

Abitazioni performative per condizioni climatiche estreme: il caso studio del progetto di ricerca African Off-grid Housing (AOH)

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Paolo Cascone, Rosa Schiano-Phan, Benson Lau, Maria Christina Georgiadou, Maddalena Laddaga,
Architecture and Cities, University of Westminster, London, United Kingdom

P.Cascone@westminster.ac.uk
R.Schianophan@westminster.ac.uk
B.Lau@westminster.ac.uk
C.Georgiadou@westminster.ac.uk
M.Laddaga2@westminster.ac.uk

Abstract. «Oggi 600 milioni di persone non hanno accesso all'elettricità in Africa e 900 milioni di persone non dispongono di fonti pulite per cucinare» (IEA, 2019). A partire da questa premessa, il presente paper descrive l'agenda di ricerca del progetto African Off-grid Housing, teso allo sviluppo di soluzioni abitative accessibili e off-grid per i paesi dell'Africa sub-sahariana. Il progetto in corso di realizzazione si sviluppa nell'ambito della School of Architecture and Cities dell'Università di Westminster con il supporto del GCRF. L'agenda di ricerca, parte dalla necessità di realizzare un sistema di conoscenze innovative che possa unire aspetti della progettazione tradizionale con strategie di *advanced design* e tecnologie costruttive in risposta alla crescente esigenza di abitazioni accessibili nei paesi africani.

Parole chiave: Abitazioni *off-grid* per l'Africa; Architettura sostenibile; *Digital manufacturing*; Architettura autosufficiente; Energia rinnovabile.

Introduzione

L'obiettivo della ricerca è quello di delineare una metodologia progettuale innovativa per la realizzazione di abitazioni autosufficienti ed a prezzi accessibili in Africa.

Tale metodologia si sviluppa attraverso un approccio analitico teso a comprendere l'interrelazione tra due aspetti: da una parte il modo in cui le dinamiche climatiche e sociali condizionano l'*housing* vernacolare in Africa, dall'altra i criteri performativi di alcuni casi studio contemporanei sul tema dell'*housing* autosufficiente.

Il progetto AOH intende contribuire al dibattito culturale sul ruolo della ricerca in architettura sui temi della progettazione e del *manufacturing* eco-sostenibile a favore delle comunità locali nel *global south* in riferimento alle politiche messe in atto da UN-HABITAT ed altre istituzioni internazionali.

In tal senso l'approccio *research by design* cerca di definire poli-

Performative housing for extreme climatic conditions: the African Off-grid Housing (AOH) research project case study

Abstract. «Today, 600 million people in Africa do not have access to electricity and 900 million lack access to clean cooking facilities» (IEA, 2019). With this premise, the paper will explain the research agenda of the African Off-grid Housing project on how to design and build off-grid and affordable housing solutions for Sub-Saharan Africa. This ongoing project is being developed at the School of Architecture and Cities of the UoW with the support of the GCRF. The research agenda is based on the idea of producing innovative knowledge able to bridge traditional and advanced design strategies as well as construction technologies in response to the urgent need of sustainable and performative housing in Sub-Saharan Africa.

Keywords: African off-grid housing; Sustainable construction; Digital manufacturing; Self-sufficient architecture; Renewable energy.

tiche abitative innovative ed azioni concrete per i paesi africani, che possano essere poi replicate e adattate ad altri contesti.

Per i motivi di cui sopra, la metodologia *research by design* si basa su una serie di considerazioni: come riportato dall'UNECA la popolazione africana è quasi triplicata, da una stima di 478 milioni del 1980 si arriva ad una stima attuale di 1.2 miliardi, inoltre si prevede un incremento di 1.5 miliardi entro il 2025 (UNECA, Demographic Profile of African Countries, 2016).

Bisogna inoltre considerare un aspetto fondamentale di questo scenario: l'inaccessibilità delle soluzioni abitative cosiddette formali nelle città africane dove il 60% della popolazione urbana vive in slum.

Inoltre, solo il 16% delle famiglie in Africa possono beneficiare di un alloggio permanente, tale percentuale diminuisce nei contesti rurali.

Purtroppo è evidente che le abitazioni realizzate attraverso un iter istituzionale e quindi formale risultano troppo costose per la maggior parte della popolazione.

Questo scenario di *housing* informale rappresenta quindi la soluzione abitativa più diffusa nel continente, contribuendo per circa tre quarti del patrimonio abitativo totale (benché le informazioni sul tema siano ridotte).

Questo è uno dei motivi per cui il 70% della popolazione africana (nei centri urbani più grandi) ed il 98% (nelle aree rurali) non ha accesso all'energia ai servizi igienici o all'acqua corrente. Allo stesso tempo, come riporta l'Agenzia internazionale dell'Energia (IEA, 2019), l'Africa possiede numerose risorse per

Introduction

The purpose is to define innovative ideas to shape methodology for affordable and self-sufficient housing in Africa.

Such methodology will be informed by the interrelations between a critical understanding on how climatic and social dynamics are affecting African vernacular housing and other performative criteria related to self-sufficient housing precedents in contemporary architecture.

The AOH project intends to contribute to the cultural debate on architectural research and sustainable design practices along with ecological manufacturing for local communities in the Global South and in relation to UN-HABITAT and other international institutional initiatives on the topic. In that sense, the research by design approach aims to define innovative

policies for effective actions in African countries, which could eventually be adapted to suit other specific contexts. For the above-mentioned reasons, this research proposes a set of considerations to inform the design methodology: as reported by the UNECA, Africa's population has nearly tripled from its estimated 478 million in 1980 to the current estimate of close to 1.2 billion, and it is projected to increase to 1.5 billion by 2025 and 2.4 billion by 2050. (UNECA, Demographic Profile of African Countries, 2016).

Furthermore, one of the key aspects of such a scenario is the unaffordability of formal housing in African cities if we consider that 60% of the people living in urban areas of the continent are living in slums.

In addition to this, we need to take in account that only 16% of urban households in Africa have a perma-

l'energia rinnovabile ed il suo potenziale dal punto di vista economico è sostanzialmente maggiore del consumo energetico attuale e da quello previsto per l'intero continente.

Occorre ricordare inoltre, che l'Africa è ricca di minerali essenziali per l'industria dell'energia: un esempio è la Repubblica Democratica del Congo che possiede i due terzi della produzione mondiale di cobalto (materiale indispensabile nelle batterie), ed il Sud Africa detiene il 70% della produzione mondiale di platino, che viene utilizzato nelle celle a combustibile idrogeno.

In tal senso è importante evidenziare il paradosso tra le potenzialità dell'economia Africana, in relazione all'estrazione di minerali fondamentali per alimentare la transizione energetica globale (come il cromo per le turbine eoliche ed il magnesio per le batterie), ed il fatto che la maggior parte di queste risorse non vengono né trasformate né utilizzate in loco.

Nonostante, l'Africa disponga della più grande risorsa solare del pianeta, sono stati installati solo 5 gigawatts di pannelli fotovoltaici (PV), meno dell'1% della capacità globale (IEA, 2019). Inoltre, la richiesta in Africa di energia è solo il 6% della richiesta globale, mentre quella di energia elettrica è poco più del 3%. Se si considera l'enorme disponibilità di risorse in loco; nel 2019 oltre il 65% dell'importazione in Europa dall'Africa sono stati bene primari (cibo e bevande, materie prime ed energia) ed oltre il 70% dei beni esportati dall'EU verso l'Africa sono invece prodotti semilavorati e processati, per questo la situazione è davvero critica.

Un altro paradosso in relazione alla crisi climatica in Africa è che il continente ha prodotto solo il 2% delle emissioni mondiali di CO₂ riferito al consumo energetico. Ciò nonostante, l'ecosistema del continente africano ha già subito in maniera

roof condition – and access is even lower in rural areas. As a matter of fact, housing produced through formal channels is still far too expensive for most people.

Such an informal scenario provides the majority of the housing solutions across the region, contributing around three-quarters of the total housing stock (although data on the informal housing sector in Africa is scarce).

This is one of the reasons why between 70% (in the largest cities) and 98% (in rural areas) of all Africans lack access to electricity, a toilet or running water. At the same time, as recently reported by the International Energy Agency (IEA, 2019), Africa has plentiful renewable energy resources, and its economic potential is substantially larger than the current and projected power consumption of the continent. In fact, Africa is rich in minerals essential to

the energy industry: for example, the Democratic Republic of Congo accounts for almost two-thirds of global cobalt production (a vital element in batteries), and South Africa produces 70% of the world's platinum, which is used in hydrogen fuel cells.

On the other hand, it is crucial to highlight some interesting paradoxes about the potentiality of the African economy related to the extraction of key minerals, such as chromium (wind turbines) and manganese (batteries), and their major role in powering the global energy transition

Unfortunately, none of these resources are transformed on site and applied to the local context. Despite the evidence that Africa has the richest solar resources on the planet, so far only 5 gigawatts of solar photovoltaics (PV) have been installed, which is less than 1% of the global capacity (IEA 2019).

sproporzionata gli effetti del cambiamento climatico e il riscaldamento globale.

Infatti, il World Meteorological Organization ha dichiarato che l'anno 2019 è stato tra i primi tre più caldi mai registrati per l'Africa dal 1950. Allo stesso tempo negli ultimi mesi del 2019 sono stati registrate una serie di piogge alluvionali nell'Africa dell'est (WMO, 2020).

Questo scenario estremamente complesso suggerisce la necessità di un approccio sostenibile basato sullo sviluppo in Africa di industrie locali per realizzare in loco soluzioni abitative più performative ed accessibili. Lo stesso approccio necessita di uno sviluppo di conoscenze basati *information-based* con l'intento di evolvere sia le tecniche costruttive indigene che le tipologie abitative auto-sufficienti.

Evoluzione delle tassonomie di abitazioni vernacolari e casi studio di soluzioni abitative auto-sufficienti

In particolare, abbiamo iniziato dall'associare una serie di casi studio di architettura vernacolare africana (per la loro geometria, materialità ecc.) alla regione climatica in cui sono stati realizzati, usando come riferimento la mappa di classificazione climatica sviluppata da Köppen.

Una selezione di questi casi studio è stata analizzata dal punto di vista delle rispettive capacità di rispondere alle caratteristiche ambientali del contesto specifico in cui si trovano. Questo approccio sensibile agli aspetti climatici si concentra sull'indi-

La metodologia *research by design* del progetto AOH si basa su un approccio progettuale evolutivo che nasce dallo studio analitico degli involucri architettonici dell'Africa pre-coloniale.

In particolare, abbiamo iniziato dall'associare una serie di casi studio di architettura vernacolare africana (per la loro geometria, materialità ecc.) alla regione climatica in cui sono stati realizzati, usando come riferimento la mappa di classificazione climatica sviluppata da Köppen.

Una selezione di questi casi studio è stata analizzata dal punto di vista delle rispettive capacità di rispondere alle caratteristiche ambientali del contesto specifico in cui si trovano. Questo approccio sensibile agli aspetti climatici si concentra sull'indi-

In addition to this, we have to consider that the African energy demand is only 6% of global needs, while the electricity demand is little more than 3%. If we consider the huge availability of resources on site, the situation becomes critical: in 2019, over 65% of goods exported to the EU from Africa were primary goods (food and drink, raw materials and energy), and almost 70 % of goods exported from the EU to Africa were manufactured goods. Another relevant paradox more related to the climate crisis in Africa is that the continent has produced only around 2% of the world's energy-related CO₂ emissions so far. However, its ecosystems have already suffered disproportionately from the effects of climate change and global warming.

As a matter of fact, 2019 was among the top three warmest on record for Africa since 1950, as reported by the

World Meteorological Organization (WMO, 2020).

At the same time, high rainfall was recorded in 2019 during the latter part of the year in East Africa.

This complex scenario suggests the need to develop a sustainable local industry approach for affordable and performative housing solutions in Africa. Such an approach would require the development of an information-based knowledge with the aim of evolving indigenous techniques and self-sufficient housing typologies.

Evolving vernacular taxonomies and self-sufficient housing precedents

The AOH research by design methodology is based on an evolutionary design approach starting from the analytical study of pre-colonial African dwellings. In particular, we have started to associate a series of vernacular examples

viduazione di strategie passive di ventilazione naturale e massa termica riferite ai diversi contesti climatici e alle relative tecniche locali di costruzione.

In tal senso abbiamo deciso di iniziare ad analizzare l'architettura vernacolare del Camerun dal momento che è tra i pochi paesi africani ad avere cinque diverse regioni climatiche che vanno dalla zona equatoriale (Af) a quella desertica calda (Bwh).

Questo approccio comparativo sull'architettura precoloniale camerunense parte dalla classificazione tipologica fatta da una serie di studiosi francesi negli anni 50 e pubblicata nel libro "L'habitat du Cameroun" (Béguin, 1952) (Fig.01).

Come si può notare da questa tassonomia di tipologie architettoniche è molto ricca e diversificata, gli involucri della zona settentrionale con il clima desertico (Bwh) caldo sono realizzati in terra cruda e pietra per generare massa termica e mitigare le alte temperature. Per quanto riguarda invece le tipologie relative alla zona climatica equatoriale (Af) sono realizzate in legno e fibre naturali che vengono usate per generare involucri porosi in grado di deumidificare gli spazi interni.

Tra i due estremi di queste regioni climatiche emerge un catalogo di soluzioni intermedie, una sorta di gradiente dal quale poter estrarre i criteri performativi per lo sviluppo di soluzioni abitative contemporanee ispirate ad un approccio a km0.

Per questo motivo il rapporto di causa-effetto tra condizioni climatiche e sistemi materiali nell'architettura vernacolare del Camerun è stato considerato una sorta di paradigma architettonico da poter declinare in altri contesti che hanno in comune lo stesso clima.

Il processo di integrazione, dei sistemi materiali e tecnologici

(geometry, material systems etc.) with their climatic regions using the Köppen climate classification map as a driver.

A shortlist of such precedents was selected and analysed for their capability of responding to the environmental contexts using the natural material systems available on site. Such a climate-sensitive approach is based on the passive strategies of natural ventilation and thermal mass related to the different climatic regions using indigenous construction techniques.

Since Cameroon is one of African nations that has five climatic regions from the equatorial (Af) to the warm desert (Bwh), we have started to analyse its vernacular architecture. Such a comparative approach on Cameroonian pre-colonial dwellings is based on the very interesting classification developed in 1950 in 'L'habitat du Cameroun' (Béguin, 1952) (Fig.01).

As we can notice from this very rich and diversified architectural taxonomy, the warm desert (Bwh) dwellings are made of clay and stones, generating a thermal mass strategy to mitigate the high temperatures. On the other hand, the equatorial (Af) examples are made out of natural fibres and tropical woods, generating some interesting porous panelling systems to dehumidify indoor spaces.

Among these extreme climatic contexts, a gradient of hybrid solutions is opening up to possible performative criteria for contemporary solutions based on a km0 approach. Therefore, the cause-effect relationship between climate and materiality of Cameroonian vernacular architecture has been considered an architectural paradigm to be adapted and modified according to different contexts with similar climatic conditions.

che appartengono al patrimonio culturale esistente con i sistemi progettuali innovativi, si basa sui seguenti aspetti:

- la possibilità di combinare due approcci: un sistema teso alla ventilazione naturale fatto di fibre naturali per l'involucro esterno ed un sistema finalizzato a generare massa termica per l'involucro interno. In questo caso il contributo tecnologico innovativo consiste nell'usare le simulazioni digitali per regolare parametricamente e testare il rapporto tra i due involucri;
- per quanto riguarda l'involucro esterno il punto di partenza sono la tradizionale geometria del tetto a falde e l'organizzazione strutturale della carpenteria in legno locale. In questo caso il contributo innovativo degli strumenti digitali riguarda la possibilità di generare parametricamente diverse configurazioni in grado di adattarsi a situazioni differenti dal punto di vista dell'orientamento dell'edificio (radiazione solare, esposizione ai venti dominanti ecc.) con l'obiettivo di proteggere e rinfrescare l'involucro interno dell'abitazione.

Il catalogo di soluzioni genera un sistema diversificato di nodi strutturali per il legno che vengono realizzati attraverso un approccio industriale che integra nuovi processi di fabbricazione digitale: per l'involucro interno il punto di partenza consiste nell'uso dell'argilla locale in riferimento alle tradizioni vernacolari. In questo caso il contributo innovativo delle tecnologie digitali riguarda la possibilità di trasformare il materiale semi-fluido in un mattone poroso attraverso i processi di stampa 3D. Gli spessori e la porosità del componente costruttivo sono regolati da parametri legati all'irraggiamento solare a cui è sottoposto l'involucro.

The relationship between the process of integration of the existing technological and material heritage with the innovative systems is based on the following aspects:

- the possibility of combining a naturally ventilated system made out of natural fibres for the external skin and a thermal mass skin in terracotta for the internal skin of the core. The digital innovative systems are contributing by using environmental simulations for testing and regulating the whole system;
- for the external envelope, the starting points are the local pitched roof geometry and the local wooden carpentry of its primary structure.

In this case, the digital innovative systems are contributing to evolving and adapting this initial shape according to different scenarios in terms of orientation (solar radiation, wind exposure),

with the aim of protecting and cooling the core of the house.

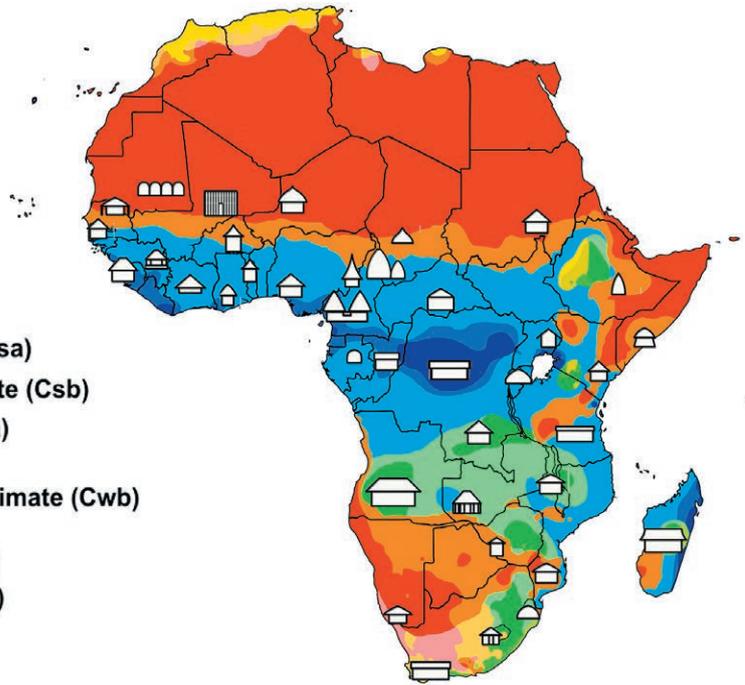
The catalogue of solutions generates diversified timber joints realised within an industrial approach integrating digital fabrication technologies: for the internal core, the starting point is the use of local clay according to the local adobe heritage. In this case, the digital innovative systems are contributing to transforming this semi-fluid material into a semi-industrial porous brick through the use of 3D printing technologies. The porosity and thickness of such a construction component is informed by local data on solar analysis.

From the point of view of the real applicability to the local context and to the local production system, this is justified by the previous realised projects headed by Paolo Cascone and Maddalena Laddaga in the field of eco-

01 | Mappa dell'Africa secondo la classificazione climatica di Koppen con le relative tipologie vernacolari abitative. Source: AOH – UoW team di ricerca. Immagine sulle tassonomie vernacolari del Camerun dal libro "L'Habitat au Cameroun" Béguin J.P., Kalt M., Leroy J.L., Louis D., Macary J., Pelloux Pierre and Péronne H.N. (1952) ORSOM, Editions de l'Union Française
 African map of Koppen climate classification with the related vernacular typologies. Source: AOH – UoW Rese. Image from Cameroon Vernacular taxonomies from the book "L'Habitat au Cameroun" Béguin J.P., Kalt M., Leroy J.L., Louis D., Macary J., Pelloux Pierre, Péronne H.N. (1952) ORSOM, Editions de l'Union Française

01 |

- Equatorial climate (Af)
- Monsoon climate (Am)
- Tropical savanna climate (Aw)
- Warm desert climate (BWh)
- Cold desert climate (BWk)
- Warm semi-arid climate (BSH)
- Cold semi-arid climate (BSk)
- Warm mediterranean climate (Csa)
- Temperate mediterranean climate (Csb)
- Humid subtropical climate (Cwa)
- Humid subtropical climate/
Subtropical oceanic highland climate (Cwb)
- Warm oceanic climate/
Humid subtropical climate (Cfa)
- Temperate oceanic climate (Cfb)



| | POPULATION GROUP | PLAN | ELEVATION | MATERIALS |
|----|---|------|-----------|--------------|
| 1 | KOTOND AKAK | | | ADOBÉ - BOIS |
| 2 | MONTAGNARDS WOFU SANGHE SANGHE | | | ADOBÉ-BOIS |
| 3 | MOSOU | | | ADOBÉ |
| 4 | MASA ET TOMPU | | | ADOBÉ-BOIS |
| 5 | MOUNGANG | | | ADOBÉ-BOIS |
| 6 | SOUROU MBOU | | | ADOBÉ-BOIS |
| 7 | KOULE | | | ADOBÉ-BOIS |
| 8 | TRIK | | | ADOBÉ-BOIS |
| 9 | SAMOU | | | BOIS-BOIS |
| 10 | SAMOU | | | BOIS-BOIS |
| 11 | SARLEKE | | | ADOBÉ-BOIS |
| 12 | BATA | | | ADOBÉ-BOIS |
| 13 | ZONE HALFRA | | | ADOBÉ-BOIS |
| 14 | FORET | | | ADOBÉ-BOIS |

digital construction in Sub-Saharan Africa (Domusweb, 2018). In particular, we have selected the equatorial and monsoon traditional

dwelling for its flexibility and environmental strategy as a possible genotype to evolve into a catalogue of contemporary off-grid houses. At the same time,

we have integrated other performative criteria related to the study of more recent self-sufficient precedents realised mainly in the Global South, such as en-

ergy, water, sanitation, health strategy, modularity, etc. The negotiation between the vernacular initial bioclimatic layout and the

Dal punto di vista della reale applicabilità di tali processi produttivi nel contesto africano questa è stata in parte già testata in alcuni progetti realizzati in Africa sub-sahariana sotto la direzione di Paolo Cascone e Maddalena Laddaga (Domusweb, 2018).

In particolare, dal punto di vista del prototipo iniziale, da evolvere per lo sviluppo di un catalogo di soluzioni abitative contemporanee e *off-grid*, abbiamo selezionato una configurazione tipica del contesto climatico equatoriale e monsonico.

Allo stesso tempo abbiamo integrato criteri performativi riferiti allo studio di altri recenti progetti realizzati nel Sud Globale nel campo dell'*housing* auto-sufficiente dal punto di vista energetico, dell'acqua, della strategia sanitaria, modularità ecc.

La negoziazione tra la strategia bioclimatica ispirata al caso studio vernacolare e le strategie emerse dall'analisi dei casi studio contemporanei selezionati genera una sorta di protocollo teso alla ricerca della forma. Tale protocollo di ricerca viene inizialmente declinato nel contesto climatico equatoriale della città di Douala in Camerun, una delle città più calde e umide in Africa.

Processo di progettazione parametrica ambientale La metodologia *information-based* viene sviluppata parametricamente attraverso l'interazione di due *plugin* del *software* Rhinoceros: Grasshopper e Ladybug.

L'interazione tra i due *plugin* si basa sulla negoziazione tra il fabbisogno dei destinatari (spaziale, energetico, ecc.) e le caratteristiche climatiche del contesto specifico.

Questi "algoritmi contestuali" danno forma alla geometria sia dell'involucro esterno che dell'involucro interno in riferimento

strategies emerging from contemporary precedents is generating a sort of parametric form-finding protocol. Such a form-finding protocol is initially applied to the equatorial climatic region of Douala in Cameroon, one of the hottest and most humid cities in Africa.

Environmental parametric design process

The information-based design methodology is developed parametrically, mainly using two plugins of the Rhinoceros software: Grasshopper and Ladybug. The interaction between the two plugins is informed by the negotiation between the user's needs and the site-specific climatic conditions. Such "contextual algorithms" are shaping the geometry of both the internal and external skin according to their site-specific conditions and orienta-

tion. The result of this contextual parametric design process is a catalogue of architectural variations of the initial genotype, providing possible tailor-made solutions to be integrated into informal neighbourhoods and slums. For the above-mentioned reasons, the AOH tool could be applied to different site-specific scenarios by modifying the following parameters: site weather file (relative humidity, outdoor temperature, prevailing winds, etc.), building orientation and number of users. As a matter of fact, the tool is developing a sequence of architectural operations regulated by the following parametric aspects:

- the available plot (square metres) of the existing neighbourhood informs the number of users who are informing the energy and water needs;
- the global shape of the house is in-

formed by the solar and overshadowing analysis with the aim of protecting and naturally ventilating the internal core of the house;

Il risultato di questo processo progettuale parametrico legato al contesto è un catalogo di possibili variazioni architettoniche che, a partire da un genotipo iniziale, genera possibili soluzioni customizzate da poter integrare in quartieri spontanei e nei cosiddetti slum urbani.

Per i motivi di cui sopra lo strumento progettuale di AOH potrebbe essere utilizzato in differenti scenari climatici e culturali modificando i seguenti parametri principali: il *weather file* con i dati micro-climatici (umidità relativa, temperatura, venti dominanti ecc.), l'orientamento dell'edificio ed il numero di utenti. Di conseguenza il *tool* sviluppa una sequenza di aspetti architettonici regolati dai seguenti aspetti parametrici:

- l'area disponibile per la costruzione all'interno del quartiere esistente definisce il numero di utenti che a sua volta contribuisce a quantificare i fabbisogni primari in termini di consumo di acqua e energia;
- la forma dell'involucro esterno si sviluppa in funzione dell'analisi solare con l'obiettivo di proteggere dalle radiazioni dirette l'involucro interno e garantire una buona ventilazione naturale;
- il sistema di raccolta delle acque piovane informa la geometria della copertura esterna, allo stesso tempo le simulazioni della radiazione solare contribuiscono a identificare le zone della copertura dove poter applicare una distribuzione ottimizzata dei pannelli fotovoltaici.

Strategia ergonomica e spaziale

I driver della strategia spaziale fanno riferimento ai più recenti studi statistici e trend sulla dimensione e la composizione delle

formed by the solar and overshadowing analysis with the aim of protecting and naturally ventilating the internal core of the house;

- the rainwater collection system informs the roof slopes, while the solar radiation analysis localises the areas for optimising the distribution of PV panels.

Spatial and ergonomic strategy

The drivers of the spatial strategy are related to the most recent statistics on the trends of household size and composition in sub-Saharan Africa (United Nations, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2017). Based on these data, we have decided to develop three types of house unit (Fig. 2):

- 2 persons: young couple
- 4 persons: young couple with 2 children

- 6 persons: standard family.

At the same time, the modular system is functional to an incremental approach for possible future horizontal and vertical extensions. Such possible house extensions would be related to the growth of the family and the integration of small businesses (shop, workshop, etc.). For the house's core floor plan, we have considered a minimum ratio of 20m² per person. Considering the veranda/ buffer zone space, this ratio is close to 40m² per person.

This ratio is comparable to nationally described space standards in the UK for the minimum size of new homes: «The space standard begins at 37m² of floorspace for a new one bed flat with a shower room (39m² with a bathroom), ensuring proper living space for a single occupier» (UK Ministry of Housing, Communities & Local Government, 2020).

famiglie nell’Africa sub sahariana (United Nations, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2017). Sulla base di queste statistiche abbiamo sviluppato tre tipi di unità abitative differenti (Fig. 2):

- 2 persone: giovani coppie;
- 4 persone: giovani coppie con max. 2 figli;
- 6 persone: famiglia standard.

Allo stesso tempo il sistema modulare proposto è funzionale ad un approccio incrementale per possibili estensioni verticali ed orizzontali.

Le estensioni voltmetriche delle unità abitative sono relative alla possibile crescita del nucleo familiare ed all’integrazione di piccole attività commerciali (*shop* o botteghe artigianali). Per la pianta del nucleo centrale dell’unità abitativa abbiamo considerato una ratio di minimo 20 mq per persona circa. Se si tiene in considerazione dello spazio verandato / *buffer zone* che circonda il nucleo centrale questa ratio si avvicina ai 40 mq per persona. Questa ratio può essere in qualche modo paragonata agli standard abitativi minime delle nuove abitazioni in Gran Bretagna: «lo standard in termini di spazio parte dai 37 mq di superficie al suolo per le abitazioni per una persona (39 mq con un bagno), garantendo uno spazio abitabile adeguato al singolo utente» (UK Ministry of Housing, Communities and Local Government, 2020).

Strategia bioclimatica

La strategia bioclimatica si sviluppa con una modalità passiva al fine di minimizzare i consumi di energia e di acqua. Per questo motivo, la sezione del genotipo AOH ha un approccio bioclimatico ispirato agli involucri a più *layer* tipici dell’architettura vernacolare: la *skin* esterna protegge il nucleo centrale dell’uni-

AOH bioclimatic strategy

The bioclimatic strategy is conceived as a passive way to minimise energy and water consumption. Therefore, the bioclimatic section of the AOH genotype is inspired by the vernacular double layer dwelling where the external skin protects the core of the house, generating a sort of a spatial and environmental buffer zone.

The parametric modelling development of such a strategy regulates both the roof span and the porosity of the first skin according to the sunlight analysis and the overshadowing. This is made out of local natural fibre components and generates overshadowed and optimised solutions according to different possible orientations of the house (Fig. 3).

A set of different qualitative simulations on passive ventilation were also developed in order to verify the fluid

dynamic performance of the envelope geometry.

At the same time, in order to dehumidify the air of the house’s internal core, we have developed a terracotta brick façade system realised through a mix of traditional and 3D printing techniques using natural and local materials.

The internal structural pattern of the terracotta bricks is diversified in order to generate a catalogue of possible configurations providing different thermal performances according to the solar exposure of the façade.

On the other hand, some of the terracotta bricks can be rotated along their Z-axis in order to generate a different degree of porosity, with the aim of accelerating the air to provide a passive cooling ventilation (Fig. 4).

AOH energy strategy

The energy strategy is based on the idea of both minimising the consumption of electricity (for air conditioning, etc.) and providing renewable energy according to the user’s needs (Fig. 5). According to the IEA report (IEA, 2019), we have considered a daily domestic energy (lighting, cooking, fridge, etc.) requirement of 1.5 kwh / per person. At the same time, we have suggested the use of a standard PV panel (dimension 1x1.7m for 300 Wp) easily available on site (Fig. 6).

With this premise, we have structured our energy parametric modelling based on the site-specific solar radiation analysis on the roof of the house prototype. This is in order to estimate the number of PVs and localise their best position in order to achieve such performances.

At the same time, we have developed

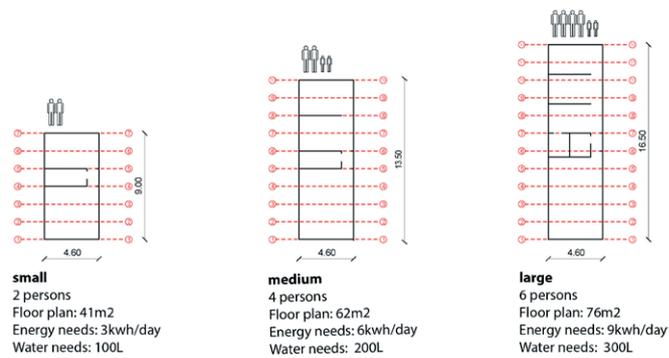
this tool to provide the requested energy according to different possible house orientations for the three different household sizes.

AOH water and health strategy

Considering the statistics on the heavy precipitation in Douala and the lack of accessibility to clean water, the form-finding drivers related to water are based on 2 main aspects:

- detaching the house from the ground in order to avoid flooding risk
- shaping the roof in order to collect and purify the water for domestic uses.

The question of detaching the house is also functional to improving the natural ventilation performances, generating spatial opportunities for storage and small businesses. At the same time, according to the UN report on



ta abitativa generando una sorta di “zona cuscinetto” intermedia che ha funzioni spaziali e ambientali.

Lo sviluppo della modellazione parametrica relativa a questa strategia progettuale regola sia la geometria strutturale del tetto sia la porosità della sua *skin* in funzione dell’analisi solare e delle ombre generate all’interno. La *skin* esterna si basa sulla reiterazione di un componente costruttivo in fibre naturali in base al possibile orientamento dell’abitazione (Fig. 3).

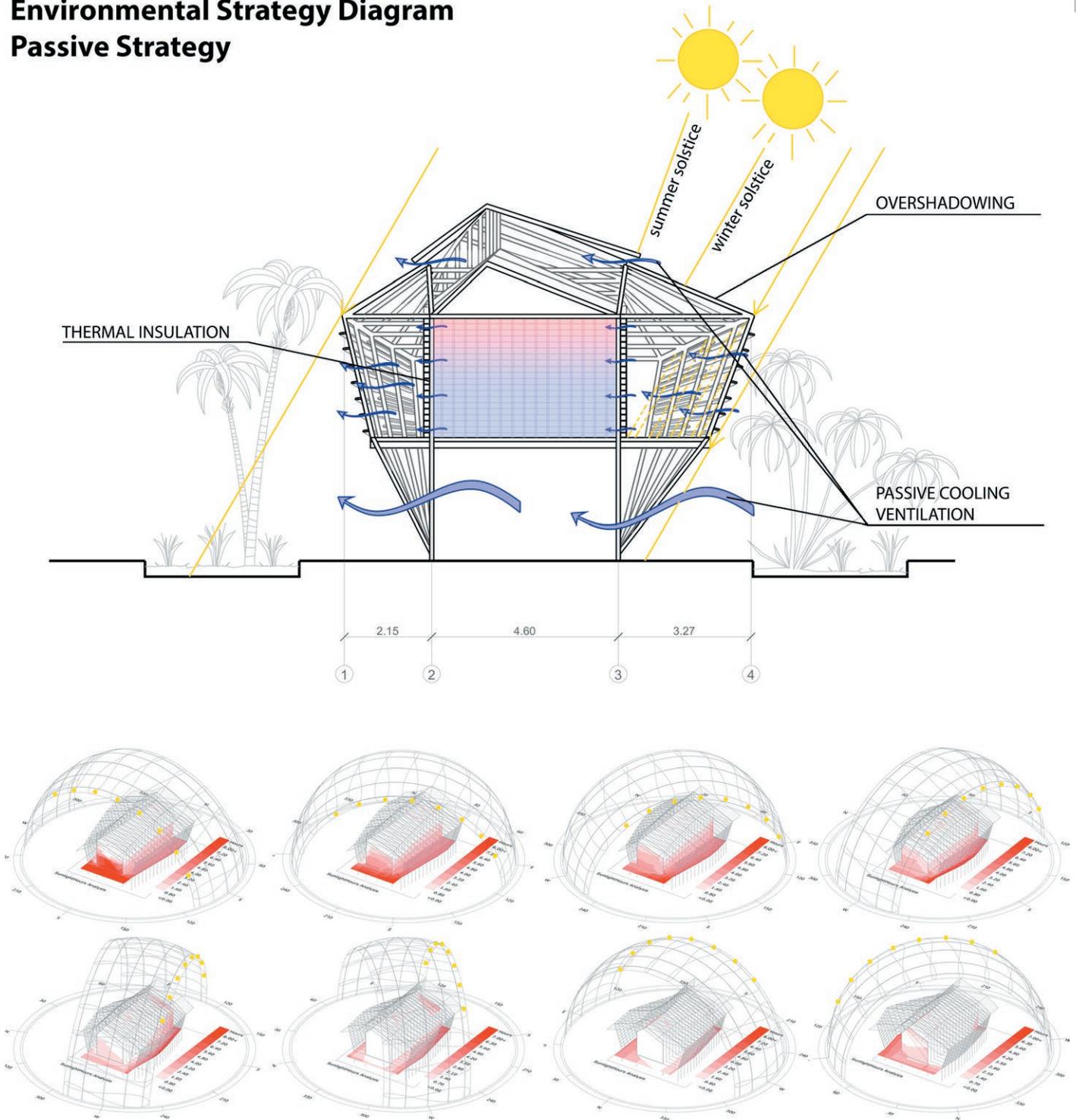
Una serie di simulazioni relative alla ventilazione passiva viene effettuata per capire e verificare qualitativamente le performance dell’involucro esterno.

Allo stesso tempo al fine di deumidificare gli spazi interni dell’unità abitativa abbiamo sviluppato un sistema di facciata composto da mattoni in terracotta realizzato attraverso l’integrazione di processi tradizionali di fabbricazione digitale usando materiali naturali e locali.

Il *pattern* strutturale dei mattoni in terracotta è diversificato in modo tale da generare un catalogo di possibili configurazioni in grado di sviluppare differenti performance termiche rispetto all’esposizione solare della facciata.

D’altra parte, alcuni dei mattoni in terracotta possono essere ruotati sull’asse z al fine di generare diversi livelli di porosità con l’obiettivo di accelerare i flussi d’aria e migliorare la ventilazione passiva (Fig.4).

Environmental Strategy Diagram Passive Strategy



Strategia energetica

La strategia energetica si basa, oltre che sull'idea di minimizzare i consumi di elettricità (per l'aria condizionata ecc.), ma anche sull'auto produzione di energia proveniente da fonti rinnovabili in funzione del fabbisogno degli utenti (Fig. 5).

In tal senso, in riferimento al recente report dell'IEA, abbiamo considerato un fabbisogno giornaliero di energia per uso domestico (illuminazione, cucina etc.) pari a 1.5 kwh / per persona (IEA, 2019). Allo stesso tempo abbiamo ipotizzato per la produzione di energia l'uso di un pannello fotovoltaico standard (dimensioni 1mx1,7m per 300 Wp) facilmente reperibile in loco (Fig. 6).

Con questa premessa abbiamo impostato parametricamente il nostro modello energetico in base ai risultati delle simulazioni sulla radiazione solare sulla superficie in copertura.

Questo per stimare il numero di pannelli fotovoltaici e localizzarne la posizione migliore per ottenere il massimo rendimento energetico.

Allo stesso tempo tale *tool* progettuale è pensato per fornire i dati dell'energia richiesta in base alla variazione dell'orientamento dell'edificio rispetto alle tre tipologie di famiglie tipo.

Strategia per l'acqua e la salute

Tenendo conto delle statistiche riguardo le forti precipitazioni nella regione equatoriale di Douala e allo stesso tempo la scarsa disponibilità di acqua pulita, il *form finding* relativo al tema dell'acqua si fonda su due questioni principali:

- distaccare l'unità abitativa dalla quota di calpestio del terreno per minimizzare il rischio inondazioni;
- configurare la forma del tetto in modo tale da raccogliere e purificare l'acqua piovana per un uso domestico.

African households' water use per person, we have considered the following criteria (UNFPA 2002):

- 30L daily water use per person for drinking, hygiene, cooking (filtered water)
- 20L daily water use per person for cleaning, irrigation, toilet.

Therefore, we have integrated a system of rainwater tanks underneath the house. The dimension and the capacity of the tanks are based on the different sizes and number of users: 2 persons / 100L, 4 persons / 200L, 6 persons / 300L (Fig. 7).

The relationship between water and health is also important. Waterborne diseases are prevalent in most developing regions and the WHO estimates higher mortality rates annually from diarrhoeal diseases alone (WHO, 2017).

Another major cause of deaths in the

region is malaria. Therefore, we have also developed another architectural low-tech strategy in order to minimise the risk of infection by integrating a layer of mosquito in the external skin of the house.

Conclusion

Due to the Covid-19 situation, unfortunately we couldn't develop the 1:1 scale prototype in Africa as we had planned to do at the very beginning of the project. Therefore, we have developed an alternative strategy to generate a digital parametric tool for designing and building a catalogue of possible variations of the African Off-grid House to upgrade informal settlements. The next steps of the research would focus on some of the following aspects (Fig. 8):

- digital manufacturing protocol for some of the construction compo-

nents of the house as well as for the terracotta bricks' production

L'idea di costruire la casa su pilotis è funzionale anche alla strategia di ventilazione passiva oltre che alla possibilità di generare opportunità spaziali per depositi e/o piccole attività commerciali. Allo stesso tempo in riferimento all'ultimo report delle Nazioni Unite sui consumi domestici pro-capite delle famiglie africane abbiamo considerato i seguenti parametri (UNFPA, 2002):

- 30 litri di acqua al giorno a persona per bere, igiene intima e cucinare (acqua filtrata);
- 20 litri di acqua al giorno per le pulizie domestiche, irrigazione e wc.

In tal senso abbiamo integrato all'interno dell'unità abitativa un sistema di serbatoi collegati al tetto e disposti al di sotto dell'abitazione stessa. La dimensione e capacità dei serbatoi è in funzione del numero di utenti: 2 persone/100 litri, 4 persone /200 litri. 6 persone/ 300 litri (Fig. 7).

La relazione tra l'accesso all'acqua pulita e le condizioni igienico sanitarie degli abitanti è molto importante. Le malattie trasmesse dall'acqua sono prevalenti in molte delle regioni in via di sviluppo e l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima numerosi morti causati della diarrea e malattie collegate. (WHO, 2017).

Un'altra tra le maggiori cause di morte nella regione di Douala è la malaria. Per questo motivo abbiamo predisposto una strategia *low-tech* al fine di minimizzare il rischio di infezione integrando nella *skin* dell'involucro esterno una zanzariera.

Conclusioni

A causa del Covid-19 purtroppo non è stato possibile sviluppare il prototipo scala 1 a 1 inizialmente previsto.

Pertanto, è stata sviluppata una strategia alternativa realizzando uno strumento parametrico per la progettazione e la costru-

ture and Cities of the University of Westminster, as well as Prof. Izzet Kale, the College Institute and Research Director, and the whole Research Office for supporting our proposal for the Global Challenges Research Fund (GCRF) powered by the UKRI. We would also like to thank Alvis Simonetti and Conor Black from Arup and Vincent Kitio from UN-Habitat who helped us a lot with their very useful advice despite their busy schedules. We hope this will be the first step in our very promising collaboration project.

nents of the house as well as for the terracotta bricks' production

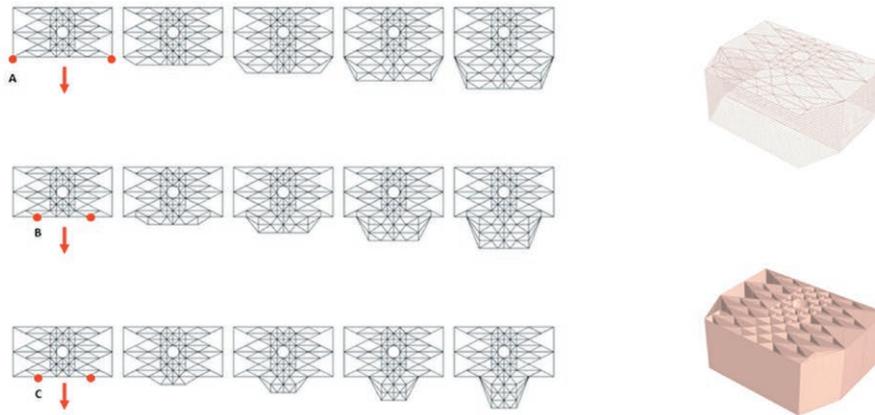
- a scalability strategy in order to analyse how more houses could generate micro-grid systems, sharing several facilities
- house actualisation according to a hot-dry climatic scenario
- a knowledge transfer online page to share with different African stakeholders and organisations
- cost analysis of the single AOH unit according to the African benchmark.

For these reasons, we are also discussing possible partnerships with engineering firms, UN-Habitat and other possible African partners.

Acknowledgement

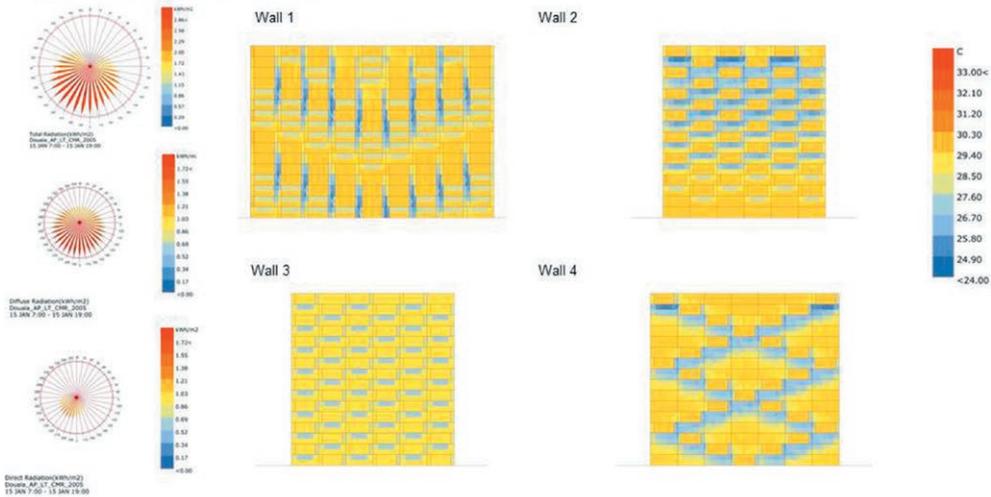
The research team would like to express its gratitude to Prof. Harry Charrington, Head of the School of Archi-

Brick Shape + Internal Pattern

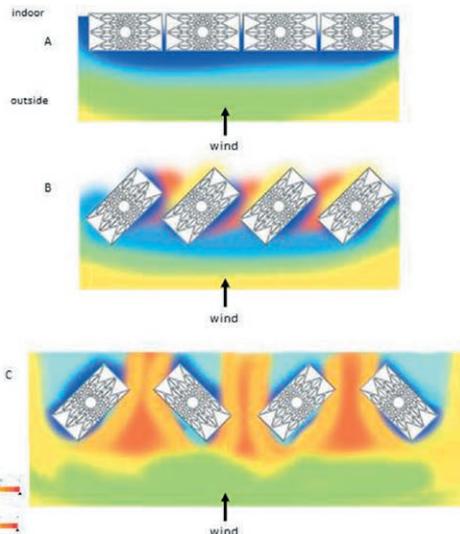
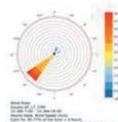


Solar radiation analysis.

South orientation
 Location: Douala 15 Jan 6:00 – 18:00



**Angle of rotation
 Ventilation Analysis**



zione di un catalogo di possibili variazioni dell'african off-grid house per migliorare la qualità della vita nei quartieri spontanei. In tal senso i prossimi step della ricerca si concentreranno sui seguenti temi (Fig. 8):

- lo sviluppo di un protocollo di fabbricazione digitale per la realizzazione di alcuni componenti costruttivi tra cui i mattoni in terracotta;
- una strategia sul tema della scalabilità del progetto al fine di capire come più abitazioni posso generare un sistema *mini-grid* mettendo in condivisione alcuni servizi;
- lo sviluppo di una versione di unità abitativa per un clima caldo e arido;
- lo sviluppo di un blog per il *knowledge transfer* da condividere in rete con diverse istituzioni e imprese africane;
- uno studio di fattibilità economica per la singola unità abitativa come parametro di riferimento per il mercato africano.

Per questo motivo stiamo discutendo possibili partenariati con studi di ingegneria, Un-Habitat e altri potenziali partner tra Europa e Africa.

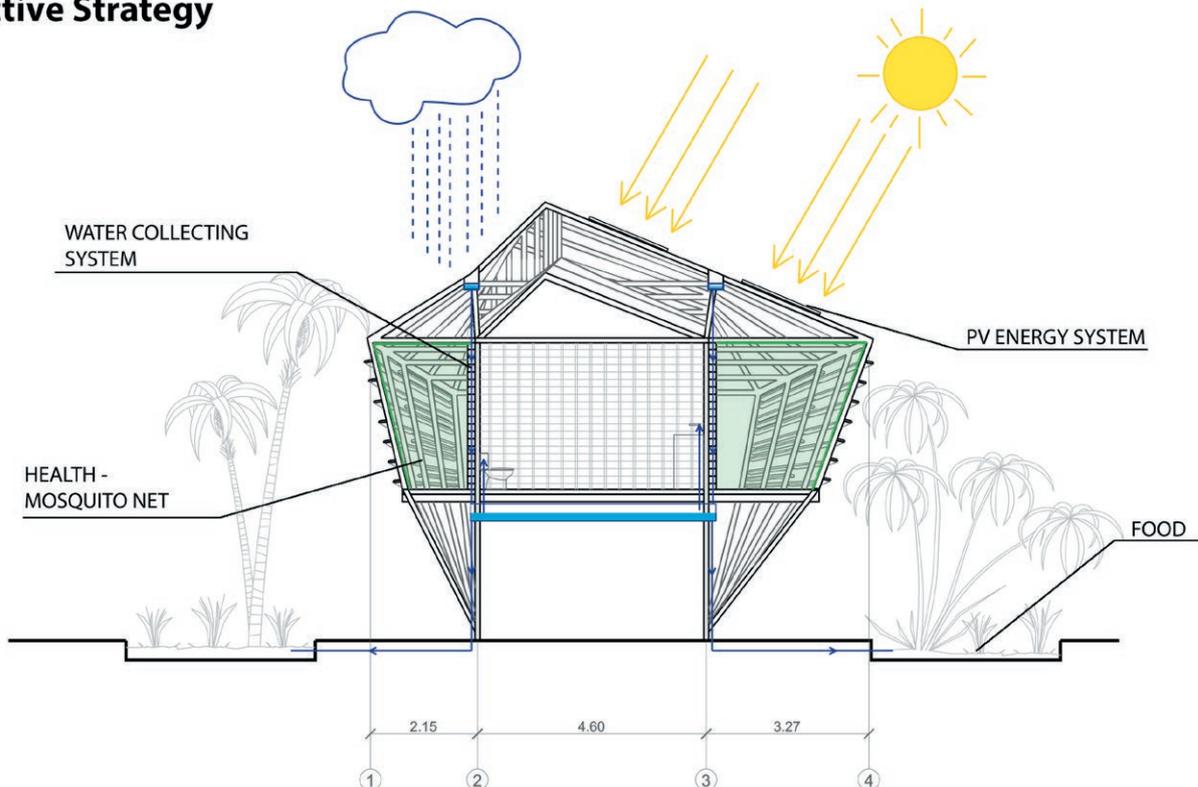
RINGRAZIAMENTI

Il team di ricerca intende ringraziare il preside della Scuola di Architettura dell'Università di Westminster Prof. Harry Charrington, il Prof. Izzet Kale e tutto lo staff del Research Office per aver supportato la nostra proposta per il Global Challenges Research Fund (GCRF) finanziato da UKRI. Ci teniamo anche a ringraziare Alvis Simondetti e Conor Black di Arup e Vincent Kitio di UN-Habitat per il loro supporto.

REFERENCES

- IEA (2020), "Africa energy outlook 2019", available at: <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019>.
- UNECA (2016), "The Demographic Profile of African Countries", available at: https://www.uneca.org/sites/default/files/PublicationFiles/demographic_profile_rev_april_25.pdf.
- World Bank (2015), "Stocktaking of the Housing Sector in Sub-Saharan Africa", available at: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Africa/Report/stocktaking-of-the-housing-sector-in-sub-saharan-africa-summary-report.pdf>.
- WMO (2019), "Annual Report of the Climate Risk and Early Warning Systems", available at: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/advances-highlighted-climate-risk-early-and-warning-systems>.

05 | Environmental Strategy Diagram Active Strategy



Beguín J.P., Kalt M., Leroy J.L., Louis D., Macary J., Pelloux P. and Peronne H.N. (1952), "L'habitat du Cameroun", Paris, France: publication de l'office de la recherche Scientifique Outre-Mer; Edition De L'union Francaise.

UNFPA (2003), "Global Population and water", available at: <https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/globalwater.pdf>.

WHO (2017), "Diarrhoeal disease", World Health Organization, available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>.

Dadonaite B. (2019), Our World in Data, "Diarrheal diseases are one of the biggest killers of children worldwide", available at: <https://ourworldindata.org/childhood-diarrheal-diseases>.

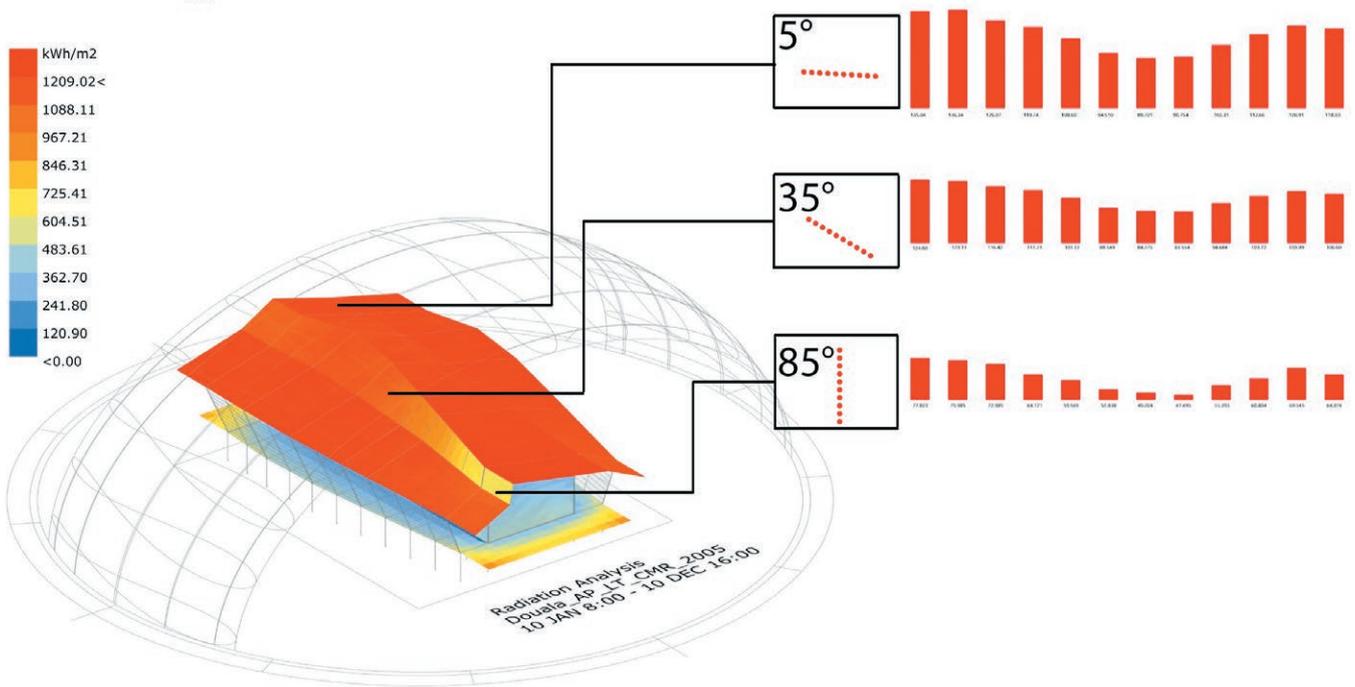
World Bank (2015), "Stocktaking of the Housing Sector in Sub-Saharan Africa", available at: <https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/>

document/Africa/Report/stocktaking-of-the-housing-sector-in-sub-saharan-africa-summary-report.pdf.

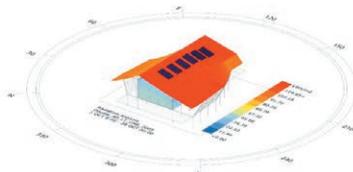
Domusweb (2018), "The first digital manufacturing laboratory for architecture and design in Africa", available at: https://www.domusweb.it/en/design/2018/12/26/the-first-digital-manufacturing-laboratory-for-architecture-and-design-in-africa.html?fbclid=IwAR1vCztW_IyCwbTYkgCjiwnm9wCS1wKi7E3NaNcsJYWXJYCACMU-F4IMTM58.

UK Ministry of Housing, Communities and Local Government (2020), "Permitted development homes to meet space standards", available at: <https://www.gov.uk/government/news/permitted-development-homes-to-meet-space-standards>.

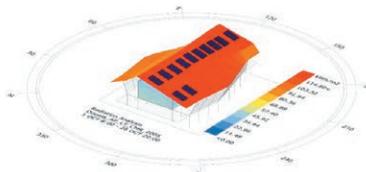
Active strategy- PV localization



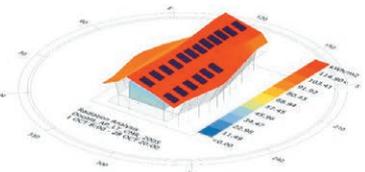
Small 42 sqm
2 persons
6PV panels = 3Kwh/day



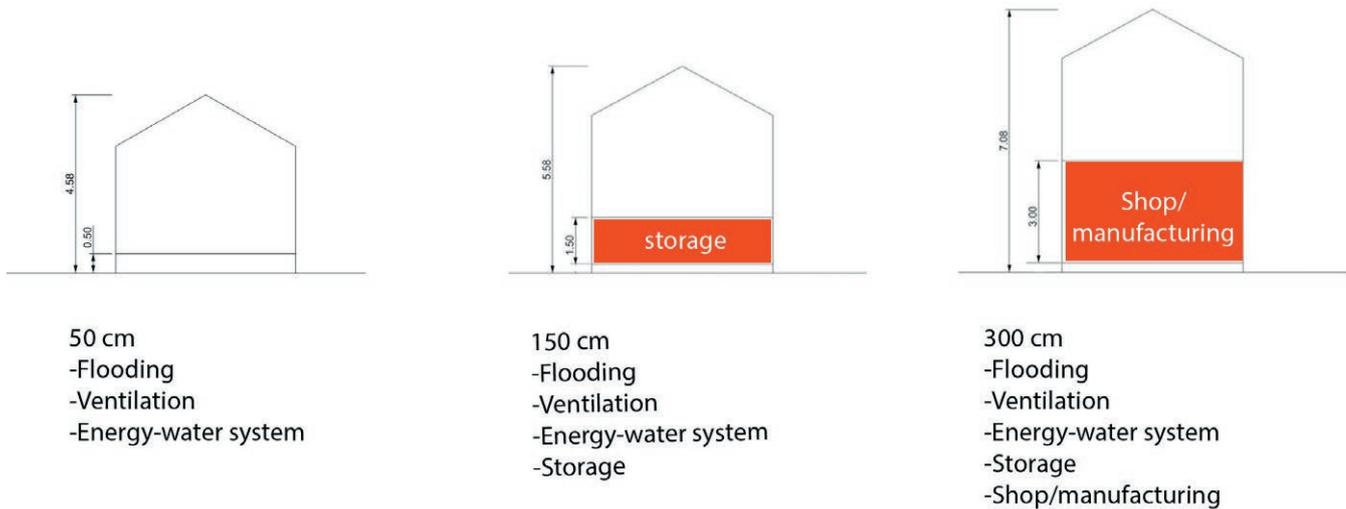
Medium 62 sqm
4 persons
12 PV panels = 6Kwh/day



Large 76 sqm
6 persons
18 PV panels = 9Kwh/day



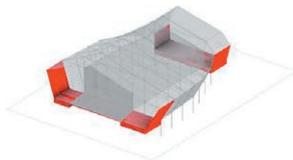
07 | **volume/ floors/ programs**



Active strategy – water collecting and stocking

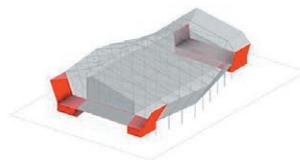
Small 42 sqm

2 persons
Daily water use per person 30L
Drink, hygiene, cooking (filtered water)
Daily water use per person 20L
Cleaning, toilet, irrigation
Rainwater tank 100L capacity



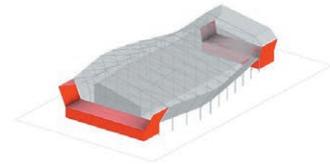
Medium 62 sqm

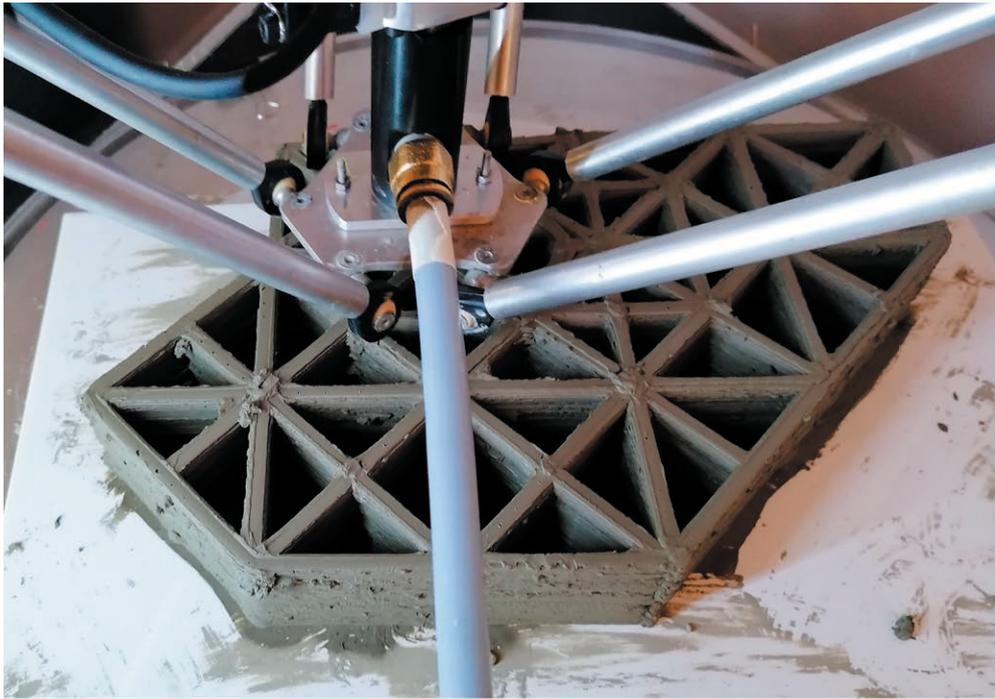
4 persons
Daily water use per person 30L
Drink, hygiene, cooking (filtered water)
Daily water use per person 20L
Cleaning, toilet, irrigation
Rainwater tank 200L capacity



Large 76 sqm

6 persons
Daily water use per person 30L
Drink, hygiene, cooking (filtered water)
Daily water use per person 20L
Cleaning, toilet, irrigation
Rainwater tank 300L capacity





| 08

