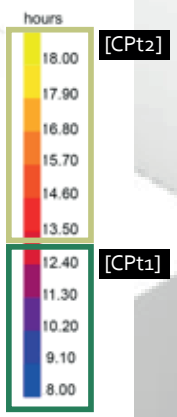
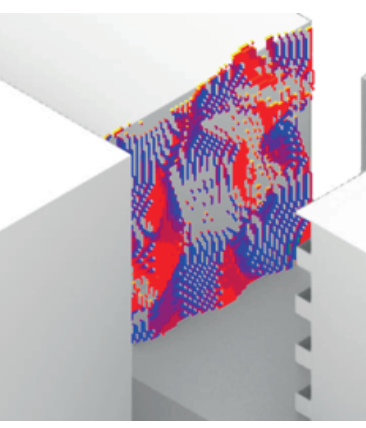
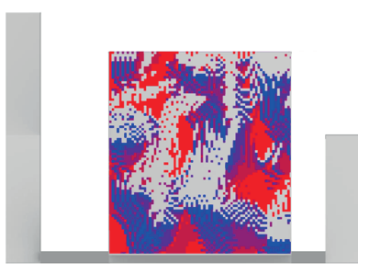
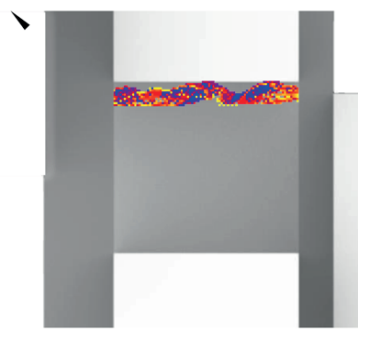
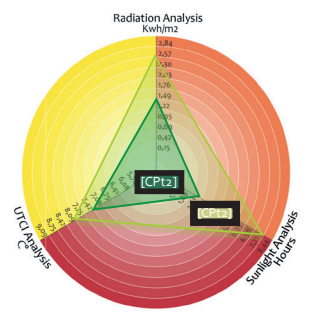
SUNLIGHT ANALYSIS

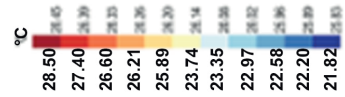
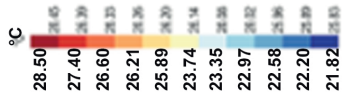
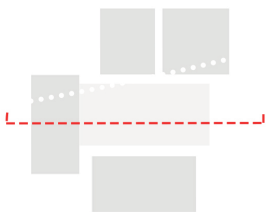
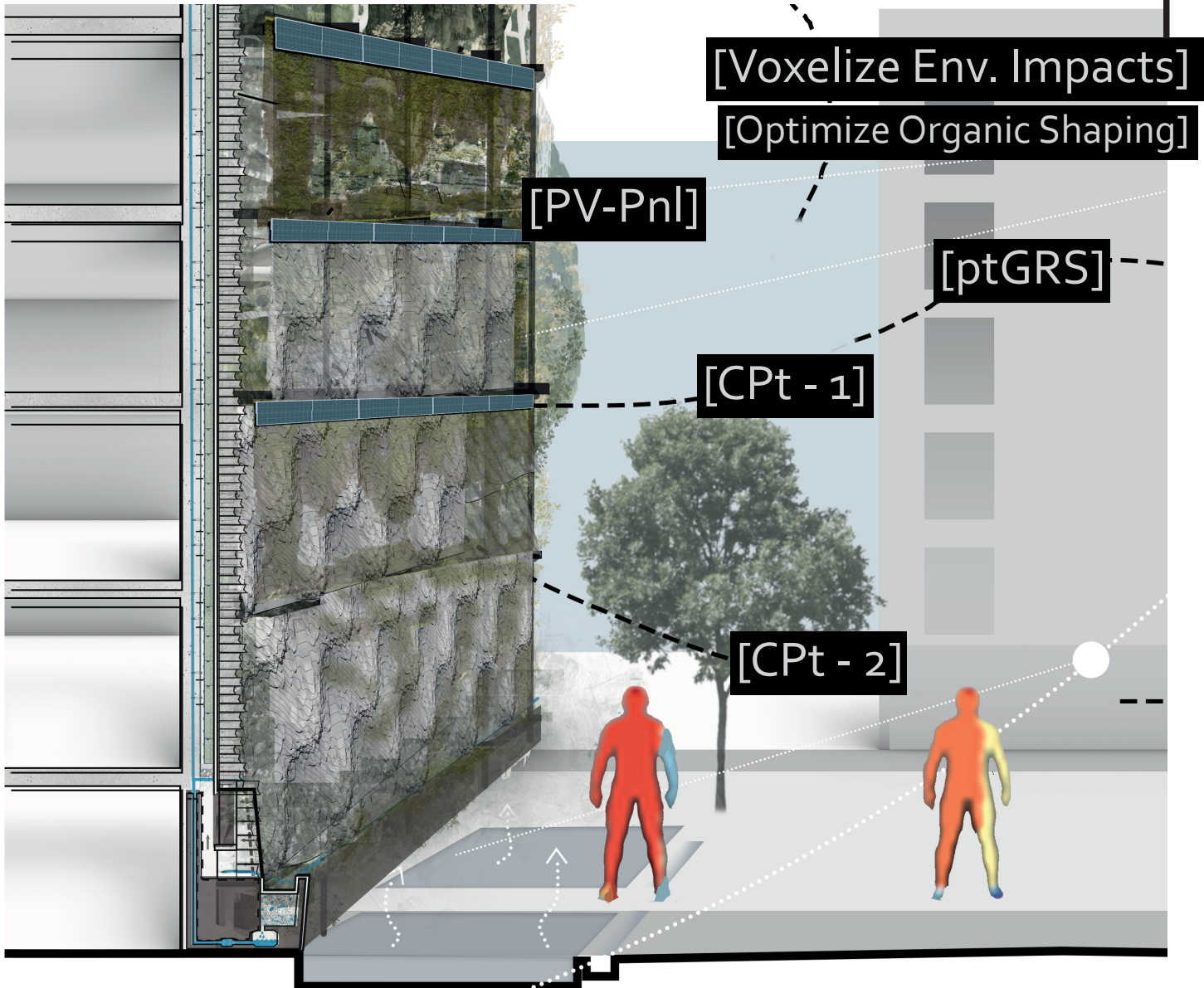
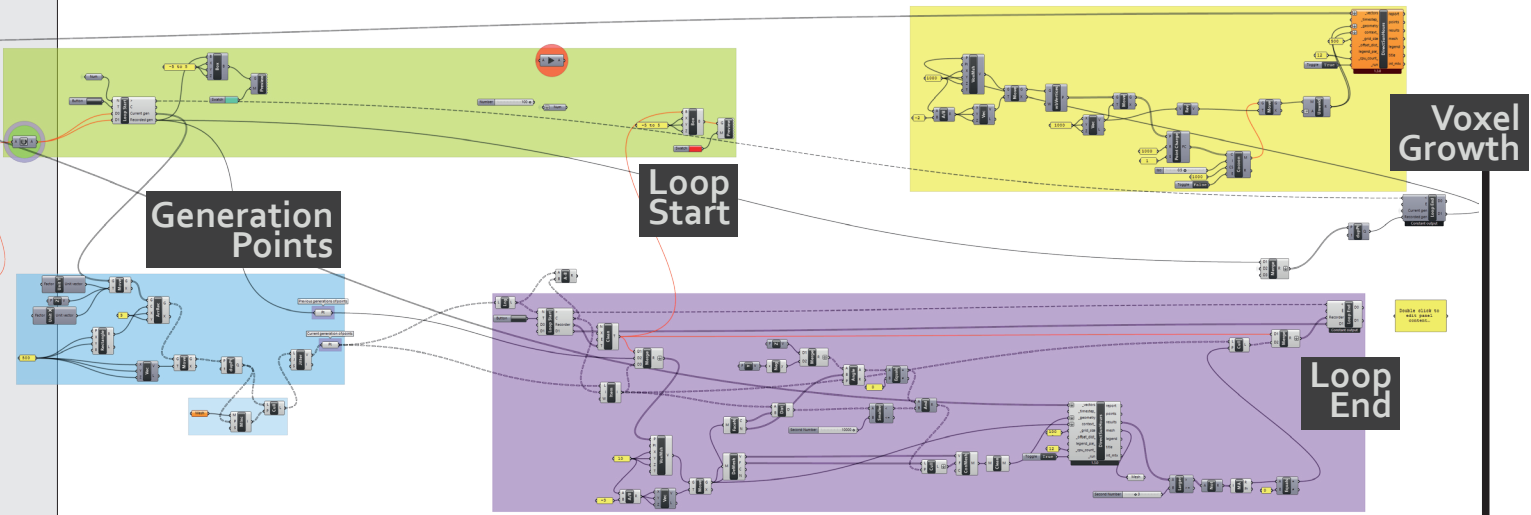


UTC ANALYSIS

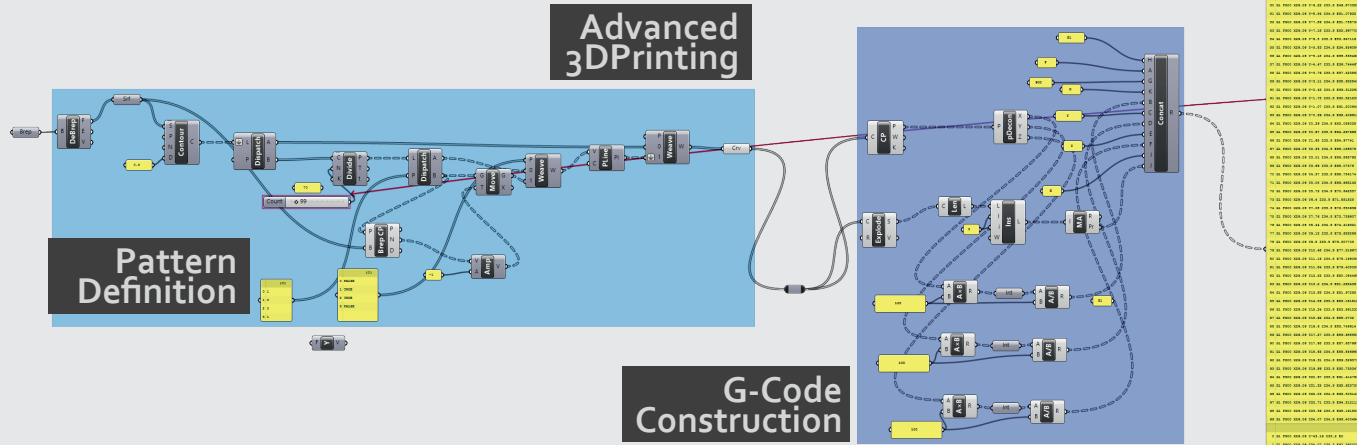


INTEGRATED SCENARIOS  
DATA READING

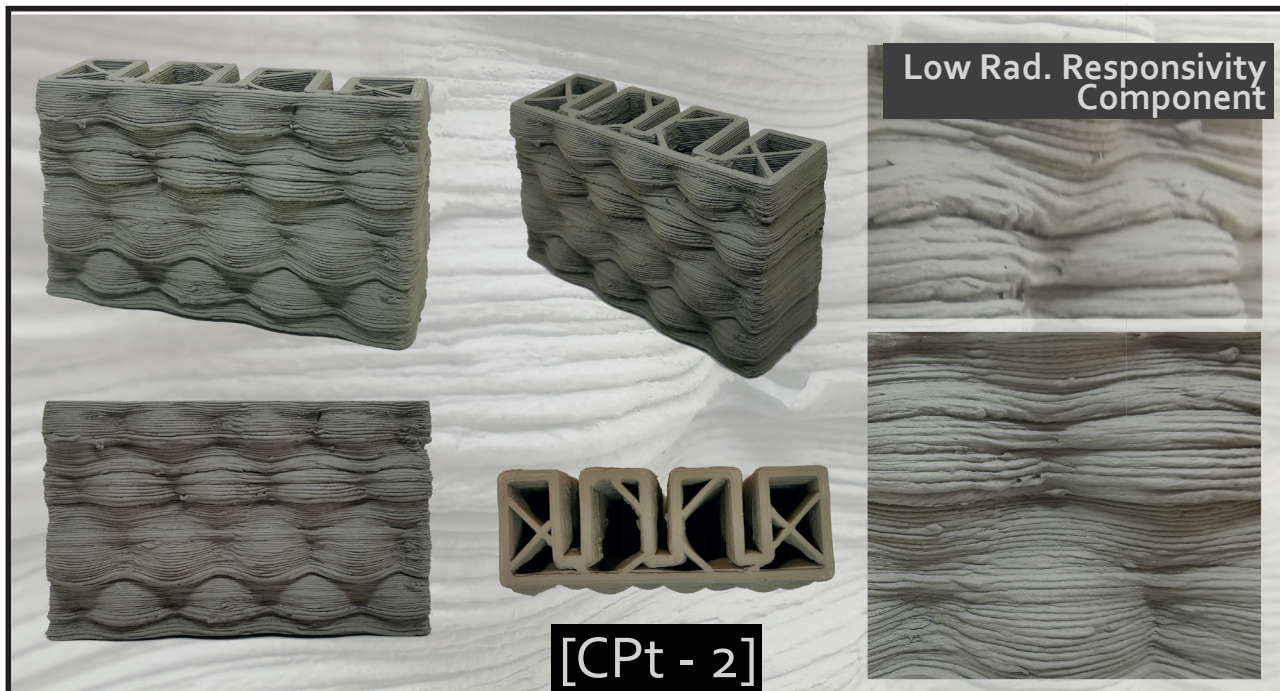
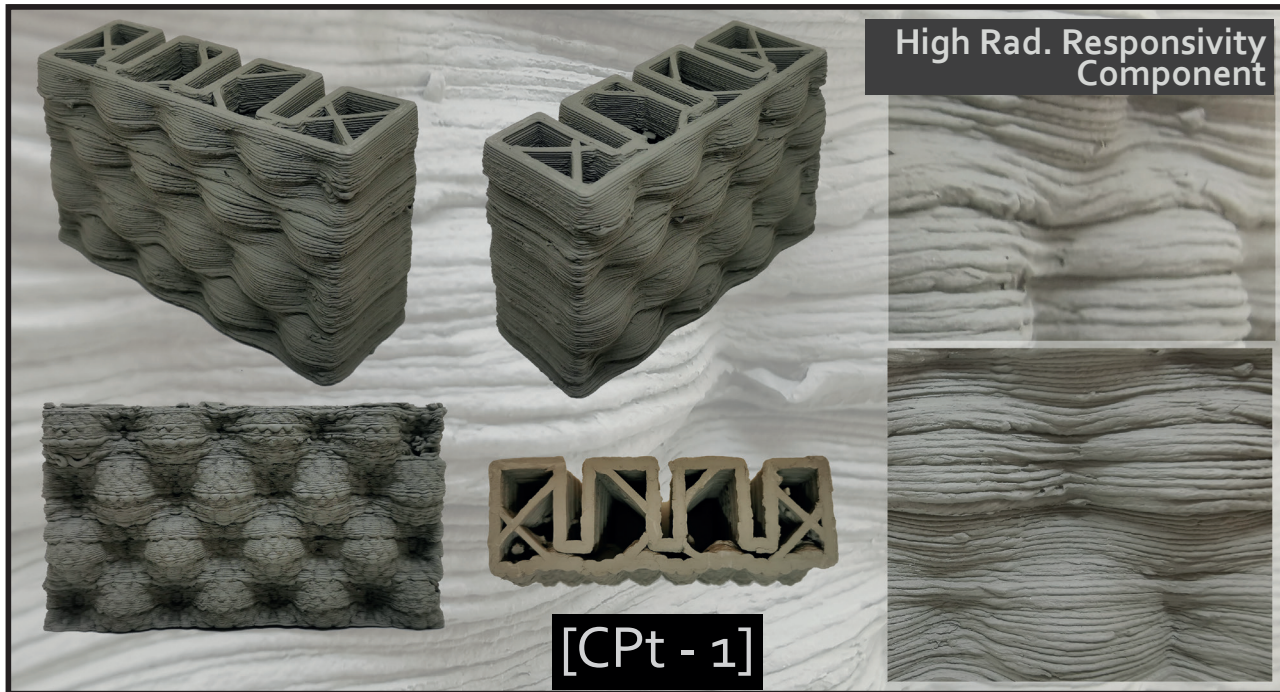




# Green Responsive System Prototyping



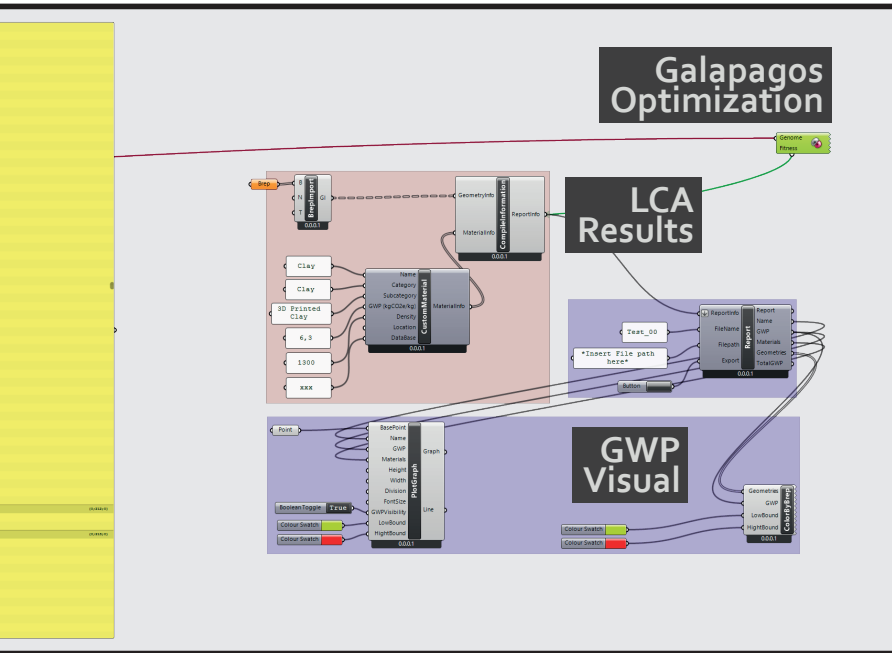
Advanced 3D Printing  
D. Cuevas Method Evoluton 4 Sustainability



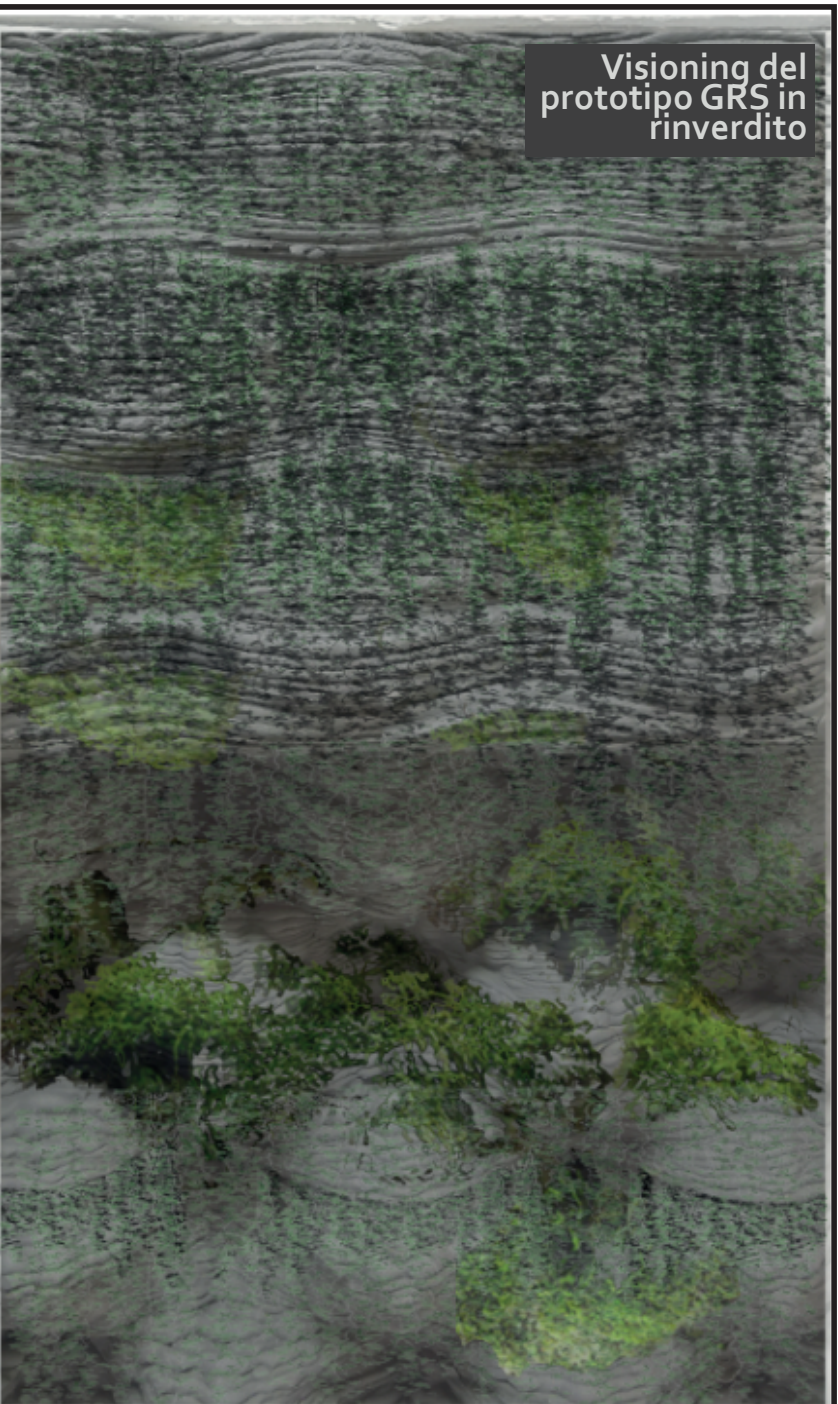
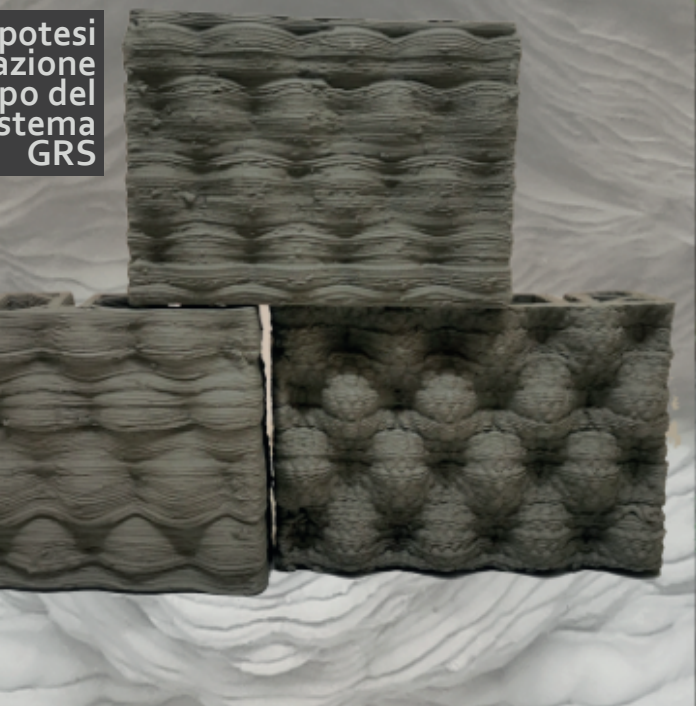
[ptGRS

Il prototipo  
realizzato  
REDEL, i  
manuten  
media te  
sperimen  
L'efficienz  
ambiental  
alla realiz

Prima i  
di Aggrega  
del Prototipi  
Si



S] po del sistema GRS in scala reale verrà o e integrato nella facciata della sede mpresa che si occupa di costruzione e zione di impianti elettrici in bassa e nsione ([www.redel.it](http://www.redel.it)), con un cantiere tale nei mesi tra Dic. 2022 e Gen. 2023. za del sistema per il profilo energetico e verrà monitorata nei mesi successi zazione del sistema inserito nel LS.



## Riferimenti bibliografici

1. Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering construction materials through prototypological research. *Biometrics*, 4(3), 56.
2. Africa, J., Heerwagen, J., Loftness, V., & Ryan Balagtas, C. (2019). Biophilic design and climate change: performance parameters for health. *Frontiers in Built Environment*, 5, 28.
3. Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., & Zerefos, S. (2017). A review of light shelf designs for daylight environments. *Sustainability*, 10(1), 71.
4. Gorthi, S., Singh, R., Chakraborty, S., Li, B., & Weindorf, D. C. (2022). Identification of Köppen climate classification and major land resource area in the United States using a smartphone application. *Geoderma Regional*, 30, e00567.
5. Apellániz, D., Pasanen, P., & Gengnagel, C. (2021). A holistic and parametric approach for life cycle assessment in the early design stages. In *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (SimAUD)*.
6. Nóbrega, T. F., Nóbrega, C. A. M. D., & Passaro, A. M. (2021). Experimental Paste Extrusion Mechanism for 3D Printing.
7. Naboni, E., & Havinga, L. (2019). *Regenerative design in digital practice: A handbook for the built environment*.
8. Paras, M. K., & Curteza, A. (2018). Revisiting upcycling phenomena: a concept in clothing industry. *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(1), 46-58.
9. Kumar, K., & Verma, R. K. (2022). Nature-inspired grasshopper optimization algorithm (GOA) for predictive modeling and machinability evaluation of laminated polymer nanocomposites. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 1-19.
10. Säwén, T., Magnusson, E., Kalagasidis, A. S., & Hollberg, A. (2022, September). Tool characterisation framework for parametric building LCA. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1078, No. 1, p. 012090). IOP Publishing.
11. Basic, S., Hollberg, A., Galimshina, A., & Habert, G. (2019, August). A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment—Bombyx project. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 323, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
12. Asman, N. S. A., Bolong, N., Mirasa, A. K., & Asrah, H. (2020, April). Life Cycle Assessment of Interlocking Compressed Earth Brick and Conventional Fired Clay Brick for Residential House. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1529, No. 4, p. 042012). IOP Publishing.
13. Osipov, V. (2011). Density of clay minerals. *Soil Mechanics & Foundation Engineering*, 48(6).
14. Sangiorgio, V., Parisi, F., Fieni, F., & Parisi, N. (2022). The New Boundaries of 3D-Printed Clay Bricks Design: Printability of Complex Internal Geometries. *Sustainability*, 14(2), 598.
15. Bezzi, F., Fabbri, P., Leoni, E., & Magnani, G. (2019). *Additive Manufacturing Ceramico: Materie prime e paste ceramiche per la stampa 3D*.
16. Hasiuk, F., & Harding, C. (2021). 3D Printing Mudrocks: Experiments in Validating Clay as a Build Material for 3D Printing Porous Micromodels. *Petrophysics-The SPWLA Journal of Formation Evaluation and Reservoir Description*, 62(05), 486-499.





(pagina precedente)  
AI visioning di un GRS  
realizzato attraverso  
sperimentazione su MI-  
DJourney. *D. Lucanto*  
2022.



## Valutazione della sperimentazione progettuale e competitività dei risultati

It is the "Sustainable Construction" sector of S3 Calabria which regulates and reports on two areas of national specialization: the Digital Agenda, Smart Communities, intelligent mobility systems, as well as smart and sustainable industries, energy, and the environment. As a result of the development of the doctoral thesis carried out here, an experimental contribution as well as a theoretical advancement as a frontier on the themes of intelligent and sustainable industry, energy and the environment are proposed. The coherence with the areas of innovation in the areas of innovation in the drivers identified by the structure of the Smart Specialization Strategy of the Calabria Region referring to sustainable construction, allows the enhancement of the production base by supporting innovation and highlighting progress on the road to achieving the final goals of the Strategy, in the selected innovation areas. The doctoral research project, titled "Circular processes and enabling technologies for the UpCycling of innovative frontier systems", interacts with the implementation strategies and validation of the objectives set by Axis 1 - Research and Innovation (OT1 ERDF). The following paragraph will highlight the degree of achievement with the objectives and actions set by the POR Calabria FESR-FSE 2014-20 in comparison to the specific trajectory.



Texture del Componente 1 e 2, all'interno del prototipo GRS (fonte: elaborazioni D.Lucanto per il phd, 2022)

## 10.1 Predisposizione di una check list di brevetto per il sistema innovato di frontiera

Negli ultimi due decenni sono emerse numerose tecnologie che hanno avuto un profondo impatto sul modo in cui la sperimentazione in architettura verso la transizione digitale dei processi risulta sempre più interconnessa con i temi della sostenibilità, indirizzati alla neutralità climatica. L'emergere e la fusione di tecnologie di frontiera è al centro di quella che viene definita Quarta Rivoluzione Industriale o Industria 4.0 verso la definizione di "tecnologie emergenti".

La ricerca strategica ha sempre più riconosciuto il ruolo che l'innovazione e la conoscenza svolgono nel raggiungimento degli obiettivi a livello di impresa e di settore, e una maggiore attenzione è stata posta sull'identificazione delle relazioni tra le idee e delle distanze tra le basi di conoscenza come fattori che guidano questi risultati.

Predisporre una check list per la possibile implementazione con procedura di brevetto per il GRS intende, in questo paragrafo, evidenziare i temi che possano aiutare a dedurre la mappatura del panorama della conoscenza sulla base degli aspetti di innovazione evidenziati nella stesura della ricerca dottorale.

Il carattere multidisciplinare di frontiera, posto alla base come elemento fondativo della ricerca dottorale qui sviluppata, è in grado di trasferire nella predisposizione di brevetto i caratteri di innovazione alla base dell'approccio prototipologico del GRS.

Dopo aver mappato l'avanzamento di processo e di prodotto proposto, sarà possibile, infatti, effettuare le misurazioni necessarie per la ricerca per la strategia di brevettazione.

Check List:

1. Formulazione del prodotto e del settore di produzione interessato all'oggetto del brevetto;
2. Descrizione tecnica del prodotto. Elaborati di schede e progettuali;
3. Ricerca di anteriorità per valutazione di brevetti simili;
4. Definizione dei caratteri di invenzione e di innovazione del prodotto
5. Iter Brevettuale (Amministrativo e Tecnico)

Il concetto di "emergenza" si riferisce a un cambiamento radicale della scienza, che può essere ricondotto a Kuhn, per distinguerla da altri tipi di progresso scientifico.

Può esistere un'ampia varietà di tecnologie emergenti, che vanno da miglioramenti incrementali a innovazioni radicali, che abbracciano un'ampia varietà di campi e coprono un'ampia gamma di applicazioni.

In effetti, possiamo dire che le differenze nei processi di emergenza possono essere attribuite a una serie di fattori diversi.

Nell'ambito dell'impegno della ricerca dottorale, all'interno della proposta progettuale GRS si cerca di identificare nuovi progressi che potrebbero presagire opportunità scientifiche e tecnologiche in un'ampia gamma di argomenti di ricerca e sviluppo, proposte di algoritmi di processo tipiche di un'intelligenza artificiale.

Tre aspetti distinti nel pensare all'emergenza sono le fonti, le caratteristiche e gli effetti. Alla luce di quanto proposto, e del livello di maturità scientifica raggiunto dalla ricerca dottorale (TRL-5) ci si può ritenere in grado di evidenziare tra i caratteri emergenti:

- l'accoppiamento delle tecnologie digitali in una metodologia avanzata (GRM), attualmente in una fase iniziale di sviluppo, che mostra un elevato potenziale di crescita, per la valutazione degli impatti sul ciclo di vita e l'ottimizzazione dei fattori di contesto ambientale;
- innovazione radicale o discontinua nel processo di sperimentazione per la realizzazione del GRS, come componente/sistema innovato di frontiera, orientato all'ottimizzazione delle sue proprietà verso la neutralità climatica.

## 10.2 Riferimenti di tracciabilità sulla S3 Smart Strategy della Calabria sulla traiettoria Edilizia Sostenibile: riferimenti al programma S3/ 14-20 e proiezioni sulla S3/ 21-27

I tre anni di ricerca dottorale sono stati finanziati all'interno del POR Calabria 2014-20, per la strategia di specializzazione S3 sulla traiettoria Edilizia Sostenibile.

L'area di specializzazione S3 Calabria [1] riferita al settore "Edilizia sostenibile" [2] regola e riferisce su due aree di specializzazione nazionale: Agenda Digitale, Smart Communities, sistemi di mobilità intelligente; industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente.

La traiettoria affrontata nell'elaborazione della tesi dottorale qui svolta propone un contributo sperimentale ed un avanzamento teorico definito di frontiera sui temi *dell'industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente*.

La coerenza dei temi trattati e della sperimentazione progettuale viene evidenziata dall'aderenza tra l'innovazione proposta, la traiettoria di sviluppo regionale, la corrispondenza con la traiettoria di sviluppo nazionale e l'area tematica nazionale.

Coerentemente con quanto individuato nei Principi ispiratori del "sistema di monitoraggio" [3] le linee guida per i progetti di ricerca finanziati dalla strategia S3 devono necessariamente confrontarsi con una strategia territoriale che va oltre i singoli programmi, e pertanto è necessario adottare un approccio al monitoraggio fortemente orientato ai risultati e che consenta di misurare il contributo dell'innovazione proposta, in termini di avanzamento di conoscenza sui temi e sperimentazioni progettuali applicate, alle priorità selezionate e alla Strategia nel suo complesso.

Il monitoraggio deve essere riferito alla stesura della ricerca dottorale quale processo avanzato che genera un flusso continuo di informazioni sulle realizzazioni/risultati e sulle modalità di intervento su azioni e progetti da condividere come lascito nel portato di conoscenze che così potranno partecipare all'avanzamento tecnologico nel momento in cui si intende fornire informazioni, suggestioni, feedback sui processi di innovazione strategica.

La coerenza con le aree di innovazione nei driver individuati dalla struttura della Strategia di specializzazione intelligente della Regione Calabria riferita, all'edilizia sostenibile, permette di valorizzare la base produttiva sostenendo l'innovazione e evidenziare i progressi sulla strada del raggiungimento dei traguardi finali della Strategia, nelle aree di innovazione prescelte.

Nel dettaglio la ricerca dottorale qui denominata "*Processi circolari e tecnologie abilitanti per l'UpCycling dei sistemi innovati di frontiera*" si interfaccia con le strategie di attuazione e la validazione degli obiettivi fissati dall'Asse 1 - Ricerca e Innovazione (OT1 FESR). [4]

Nel paragrafo che segue saranno evidenziati nel confronto con le specifiche traiettorie il grado di raggiungimento con obiettivi ed azioni fissati dal POR Calabria FESR-FSE 2014-20 e che sostanzialmente vengono proposte anche per S3 2021-27.

### 10.2.1 Confronto tra innovazione di processo e/o prodotto della ricerca, traiettorie regionali e nazionali nell'area Edilizia sostenibile: Validazione della ricerca sul primo livello/processo

*Innovazione Proposta: Processi Circolari, Architettura Ibrida ed UpCycling (Cfr. Parte 1)*

L'avanzamento proposto restituisce una panoramica sui modelli di innovazione, in grado di rendere meno vulnerabili i campi di sperimentazione delle tecnologie avanzate e le logiche predittive del design. Se si considera il significato, comunemente riconosciuto come innovativo si individuano pratiche e progetti in grado di restituire un'innovazione radicale nel campo della sostenibilità e produrre un reale vantaggio economico, in un sistema produttivo in evoluzione o comunque per una risposta efficace ad un cambiamento del sistema sociale, è facile affermare che non può esistere un modello stabile ma solo criteri di riferimento. "Cinque caratteristiche non devono mai mancare all'innovazione: il vantaggio relativo, la compatibilità, la complessità, la tracciabilità, l'osservabilità." [5] Nel trasferire il modello di innovazione proposto, queste caratteristiche intercettano la domanda più diretta nei processi avanzati riferiti alla costruibilità dell'architettura e all'edilizia sostenibile. Non c'è dubbio, soprattutto nei processi industriali di costruzione, come queste caratteristiche debbano declinare sul sistema di trasferimento della scelta dell'innovazione; capace di influenzare diversi scenari, riconducibili a contesti socio-produttivi.

Impact design e design for manufacturing, come forme operative di processi di progettazione avanzati, agiscono in due fasi importanti del processo di "design driven innovation". Nell'analisi del contesto proposta nelle appendici, la valutazione delle conoscenze disponibili, i valori messi in campo si misurano nel loro impatto, sul sistema di riferimento individuato dalla specifica area tematica. L'avanzamento proposto è quindi reso misurabile dal carattere innovativo, permettendo alle categorie di impatto dell'intero sistema, quindi, di essere tradotte nei loro significati dal linguaggio dell'impact design; dai suoi caratteri grafici e informativi legati alla contabilizzazione dei dati e delle grandezze che entrano in gioco, all'impatto diretto e indiretto dell'impatto, gli output del servizio a modelli circolari innovativi.

*Traiettoria regionale: Edilizia sostenibile e nuovi edifici*

La trattazione su economia circolare (Cfr. Cap. 1), materiali naturali (Cfr. Cap. 2) e UpCycling (Cfr. Cap. 3) pone l'accento sul mantenimento del valore delle risorse e sulla prevenzione dell'uso di materiali vergini e dei rifiuti, non solo attraverso il riciclo e il riutilizzo, ma anche ottimizzando a monte il fabbisogno di risorse per l'edilizia sostenibile, con particolare riferimento alle nuove costruzioni. La coerenza della traiettoria regionale viene così espressa nella transizione verso un'economia circolare a basse emissioni di carbonio, l'UpCycling di nuovi materiali e sistemi costruttivi, e l'industrializzazione in Off-Site di nuovi componenti per l'edilizia sostenibile. A questo proposito la rassegna operata nelle appendici cerca di chiarire il punto di vista generale, identificare le lacune nella ricerca e indirizzare ulteriori ricerche.

*Traiettoria nazionale: Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale*

Con riferimento alla traiettoria nazionale si individuano nei temi affrontati le strategie per ridurre le emissioni (Cfr. Appendice 1), prodotti che intensificano le prestazioni in fase d'uso e prolungano la durata del servizio (Cfr. Appendice 2), coerentemente con i concetti di innovazione dei modelli di consumo (Cfr. Appendice 3). Secondo la revisione, le valutazioni del ciclo di vita evidenziano i benefici del riutilizzo e della riduzione di risorse naturali nel settore delle costruzioni. In ottica di simbiosi urbana e industriale, la revisione rileva la mancanza di tecniche prive di carbonio e rileva il rischio di fallire nella gerarchia dei rifiuti.

Area di specializzazione regionale	Area PNR	Cod traiettoria	Traiettoria di sviluppo regionale	Codice traiettorie nazionali	Corrispondenza traiettorie nazionali	Percentuale di corrispondenza	Codice area tematica nazionale	Area tematica nazionale
Edilizia sostenibile	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_01	Edilizia sostenibile e nuovi edifici	SN_C4	Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale	100	SN_C	Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente
	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_02	Riqualificazione dell'edilizia esistente e recupero dei rifiuti edili	SN_A6	Sistemi e tecnologie per il water e il waste treatment	50	SN_A	Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente
	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_02	Riqualificazione dell'edilizia esistente e recupero dei rifiuti edili	SN_C4	Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale	50	SN_C	Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente
	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_03	Nuove tecniche e nuovi materiali (strutturali e componenti)	SN_A3	Materiali innovativi ed ecocompatibili	50	SN_A	Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente
	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_03	Nuove tecniche e nuovi materiali (strutturali e componenti)	SN_C4	Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale	50	SN_C	Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente
	Tecnologie per gli ambienti di vita	S11_Calabria_04	Smart system	SN_C4	Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale	100	SN_C	Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente

Fig. 1 Confronto tra traiettorie regionali e nazionali - Area: Edilizia sostenibile.

## Validazione della ricerca sul secondo livello/processo

*Innovazione Proposta: Advanced Circular Design per una metodologia progettuale innovativa*

*Si tratta di declinare il processo circolare verso una filiera, che non si fermi al recupero ambientale, materiale ed energetico di ciò che viene consumato, ma di sfidare il prodotto stesso nel campo dell'innovazione radicale e del "design driven innovation", come discusso da Verganti (2009). [6] Il livello di superamento della qualità e delle prestazioni di un prodotto proveniente da un processo di upcycling implica un superiore processo di eco-design, beneficiando anche della contabilità ambientale attraverso tecnologie abilitanti di prodotto e della valutazione della sostenibilità nei processi avanzati e circolari (Cfr. Parte 2).*

Con riferimento agli strumenti per il trattamento di MPS provenienti da filiere diverse da quelle dell'edilizia si sviluppa un metodo che possa supportare la progettazione di un modello tecnico, industriale e/o di business circolare e facilitano la sintesi di una proposta progettuale. Tre aspetti sono stati esaminati nell'analisi di seguito discussi.

Inizialmente, si individuano gli aspetti disciplinari (D) per il quale il framework fornisce supporto progettuale, distinguendo tra il modello tecnico (design), il modello industriale (gestione della catena di fornitura) e il modello di trasformazione (upcycling).

Nella seconda fase, si considera il livello (L) per il quale il framework fornisce supporto alla progettazione. Il livello di innovazione sul modello CE può essere progettato a tre livelli di scala: macro (innovazione circolare di processo); meso (innovazione disruptiva tecnologica); e micro (innovazione radicale di prodotto). Coerentemente con il livello di innovazione abbiamo, si analizza il tipo di supporto valutativo offerto nel modello: GWP, MCI e "indici prestazionali", come output della fase. Questo tipo di processo deve trovare quasi sempre la sua validazione in forti campi di prova, in grado di lavorare su filiere di prodotto ibride, sui suoi profili materiale, ambientale, energetico e chimico; dimostrando volontà di intercettare modelli di simbiosi industriale e istruire scenari progettati con alti livelli di specializzazione. Il significato e il linguaggio dei prodotti "upcycling" sono tanto radicali quanto l'innovazione provata, quindi la dimensione dell'obsolescenza del prodotto non è vista come un calo delle prestazioni, ma come l'aspettativa del nuovo e successivo prodotto, più avanzato.

*Traiettoria regionale: Riqualificazione dell'edilizia esistente e recupero dei rifiuti edili, sistemi e tecnologie per il Waste Treatment*

Il modello basato su un'economia circolare proposto tende ad ottimizzare il carico ambientale con un approccio finalizzato all'innovazione dei sistemi e delle tecnologie per la gestione del Ciclo di Vita (Cfr. Cap. 4). La valutazione del ciclo di vita è qui inserita per la valutazione integrata degli impatti ambientali riferiti alla transizione circolare anche nel settore delle riqualificazioni e per l'ottimizzazione dell'edilizia esistente. La coerenza con l'impianto strategico regionale è evidenziata nella panoramica analitica delle applicazioni della valutazione del ciclo di vita nell'economia circolare per l'ambiente costruito (Cfr. Cap. 5).

*Traiettoria nazionale: Industria intelligente sostenibile, energia e ambiente*

L'approccio metodologico dell'ADP e la metodologia progettuale riferita all'ACD esprimono la coerenza con la traiettoria nazionale come strumento per la transizione ecologica e digitale nell'industria delle costruzioni.

L'approccio sperimentale in ambito digitale permette di condurre una sperimentazione riferita alla digitalizzazione degli impatti sull'ambiente, che, attraverso la valutazione del ciclo di vita, viene incorporata nei processi circolari per l'UpCycling dei sistemi innovati per l'edilizia sostenibile. Nella revisione si rileva che l'adozione della valutazione del ciclo di vita migliora la completezza e la trasparenza dell'attuazione dell'economia circolare nell'ambiente costruito, orientando i sistemi già in fase progettuale all'ottenimento di certificazioni ambientali di prodotto.

## Validazione della ricerca sul terzo livello/processo - prodotto

*Innovazione Proposta: Green Responsive Model Sperimentazioni prototipologiche per l'innovazione di processo per l'ACD*

La lettura attraverso l'approccio prototipologico per la sperimentazione sull'ACD, si pone già di per sé come elemento innovativo proponendo una discussione sui dati e le sperimentazioni intraprese al fine di individuare i fattori e le tecniche in grado di ottimizzare l'adattamento climatico delle componenti, la circolarità delle risorse e la biodiversità dell'ambiente costruito. Utilizzando processi di progettazione circolare avanzati, le tassonomie e i linguaggi dei componenti vengono determinati e codificati, consentendo comportamenti resilienti utilizzando metodologie e strumenti governati da un approccio computazionale.

L'obiettivo, oltre a fornire una prospettiva supportata dalla disciplina sui temi globali strettamente legati al design e ai modelli di consumo, è quello di presentare un punto di vista derivato dal campo sperimentale del design UpCycling, reinterpretato in una prospettiva prototipale basata sulle esperienze progettuali di tipo strategico e sperimentale-applicativo. Identificate le caratteristiche che vengono definite "caratteristiche per la cooptazione funzionale", queste soluzioni tecnologiche dimostrano il ruolo dell'exaptation nelle loro componenti tecnologiche (Parte 3). Al fine di identificare sinergie, compromessi e conflitti tra adattamento e mitigazione, sono previste scale multiple. Nell'ambito del primo prototipo, il modello di innovazione proposto riferisce sul livello di informazioni necessario per attuare le strategie di risposta ai cambiamenti climatici, identificando in modo specifico le cause e effetti dell'aumento della temperatura superficiale della superficie. Il cambio di paradigma proposto, con l'adozione di un modello ACD, che mira a mantenere i materiali in UpCycling per aumentare il loro valore massimo, quindi con un maggiore potenziale di riduzione della produzione di rifiuti e di estrazione di risorse per il settore edile. La rilettura della trattazione in questione mira a trovare i recenti sviluppi di come l'economia circolare può essere utilizzata all'interno del settore dell'architettura e delle trasformazioni dell'ambiente costruito.

*Traiettorie regionale: Nuove tecniche e nuovi materiali (strutturali e componenti)*

La coerenza con la traiettoria regionale evidenzia come l'utilizzo di nuove tecniche e materiali per l'edilizia sostenibile in un modello di sperimentazione in UpCycling, strettamente legato all'CE, sia una soluzione per affrontare la crisi climatica nel campo dell'ambiente costruito, riferito alla progettazione di sistemi complessi come edifici e infrastrutture (Cfr. Cap.6).

Come output confrontabile lo stesso framework aggiunge la funzionalizzazione tecnologica dello spazio liminale con l'intento di costruire un framework per valutare l'impatto ambientale dell'ambiente costruito. (Cfr. Cap. 7) Rimane una lacuna di ricerca per una revisione completa e multidisciplinare sulle applicazioni concrete di CE nell'ambiente costruito per comprendere la complessità dello sviluppo sostenibile nel campo e per supportare lo sviluppo di pratiche sperimentali di successo per l'innovazione di materiali e sistemi costruttivi.

*Traiettorie nazionale: Tecnologie per smart building, efficientamento energetico, sostenibilità ambientale*

La coerenza viene qui espressa con le caratteristiche dal processo di parametrizzazione dei caratteri in fase di progettazione orientati al risparmio energetico (sia in fase di produzione che in fase d'uso), mediante il calcolo costante e la simulazione.

Evidenziare questi aspetti permette di stabilire una relazione diretta di tutti i modelli di innovazione per la sostenibilità nel settore delle costruzioni, con il modello semplificato per calcolare il consumo energetico complessivo. Sulla base del modello, viene sviluppata una piattaforma software con linguaggio informatico VPL e interfaccia GA ed è orientata agli utenti della progettazione e configura l'interfaccia software per la parametrizzazione del risparmio energetico degli edifici, che realizza la modellazione automatica di parametrizzazione e promuove la ricerca su casi pratici di progettazione.

## Validazione della ricerca sul quarto livello/prodotto

### *Innovazione Proposta: GRS l'innovazione di prodotto della sperimentazione progettuale*

Nella fase di sperimentazione come avanzamento del processo elaborato per il modello di transizione ecologica e digitale, si opera l'innovazione di prodotto attraverso la prototipazione del nuovo componente oggetto della sperimentazione della ricerca dottorale (Cfr. Parte 4).

Il processo richiede l'acquisizione della capacità dirompente dei processi digitali (Cfr. Cap. 8) di anticipare le forme e le possibilità di nuovi prodotti (o prodotti come servizi); la traduzione è il "design per la fabbricazione", unitamente alle prestazioni di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici, sia interessato all'artigianato 4.0 con le sue produzioni additive, o all'industria 4.0 con le sue infrastrutture digitali, realizza e programma tutte le condizioni e forme di nuovo significato e linguaggio sulla sostenibilità, per informare le tecnologie attive nel discorso progettuale.

*"Il passaggio dal riciclo all'upcycling non è solo una fase di processo, un miglioramento della filiera produttiva di trasformazione degli scarti delle materie prime in prodotti.*

La stampa 3D è stata ampiamente identificata come la tecnologia dirompente emergente da utilizzare in fase di sperimentazione.

È fondamentale per le tecnologie in UpCycling che i principi CE siano incorporati nel nuovo sistema di produzione coerentemente con l'adozione del 3DP come punto di svolta critico in cui le pratiche di progettazione circolare si realizzano.

La sperimentazione nel campo della tecnologia dell'architettura è la chiave per l'ottimizzazione delle prestazioni dell'edificio e permette di conferire grande importanza al controllo della forma e alla sperimentazione prototipologica durante il processo di progettazione parametrica.

### *Traiettoria regionale: Nuove tecniche e nuovi materiali (strutturali e componenti)*

Lo studio evidenzia come questa tecnologia potrebbe facilitare il processo di transizione circolare e digitale, innovando la catena del valore dei materiali esistenti, coerentemente con quanto espresso nell'ambito della traiettoria regionale.

Il progetto proposto nella sperimentazione ha permesso di sostenere l'avanzamento proposto nella progettazione dei componenti innovati di frontiera. La stampa 3D di materiali pastosi può dunque fornire un approccio conveniente, sostenibile e ottimizzato per la costruzione di case, senza compromettere la qualità.

Sebbene la maggior parte degli attuali sforzi di ricerca e sviluppo in questo campo si concentrino sulla stampa di calcestruzzo a base di cemento, questo documento si concentra sull'attuale revisione della letteratura all'avanguardia sulla progettazione e lo sviluppo di un progetto di miscela sostenibile a base di argilla capace per forma di porsi come dispositivo bioricettivo.

### *Traiettoria nazionale: Materiali innovativi ed ecocompatibili*

L'analisi comparativa e la coerenza con la traiettoria su molteplici livelli di questo documento viene espressa dalla capacità di offrire alcuni possibili cambiamenti nella tipica costruzione nell'architettura che possa essere utilizzata per la stampa 3D di miscela a base di argilla con sufficiente scorrevolezza, costruibilità, resistenza e tempo aperto.

Molteplici componenti di GRS stampanti in 3D con forma complessa e motivo variabile sono fabbricate con il bio-inchiostro proposto per dimostrarne la stampabilità e la fedeltà con le prestazioni attese.

Questo tipo di sperimentazione, oltre ad introdurre un approccio di prototipazione tecnologicamente pre industriale tecnologicamente rilevante (Cfr. Cap.10.1), permette di dimostrare la validità del processo di progettazione ACD per la realizzazione di componenti per l'edilizia in UpCycling, costruibili in Off-Site.

#### Riferimenti bibliografici

1. Regione Calabria, Documento POR Calabria FESR-FSE 2014/2020
2. Smart Specialisation Strategy per il POR Calabria FESR-FSE 2014/2020 Calabria. <https://calabrieuropa.regione.calabria.it/s3/le-aree-di-innovazione-della-s3-calabria/edilizia-sostenibile>.
3. Monitoraggio S3 <https://calabrieuropa.regione.calabria.it/s3/le-aree-di-innovazione-della-s3-calabria/edilizia-sostenibile/traiettorie-tecnologiche-e-di-sviluppo>
4. Sabatini, M. (2015). Prime scelte di programmazione in materia di sostegno ai sistemi produttivi nei POR FESR 2014-2020 del Mezzogiorno. Rivista economica del Mezzogiorno, 29(1-2), 43-88.
5. Nava, C. (2019). Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo e Progetto, Aracne ed., Roma, 334-422.
6. Verganti, R. (2009). Design-Driven Innovation—Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi. Etas, Milano.

## A - Bibliografia generale

(COM (2014) 445 Final - .Verso una florida economia basata sui dati

Adams, D. (1992). *Joseph Beuys: Pioneer of a radical ecology*. *Art Journal*, 51(2), 26-34.

Akhimien, N. G., Latif, E., & Hou, S. S. (2021). *Application of circular economy principles in buildings: A systematic review*. *Journal of Building Engineering*, 38, 102041.

Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2018). *Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects*. *Requirements engineering*, 23(1), 1-31.

Alini, L. (2021). *L'ARCHITETTURA TRA ETERONOMIA E AUTOGENERAZIONE*. *Techne*, 21.

Alini, L. (2012). *Naturalizzazione dell'artificiale*. *AND Rivista di architetture, città e architetti*, (22).

Alini, L. (2011). *CCCloud Casalgrande Ceramic Cloud. Dalla produzione al progetto= CCloud Casalgrande Ceramic Cloud. From production to project. CCloud Casalgrande Ceramic Cloud. Dalla produzione al progetto= CCloud Casalgrande Ceramic Cloud. From production to project*, 130-137.

André, J. C. (2017). *From additive manufacturing to 3D/4D printing 3: breakthrough innovations: programmable material, 4D printing and bio-printing*. John Wiley & Sons.

Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). *A waste management planning based on substance flow analysis*. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 54-66.

Baccini P., P.H. Brunner (2012) *Metabolism of the Anthroposphere - Analysis, Evaluation, Design*. The MIT

Basic, S., Hollberg, A., Galimshina, A., & Habert, G. (2019, August). *A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment–Bombyx project*. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 323, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.

Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., & Cembalo, L. (2017). *Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste*. *Sustainability*, 9(1), 141.

Brunner, P. H. (2011). *Urban mining a contribution to reindustrializing the city*. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 339-341.

Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2016). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. CRC press.

Bukhari, F. A. (2011). *A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) system for generating and evolving building design models* (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).

Caldas, L. R., Silva, M. V., Silva, V. P., Carvalho, M. T. M., & Toledo Filho, R. D. (2022). *How Different Tools Contribute to Climate Change Mitigation in a Circular Building Environment?—A Systematic Literature Review*. *Sustainability*, 14(7), 3759.

CardinalLCA. (2021). *Early-stage impact assessment tool*. <https://www.cardinallca.com/tool.html> [Erişim Tarihi: 29.09.2021].

Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Mistretta, M. (2014). Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. *Energy and Buildings*, 72, 371-381.

Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., & Orioli, A. (2013). The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: an Italian case study. *Renewable energy*, 60, 586-597.

Cossu, R., Salieri, V., & Bisinella, V. *Introduzione al concetto di Urban Mining*.

Cottafava, D., & Ritzen, M. (2021). Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105120.

Desing, H., Widmer, R., Beloin-Saint-Pierre, D., Hischier, R., & Wäger, P. (2019). Powering a sustainable and circular economy—an engineering approach to estimating renewable energy potentials within earth system bou

Dias, B. D. (2015). Beyond sustainability—biophilic and regenerative design in architecture. *European Scientific Journal*, 11(9), 147-158.

Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive (Testo rilevante ai fini del SEE)

Environment, U. N., Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 114, 2-26.

Eriksen, M. K., & Astrup, T. F. (2019). Characterisation of source-separated, rigid plastic waste and evaluation of recycling initiatives: Effects of product design and source-separation system. *Waste Management*, 87, 161-172.

Fischer, T., & Herr, C. M. (2001). *Teaching generative design*.

Fischer, T., & Herr, C. M. (2016). *Parametric customisation of a 3D concrete printed pavilion*.

Found, P. (2009). *Lean and low environmental impact manufacturing*.

Gallas, M. A., Bur, D., & Halin, G. (2011). A "green design" method to integrate daylight in the early phase of the design process: The use of intentions knowledge base to generate solutions.

Garud, R., Gehman, J., & Giuliani, A. P. (2016). Technological exaptation: A narrative approach. *Industrial and Corporate Change*, 25(1), 149-166.

Geldermans, R. J. (2016). Design for change and circularity—accommodating circular material & product flows in construction. *Energy Procedia*, 96, 301-311.

Gobbi, C. (2011). *Designing the reverse supply chain: the impact of the product residual value*. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Gomaa, M., Farghaly, T., & El Sayad, Z. (2021). Optimizing A Life Cycle Assessment-Based Design Decision Support System Towards Eco-Conscious Architecture Computational Methods and Experimental Measurements XX, <http://dx.doi.org/10.2495/cm210041>.

Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15.

Goulouti, K., Padey, P., Galimshina, A., Habert, G., & Lasvaux, S. (2020). Uncertainty of building elements' service lives in building LCA & LCC: What matters?. *Building and Environment*, 183, 106904.

Guide Jr, V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003). Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery. *Journal of operations Management*, 21(3), 259-279.

Guy, B., & Ciarimboli, N. (2008). *DfD: design for disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building*. Hamer Center.

Hageluken, C. (2006, May). Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling—a holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining.

Heijungs, R., & Suh, S. (2002). *The computational structure of life cycle assessment (Vol. 11)*. Springer Science & Business Media.

Hofmann, F., & Jaeger-Erben, M. (2020). Organizational transition management of circular business model innovations. *Business strategy and the environment*, 29(6), 2770-2788.

Hollberg, A., & Ruth, J. (2016). LCA in architectural design—a parametric approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943-960.

Hollberg, A., Kiss, B., Röck, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A. H., Lasvaux, S., ... & Habert, G. (2021). Review of visualising LCA results in the design process of buildings. *Building and Environment*, 190, 107530.

Ingstrup, M., & Hansen, K. M. (2005, November). A declarative approach to architectural reflection. In *5th Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA'05)* (pp. 149-158). IEEE.

Jabi, W. (2013). *Parametric design for architecture*. Hachette UK.

Jabi, W., Soe, S., Theobald, P., Aish, R., & Lannon, S. (2017). Enhancing parametric design through non-manifold topology. *Design Studies*, 52, 96-114.

Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N. (2005). Sustainable operations management. *Production and operations management*, 14(4), 482-492.

Klinglmair, M., & Fellner, J. (2010). Urban mining in times of raw material shortage: Copper management in Austria during World War I. *Journal of Industrial Ecology*, 14(4), 666-679.

Kocak, Can. (2019). AN ALGORITHM AIDED DESIGN APPROACH FOR USING DAYLIGHT IN EARLY PHASES OF ARCHITECTURAL DESIGN Mahmut Can Koçak Department of Informatics Architectural Design Computing Programme.

Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, 43(1), 88-100.

Krook, J., & Baas, L. (2013). Getting serious about mining the technosphere: a review of recent landfill mining and urban mining research. *Journal of Cleaner production*, 55, 1-9.

*L'anello mancante - Piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare COM/2015/0614 final*

Larson, K., Intille, S., McLeish, T. J., Beaudin, J., & Williams, R. E. (2004). Open source building—reinventing places of living. *BT Technology Journal*, 22(4), 187-200.

Lassance, G. (1999). *A Pre-Design Aid Support for Architectural Daylighting. Sharing Knowledge on Sustainable Buildings*, 16-17.

Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ... & Christensen, T. H. (2014). *Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives. Waste management*, 34(3), 573-588.

Law, K. L., & Narayan, R. (2022). *Reducing environmental plastic pollution by designing polymer materials for managed end-of-life. Nature Reviews Materials*, 7(2), 104-116.

Lee, J. O., Yang, Y. S., & Ruy, W. S. (2002). *A comparative study on reliability-index and target-performance-based probabilistic structural design optimization. Computers & structures*, 80(3-4), 257-269.

Lieder, M., Rashid, A., Štimulač, M., Halvordsson, E., & de Bruijckere, R. (2018). *A practical ICT framework for transition to circular manufacturing systems. Procedia Cirp*, 72, 598-602.

Lucanto, D. (2022). *Advanced Circular Design, a Life Cycle Approach. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM: New Metropolitan Perspectives (pp. 1870-1878). Springer, Cham.*

M. McMurdo (2016) *Upcycling: 20 Creative Projects Made from Reclaimed Materials.*

Manelius, A. M., Nielsen, S., & Kauschen, J. S. (2019). *City as Material Bank—Constructing with Reuse in Musicon, Roskilde. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 225, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.*

Marcum, J. A. (2008). *Does systems biology represent a Kuhnian paradigm shift?. New Phytologist*, 587-589.

Melis, A., Lara-Hernandez, J. A., & Melis, B. (2022). *Learning from the biology of evolution: Exaptation as a design strategy for future cities. Smart and Sustainable Built Environment.*

Monsù Scolaro, A., & De Medici, S. (2021). *Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective. Energies*, 14(21), 6863.

Monsù Scolaro, A., & De Medici, S. (2021). *Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective. Energies.*

Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). *A conceptual framework for circular design. Sustainability*, 8(9), 937.

Morton, T. (2007). *Ecology without nature: Rethinking environmental aesthetics. Harvard University Press.*

Naboni, E. (2014, December). *Integration of outdoor thermal and visual comfort in parametric design. In 30th International PLEA Conference (pp. 1-10).*

Naboni, E., Meloni, M., Coccolo, S., Kaempf, J., & Scartezzini, J. L. (2017). *An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. Energy Procedia*, 122, 1111-1116.

Naboni, Emanuele & Havinga, Lianne. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment.*

Nava, Consuelo, Melis, Alessandro. (2021). *A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 103-111.

Nava, Consuelo. (2022). RECYCLING OR RECLAIMING? FROM THE ECOLOGICAL PARADIGM TO DESIGN EXPERIMENTS OF TRANSITION. 1. 21-27.

Nuovo piano d'azione per l'economia circolare (2022/2077(INI))

Palumbo, E., Camerin, F., Panozzo, C., & Rossetti, M. (2021). La gestione del fine vita come strumento di progetto: il caso di un involucro a secco in legno. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, 22.

Paras, M. K., & Curteza, A. (2018). Revisiting upcycling phenomena: a concept in clothing industry. *Research Journal of Textile and Apparel*, 22(1), 46-58.

Plattner, G. K., Stocker, T., Midgley, P., & Tignor, M. (2009). IPCC expert meeting on the science of alternative metrics. Meeting report.

Pollo, Riccardo. (2014). Building Design, Durability, Maintenance: Methodology for the Durability Forecasting. *Techne : Journal of Technology for Architecture and Environment*. 10.13128/Techne-14548.

Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge ISBN 978-0-262-01665-0

Protocol, K. (1997). Kyoto protocol. UNFCCC Website. Available online: [http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php) (accessed on 20 July 2022).

Puusepp, R. (2011). Generating circulation diagrams for architecture and urban design using multi-agent systems (Doctoral dissertation, University of East London).

Richardson, M. (2011). Design for reuse: Integrating upcycling into industrial design practice. In *International Conference on Remanufacturing* (pp. 1-13).

Rotmans, J., & Den Elzen, M. G. J. (1992). A model-based approach to the calculation of global warming potentials (GWP). *International journal of climatology*, 12(8), 865-874.

Ruby, I; Ruby, A (2010). *Mine The City in RE-INVENTING CONSTRUCTION*; Ruby

Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental development*, 17, 48-56.

Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Architectural technology for environmental design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(1), 48-53. <https://doi.org/10.13128/Techne-9434>

Seghier, T. E., Lim, Y. W., Ahmad, M. H., & Samuel, W. O. (2017). Building envelope thermal performance assessment using visual programming and BIM, based on ETVV requirement of Green Mark and GreenRE. *International journal of built environment and sustainability*, 4(3).

Shindell, D. T., Faluvegi, G., Koch, D. M., Schmidt, G. A., Unger, N., & Bauer, S. E. (2009). Improved attribution of climate forcing to emissions. *Science*, 326(5953), 716-718.

Stahel, W. R., & MacArthur, E. (2019). *The circular economy: A user's guide*. Routledge.

Stavric, M., & Marina, O. (2011). Parametric modeling for advanced architecture. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 5, 9-16.

- Succar, B. (2009). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
- Suh, S., & Huppel, G. (2005). *Methods for life cycle inventory of a product*. *Journal of cleaner production*, 13(7), 687-697.
- Treccani. (2022). <https://www.treccani.it/vocabolario/algorithm/>.
- Underwood, J., & Isikdag, U. (2011). *Emerging technologies for BIM 2.0*. *Construction Innovation*, 3.
- UNI EN 14040. (2021). *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. Entrata in vigore: 18 February 2021. <https://store.uni.com/uni-en-is-14040-2021>.
- Unnikrishnan, V. U., & Barbato, M. (2015). *Performance-Based Comparison of Different Design Alternatives and Retrofit Techniques for Residential Buildings Subjected to Hurricane Hazards*. In *Structures Congress 2015* (pp. 1596-1607).
- Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). *Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments*. *Sustainability*, 8(7), 647.
- Van den Berg, Marc & Voordijk, Hans & Adriaanse, Arjen. (2020). *Recovering building elements for reuse (or not) – Ethnographic insights into selective demolition practices*. *Journal of Cleaner Production*. 256. 120332. [10.1016/j.jclepro.2020.120332](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120332).
- Vasiljevic-Shikaleska, A., Gjozinska, B., & Stojanovikj, M. (2017). *The circular economy—a pathway to sustainable future*. *Journal of Sustainable Development*, 7(17), 13-30.
- Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). *Principles for a sustainable circular economy*. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457.
- Wang, J. Y., Touran, A., Christoforou, C., & Fadlalla, H. (2004). *A systems analysis tool for construction and demolition wastes management*. *Waste management*, 24(10), 989-997.
- Wang, P., & Kara, S. (2019). *Material criticality and circular economy: Necessity of manufacturing oriented strategies*. *Procedia CIRP*, 80, 667-672.
- Wu, J., Qian, X., & Wang, M. Y. (2019). *Advances in generative design*. *Comput. Aided Des*, 116, 102733.
- Xie, D., Liao, M., & Kearfott, K. J. (2015). *Influence of environmental factors on indoor radon concentration levels in the basement and ground floor of a building—A case study*. *Radiation Measurements*, 82, 52-58.
- Zanoletti, A., Cornelio, A., & Bontempi, E. (2021). *A post-pandemic sustainable scenario: What actions can be pursued to increase the raw materials availability?*. *Environmental Research*, 202, 111681.

## B - Bibliografia per temi trattati

### *Climate Change*

IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

Kennedy, Reed. (2020) *Strategic Management*. Blacksburg, VA: Virginia Tech Publishing. <https://doi.org/10.21061/strategicmanagement> CC BY NC-SA 3.0

Araújo, M.B. & C. Rahbek (2006). How does climate change affect biodiversity? *Science* 313(5792): 1396-1397

Shimoda, Yoshiyuki. (2003). Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Ja- pan's built environment. *Building Research and Information - BUILDING RES IN- FORM*. 31. 222-230. 10.1080/0961321032000097647

Ricci, M. (2022). *MedWays Open Atlas*. LetteraVentidue Edizioni S.r.l, ISBN 978-88-624-2-735-7

Adams, D. (1992). Joseph Beuys: Pioneer of a radical ecology. *Art Journal*, 51(2), 26-34

Morton, T. (2007). *Ecology without nature: Rethinking environmental aesthetics*. Harvard University Press.

Shimoda, Yoshiyuki. (2003). Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Ja- pan's built environment. *Building Research and Information - BUILDING RES IN- FORM*. 31. 222-230. 10.1080/0961321032000097647

Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia*, 18, 507-520.

### *Regenerative Design*

Naboni, Emanuele & Havinga, Lisanne. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*.

Naboni, E. (2014). Sustainable design teams, methods and tools in international practice. *Detailed Green*, 14, 68- 73.

Kharvari, F. (2020). An empirical validation of daylighting tools: Assessing radiance parameters and simulation settings in Ladybug and Honeybee against field measurements. *Solar Energy*, 207, 1021-1036.

Kastner, Patrick & Dogan, Timur. (2021). Eddy3D: A toolkit for decoupled outdoor thermal comfort simulations in urban areas. *Building and Environment*. 108639. 10.1016/j.buil- env.2021.108639.

Tedeschi, A., & Lombardi, D. (2018). The algorithms-aided design (AAD). In *Informed Architecture* (pp. 33-38). Springer, Cham

Ali, Shidrati. (2022). Real-time optimal parametric design using the assess-predict-optimize strategy /.

Freitas, Jader & Cronemberger, Joara & Soares, Raí. (2019). Using Rhinoceros Plugins Grasshopper And Ladybug To Assess BiPV Façades In Brasília.. 4467-4472. 10.26868/25222708.2019.211121

Natanian, J., Maiullari, D., Yezioro, A., & Auer, T. (2019, November). Synergetic urban microclimate and energy simulation parametric workflow. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1343, No. 1, p. 012006). IOP Publishing. Lichtenheld, T., Klüber, N. et al. Parametric real-time energy analysis in early design stages: a method for residential buildings in Germany. *Energ. Ecol. Environ.* 3, 13–23 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0056-9>

Toutou, A., Fikry, M., & Mohamed, W. (2018). The parametric based optimization framework daylighting and energy performance in residential buildings in hot arid zone. *Alexandria engineering journal*, 57(4), 3595-3608.

K. Fabbri, A. D. Nunzio, E. Antonini, and A. Boeri, "Outdoor Comfort: the ENVI-BUG tool to evaluate PMV values point by point," presented at the 2nd IBPSA-Italy conference, Bozen-Bolzano, 2015.

Natanian, J., & Auer, T. (2020). Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102094.

Naboni, E., Meloni, M., Coccolo, S., Kaempf, J., & Scartezzini, J. L. (2017). An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*, 122, 1111-1116

Ibrahim, Y., Kershaw, T., & Shepherd, P. (2020). Improvement of the Ladybug-tools microclimate workflow: A verification study. *Building Simulation and Optimization*.

Poinet, P., Tamke, M., Thomsen, M. R., Scheurer, F., & Fisher, A. (2018). Schema-based workflows and inter-scalar search interfaces for building design. In *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 329-335). CRC Press.

## Cultura tecnologica della Progettazione

Losasso, M. (2021). Circular transition: scenarios for the future of design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (22), 7-9. <https://doi.org/10.36253/tecne-11532>

Losasso, M., & D'Ambrosio, V. (2014). Progetto ambientale e riqualificazione dello spazio pubblico: il grande progetto per il centro storico di Napoli sito Unesco/Environmental project and public space rehabilitation: the great project for the historic center of Naples Unesco World Heritage Site. *Techne*, 7, 64.

M. Russo, "Rethinking resilience, design the city through its metabolism", *Techne*, no. 15, pp. 39-44, May 2018

Cossu, R., Salieri, V., & Bisinella, V. *Introduzione al concetto di Urban Mining*

Nava, C. (2019). *Ipersostenibilità e tecnologie abilitanti. Teoria, Metodo e Progetto*, Aracne ed., Roma, 334-422

Minervino, M. F. (2021). What's left. Globalised "crap". *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (22)

Monsù Scolaro, A., L. Marchi, and S. Corridori. "Mapping of Building Cycle Waste for Scenarios of Industrial Symbiosis". *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, no. 22, July 2021, pp. 131-9,

Ciampa, F. (2021). Hybrid processes: technological integration as an actant of the design project. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 249-255. <https://doi.org/10.13128/techne-9844>

Pollo, Riccardo. (2014). Building Design, Durability, Maintenance: Methodology for the Durability Forecasting. *Techne : Journal of Technology for Architecture and Environment*. 10.13128/Techne-14548.

Schiaffonati, F., Mussinelli, E., & Gambaro, M. (2011). Architectural technology for environmental design. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(1), 48-53. <https://doi.org/10.13128/Techne-9434>

Schiaffonati, F., Mussinelli, E. and Gambaro, M. (2011), *Tecnologie dell'Architettura per la progettazione ambientale*, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 1, pp. 48-53

8. Monsù Scolaro, A., & De Medici, S. (2021). Downcycling and upcycling in rehabilitation and adaptive reuse of pre-existing buildings: Re-designing technological performances in an environmental perspective. *Energies*, 14(21), 6863.

Claudi de Saint Mihiel, A. (2020). The design of the building envelope between innovation and experimentation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (20), 313-318. <https://doi.org/10.13128/techne-9542>

Lucarelli, M. T., & Rigillo, M. (2018). Resilienza e cultura tecnologica: la centralità del metodo. *Techne*, 15, 60-64

Alini, L. (2021). Architecture between heteronomy and self-generation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 21-32. <https://doi.org/10.36253/techne-10977>

Nava, C. (2021). *Advanced Sustainable Design (ASD) for Resilient Scenarios*. In *Bioclimatic Approaches in Urban and Building Design* (pp. 255-274). Springer, Cham.

Fiorito, F., & Santamouris, M. (2017). *Tecnologie ad alta prestazione e il futuro della progettazione architettonica*. *Techne*, 13, 72.

Rossetti, M., & Pepe, D. (2015). *La cura del dettaglio come condizione per l'efficienza energetica degli edifici scolastici/The care of detail as condition for energy efficiency in school buildings*. *Techne*, 9, 123.

## Life Cycle Assessmente, Parametric LCA and Life Cycle Thinking

*Mumfod Life-cycle building information modelling (BIM) engaged framework for improving building energy performance*

Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., & Mistretta, M. (2014). Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. *Energy and Buildings*, 72, 371-381

Montana, F.; Kanafani, K.; Wittchen, K.B.; Birgisdottir, H.; Longo, S.; Cellura, M.; Riva Sanseverino, E. Multi-Objective Optimization of Building Life Cycle Performance. A Housing Renovation Case Study in Northern Europe. *Sustainability* 2020, 12, 7807. <https://doi.org/10.3390/su12187807>

- Rucińska, Joanna & Komerska, Anna & Kwiatkowski, Jerzy. (2020). Preliminary Study on the GWP Benchmark of Office Buildings in Poland Using the LCA Approach. *Energies*. 13. 3298. 10.3390/en1313298.
- P. Chastas, T. Theodosiou, D. Bikas (2016) Embodied energy in residential buildings towards the nearly zero energy building: a literature review
- Lavagna, Monica, Alessandra Bessi, Andrea Meneghelli, e Paola Moschini. (2019). «The Environmental Dimension of Detailed Design. Experiences and Future Perspectives». *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment* 138–46.
- Van Gemert, Sander. (2019). MPG-ENVIE: A BIM-based LCA application for embodied impact assessment during the early design stages. 10.13140/RG.2.2.16144.66567
- Meex, Hollberg, Knapen, Hildebrand, & Verbeeck, 2018. Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design
- Hollberg A. (2016 "A parametric method for building design optimization based on Life Cycle Assessment," Bauhaus University Weimar.
- Hollberg, A., & Ruth, J. (2016). LCA in architectural design—a parametric approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943-960.
- Hollberg, Deepshi Kaushal, Saso Basic, Alina Galimshina and Guillaume Habert (2020), A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase. online. World Sustainable Built Environment Conference pp.052018 Bristol: IOP Publishing
- Paolo, Civiero. (2012). Sistemi costruttivi industrializzati per l'edilizia residenziale. *TECHNE* ISSN 2239-0243.
- Sala, M., & Romano, R. (2011). Building envelope innovation: smart facades for non residential buildings. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1(2), 158-169. <https://doi.org/10.13128/Techne-9938>
- Pieragostini, Carla & Mussati, Miguel & Aguirre, Pio. (2012). On process optimization considering LCA methodology. *Journal of environmental management*. 96. 43-54. 10.1016/j.jenvman.2011.10.014.
- Hollberg, Alexander & Ebert, Marcel & Schütz, Stephan & Cicek, Burhan & Gump, Rainer & Ruth, Jürgen. (2016). Application of a parametric LCA tool in students' design projects.
- Basic, Saso & Hollberg, Alexander & Galimshina, Alina & Habert, Guillaume. (2019). A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment – Bombyx project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 323. 012112. 10.1088/1755-1315/323/1/012112
- Silva, Diogo. (2021). Life Cycle Assessment (LCA)—Definition of Goals and Scope. 10.1007/978-3-030-78044-9\_3.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419-3429.

## Exaptation and UpCycling Design

Nava, Consuelo, Melis, Alessandro. (2021). A radical bioecological paradigm for design technologies with a transdisciplinary approach. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (21), 103-111.

Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1), 4-15

Melis, A., Lara-Hernandez, J. A., & Melis, B. (2022). Learning from the biology of evolution: Exaptation as a design strategy for future cities. *Smart and Sustainable Built Environment*.

Garud, R., Gehman, J., & Giuliani, A. P. (2016). Technological exaptation: A narrative approach. *Industrial and Corporate Change*, 25(1), 149-166.

Baiani, S., & Altamura, P. (2018). Waste materials superuse and upcycling in architecture: design and experimentation. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, 16, 142-151. <https://doi.org/10.13128/Techne-23035>

Habraken, N.J. *De Draggers en de Mensen: Het Einde van de Massawoningbouw*; Stichting Architecten Research, Eindhoven 1961.

## Advanced Construction: Off-Site and Additive Manufacturing

Jin, Ruoyu & Shang, Gao & Cheshmehzangi, Ali & Aboagye-Nimo, Emmanuel. (2018). A Holistic Review of off-site Construction Literature Published between 2008 and 2018. *Journal of Cleaner Production*. 202. 1202-1219. [10.1016/j.jclepro.2018.08.195](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.195).

Abd Razak, M.I.; Khoiry, M.A.; Wan Badaruzzaman, W.H.; Hussain, A.H. (2022) DfMA for a Better Industrialised Building System. *Buildings* 2022, 12, 794. <https://doi.org/10.3390/buildings12060794>

Sbrugnera Sotomayor, Nicolas Alberto, Fabrizia Caizzo, and Vittorio Alferi. 2021. "Enhancing Design for Additive Manufacturing Workflow: Optimization, Design and Simulation Tools" *Applied Sciences* 11, no. 14: 6628. <https://doi.org/10.3390/app11146628>

Morado Nascimento, Denise & Habraken, N.. (2012). N. J. Habraken explains the potential of the Open Building approach in architectural practice. *Open House International*. 37. 5-13. [10.1108/OHI-04-2012-B0001](https://doi.org/10.1108/OHI-04-2012-B0001).

Rubin, R. (2005). Preserving and Presenting Prefab: Jean Prouvé's Tropical House. *Future Anterior*, 2(1), 30-39.

Sepasgozar, Samad ME, Anqi Shi, Liming Yang, Sara Shirowzhan, and David J. Edwards. "Additive manufacturing applications for industry 4.0: A systematic critical review." *Buildings* 10, no. 12 (2020): 231.

*Process-Oriented Framework to Improve Modular and Offsite Construction Manufacturing Performance* Youyi Zhang; Zhen Lei, A.M.ASCE; SangHyeok Han, A.M.ASCE; Ahmed Bouferguene; and Mohamed Al-Hussein, M.ASCE

Krause, Dieter, Nico Gebhardt, Erik Greve, Jan Oltmann, Johann Schwenke, and Johanna Spallek. "New trends in the design methodology of modularization." In *11th IDE Workshop*, vol. 5, no. 7. 2017.

3. Heisel, F., & Hebel, D. E. (2019). Pioneering construction materials through prototypical research. *Biometrics*, 4(3), 56.

Ruby, A. *Proto-Typology*. In *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture. City, Technology and Society in the Information Age*; Gausa, M., Guallart, V., Müller, M., Eds.; ACTAR: Barcelona, Spain, 2003; ISBN 978-8495951229. [Google Scholar]

Nóbrega, T. F., Nóbrega, C. A. M. D., & Passaro, A. M. (2021). *Experimental Paste Extrusion Mechanism for 3D Printing*

Mueller, C. T. (2016). 3D printed structures: challenges and opportunities. *Structure*, 54

Zhang M, Yang L (2016) Ceramic product forming technologies research based on 3D printing. *IEEE Access* 4:9345–9349. <https://doi.org/10.1109/access.2016.2642122>

Bose, S.; Koski, C.; Vu, A.A. Additive Manufacturing of Natural Biopolymers and Composites for Bone Tissue Engineering. *Mater. Horiz.* 2020, 7, 2011–2027. [Google Scholar] [CrossRef] Murphy, S.V.; Atala, A. 3D Bioprinting of Tissues and Organs. *Nat. Biotechnol.* 2014, 32, 773–785.

Yildirim, D. *Zoetic Morphologies 3D Printed Active Wall Systems through Mycelial Biomass*. Available online: <https://www.iaacblog.com/programs/zoetic-morphologies/> (accessed on 10 March 2022)

Parthy, K. *Polymer Mixture for 3D Printing for Creating Objects with Pore Structures*. DE Patent Application mDE102013011243A1, 8 January 2015. [Google Scholar]

### **Design Innovation: definitions, Biophilic e Circular Design**

(COM (2014) 445 Final - Verso una florida economia basata sui dati

Nuovo piano d'azione per l'economia circolare (2022/2077(INI))

Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A conceptual framework for circular design. *Sustainability*, 8(9), 937

Robert E. Cole (2002) From continuous improvement to continuous innovation, *Total Quality Management*, 13:8, 1051-1056, DOI: 10.1080/09544120200000001

Bonoli, Alessandra, Sara Zanni, and Francisco Serrano-Bernardo. 2021. "Sustainability in Building and Construction within the Framework of Circular Cities and European New Green Deal. The Contribution of Concrete Recycling" *Sustainability* 13, no. 4: 2139. <https://doi.org/10.3390/su13042139>

Dias, B. D. (2015). Beyond sustainability—biophilic and regenerative design in architecture. *European Scientific Journal*, 11(9), 147-158

Ellen MacArthur Foundation (2018). *Towards the Circular Economy*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation

European Commission, data available at <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>;

Sandanayake, M.S. (2022) *Environmental Impacts of Construction in Building Industry—A Review of Knowledge Advances, Gaps and Future Directions*. *Knowledge* 2022, 2, 139–156. <https://doi.org/10.3390/knowledge2010008>

Papanek, Victor J. *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. New York: Van Nostrand Reinhold Co, 1984.

Fabrizio Ceschin, Idil Gaziulusoy. (2016) *Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions*, *Design Studies*, Volume 47

Braungart et al., 2007 M. Braungart, W. McDonough, A. Bollinger *Cradle-to-cradle design: Creating healthy emissions – A strategy for eco-effective product and system design* *Journal of Cleaner Production*, 15 (13–14) (2007), pp. 1337-1348, [10.1016/j.jclepro.2006.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003)

W. McDonough, M. Braungart *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (1st ed.), North Point Press, New York (2002) Google Scholar

Sumter, D.; de Koning, J.; Bakker, C.; Balkenende, R. *Circular Economy Competencies for Design*. *Sustainability* 2020, 12, 1561. <https://doi.org/10.3390/su12041561>

Waste treatment, EU, 2004-2018 Index 2004 = 100) Fonte: Eurostat (env\_wastrt)

Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. Chelsea Green Publishing.

Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). *The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals*. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77-95

Michael Saidani, Bernard Yannou, Yann Leroy, François Cluzel, Alissa Kendall, (2019) *A taxonomy of circular economy indicators*, *Journal of Cleaner Production*, Volume 207

Velenturf, A. P., & Purnell, P. (2021). *Principles for a sustainable circular economy*. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457

Andreucci, M. B., Loder, A., Brown, M., & Brajković, J. (2021). *Exploring challenges and opportunities of biophilic urban design: Evidence from research and experimentation*. *Sustainability*, 13(8), 4323.

Burke, P. (2016). *Hybrid Renaissance: Culture, Language, Architecture*. Central European University Press

Ryan, Catherine & Browning, William. (2020). *Biophilic Design*. [10.1007/978-1-0716-0684-1\\_1034](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0684-1_1034).

Ludwig, F., Schwertfeger, H., & Storz, O. (2012). *Living systems: designing growth in Bau- botanik*. *Architectu- ral Design*, 82(2), 82-87

Brunner, P. H. (2011). *Urban mining a contribution to reindustrializing the city*. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 339-341.

Krook, J., & Baas, L. (2013). *Getting serious about mining the technosphere: a review of recent landfill mining and urban mining research*. *Journal of Cleaner production*, 55, 1-9.

- Klinglmair, M., & Fellner, J. (2010). Urban mining in times of raw material shortage: Copper management in Austria during World War I. *Journal of Industrial Ecology*, 14(4), 666-679.
- Nava, Consuelo. (2022). RECYCLING OR RECLAIMING? FROM THE ECOLOGICAL PARADIGM TO DESIGN EXPERIMENTS OF TRANSITION. 1. 21-27
- M. McMurdo (2016) *Upcycling: 20 Creative Projects Made from Reclaimed Materials*.
- Stahel, W. R., & MacArthur, E. (2019). *The circular economy: A user's guide*. Routledge.
- Shafiee, E., Faizi, M., Yazdanfar, S. A., & Khanmohammadi, M. A. (2020). Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. *Building and Environment*, 181, 106923
- Mecca, U., Piantanida, P., Rebaudengo, M., & Vottari, A. (2019). Indirect Green Façade systems: A proposal of a global performance indicator for in/out evaluation. *International Multi-disciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(6.3), 467-474.
- Perez, G., Rincon, L., Vila, A., Gonzalez, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied energy*, 88(12), 4854-4859.
- Chen, Q., Li, B., & Liu, X. (2013). An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and buildings*, 61, 298-307
- Gandy, M. (2010). *The ecological facades of Patrick Blanc*. *Architectural Design*, 80(3), 28-33
- Pointing, S. (2001). Feasibility of bioremediation by white-rot fungi. *Applied microbiology and bio technology*, 57(1), 20-33
- Almusaed, A. (2010). *Biophilic and bioclimatic architecture: analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture*. Springer Science & Business Media.
- Blanco, E., Pedersen Zari, M., Raskin, K., & Clergeau, P. (2021). Urban ecosystem-level biomimicry and regenerative design: Linking ecosystem functioning
- Susca, T., Zanghirella, F., Colasuonno, L., & Del Fatto, V. (2022). Effect of green wall installation on urban heat island and building energy use: A climate-informed systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112100. and urban built environments. *Sustainability*, 13(1), 404.



