

Paolo Cascone¹, <https://orcid.org/0009-0008-5436-8552>
Maddalena Laddaga², <https://orcid.org/0000-0002-0302-9701>
Filippo Orsini², <https://orcid.org/0000-0002-1146-3583>

¹ School Architecture and Cities, University of Westminster, London, United Kingdom

² Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

p.cascone@westminster.ac.uk
maddalena.laddaga@polimi.it
filippo.orsini@polimi.it

Abstract. A causa delle conseguenze del cambiamento climatico e del conflitto ucraino, nel 2022 circa 42 milioni di persone in Europa non hanno potuto sostenere economicamente un adeguato riscaldamento delle proprie abitazioni. Oltre al dibattito politico sul tetto massimo del prezzo dell'energia; come suggerito nel progetto *Green Deal* europeo, gli edifici sostenibili nuovi ed esistenti, in Europa dovranno aprire la strada ad un utilizzo di sola energia rinnovabile ed accessibile. Questo paper descrive una metodologia di progettazione scientifica basata su un'analisi comparativa di casi studio nel campo dell'autosufficienza, dell'energia e dell'autoproduzione alimentare per alloggi collettivi. La base teorica si fonda su una visione diacronica della relazione tra energia, cibo, architettura e le sue filiere di produzione come driver per processi di progettazione innovativi e integrati. Tutto ciò mira anche a sviluppare modelli economici alternativi in cui le comunità assumono la responsabilità di autoprodurre la propria energia ed il cibo, condividendone tecnologie e risorse, modificando il loro ruolo da semplici consumatori a produttori.

Parole chiave: Auto-sufficienza energetica; decarbonizzazione, *vertical farm*; *collective housing*; produzione di cibo/ energia.

Introduzione

Il paper è il risultato di una ricerca interdisciplinare sviluppata in collaborazione tra il Politecnico di Milano e l'Università di Westminster (UK) sull'*housing* performativo che si basa sulla decarbonizzazione dei processi costruttivi e sulla energia rinnovabile in linea con i principi del progetto Green Deal. Prendendo in considerazione anche quanto emerso durante la 3^a Conferenza sulla Povertà Energetica 3rd EESC (*European Economic and Social Committee*): "Circa 42 milioni di persone in tutta Europa – il 9,3% dei cittadini dell'UE – non sono stati in grado di mantenere le proprie case adeguatamente calde nel 2022"¹.

Productive housing for self-sufficient communities

Abstract. Due to the consequences of climate change and the Ukrainian conflict, nearly 42 million people across Europe could not afford to heat their homes properly in 2022. Beyond the political debate on the energy price cap, as recently suggested in the European Green Deal project, refurbished and new sustainable buildings in the EU will need to pave the way for a clean and affordable energy system. The paper will focus on a scientific design methodology based on a comparative analysis of case studies in the field of self-sufficiency, energy and food production in collective housing. The theoretical frame is based on a diachronic vision of relations between energy, food, architecture, and its production chains as drivers for innovative and integrated design processes. This also aims to develop alternative economic models where communities could become more accountable, share resources, and self-produce their energy

La transizione energetica dovrebbe imparare dalle best practices del passato e sviluppare delle tipologie architettoniche innovative ibride che rispondano alle richieste emerse del cambiamento climatico, ed anche dalla crisi energetica e dalla crisi di produzione del cibo.

Le abitazioni collettive sono uno dei settori più colpito dalle crisi, per questo motivo la ricerca introduce uno nuovo approccio alla progettazione integrata che mette insieme produzione di energia e cibo, generando un modello economico innovativo basato sulla decentralizzazione e su un approccio comunitario e cooperativo. Gli scenari attuali in merito alla "giustizia energetica" evidenziano l'urgenza di riconsiderare il sistema di distribuzione in relazione ai fabbisogni delle persone e alle risorse primarie. Allo stesso tempo, è evidente che l'edilizia abitativa è tra i settori maggiormente coinvolti nelle nostre città.

Per questo motivo a partire dalla riflessione di Barnabas Calder in cui si afferma che "fin dai primi edifici di cui gli archeologi hanno trovato traccia, l'energia ha sempre governato l'architettura", riteniamo che "l'economia circolare sia l'unico modo possibile di operare"², in continuità con tradizioni millenarie precedenti ai combustibili fossili.

In tal senso il paper propone una metodologia di progettazione scientifica basata su un'analisi comparativa di casi studio opportunamente selezionati; allo stesso tempo è evidente che per sviluppare una transizione ecologica basata su una nuova nozione di autosufficienza in architettura è necessario un approccio progettuale interdisciplinare.

and food, shifting their role from consumers to producers.

Keywords: energy-sufficiency; decarbonisation; vertical farm; collective housing; energy/food production.

Introduction

This paper is the result of an interdisciplinary research collaboration between the Milan Polytechnic (Italy) and the University of Westminster (UK) on performative housing to achieve decarbonisation and define a clean energy strategy for the built environment according to the European Green Deal project.

The aim of the above is to respond to the main critical issues outlined in the 3rd EESC (European Economic and Social Committee) Conference on Energy Poverty: "approximately 42 million people across Europe – 9.3% of

EU citizens – were unable to keep their homes adequately warm in 2022"¹. Therefore, the energy transition should learn from previous experience to develop innovative hybrid architectural typologies to address climate change, energy and food crisis.

Since collective housing is one of the main affected sectors of such a crisis, the research introduces a new design approach to connect energy and food self-production towards innovative alternative economic models based on decentralised and cooperative community-oriented systems.

The contemporary energy justice scenario highlights the urgency of reconsidering the distribution system, access to raw materials, and people's needs in relation to resources.

Clearly, residential buildings are one of the most significant construction segments in our cities. Barnabas Cal-

La ricerca quindi indaga su una metodologia *design-oriented* che mette in relazione implicazioni architettoniche e spaziali e sistemi tecnologici appropriati per la produzione di energia rinnovabile, la raccolta dell'acqua piovana per usi domestici e *vertical farming*.

D'altro canto, le statistiche sulla crescita futura della popolazione mondiale (Benke and Tomkins, 2017) prodotte dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO, 2016) rivelano che la terra arabile pro capite si sta riducendo, da 0,42 ettari nel 1960 a 0,23 nel 2000, con una riduzione prevista a 0,15 ettari pro capite entro il 2050. L'aumento della popolazione mondiale richiede un corrispondente aumento della produzione agricola e alimentare e la capacità dell'industria agroalimentare dovrà aumentare fino al 70% entro il 2050 per soddisfare le domanda di cibo.

La prevista crescita della popolazione entro il 2050, di cui il 70% dovrebbe vivere nelle città, impone una profonda revisione dei recenti sforzi sulla sicurezza alimentare e dei mezzi per realizzarla.

Una possibile soluzione è quindi quella di includere le aree urbane e gli edifici come parte dei sistemi di produzione anche per mitigare le emissioni di CO₂, molte città già coltivano il proprio cibo fresco con il coinvolgimento dei propri cittadini.

Per questo motivo il paper propone una strategia progettuale che integra architetture produttive ed efficienti energeticamente con il *vertical farming* attraverso lo sviluppo di *rooftop greenhouses* (rtgs); con l'obiettivo di poter contribuire alla riduzione dell'impatto ambientale generato dai centri urbani anche attraverso l'implementazione di attività mirate alla coltivazione e alla sussistenza sociale nelle città (Cabannes and Marocchino, 2018).

der argues: "From the earliest building archaeologists can trace, energy has always governed architecture." Taking inspiration from the millennia before fossil fuel, when "circular economy was the only economically viable way to operate", the paper will focus on a scientific design methodology based on a comparative analysis of case studies. An interdisciplinary approach is needed to develop an ecological shift based on a contemporary notion of self-sufficiency in architecture. At the same time, the research aims to investigate a design-oriented methodology on the architectural and spatial implications based on clean energy production, water collection and vertical farming.

As a matter of fact, statistics on the future growth (Benke, Tomkins, 2017) of the world population from the United Nations Food and Agriculture Organi-

sation (FAO, 2016) reveal that arable land per person is shrinking from 0.42 hectares in 1960 to 0.23 in 2000, with a projected decline to 0.15 hectares per person by 2050. The increase of the world population requires a corresponding increase in agricultural and food production. The capacity of the agri-food industry shall increase up to 70% by 2050 to meet the food demand. The anticipated population growth by 2050, with an expected 70% of it living in the cities, forces a profound revision of recent efforts on food security and the means to accomplish it.

A feasible option is, therefore, to include urban areas and buildings as part of production systems to mitigate CO₂ emissions. Many cities already cultivate their own fresh food by involving their citizens.

For the above reasons, this paper proposes a strategy that integrates energy

Casi studio su housing ed autosufficienza di energia e cibo

alimentare attraverso lo sviluppo di prototipi abitativi accessibili.

Pertanto, la fase iniziale della ricerca mira a selezionare e analizzare casi studio riferiti a residenze collettive che affrontano il tema dell'autosufficienza dal punto di vista energetico, della raccolta dell'acqua e della produzione alimentare.

In tal senso i principali criteri performativi di tale ricerca si sono basati su soluzioni abitative che rispondono ad almeno uno dei requisiti seguenti:

- utilizzo di sistemi integrati per la produzione di energia rinnovabile (riduzione del fabbisogno produzione, sistema di condivisione di stoccaggio e distribuzione);
- ottimizzazione e raccolta dell'acqua (sistema di riutilizzo e raccolta dell'acqua piovana con sistema di distribuzione, stoccaggio e filtraggio);
- produzione alimentare (agricoltura urbana, coltura idroponica, ecc).

La questione dell'autoproduzione di cibo per le abitazioni è declinata con l'utilizzo delle coltivazioni verticali "*vertical farm*" con un sistema di serre su terrazze condivise per ridurre la richiesta di infrastrutture urbane e rendere le città più autosufficienti.

La scelta di vivere *off-grid* e disconnessi dalle reti energetiche/idriche nazionali o al sistema di distribuzione del cibo, nella maggior parte dei casi non è solo una scelta etica, ma una necessità per molti contesti sociali per un abitare sostenibile.

Questa visione si basa sulla capacità delle comunità locali di

efficient architectures with vertical farms and rooftop greenhouses (rtgs). The aim is to reduce the environmental impact of contemporary cities by implementing food and social subsistence (Cabannes, Marocchino, 2018).

Housing, energy and food self-sufficiency case studies

The main research topic is the definition of a design methodology based on energy and food self-production solutions towards affordable housing prototypes. Hence, the initial research stage aimed at collecting and analysing case studies on energy self-sufficient housing, water collection and food production. The main research criteria were based on architectural integrated solutions related to renewable energy (needs reduction, production, shared storage and distribution), water optimisation and collection (reuse system

Il principale tema di ricerca è la definizione di una metodologia di progettazione basata su soluzioni di autoproduzione energetica e

alimentare attraverso lo sviluppo di prototipi abitativi accessibili.

Pertanto, la fase iniziale della ricerca mira a selezionare e analizzare casi studio riferiti a residenze collettive che affrontano il tema dell'autosufficienza dal punto di vista energetico, della raccolta dell'acqua e della produzione alimentare.

In tal senso i principali criteri performativi di tale ricerca si sono basati su soluzioni abitative che rispondono ad almeno uno dei requisiti seguenti:

- utilizzo di sistemi integrati per la produzione di energia rinnovabile (riduzione del fabbisogno produzione, sistema di condivisione di stoccaggio e distribuzione);
- ottimizzazione e raccolta dell'acqua (sistema di riutilizzo e raccolta dell'acqua piovana con sistema di distribuzione, stoccaggio e filtraggio);
- produzione alimentare (agricoltura urbana, coltura idroponica, ecc).

La questione dell'autoproduzione di cibo per le abitazioni è declinata con l'utilizzo delle coltivazioni verticali "*vertical farm*" con un sistema di serre su terrazze condivise per ridurre la richiesta di infrastrutture urbane e rendere le città più autosufficienti.

La scelta di vivere *off-grid* e disconnessi dalle reti energetiche/idriche nazionali o al sistema di distribuzione del cibo, nella maggior parte dei casi non è solo una scelta etica, ma una necessità per molti contesti sociali per un abitare sostenibile.

Questa visione si basa sulla capacità delle comunità locali di

and collecting rainwater with distribution, storage and filter system), as well as food production (urban farming, hydroponics etc).

The question of food self-production for housing scenarios in urban areas is developed as a sort of "vertical farm" system conceived as a sequence of greenhouse grafts on collective terraces and rooftops designed to reduce the demand for urban infrastructure, making cities more self-sufficient.

The vision of living off-grid and disconnected from the energy/water national grids and the global food supply chains is not just an ethical choice but a necessity for sustainable living in many social contexts. Such a vision is based on local communities' capability to organise themselves in cooperatives to share resources and technologies that could not be affordable individually.

organizzarsi in cooperative per condividere le risorse e le tecnologie che non sarebbero altrimenti accessibili individualmente. Nonostante sia in aumento l'interesse per un tale modello di "sharing economy", c'è purtroppo una carenza di esempi realizzati che integrino allo stesso tempo l'auto-produzione di energia e di cibo. Per questi motivi la ricerca sui casi studio si basa su due categorie principali, la produzione di energia e la coltivazione di cibo, con l'obiettivo di individuarne i principi fondanti per sviluppare possibili future ibridazioni architettoniche. In tal senso il paper analizza una selezione di casi studio esemplificativi per il loro livello innovativo e per la qualità architettonica.

Housing collettive ed autoproduzione di energia – *BedZED by ZedFactory / Bill Dunster (2002, UK)*

Contesto e utenti

Il Beddington Zero Energy Development (BedZED) dispone di 83 unità abitative oltre ad uffici e spazi commerciali. Fin dall'inizio il progetto è stato descritto come un nuovo manifesto dell'edilizia sostenibile; dopo vent'anni, questo approccio utopico sembra non aver avuto il successo atteso. (Webb, Downie, 2023).

Strategia bioclimatica

Il progetto prevede una strategia ambientale volta a migliorare le prestazioni della luce diurna, del sistema di raffrescamento e della ventilazione passiva grazie all'elemento cappa colorato sul tetto. Tre sono le principali zone per la disposizione interna che comprendono la veranda a sud-est con funzioni di *buffer* termico per gli alloggi e gli uffici, a nord-ovest invece ci sono gli spazi non ad uso abitativo.

If the interest of such a "sharing economy" model is growing, there is still a lack of built examples of integrated energy and food self-production.

We have thus decided to split our research on precedents into two main categories, precisely energy and food self-production collective housing projects, with a view to possible future hybridisation.

The paper will present a selection of such cases according to their innovative solutions.

Collective housing and energy self-production

– *BedZED by ZedFactory/ Bill Dunster (2002, UK)*

Context and users

The Beddington Zero Energy Development (BedZED) has 83 housing units mixed with work and commercial units. The project was initially de-

scribed as a new manifesto of sustainable housing; twenty years later, this utopian approach seems to have been unsuccessful (Webb, Downie, 2023).

Bioclimatic Strategy

The project has an environment strategy to improve the performance of daylight, a cooling system and passive ventilation from the coloured wind cowl on the roof. There are three zones for the internal layout, precisely the conservatory in the south-east that works as a thermal buffer zone for accommodation and offices, and in the north-west for special use.

Energy

Furthermore, the dwellings combine heat and power systems, thanks to a large number of photovoltaic panels partly integrated into the roof and partly into the glasses to produce energy. The project covers the required passive solar design, which requires



Energia

Il sistema abitativo combina il sistema di riscaldamento con il sistema elettrico, grazie a un importante numero di pannelli fotovoltaici per produrre energia, in parte integrati nel tetto e in parte nei vetri della veranda. Il progetto comprende un sistema solare passivo che permette un buon accesso della luce solare all'interno delle case e della verande-giardini d'inverno.

Acqua

Un sistema di risparmio idrico che include: WC a doppio scarico, sistemi di elettrodomestici a basso consumo idrico, riutilizzo delle acque per le docce, ciò permette una riduzione del 40% di acqua rispetto al consumo medio di residenze nella zona di Sutton.

– *Solarsiedlung am Schlierberg; la comunità solare/ Rolf Dish (2006, Germania)*

Contesto e utenti

Il progetto comprende 58 unità abitative. L'edilizia abitativa è progettata per essere moderna e densa e offre terrazze e giardini

good solar access to sunlight inside the houses and winter gardens.

Water

It is based on a water-saving system: dual-flush toilets and water-efficient washing machines, with a reduction of almost 40% less water than average for homes in Sutton.

– *Solarsiedlung am Schlierberg, the Solar Community by Rolf Dish (2006, Germany)*

Context and users

The project includes 58 residential units. The housing, designed to be modern and dense, provides terraces and gardens for the residents. The homes are both private-owned and others, which are held by the Freiburg Solar Fund.

Bioclimatic strategy

The building's layout further illustrates the concepts of Passivhaus and Plusenergiehaus. These strategies include

large, glazed openings on the south façade to maximise solar gain and small openings to the north to minimise heat loss. The massing of the buildings also helps to reduce energy consumption by allowing the low sun angles of the winter to penetrate the houses. Light is admitted in the winter to heat and light the spaces. High sun angles in the summer months are screened by the terraces and the solar array on the roof.

Materiality

Vacuum insulation is used on opaque portions of the façade, and is an innovative strategy in this application. Triple glazing is adopted to reduce heat loss for the façade.

Energy

A project with a significant amount of energy photovoltaic roof production investigated in-depth solar energy-efficient housing, called Energy-Surplus-House.

per i residenti. Le case sono un mix tra proprietà private e altre di proprietà del Freiburg Solar Fund.

Strategia bioclimatica

L'orientamento e il layout degli edifici si basa sui concetti di Passivhaus e Plusenergiehaus. Alcune di queste strategie includono grandi aperture vetrate sulla facciata sud per massimizzare il l'ingresso solare e piccole aperture a nord per ridurre al minimo la perdita di calore. La volumetria degli edifici aiuta anche a ridurre il consumo energetico consentendo l'ingresso solare anche nei periodi invernali. La luce naturale invernale ha doppia funzione sia per riscaldare che illuminare gli spazi. L'accesso del sole é elevato nei mesi estivi e pertanto ci sono schermature sia sulle terrazze che dai pannelli fotovoltaici sul tetto.

Materiali

L'isolamento a vuoto viene utilizzato nelle porzioni opache della facciata e questa applicazione rappresenta una strategia innovativa. I tripli vetri vengono utilizzati per ridurre la perdita di calore attraverso la facciata.

Energia

Si tratta di un progetto con una significativa quantità di energia prodotta da tetti fotovoltaici rendendo le abitazioni ad alta efficienza energetica solare, definite *Energy-Surplus-House*.

Gli edifici con funzione mista residenziale e commerciale, condividono la strategia di massima produzione energetica e riduzione del fabbisogno, con la condivisione di tetti fotovoltaici per tutti gli edifici delle comunità. La progettazione consente di usufruire della migliore radiazione solare: orientamento, la

corretta sezioni per produrre energia con il fotovoltaico (il tetto ha un angolo di 22 gradi per ottimizzare le prestazioni del fotovoltaico) sul tetto e per l'impianto termico dell'acqua.

Acqua

L'acqua riscaldata sul tetto viene poi utilizzata anche per il riscaldamento degli ambienti interni. L'acqua piovana viene fatta passare attraverso un biotopo per essere purificata e anche per alleviare la pressione sugli scarichi delle acque piovane e per aiutare a ricaricare le falde acquifere della città. Una parte dell'acqua piovana viene raccolta per essere utilizzata come irrigazione del giardino o utilizzata come acque per servizi igienici o docce.

Housing collettive ed autoproduzione di cibo

– *Les Jardins Perchés / Ateliers AFA e Atelier d'architectures Bourlois* (2018, Tour-Francia)

Contesto e utenti

Les Jardins Perchés sono un progetto sperimentale che combina 76 social housing da affittare con un sistema altamente professionale di coltivazione urbana sia sulla copertura delle abitazioni (all'incirca 1000 m² di coltivazione di questi circa 776 m² in serra) che sul terreno circostante (1200 m² area). Con una strategia che comprende sia la protezione dell'ambiente, invogliando i cittadini a rimanere in città sia legandosi ad altre metodologie di coltivazione che sviluppano un'economia sostenibile, Tours Métropole Habitat porta insieme la costruzione di social housing e lo sviluppo di *business* di orticoltura di professionisti.

Strategia bioclimatica

L'edificio è progettato per limitare i consumi dei futuri affittuari

The mixed-use programme housing and commercial buildings share the energy production strategy. All performances are based on reducing energy needs and maximising production thanks to a photovoltaic roof for all the buildings in the communities. The project is shaped to gain the best solar radiation: orientation, plans, and sections to produce energy with PV (the roof has a 22-degree angle to optimise pv performance) on the roof and for the water thermal system.

Water

Hot water is used to heat the water and the spaces. Rainwater is passed through a biotope to be purified, relieve pressure on stormwater drains, and help recharge groundwater in the city. Some rainwater is captured for use as irrigation in the garden or used as greywater for toilets or showers.

Collective housing and food self-production

– *Les Jardins Perchés* by Ateliers AFA and Atelier d'architectures Bourlois (2018, Tour-France)

Context and users

Les Jardins Perchés is an experimental project that combines the construction of 76 social rental housing units with the creation of a professional urban horticulture farm, both on the roofs of the residences (nearly 1,000 m² of which can be cultivated, including 776 m² in a greenhouse) and on the ground (1,200 m² of cultivable space). To protect the environment and encourage residents to stay in the city, make connections and experiment with other farming methods while developing a sustainable economy, Tours Métropole Habitat undertook the construction of a social housing residence where a professional horticulture business is being developed.



| 02

dell'housing sociale. Un edificio efficiente energeticamente con certificati Effinergie (RT 2012 -20%) and BEE+. Spazi verdi coltivati o a giardino per ridurre i costi di manutenzione.

Materiali

Un complesso di 3 edifici collegato da un sistema di passerelle, tutte le unità abitative hanno uno spazio esterno loggia che cattura la luce naturale. Diverse soluzioni di progettazione (luce naturale, area di superficie, irrigazione, il controllo dei costi, la gestione, ecc) sono stati applicate dai due studi di architettura coinvolti nella progettazione per adeguare il *design* architettonico alle abitazione collettive.

Cibo

Coltivato principalmente sul terreno comune delle residenze o in copertura nelle serre (sistema idroponico) con un approccio ambientale "0 Phyto" (le colture sui tetti non sono consentite nel disciplinare biologico). Sul terreno, sono coltivati alberi da frutto e verdura ed ortaggi. In cifre, 1200 m² di superficie coltivata a terra e 996 m² di superficie coltivata in copertura, di cui 776 m² in vetro.

Per un nuovo Metabolismo Per definire un *background* teorico ed innovativo sulle architetture *off-grid* è necessaria una visione radicale per trasformare la progettazione architettonica in una disciplina più integrata. Tale approccio ha come obiettivo quello di concepire soluzioni abitative e produttive, non intese come edifici tecnologici sconnessi tra loro, ma piuttosto come infrastrutture ecologiche costituite da sistemi architettonici flessibili e interconnessi.

Bioclimatic strategy

The building is designed to limit the bills of future tenants. It is an energy-efficient building with Effinergie certification (RT 2012 -20%) and BEE+ certification, which limits energy consumption. Green spaces cultivated or landscaped by the gardener to reduce exterior maintenance costs.

Materiality

The complex consists of 3 buildings connected by overhead walkways. All dwellings have an outdoor space (loggia) to take advantage of the sun. Numerous criteria (sunlight, surface area, irrigation, flow management, cost control, etc.) were studied by the two architectural firms to adapt the architectural design to the collective housing.

Food

Crops are grown mainly in the open ground, in the heart of the residence, and on the rooftop in greenhouses

(aquaponics) with a "0 Phyto" environmental approach (rooftop crops are not allowed under the organic specification). On the ground, fruit trees and shrubs complement the outdoor crops. In figures, 1200 m² of cultivated area on the ground and 996 m² of cultivated area on the roof, including 776 m² in glass.

Towards a new Metabolism

To shape a new theoretical and interdisciplinary background towards off-grid architectures, a radical vision is needed to transform architectural design as a more systemic discipline. The aim is to conceive productive housing solutions not just as disconnected technological buildings but more as ecological infrastructures made out of flexible and interconnected architectural systems. Such change of paradigm implies a trans-scalar approach to architectural



Tale cambio di paradigma implica un approccio trans-scalare alla progettazione architettonica basato sui principi del "metabolismo" per generare edifici pensati come sistemi aperti sviluppati con una logica di scalabilità e incrementalità.

I principi su cui si basa il processo del metabolismo (dal greco: *μεταβολή* *metabolē*, "cambiamento"), per cui il corpo si nutre di cibo e bevande per trasformarlo in energia, è piuttosto rilevante anche al fine di generare edifici autosufficienti intesi come organismi interconnessi.

Per trasformare tali principi in soluzioni architettoniche, l'ispirazione viene dal lavoro del movimento "Metabolismo" fondato in Giappone negli anni '60 tra gli altri gli architetti Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa e Fumihiko Maki influenzati dalle teorie marxiste e dai processi biologici.

Probabilmente uno dei precedenti più interessanti di architetture produttive è il progetto utopico "Agricultural City" di Kisho Kurokawa basato sulla nozione di griglia come infrastruttura architettonica che ha aperto la strada a "concetti chiave del metabolismo: prefabbricato, capsula, crescita cellulare, metafore biologiche per pianificazione urbana su scala nazionale"³

Nel 1959, il tifone Ise Bay devastò l'area agricola di Aichi; Kurokawa, dopo il tifone, progettò un concetto visionario. Il progett-

design based on "metabolism" principles to generate buildings as open systems developed within a scalability and incrementality rationale.

The principles related to the process of metabolism (from Greek: *μεταβολή* *metabolē*, "change"), by which the body changes food and drink into energy seems relevant to develop a set of life-sustaining solutions to generate buildings as interconnected organisms. To translate such principles into architectural solutions, the inspiration comes from the work of the "Metabolism" movement founded in Japan in the 1960s by architects Kiyonori Kikutake, Kisho Kurokawa and Fumihiko Maki, among others, influenced by Marxist theories and biological processes.

Probably one of their most interesting precedents of productive architectures is the utopian project "Agricultural City" by Kisho Kurokawa based on

the notion of grid as an architectural infrastructure where he pioneered "key metabolism concepts: prefab, the capsule, cellular growth, biological metaphors for urban planning on a national scale"³. In 1959, Typhoon Ise Bay devastated Aichi's agricultural area. Kurokawa designed a visionary concept after the typhoon. The project develops agricultural settlements based on a grid above ground level (4m) to avoid river flooding.

The infrastructural grid is conceived to host roads, water services, electricity, etc.; and a second grid level above the ground incorporates all the facilities. The housing unit allocated inside the grid is autonomous and connected with others. The unit has a cantilevered structure roof with a mushroom shape. The project inspires a concept design where the grid could be a generative and incremental system.

to propone insediamenti rurali su una griglia sopraelevata del suolo (4 m) per evitare le inondazioni.

Inoltre la struttura a griglia ospita strade, servizi idrici, elettricità, ecc.; un secondo livello della griglia fuori terra incorpora tutti i servizi.

L'unità abitativa allocata all'interno della rete è autonoma ma collegata con altre; l'unità ha una copertura con struttura a sbalzo a forma di fungo. Il progetto è interessante per l'idea di griglia nella progettazione che è un sistema generativo ed incrementale. Al giorno d'oggi questo argomento ha attirato un'attenzione significativa rappresentando una soluzione sostenibile e intelligente basata su sistemi esistenti in natura che può migliorare la resilienza, la sicurezza alimentare e l'autosufficienza delle città (Goodman, 2019; Pulighe, 2019).

Perciò la reinterpretazione ecologica dell'approccio dei Metabolismo ed il progetto Agrocit  sono cruciali per dare forma al futuro delle comunit  *off-grid*.

La potenzialit  di tale approccio infrastrutturale consiste, aldil  del modello organizzativo della griglia, nella capacit  di produrre nuove tipologie ibride per evitare il consumo di suolo per la coltivazione oltre che come una risorsa aggiunta (biomasse) per l'autoproduzione di energia rinnovabile.

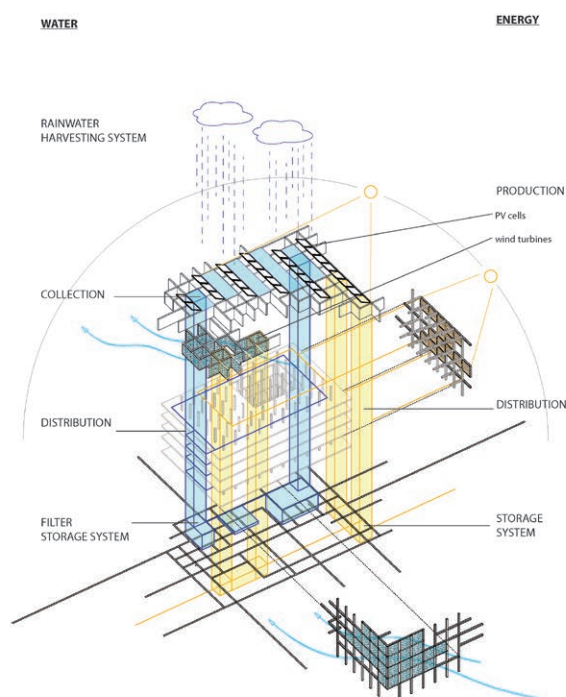
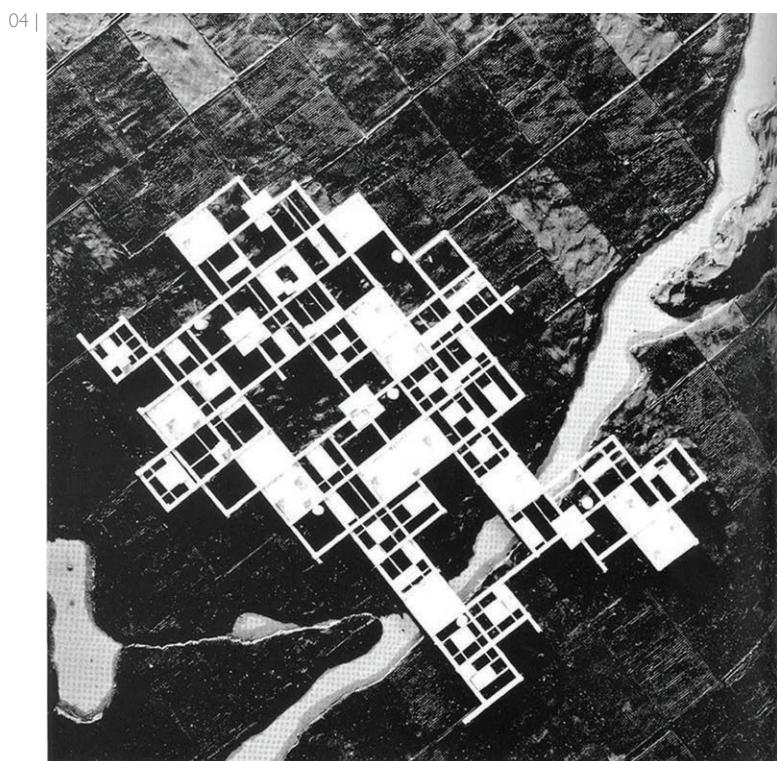
Design-Driven Ricerca Metodologica

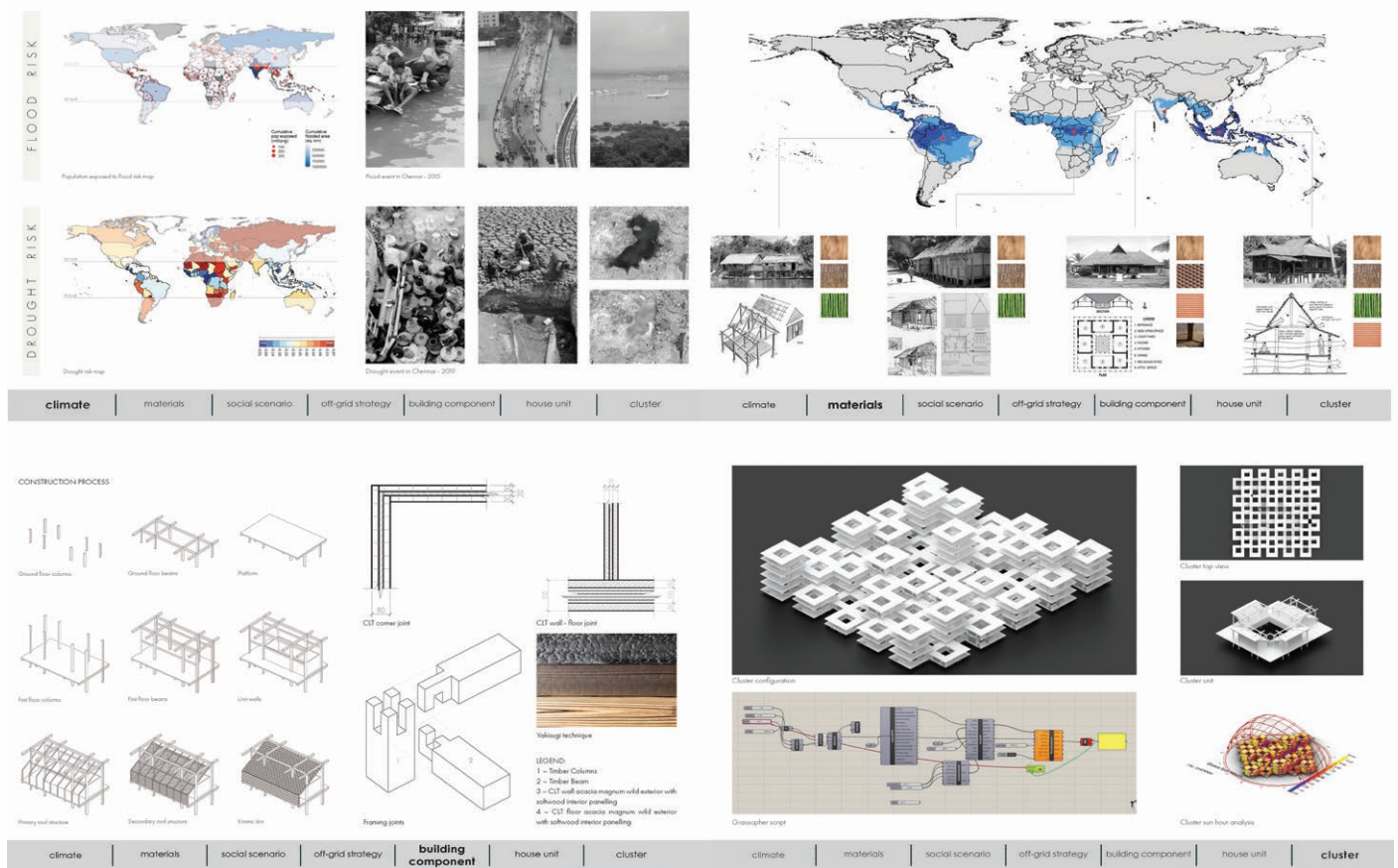
Attraverso un'analisi critica dei casi studio sopra menzionati, la ricerca esplora una metodologia di progettazione *information-based* che tenga insieme sia gli aspetti infrastrutturali che quelli tecnologici in un sistema di architetture *off-grid* interconnesse.

Tale metodologia   stata precedentemente sviluppata per il contesto africano nell'ambito del progetto di ricerca AOH finanziato dall'UKRI diretto da Paolo Cascone e successivamente testata per diversi contesti sociali e climatici (tropicali, temperati e continentali) durante la sua *Masterclass* presso la Advanced School of Architecture del Politecnico di Milano (2022, Milano) diretta da Prof. Pierre-Alain Croset.

Inoltre, tale approccio metodologico   integrato da alcuni concetti progettuali sviluppati nel quadro della ricerca STR.A.ME⁴, diretto dal Prof. Filippo Orsini, sul potenziale sviluppo di strategie urbane legate alla coltivazione per insediamenti residenziali.

La metodologia progettuale, sviluppata attraverso simulazioni ambientali e prototipi fisici e digitali, ha generato un catalogo di soluzioni abitative produttive e *site-specific* basate sui seguenti concetti:





- Scenario sociale e tipologie abitative diversificate. Le tipologie delle unità abitative accessibili dovranno rispondere alle esigenze spaziali di diversi utenti, che potrebbero comprendere: studenti, persone svantaggiate, migranti, ecc. Il

cluster abitativo dove essere assemblato con l'obiettivo di generare programmi di uso misto e strutture condivise. La diversità sociale e funzionale sarà bilanciata anche con i fabbisogni energetici.

Nowadays, this topic has attracted significant attention as a sustainable and intelligent nature-based solution that can improve resilience, food security and self-sufficiency of cities (Goodman 2019; Pulighe, 2019). Hence, the ecological re-interpretation of the Metabolists approach and the Agrocitry project would be crucial to shape the future of contemporary off-grid communities. The potential of such an infrastructural approach, apart from the grid organisational model, would also be to develop new hybrid scalable typologies able to use the waste of food production as an additional resource (biomass) to self-produce clean and renewable energy.

Design-Driven Research Methodology
 Given the critical understanding of the above precedents, the research

explores an information-based design methodology to merge both the infrastructural and the technological aspects into a system of interconnected off-grid architectures. Such methodology has been previously developed for the African context as part of the AOH research (UKRI funded) project directed by Dr. Paolo Cascone, and subsequently tested for different social and climatic (tropical, temperate and continental) contexts during his Masterclass at the ASA – Advanced School of Architecture (2022, Milan) directed by Prof. Pierre-Alain Croset at the Milan Polytechnic. Moreover, this methodological approach is integrated with some design principles tested in the framework of the STR.A.M.E⁴ research project, directed by Prof. Filippo Orsini, on potential improvement of urban strategies related to food sustenance for housing settlements.

The integrated design approach, developed through digital environmental simulations and physical prototypes, has generated a catalogue of site-specific productive housing solutions based on the following key concepts:

- Social scenario and housing diversified typologies. The housing unit typologies will have to be affordable and respond to the spatial needs of different users, including students, disadvantaged people, migrants, etc. The housing cluster would need to be assembled with the aim to generate mixed use programmes and shared facilities. Such a social and programmatic mix will balance the energy needs.
- Climate and off-grid strategy. The local climatic context informs site-specific off-grid strategy according to the environmental micro-climatic analysis also in relation to local

vernacular bioclimatic solutions, namely passive (thermal insulation/passive ventilation/daylight); active (renewable energy /water and sanitation /food self-production).

- Circularity and material systems. Local climate will inform the selection of main construction materials: natural and recycled. The kind of material and its physical properties will change according to what is available onsite in relation to the different climatic regions. By selecting the different kinds of material, designers have to take into account its embodied carbon with the aim of minimising greenhouse gas emissions for the whole process.
- Building components and ecological construction systems. The dimensions of building components would be related to the chosen material system, whose thickness

- Contesto climatico e strategia *off-grid*. Le caratteristiche climatiche informano la strategia *off-grid* in base alla analisi specifica del sito e le analisi delle soluzioni bioclimatiche vernacolari locali: passivo (isolamento termico/ventilazione passiva/luce naturale); attivo (energie rinnovabili/acqua e servizi igienico-sanitari/autoproduzione alimentare).
- Circolarità e sistemi materiali. Il materiale locale e naturale sarà il principale materiale da costruzione: il tipo di materiale e le sue proprietà fisiche cambiano a seconda di ciò che è disponibile in cantiere in relazione alle diverse regioni climatiche. Nella selezione dei diversi tipi di materiale, i progettisti devono tenere conto dell'*embodied carbon* con l'obiettivo di ridurre al minimo le emissioni di gas serra per l'intero processo.
- Componente costruttivo e sistema costruttivo ecologico. Le dimensioni dei componenti costruttivi sono legate al materiale scelto; il suo spessore potrebbe cambiare a seconda delle diverse strategie. I sistemi di costruzione e assemblaggio cambiano secondo diverse strategie in relazione all'interazione tra tecnologie di fabbricazione digitale e tecniche locali. Il sistema costruttivo è costituito da una struttura primaria e secondaria che deve essere facilmente maneggiabile e smontabile in cantiere.
- Prefabbricazione e customizzazione di massa. la composizione progettuale deve sviluppare cataloghi di possibili variazioni a diverse scale: variazione di componenti edili/pannelli (perforazioni, giunti, ecc.), variazioni di unità abitative, variazioni di cluster con più unità assemblate orizzontalmente e verticalmente. Ogni configurazione deve fornire una strategia incrementale che dimostri la

possibile di evoluzione spaziale e volumetrica del progetto nel tempo.

- *Farming units* e infrastrutture urbane. La relazione tra moduli di agricoltura urbana e infrastrutture urbane esistenti, fornite di accesso ai servizi (acqua, elettricità) in grado di rispondere al fabbisogno per unità per lo sviluppo di moduli autosufficienti
- *Condenser* sociali ibridi e produzione alimentare monofunzionale. La relazione tra moduli connessi a comunità urbana, aprono la ricerca a sistemi di organizzazione o auto-organizzazione per la governance dei moduli, per la gestione dal basso del sistema di produzione e distribuzione.

La metodologia esplora un'idea innovativa di industria delle costruzioni sostenibile in grado di fornire un abaco di possibili configurazioni integrate di abitazioni *site-specific* e *off-grid*. Tale industria ecologica è basata su una rete di laboratori produttivi situati in diverse regioni climatiche in grado di fornire soluzioni on demand, trasformando e assemblando sistemi di materiali locali in componenti architettoniche performanti in loco. Per rendere sostenibile questa catena di produzione, il *network* condivide protocolli di fabbricazione che vanno dal design alla realizzazione.

Conclusioni

Un approccio integrato ad una progettazione tesa alla costruzione di soluzioni abitative *off-grid* indica un possibile percorso per un architettura più ecologica, che si fonda sui principi della sharing-economy per un accesso più democratico all'energia riducendo l'impatto ambientale dei sistemi di produzione e distribuzione centralizzati.

could change according to chosen strategy. The construction and assembly systems will change according to different strategies in relation to the interaction between digital manufacturing technologies and local techniques. The construction system could be made by a primary and secondary structure, and will have to be easy to assemble and dismantle on-site.

- Smart prefabrication and mass customisation. The design composition has to develop catalogues of possible variations at different scales, precisely building component/panel variation (perforations, joints, etc), housing unit variations, cluster variations with more units assembled together horizontally and vertically. Each configuration has to provide an incremental strategy explaining the project's possible

spatial and volumetric evolution over time.

- Farming units and urban infrastructure. The relationship between urban agriculture modules and existing urban infrastructure, primarily the provision of services (water, electricity) capable of meeting the demand per unit for the development of a "self-sufficient" module.
- Hybrid social condenser and monofunctional private food producer. The relationship between the module network and the urban community, opening investigations in the direction of organisational and self-organisation forms among those involved in module management, and the 'downstream' chain of product processing and distribution.

Such design methodology explores an innovative idea of a sustainable construction industry that can pro-

vide a catalogue of possible integrated configurations for site-specific and off-grid housing. Such an ecological industry will be based on a network of manufacturing laboratories located in different climatic regions able to provide on-demand solutions, transforming on-site local material systems into performative building components. To make this production chain sustainable, the network would need to share design-to-manufacture protocols.

Conclusions

An integrated approach to design and build off-grid housing solutions offers a pathway towards a more ecological architecture that prioritises a sharing economy to generate more democratic access to energy and food, reducing the environmental impact of centralised systems.

Beyond the built examples of the past

and the increasing number of building regulations and certifications, a cultural shift is needed to make off-grid solutions not only economically convenient but also architecturally interesting and spatially flexible.

As a matter of fact, the necessity to merge different technologies and spatial requirements into one integrated architectural device needs an adequate design for the building process. A potential direction of this design-driven research is to stress the two core components of the grid, the first being an infrastructural hardware capable of connecting the energy-water-food cycle (e.g.: from organic food waste, through a specific anaerobic digestion process, producing biogas and consequently heat for electrical or thermal energy). The second is a software grid, composed of a set of structural and completion elements, for the configu-

Al di là degli esempi realizzati nel passato e dell'aumento delle normative e delle certificazioni edilizie, è necessario un cambiamento culturale per rendere le soluzioni *off-grid* non solo accessibili economicamente ma anche architettonicamente interessanti e spazialmente flessibili.

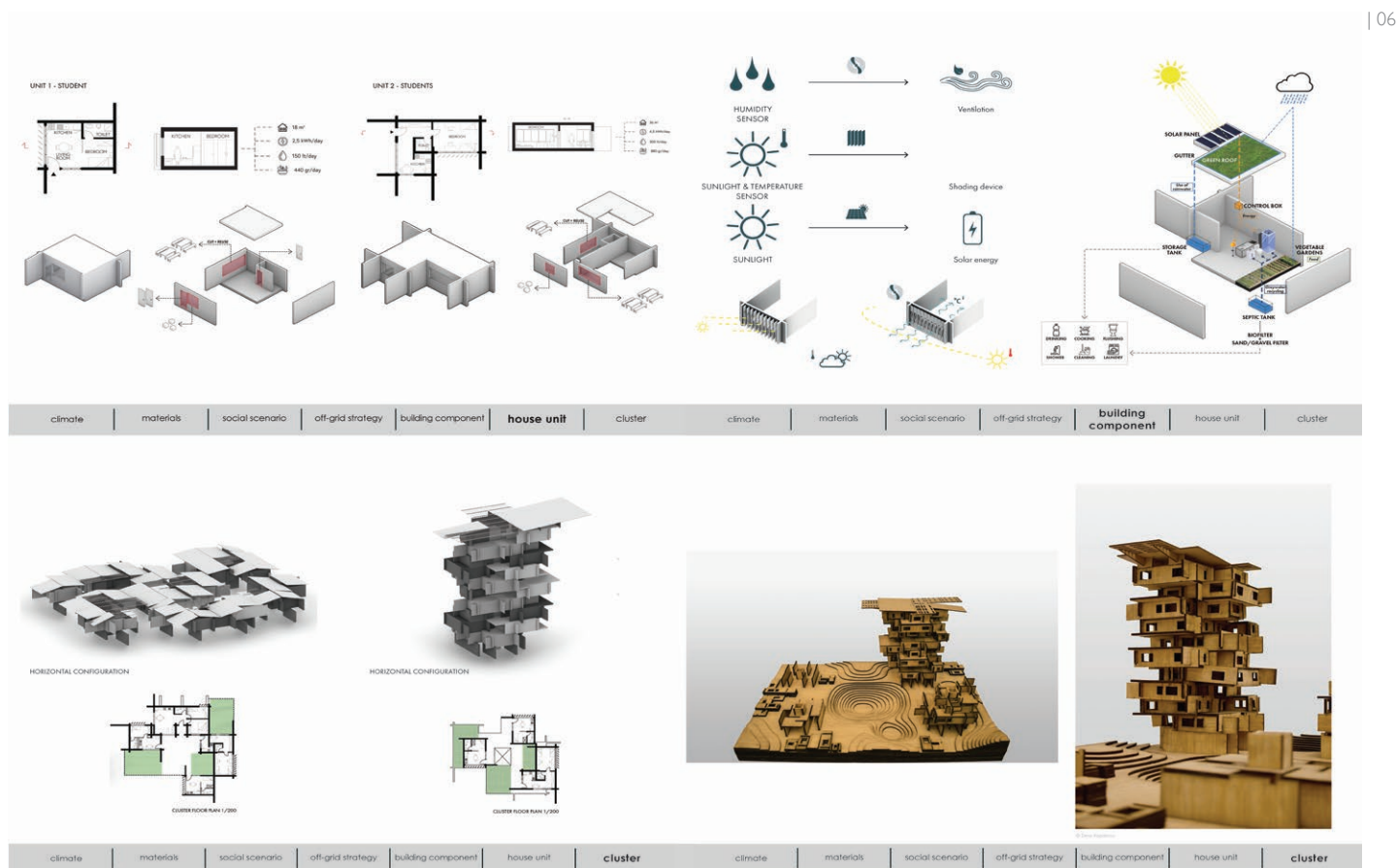
Infatti, la necessità di fondere diverse tecnologie ed esigenze spaziali in un unico dispositivo architettonico richiede un adeguato processo che parte dalla progettazione ed arriva alla costruzione. Una strada percorribile dalla ricerca, *driven by design*, è di mettere in risalto le due componenti principali della griglia: un'infrastruttura capace di connettere i cicli di energia-acqua-cibo (ad esempio dagli scarti della coltivazione organica, tramite uno specifico processo anaerobico, produzione di biogas e conseguente sistema termico di riscaldamento o elettrico) con uno sistema di griglia, composta da un set di elementi strutturali, per configurare spazi vivibili e sostenibili. A partire dal numero limitato di esperienze realizzate, è evidente la necessità di continuare a sviluppare il lavoro di ricerca attraverso lo sviluppo di modelli e prototipi.

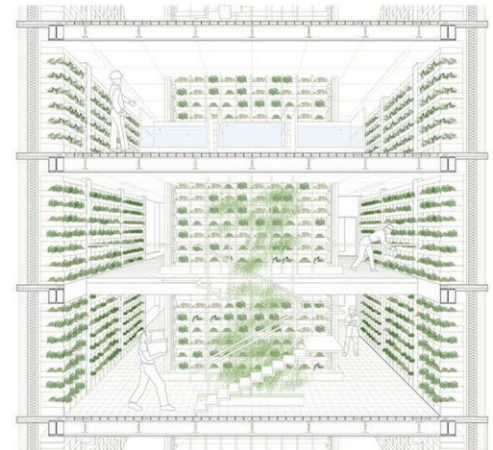
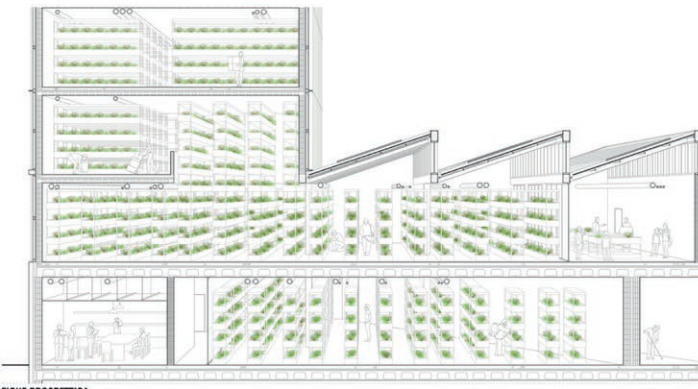
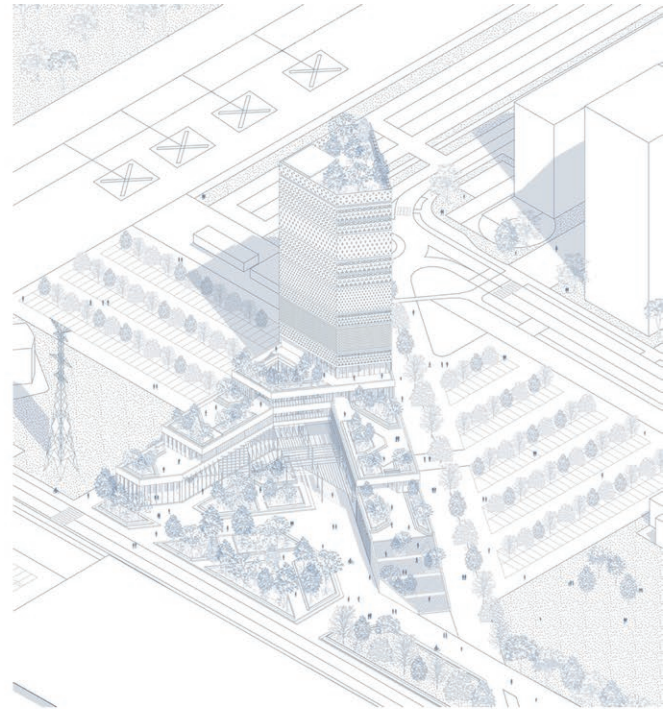
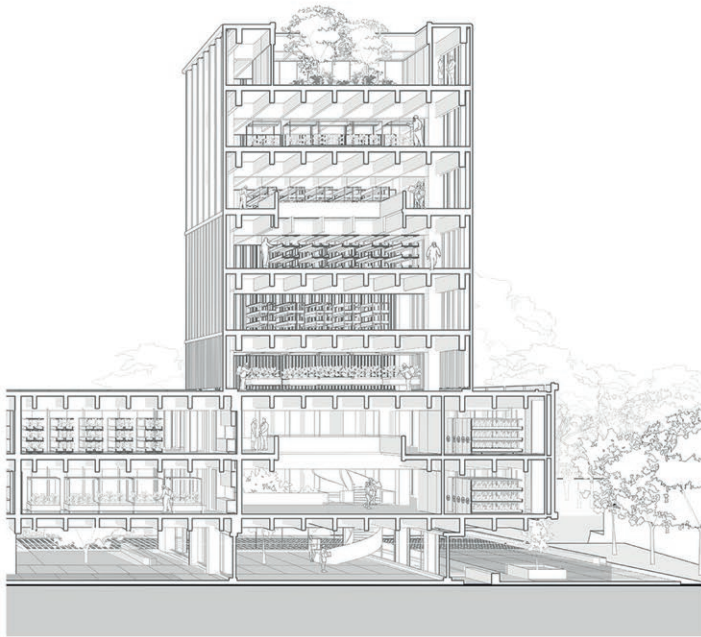
In tal senso, per evolvere questo processo architetti e stakeholder dovranno lavorare ad un approccio progettuale più sperimentale teso a testare prototipi in scala 1 a 1, sia delle unità abitative che dei cluster residenziali, in grado di rispondere alle esigenze del mercato.

Pertanto, il ruolo delle università sarà cruciale nel prossimo futuro per accelerare tale transizione attraverso sperimentazioni fisiche in collaborazione con l'industria dell'energia e quella delle costruzioni. Tale sperimentazione richiede la creazione di laboratori di ricerca interdisciplinari che coinvolgano designer, ingegneri ambientali, botanici ed economisti.

Il ruolo degli economisti appare rilevante per creare un modello economico alternativo in cui gli utenti diventeranno produttori, quindi coinvolti proattivamente nella governance delle loro comunità *off-grid*, con un cambio di paradigma che rende gli utenti più responsabili, anche nell'ottimizzare i consumi di energia, cibo e acqua.

Per le ragioni di cui sopra, uno degli scopi principali di questo paper è quello di preparare il terreno per la creazione di un la-





ration of flexible and sustainable living spaces. Starting from the very limited number of experiences, it is evident that more research work still needs to be done on developing models and prototypes. To improve such a process, architects and stakeholders would need a more experimental approach to design, build and test 1:1 scale prototypes of both housing units and clusters before going to market. Therefore, the role of universities will be crucial in the near future to accelerate such transition through physical experimentations in collaboration with the energy and construction industries. Such experimentation would need the creation of interdisciplinary research laboratories involving designers, en-

vironmental engineers, botanists and economists. The role of economists seems relevant to create an alternative economic model where consumers will become producers who are proactively involved in the governance of their off-grid communities. Such change of paradigm will make users more responsible, with the aim of optimising their energy, water and food consumption. For the above reasons, one of the main purposes of this paper is to pave the way for the creation of an applied research laboratory in the field of off-grid architecture towards a Climate Neutral urban environment.

NOTES

- ¹EESC, "Tackling energy poverty for a just transition". Last modified 19 July 2023. Available at: <https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition>.
- ²Barnabas Calder, "Form follows fuel", *The architectural review* n°1495, (October 2022): 6-12.
- ³Rem Koolhaas, and Obrist Hans-Ulrich, "Kisho Kurokawa" in *Project Japan : Metabolism Talks...* Edited by Kayoko Ota and James Westcott. 372-408. Köln: Taschen, 2011.
- ⁴STR.A.ME research project (P.I. Filippo Orsini), financed by RIBA (Ricerca di Base, i.e. basic research), an initiative of the Department of Architecture and Urban Studies (DASTU) of the Politecnico di Milano.

boratorio di ricerca applicata nel campo delle architetture *off-grid* verso scenari urbani sempre più *Climate Neutral*.

NOTE

¹EESC, “Tackling energy poverty for a just transition”. *Last modified July 19, 2023. Available at:* <https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition>.

²Barnabas Calder, “Form follows fuel”, *The architectural review* n°1495, (October 2022): 6-12.

³Rem Koolhaas and Obrist Hans-Ulrich, “Kisho Kurokawa” in *Project Japan: Metabolism Talks...* Edited by Kayoko Ota and James Westcott. 372-408. Köln: Taschen, 2011.

⁴STR.A.ME research project (P.I. Filippo Orsini), financed by RIBA (Ricerca di Base, i.e. basic research), una iniziativa del Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DASTU) del Politecnico di Milano.

REFERENCES

ASA, Advanced School of Architecture (2022), Booklet ASA Masterclass P. Cascone, Director Pierre-Alain Croset. Students: Carlos David Arcos Jácome, Shiryu Kawamura, Alina Kim Simon Johan Muller, Alessia Sassone, Umami Fathima Zakir Hussain, Avid Francesco Avesani, Denis Kapitanov, Zirong Song Milena Sharkova, Mona Nheili, Marco Stringhetti, Ara Ibrahim, Alice Miloni, Nehir Özdemir Selin Yavuz, Andrea Di Tommaso, Gabriele Licciardi, Noora Khaled Ali Ebrahim Husain Alhashimi, Emily Marie Shiga. Uow Students: Agathe Alexandre, Mette Pedersen, Edoardo Ripamonti, Rofayda Salem. Available at: https://www.auic.polimi.it/fileadmin/user_upload/auic/scuola/asa/2-edizione/BOOKLET_1st_ASA_aa_2022-2023.pdf (Accessed on 04/11/2024).

Barthel, S. and Isendahl, C. (2013), “Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities”, *Ecological Economics* n.86, pp. 224-234. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.06.018>.

Calder, B. (2022), *Architecture: From Prehistory to Climate Emergency*, Penguin Books, London.

Calder, B. (2022), “Form follows fuel”, *The architectural review* n°1495, pp. 6-12.

Despommier D. (2019), “Vertical farms, building a viable indoor farming model for cities”, *The journal of field actions*, Special Issue 20, pp. 68-73. Available at: <https://journals.openedition.org/factsreports/5737> (Accessed on 06/02/2025).

Dunster, B. (2018) *Zedlife: How to Build a Low-Carbon Society Today*. RIBA publishing, London.

Dunster, B., Simmons, C. and Gilbert, B. (2008) *The ZEDbook: solutions for a shrinking world*. Taylor & Francis, Abingdon.

Dunster, B. (2010) “The ZEDfactory” in Mostafavi, M. and Doherty, G. (Eds), *Ecological Urbanism* Harvard University, Graduate School of Design, Lars Müller Publishers, Baden, Switzerland, pp. 274-279.

European Commission (2020), *A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662>. (Accessed on 07/10/2024).

EESC (2023), *Tackling energy poverty for a just transition*. Available at: <https://www.eesc.europa.eu/en/agenda/our-events/events/tackling-energy-poverty-just-transition> (Accessed on 07/10/2024).

Koolhaas, R. and Obrist, H.U. (2011), *Project Japan: Metabolism talks*. Edited by K. Ota and J. Westcott. Köln Taschen.

Mancebo, F. (2018), “Gardening the city: addressing sustainability and adapting to global warming through urban agriculture”, *Environments*, Vol. 5, n. 3. Available at: <https://doi.org/10.3390/environments5030038>.

Orsini F. (2022) “Food Vertigo. Processes and devices for metropolitan food resilience”, *TECHNE*, Vol. 23. Available at: <https://doi.org/10.36253/techne-12139>.

Orsini F. and others, (2023) “Metropolitan Farms: Long Term Agri-Food Systems for Sustainable Urban Landscape”, in *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*, The Urban Book Series, Springer Publ. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-29515-7>.

Pulighe, G. and Lupia, F. (2019), “Multitemporal Geospatial Evaluation of Urban Agriculture and (Non)-Sustainable Food Self-Provisioning in Milan, Italy”, *Sustainability*, Vol. 11, n. 7. Available at: <https://doi.org/10.3390/su11071846>.

Salleh, A. M., Harun, N. Z., & Halim, S. A. (2020), “Urban Agriculture as a Community Resilience Strategy against Urban Food Insecurity”, *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, Vol. 5, n. 13. Available at: <https://doi.org/10.21834/e-bpj.v5i13.2047>.

Webb, S. and Downie, P. (2023) “Revisit BedZED”, *The architectural review* n°1500, pp. 108-117.