

Politecnico di Torino

# IL SISTEMA DI COPERTURA IN CONTESTI RURALI TROPICALI A RISORSE SCARSE

## STUDIO E PROGETTO DI UNA SCUOLA ELEMENTARE IN SENEGAL, AFRICA

Relatore  
**Francesca De Filippi**

Correlatore  
**Simonetta Pagliolico**

Collaboratore  
**Roberto Pennacchio**

Candidata  
**Giulia Barucci**







**Politecnico  
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in  
**Architettura per la Sostenibilità**

aa 2023-2024

Sessione di Laurea  
**Settembre 2024**

## **IL SISTEMA DI COPERTURA IN CONTESTI RURALI TROPICALI A RISORSE SCARSE**

**Studio e progetto di una scuola elementare  
in Senegal, Africa**

Relatore  
**Francesca De Filippi**

Correlatore  
**Simonetta Pagliolico**

Collaboratore  
**Roberto Pennacchio**

Candidata  
**Giulia Barucci**

*"Per me fare architettura significa fare un tetto,  
disegnare una copertura, offrire un riparo.  
L'ho fatto alle più diverse latitudini, per il suo significato sia funzionale  
sia simbolico che il tetto riveste come struttura protettiva.  
In particolare, in questo caso e in questa terra d'Africa,  
dove il tetto è il rifugio primordiale, il riparo per eccellenza:  
qui un tetto serve a procurare ombra,  
ma anche a proteggere dall'acqua e poi a produrre energia."*

**Renzo Piano**

## **ABSTRACT** *\_Italiano*

*Sistema di copertura; Clima tropicale; Africa rurale, Strumento di Supporto alla Progettazione*

L'esperienza progettuale svolta tramite la partecipazione al Concorso di Architettura Kaira Loro 2023, è stata preziosa per inquadrare una criticità specifica nel contesto climatico e marginale del bando. L'analisi dello stato dell'arte ha evidenziato come i fattori climatici del contesto tropicale possano notevolmente influenzare le prestazioni funzionali del sistema di copertura.

Inoltre, il costruito esistente nelle aree rurali dell'Africa è attualmente in trasformazione; in particolare i rivestimenti e le coperture in paglia vengono frequentemente sostituite con lamiere metalliche per le esigenze legate alla durabilità ed alla disponibilità e per l'aspetto socio-culturale che associa la lamiera ad un simbolo di modernità e progresso.

L'instabilità climatica e le limitate risorse delle comunità locali influenzano le prestazioni delle coperture e comportano rischi per il benessere, la salute e la sicurezza degli occupanti e per la sostenibilità ambientale.

Il lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare le configurazioni costruttive del contesto rurale tropicale africano allo scopo di individuarne le esigenze e di elaborare uno Strumento di Supporto alla Progettazione per i sistemi di copertura. Lo SSP, che si configura come un framework e che mette a sistema i requisiti funzionali e le soluzioni tecnologiche, è orientato all'ottimizzazione delle prestazioni dell'elemento costruttivo in relazione alle esigenze abitative, climatiche e ambientali, ed alla valorizzazione delle risorse e delle capacità locali.

La prima fase di tesi si concentra sulla revisione della letteratura scientifica relativa all'unità tecnologica ed al contesto di riferimento. In seguito, è stata sviluppata la struttura dello strumento in relazione a indicatori specifici e soluzioni tecnologiche, bioclimatiche e materiche di natura qualitativa. Il lavoro sui casi studio è utile per testare i criteri di valutazione dello strumento e per tradurre in esempi pratici le soluzioni consigliate. Infine, l'iter metodologico dello strumento viene messo alla prova sul progetto presentato al concorso di architettura Kaira Loro 2023, restituendo una visione chiara ed immediata delle soluzioni progettuali e guidando l'evoluzione del progetto.

In conclusione, l'applicazione dello strumento ai casi studio ed alle modifiche del progetto presentato per il bando evidenzia la mancanza di un metodo rigoroso di applicazione dello strumento, ma testimonia la validità del supporto che lo strumento offre al progettista. Infatti, lo SSP elabora un linguaggio che restituisce una visione chiara delle conseguenze prestazionali positive e negative delle scelte progettuali assunte. Gli sviluppi futuri suggeriti per lo SSP riguardano la creazione di un metodo per l'applicabilità delle soluzioni progettuali e l'aggiunta di range quantitativi per gli indicatori.

## **ABSTRACT** *\_English*

*Roofing system; Tropical Climate; Rural Africa, Design Support Tool*

The design experience gained through participation in the Kaira Loro Architecture Competition 2023 has been invaluable in identifying a specific issue within the climatic and marginal context of the competition. The state-of-the-art analysis highlighted how the climatic factors of the tropical context can significantly influence the functional performance of the roofing system.

Additionally, the existing built environment in rural areas of Africa is currently undergoing transformation; in particular, thatched roofs and coverings are frequently being replaced with metal sheets to meet the needs for durability and availability and for the socio-cultural aspect that associates metal sheets with a symbol of modernity and progress.

Climatic instability and the limited resources of local communities influence the performance of roofs and pose risks to the well-being, health, and safety of occupants as well as to environmental sustainability.

The thesis aims to analyze the construction configurations of the tropical rural African context in order to identify its needs and to develop a Design Support Tool (DST) for roofing systems. The DST, configured as a framework that integrates functional requirements and technological solutions, is aimed at optimizing the performance of the construction element in relation to housing, climatic, and environmental needs, and at enhancing local resources and capabilities.

The first phase of the thesis focuses on the review of the scientific literature related to the technological unit and the reference context. Subsequently, the structure of the tool was developed in relation to specific indicators and technological, bioclimatic, and material solutions of a qualitative nature. The work on case studies is useful for testing the evaluation criteria of the tool and for translating the recommended solutions into practical examples. Finally, the methodological process of the tool is tested on the project presented at the Kaira Loro Architecture Competition 2023, providing a clear and immediate vision of the design solutions and guiding the project's evolution.

In conclusion, the application of the tool to case studies and the modifications of the project presented for the competition highlight the lack of a rigorous application method for the tool, but confirm the validity of the support it offers to the designer. Indeed, the DST develops a language that provides a clear vision of the positive and negative performance consequences of the design choices made. Future developments suggested for the DST include creating a method for the applicability of design solutions and adding quantitative ranges for the indicators.

## INDICE

Introduzione	1	Bibliografia	161
■ I CRITICITÀ INTERCONESSE TRA SISTEMI DI COPERTURA E CONTESTO	8	Sitografia	163
I.I La copertura nel contesto tropicale e rurale africano	9	■ III IL PROGETTO	166
1.1.1 Il clima tropicale	11	III.I Stato di fatto: Concorso di Architettura Kaira Loro 2023	167
1.1.2 L'ambiente costruito nel contesto rurale	13	3.1.1 Linee guida del concorso	169
I.II Rischi e vulnerabilità	15	3.1.2 Diagramma di flusso	171
1.2.1 Densificazione rurale	17	III.II INputs del progetto	173
1.2.2 Povertà e scarsità	19	3.2.1 Inquadramento territoriale e verifica del perimetro di applicazione	175
<i>Hazards naturali</i>	23	3.2.2 Fattori climatici	181
1.2.3 Rischi per la dimensione umana	25	3.2.3 Hazards naturali	185
<i>Salute e benessere</i>	25	3.2.4 Risorse disponibili	187
<i>Safety</i>	33	III.III OUTcomes e OUTputs del progetto	189
1.2.4 Rischi per la dimensione ecologica	37	3.3.1 Informazioni di progetto	191
Bibliografia	41	3.3.2 Spazi salubri e confortevoli	201
■ II STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE	44	3.3.3 Spazi sicuri	217
II.I Presentazione dello Strumento di Supporto alla Progettazione	45	3.3.4 Salvaguardia ambientale	223
2.1.1 Definizione del perimetro di applicazione	49	Allegato A	237
2.1.2 INputs	55	Bibliografia e Sitografia	239
<i>Definizione delle variabili meteorologiche</i>	55	Conclusioni	241
<i>Definizione degli hazards naturali</i>	57		
2.1.3 OUTcomes e OUTputs	59		
<i>Spazi salubri e confortevoli</i>	63		
<i>Spazi sicuri</i>	75		
<i>Salvaguardia ambientale</i>	89		
II.II Casi studio	115		
2.2.1 Presentazione dei casi studio	117		
2.2.2 L'esperienza a Gando	121		
2.2.3 Altri casi studio	143		

All'interno del perimetro dell'Africa tropicale e rurale, i fattori che influenzano lo stato del costruito riguardano principalmente l'**eccessiva intensità delle variabili meteorologiche** e la **natura finita delle risorse ecologiche**<sup>1</sup>.

La partecipazione al **Concorso di Architettura Kaira Looro 2023** ha rappresentato un'occasione per avvicinarsi alle criticità del territorio tropicale africano ed ai temi della progettazione in contesti a risorse scarse. Quindi, la fase di progetto per la scuola elementare per le aree rurali della Casamance in Senegal, classificata come finalista, rappresenta un lavoro preliminare durante il quale nasce l'idea di approfondire il tema del sistema di copertura.

Superata la fase del Concorso di Architettura, è stato necessario definire le aree di interesse connesse al tema della copertura. Quindi, si è proceduto svolgendo una **revisione della letteratura scientifica**. Per l'indagine sono stati selezionati soltanto gli articoli accademici incentrati sui sistemi di copertura in contesti tropicali in Via di Sviluppo. L'analisi ha evidenziato l'attualità del tema e le **motivazioni abitative, ambientali, climatiche e socio-culturali** che hanno spinto gli autori ad indagare **le condizioni prestazionali del sistema di copertura**. In particolare, le condizioni climatiche estreme richiedono soluzioni di copertura resistenti e durevoli, mentre le limitate ed inadeguate risorse materiche e finanziarie delle comunità locali impongono soluzioni materiche in grado di garantire durabilità e ridotta manutenzione. Di conseguenza, la ricerca evidenzia come la **lamiera metallica** emerga come una **soluzione chiave** per i bisogni locali; inoltre, la trasformazione materica del panorama edilizio è dovuta anche al simbolo di modernità e progresso che la lamiera rappresenta. Infine, la ricerca sottolinea come il tema della copertura applicato al perimetro di tesi sia ancora scarsamente indagato.

Mentre gli articoli scientifici si concentrano su caratteristiche prestazionali specifiche, il lavoro di tesi affronta il tema della copertura con un approccio olistico. L'**obiettivo** consiste nell'**indagare le interazioni tra il sistema di copertura ed i fattori climati, e gli hazards naturali, e di come le conseguenze di tale rapporto possono ribaltarsi sull'essere umano e sul territorio**. Lo studio delle criticità di contesto aiuta a definire il quadro esigenziale del sistema di copertura che si traduce in un approccio metodologico multi-scalare.

Ne consegue che l'operare in aree di **povertà** e di **instabilità climatica**, in cui si hanno a disposizione capacità limitate, sfida il paradigma convenzionale della progettazione ad alta intensità di risorse ed obbliga a perseguire un approccio metodologico, nel quale le potenzialità di un territorio e di una comunità possano essere valorizzate ai fini dello **sviluppo sostenibile**<sup>2</sup> e della resilienza locale.

Occorre precisare che i campi tematici affrontati in tesi possono essere dispersivi e sembrare apparentemente disconnessi. Per questo motivo, si procede presentando la **struttura della tesi** tramite gli obiettivi, che delimitano i campi di interesse della ricerca, e la metodologia per descrivere le fasi con cui si affrontano le varie tematiche.

1 Tim Jackson, *Prosperity Without Growth. Economics for a Finite Planet*, UK e USA: Earthscan, 2009

2 Commissione Mondiale sull'Ambiente e sullo Sviluppo, *Our Common Future*, Rapporto Brundtland, 1987

### Obiettivi principali

Gli obiettivi di tesi sono stati costruiti sul perimetro della ricerca:

#### 1

3 I **5 fattori climatici** più influenti riguardano: la **temperatura** e le **precipitazioni**, la **radiazione solare**, l'**umidità** ed il **vento**. Questi sono stati dedotti dalle due fonti bibliografiche: Victor Olgay, **Progettare con il clima. un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico**, Franco Muzzio & c. editore, 1981. Salvatore De Pascalis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccovio, 2001, Palermo

Nel contesto tropicale, il sistema di copertura è l'unità tecnologica più esposta agli agenti atmosferici. Per questo motivo, il primo obiettivo consiste nell'**indagare lo stretto rapporto tra i fattori climatici<sup>3</sup> più influenti nel contesto tropicale ed il sistema di copertura**, al fine di inquadrare **strategie progettuali in grado di migliorare le prestazioni del sistema di copertura**.

#### 2

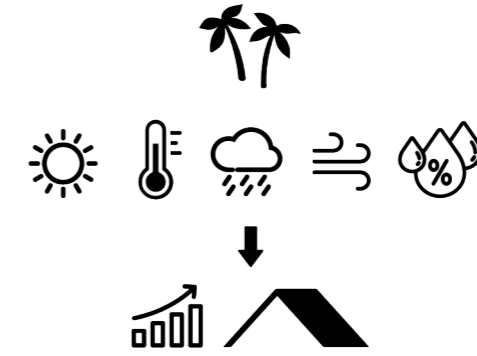
Le soluzioni tipologiche dello stato del costruito differiscono quando si tratta di contesto urbano e contesto rurale. In Africa, i sistemi di copertura nel contesto rurale stanno cambiando. L'uso diffuso dei rivestimenti in lamiera metallica è spesso determinato da una combinazione di fattori economici, pratici, climatici e culturali che rendono questa soluzione progettuale inevitabile. Di conseguenza, il secondo obiettivo consiste nel **trovare soluzioni tipologiche adatte a sistemi di copertura con rivestimento in lamiera nel contesto rurale africano**.

#### 3

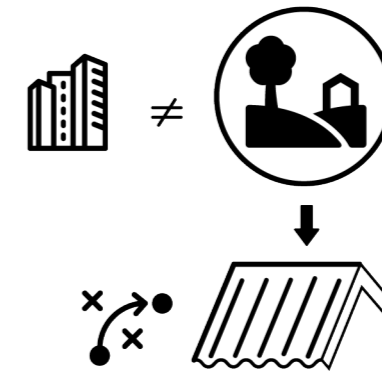
Nel contesto rurale e tropicale africano, le strategie progettuali possono essere influenzate da altre variabili, quali gli hazards naturali, la scarsità e la povertà. Gli hazards naturali e gli impatti imputabili all'essere umano possono influenzare negativamente le prestazioni del sistema di copertura. Di conseguenza, la vulnerabilità dei sistemi di copertura comporta un rischio per l'essere umano ed il sistema ecologico. Per questo motivo, il terzo obiettivo consiste nell'**indagare come gli hazards naturali possono impattare sulle prestazioni del sistema di copertura e di come la vulnerabilità del sistema umano ed ecologico possono influenzare le scelte progettuali**.



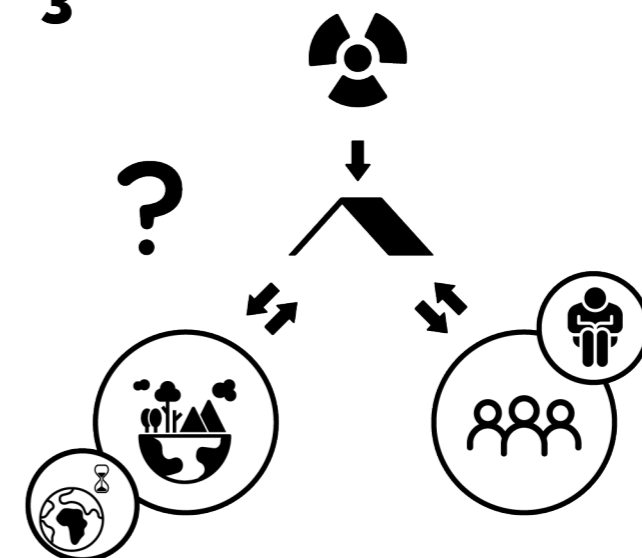
#### 1



#### 2



#### 3

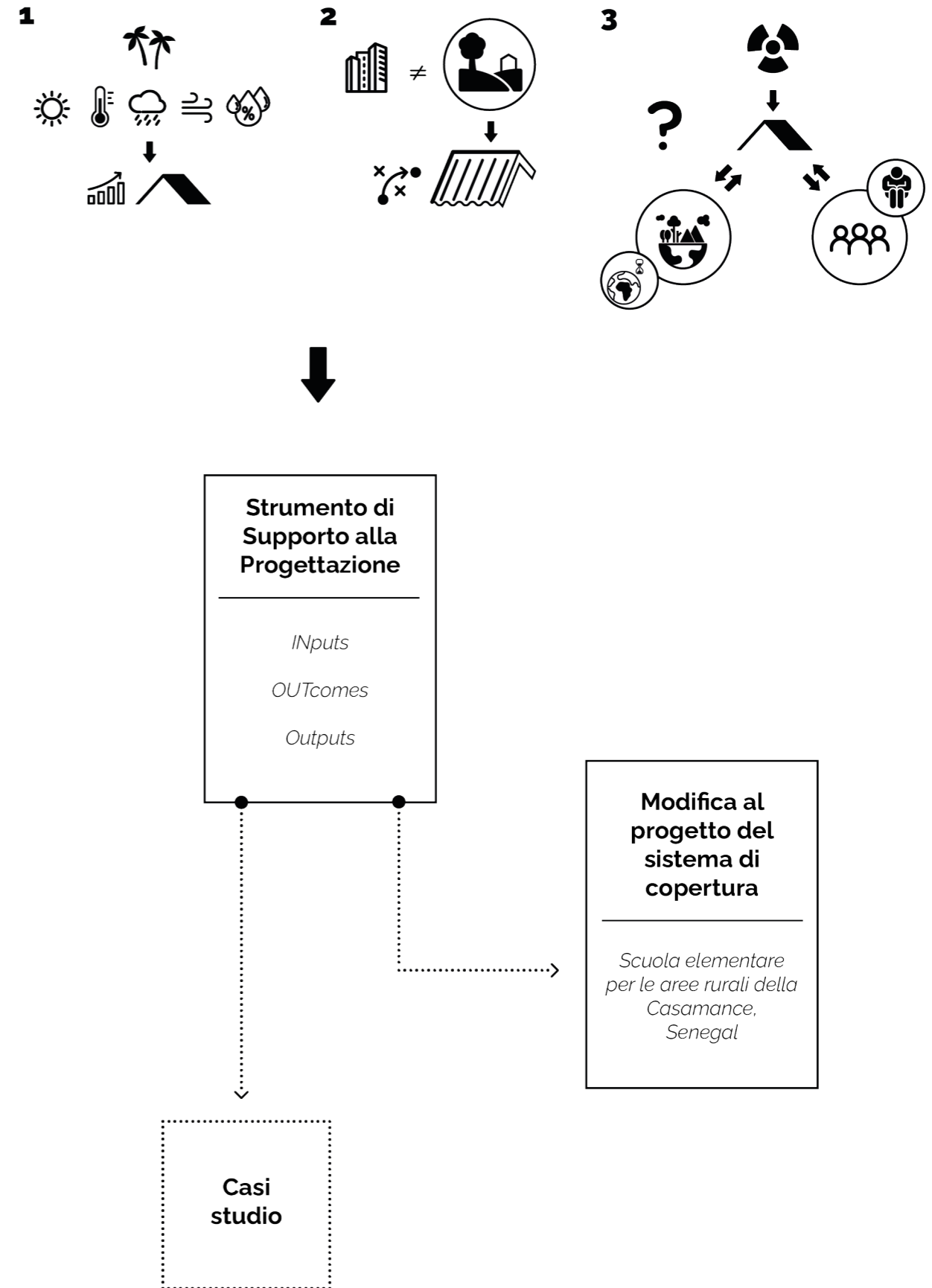


**Obiettivo specifico, fasi e metodologia:**

L'**obiettivo specifico** consiste nel creare di uno Strumento di Supporto alla Progettazione, valido nel perimetro di ricerca, in grado di tradurre le criticità di contesto in requisiti specifici per il sistema di copertura. Le strategie qualitative fornite dallo strumento dovrebbero pilotare la progettazione in favore del benessere e della sicurezza dell'uomo e della salvaguardia ambientale.

Il **metodo** di raccolta delle informazioni si basa su ricerche svolte sugli articoli scientifici e sulla letteratura esistente applicata nel perimetro di ricerca di tesi. Le **fasi** di lavoro, volte a costruire e testare lo Strumento di Supporto alla Progettazione, sono riportate di seguito.

1. Studio delle criticità di contesto per delineare gli **INputs** dello SSP;
2. Studio dei requisiti specifici del sistema di copertura ed elaborazione degli **OUTcomes** dello SSP;
3. Classificazione delle strategie qualitative per funzione ed elemento o intero sistema di copertura e raccolta degli **OUTputs** dello SSP;
4. Studio sui **casi studio** per basarsi sull'evidenza e tradurre le strategie qualitative in soluzioni progettuali applicate;
5. Il **nuovo progetto per il sistema di copertura della scuola primaria per le aree rurali della Casamance, in Senegal** e verifica delle soluzioni progettuali adottate tramite lo SSP.





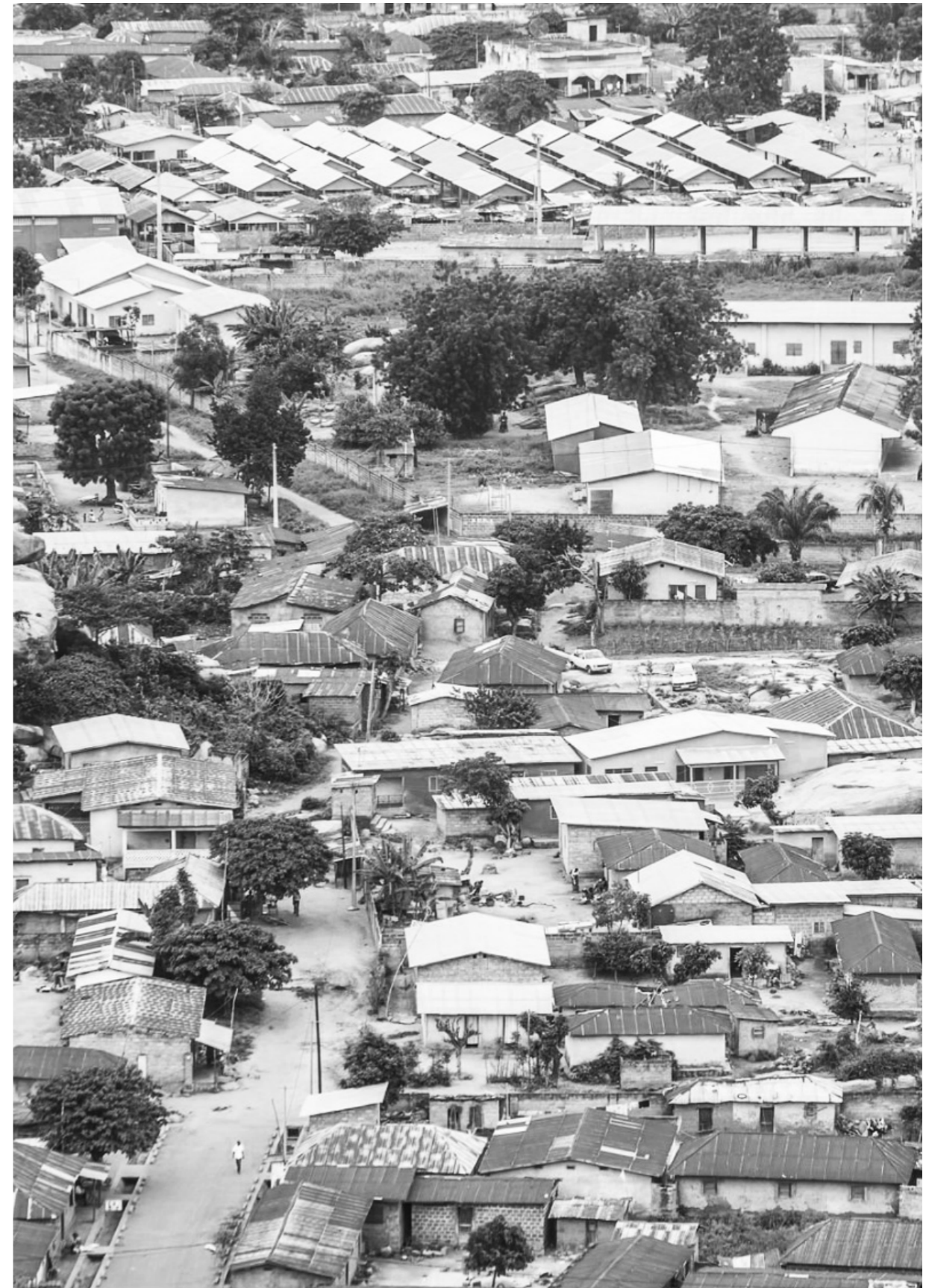
**CRITICITÀ  
INTERCONNESSE  
TRA  
SISTEMI DI  
COPERTURA E  
CONTESTO**



## LA COPERTURA NEL CONTESTO RURALE E TROPICALE AFRICANO



*Per comprendere le dinamiche che possono influenzare negativamente le esigenze legate ad un sistema di copertura, è necessario inquadrare l'unità tecnologica entro il perimetro in cui agisce la ricerca di tesi. Le interazioni che intercorrono tra copertura e contesto coinvolgono una complessità di fattori apparentemente disconnessi legati al clima, alle risorse, alle conoscenze tecniche, agli aspetti culturali ed economici. Anche se le cause si rivelano in discipline differenti, sono comuni e condivise.*



### 1.1.1 IL CLIMA TROPICALE

1 Victor Olgay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & c. editore, 1981, (pag. 1, 20)

Il problema di controllare il proprio ambiente e di creare delle condizioni favorevoli ai propri obiettivi e alle proprie attività accomuna gli abitanti a tutte le latitudini. Nella storia, il progetto architettonico ha rispecchiato le diverse soluzioni che ciascun periodo ha proposto per il perpetuo problema di assicurare un microambiente controllato all'interno di un macroambiente naturale<sup>1</sup>.

Ogni subsistema dell'edificio svolge un compito preciso in relazione alla sua funzione ed alla sua posizione<sup>2</sup>, in particolare, il **sistema di copertura** ha come funzioni principali quelle di **racchiudere** lo spazio e di **proteggere** le altre componenti dell'edificio e l'utente che ne usufruisce.

2 Norma UNI 8290-1:1981 Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia

Dollfus sottolinea che, nelle **aree a clima tropicale A**, definite dalla classificazione dei climi terrestri di Köppen (**Fig.1**), il tetto è più essenziale delle pareti, che talvolta possono mancare del tutto. La sua superficie di contatto con l'ambiente esterno è particolarmente estesa<sup>3</sup>, per questo reagisce sensibilmente agli agenti esterni, quali la radiazione solare, la temperatura e l'umidità, le precipitazioni ed il vento.

3 Deraman et al., *Production of roof Board Insulation Using Agricultural Wastes Towards Sustainable Building Material*, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 2022

#### Radiazione solare e temperatura

In questo contesto climatico, il sistema di copertura è l'unità tecnologica più esposta agli impatti della **radiazione solare**<sup>4</sup>. Nel 2013, Solar GIS ha presentato una mappa mondiale della radiazione orizzontale globale, in cui si dimostra che le zone che ricevono più di 7 kWh/m<sup>2</sup> corrispondono alle aree inquadrare tra il Tropico del Cancro e l'Equatore.

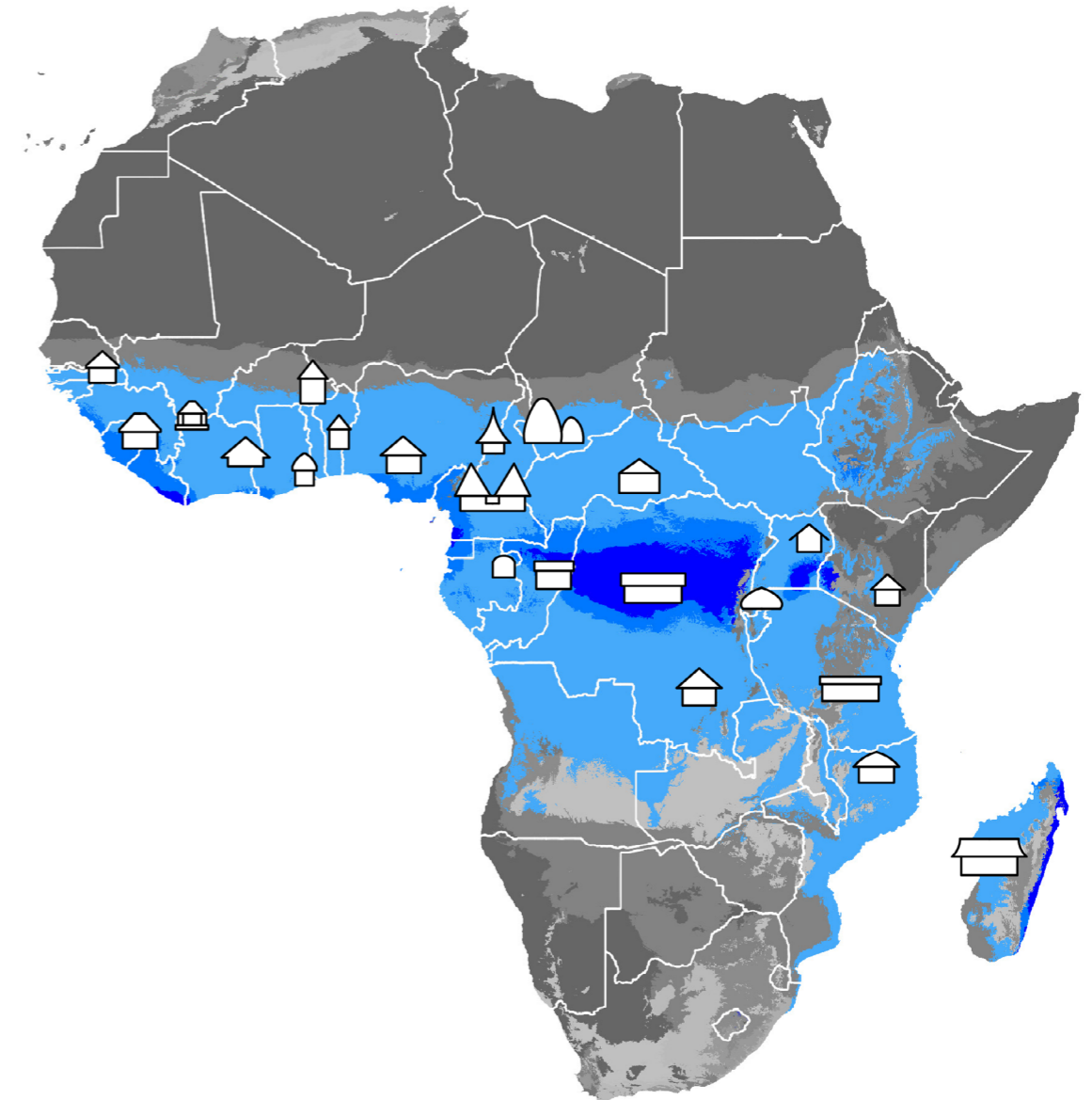
Qui i **carichi termici** sono particolarmente elevati, infatti, la temperatura minima che si registra nel mese più freddo durante la stagione secca si aggira intorno ai 18 °C, mentre nella stagione delle piogge la temperatura può arrivare a superare i 40 °C.

4 Hodo-Abalo et al., *Performance of a planted roof as a passive cooling technique*, Renewable Energy, 2012

Secondo Chavez e Texeira, la maggiore quantità di energia termica assorbita per spazio abitabile è dovuta al flusso di calore che attraversa il tetto. La proporzione di guadagno termico attraverso il tetto avviene per l'80% attraverso la radiazione ed il resto tramite conduzione e convezione<sup>3</sup>. Per questo, molti studi testimoniano la difficoltà nell'individuare strategie progettuali per i sistemi di copertura che garantiscano al tempo stesso lo sfruttamento della luce naturale e la riduzione dell'accumulo di calore.

#### Precipitazioni, vento e umidità

Il clima tropicale caldo-umido relativo alla zona climatica A si definisce anche in base alle **abbondanti precipitazioni** medie mensili, che durante la stagione delle piogge superano i 60 mm. Questo fenomeno è spesso associato ad **elevati livelli di umidità atmosferica**. A causa di questa umidità, insieme alle alte temperature, l'aria tende ad essere stabile, il che significa che tendenzialmente la **velocità dell'aria** è molto **ridotta**. Di conseguenza, le precipitazioni



0 250 500 750 1.000 km

**Figura 1:** Classificazione Climatica Köppen, zona climatica tropicale A (colore) con le tipologie vernacolari abitative. Béguin J.P., Kalt M., Leroy D., Macary J., Pelloux Pierre, Péronne H.N., *L'Habitat au Cameroun*, ORSOM, Edition de l'Union Francaise, 1952



5 Sergio Croce, *Teoria e tecnologia delle coperture ad elevate prestazioni*, Rockwool tendono a cadere perpendicolarmente al terreno<sup>4</sup> e quindi ad impattare principalmente sulla copertura, in particolare sulle prestazioni di sistema e sui requisiti tecnici dei singoli componenti<sup>5</sup>.

### 1.1.2 L'AMBIENTE COSTRUITO NEL CONTESTO RURALE

6 Margani e Tardo, *Alternative Materials and Technological Solutions for Low-Income Housing in Tropical Africa*, Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, 2020 Negli ultimi decenni, in molti paesi dell'Africa tropicale, i materiali e i metodi di costruzione tradizionali sono stati sostituiti da tecnologie moderne che hanno cambiato radicalmente il settore dell'edilizia<sup>6</sup>. Nel contesto tropicale e rurale dell'Africa Sub-Sahariana, alcune di queste nuove strutture sono un design tradizionale migliorato costruito utilizzando materiali da costruzione industriali. Altre sono repliche di progetti edilizi urbani e spesso non riescono a soddisfare le particolari caratteristiche tecniche, biologiche, fisiche ed economiche delle zone rurali<sup>7</sup>.

7 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*, Roma, 2011 Mentre in passato era comune trovare solo piccole case di paglia o di fango, **oggi gli edifici murati con tetto in lamiera ondulata o tegole sono abbastanza comuni in molte aree rurali**. In particolare, la **sostituzione dei tetti tradizionali in paglia con i tetti metallici** è una delle trasformazioni più evidenti e rapide dell'Africa Sub-Sahariana<sup>8</sup> (Fig.2). Queste caratteristiche sono comuni a molte strutture in Africa, tra cui baraccopoli e insediamenti informali a basso reddito, nonché scuole e strutture sanitarie (Bidassey-Manilal et al., 2016; Naicker et al., 2017; Wright et al., 2019).

8 Tusting LS, Bisanzio D, Alabaster G, Cameron E, Cibulskis R, Davies M et al., *Mapping changes in housing in sub-Saharan Africa from 2000 to 2015*. Nature. 2019;568:391-4 I cambiamenti nel modo di costruire sono stati per lo più associati alla necessità di migliorare la resistenza, la durata, la sicurezza e ridurre la frequenza di manutenzione. Tuttavia, le soluzioni edilizie, copiate dai paesi più sviluppati, di solito si traducono in un cattivo adattamento alle condizioni climatiche tropicali<sup>9</sup> e rendono le abitazioni e gli edifici pubblici insostenibili e pericolosi dal punto di vista ambientale ed umano<sup>6</sup>.

9 Barbara Widera, *Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa*, Renewable and Sustainable Energy Review 140 (2021) 110736, pp 1



Figura 2: Contesto rurale Casamance, Senegal. Kaira Loro 2023 Images Materials

## RISCHI E VULNERABILITÀ



*In questa fase si comprende l'esposizione e la vulnerabilità delle comunità rurali e dell'ambiente in relazione ai rischi climatici per capire la gravità dei danni connessi ai sistemi di copertura.*

Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), il **rischio climatico** deriva in parte dal **pericolo riferito al potenziale verificarsi di eventi fisici legati al clima** o a **tendenze che possono causare danni e perdite**. La gravità degli impatti di eventi meteorologici e climatici estremi e non estremi **dipende** fortemente **dal livello di esposizione e vulnerabilità a tali eventi**. L'andamento dell'esposizione e della vulnerabilità è uno dei principali fattori che determinano i cambiamenti nel rischio di catastrofi e degli impatti quando il rischio si realizza.

- L'**esposizione** si riferisce all'inventario degli elementi in una zona in cui possono verificarsi eventi pericolosi. Quindi, se la popolazione e le risorse economiche non si trovassero in ambienti esposti potenzialmente pericolosi, non esisterebbe alcun problema di rischio catastrofe.
- La **vulnerabilità** si riferisce alla propensione degli elementi esposti quali gli esseri umani, i loro **mezzi di sussistenza** ed i **beni** a subire gli effetti avversi una volta influenzati dagli eventi di pericolo. La vulnerabilità è legata alla predisposizione, suscettibilità, fragilità, debolezze, carenze o mancanza di capacità che favoriscono effetti avversi sugli elementi esposti. Quindi, la vulnerabilità può essere vista come situazione specifica, interagendo con un evento pericoloso per generare rischio. Mentre la vulnerabilità è in genere un rischio specifico, alcuni fattori, come la **povertà** e la mancanza di reti sociali e meccanismi di sostegno sociale, aggravano o influenzano i livelli di vulnerabilità indipendentemente dal tipo di pericolo.

Nel contesto di tesi, lo stato dei sistemi di copertura genera un rischio per il **benessere**, la **sicurezza** dell'essere umano e per **l'ambiente**; quindi, amplifica le vulnerabilità del contesto a causa degli impatti climatici estremi e non estremi. In quest'ottica, si procede con un inventario non esaustivo di alcuni fattori legati alla povertà e alla scarsità del contesto rurale dell'Africa Sub-Sahariana in funzione dei pericoli climatici e delle criticità delle coperture.







### 1.2.2 POVERTÀ E SCARSITÀ

Secondo il World Development Indicator sviluppato dalla World Bank, le comunità rurali dell'Africa tropicale Sub-Sahariana vivono in Paesi classificati come "Lower-Middle Income" e "Low Income" (Fig.5), questo vuol dire che, nella prima categoria, il valore pro capite GNI (Gross National Income) è compresa tra 1,136 \$ e 4,465 \$, mentre nel secondo caso la soglia pro capite GNI è di 1,135 \$ o meno.

**GNI:** il reddito nazionale lordo pro capite è una misura economica che indica il reddito totale guadagnato dai residenti e dalle imprese di un Paese, compresi i redditi derivanti da fonti estere. Viene utilizzato come indicatore chiave per valutare la dimensione dell'economia di un paese e il suo livello di reddito pro capite.

La scarsità economica è solo uno dei fattori che influenza il contesto e, in questo caso, le risorse monetarie disponibili. Secondo il **Global MPI** (Multidimensional Poverty Index) 2023, la povertà colpisce in modo sproporzionato i Paesi a basso reddito (Fig.6) e la **povertà multidimensionale** è spesso più diffusa di quella monetaria estrema.

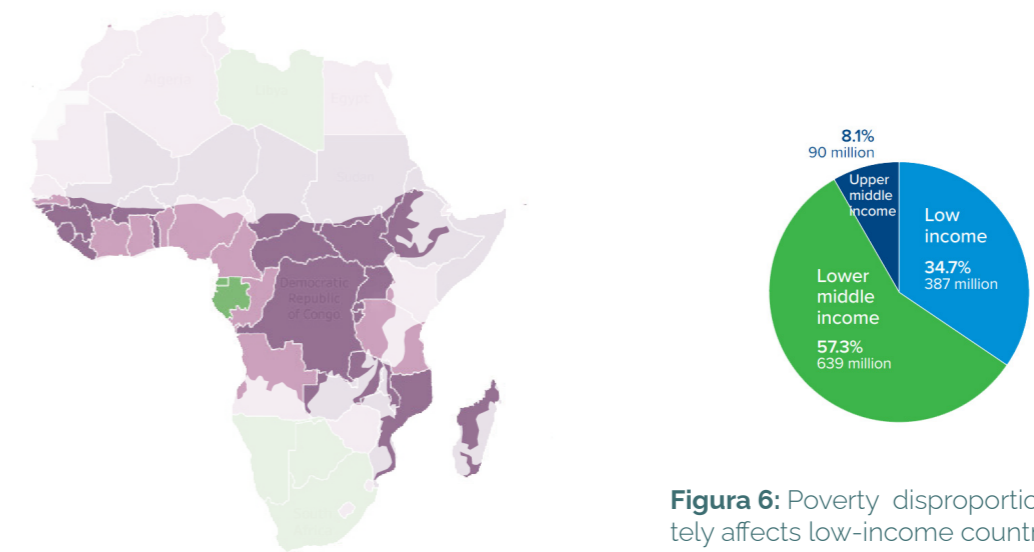
È chiaro che le vite umane sono colpite in diversi modi e che i modelli variano. Le persone che vivono in povertà multidimensionale sperimentano ordinariamente **più privazioni contemporaneamente**, 10 dei 12 milioni di poveri con i più alti punteggi di deprivazione (90-100%) vivono nell'Africa Sub Sahariana e **l'84% di tutti i poveri vive in aree rurali** (Fig. 7).



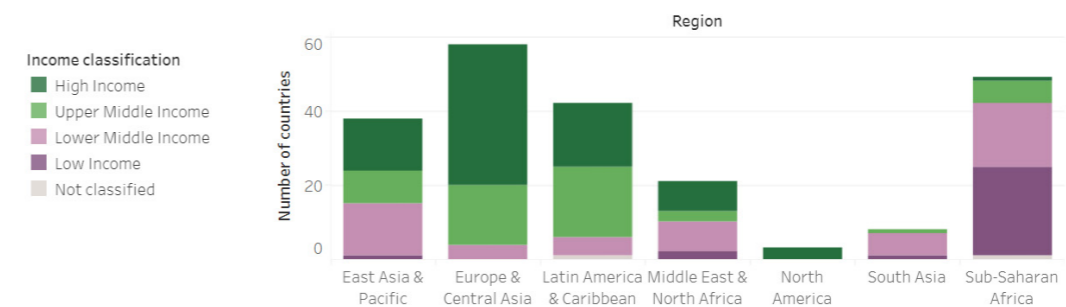
13 Sabina Alkire, Christoph Jindra, Gisela Robles and Ana Vaz, *Multidimensional Poverty in Africa*, OPHI Briefing 40, 2016

L'indice globale annuale di povertà multidimensionale (MPI) misura le privazioni interconnesse in materia di **salute, istruzione e standard di vita** che incidono direttamente sulla vita e sul benessere di una persona. Questi tre indicatori non sono distribuiti in egual misura all'interno dell'Africa Sub-Sahariana, infatti, come riportato nella **Figura 8**, le privazioni connesse agli standard di vita tendono ad essere più alte in Africa orientale e centrale; invece, in Africa occidentale prevale la mortalità infantile, la mancanza di anni di scolarizzazione e la bassa frequenza scolastica<sup>13</sup>. Questa analisi mostra le diverse sfide che le diverse regioni dell'Africa devono affrontare per sradicare la povertà e aiuta a comprendere i bisogni di una comunità che andranno ad arricchire il quadro esigenziale del sistema di copertura.

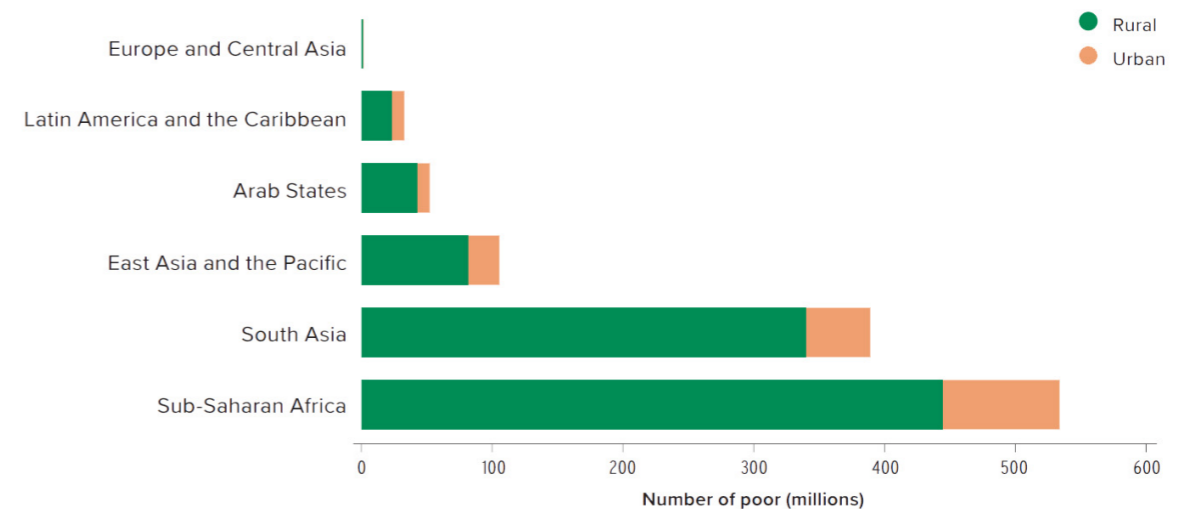
**AGENDA 2030 e SDG:** nel 2015 l'Agenda 2030 con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile si prefiggeva di superare la più grande sfida globale: porre fine alla povertà in tutte le sue forme.



**Figura 6:** Poverty disproportionately affects low-income countries. Global MPI 2023



**Figura 5:** World Bank Classification by income level <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-world-bank-country-classifications-income-level-2022-2023> (ult. cons. 12/03/2024)



**Figura 7:** Global MPI 2023

COUNTRY	MPI DATA SOURCE: Year	Multidimensional poverty		Percentage of people who are poor and deprived in...										Total number of indicators	Indicator(s) missing
		MPI	H Population in multidimensional poverty	Health		Education		Living Standards							
				Nutrition	Child mortality	Years of schooling	School attendance	Cooking fuel	Sanitation	Drinking water	Electricity	Housing	Assets		
Range 0-1	% Population	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop	% Pop		
Benin	2017-2018	0.368	66.80	35.62	10.36	44.34	35.68	66.35	64.48	37.31	55.08	42.91	17.69	10	
Bhutan	2010	0.175	37.34	12.69	12.73	29.74	8.66	27.84	22.09	3.26	20.57	30.86	18.68	10	
Botswana	2015-2016	0.073	17.22	12.33	0.87	3.96	3.22	16.38	13.96	3.92	15.48	9.06	10.79	10	
Burkina Faso	2010	0.523	84.19	47.40	16.99	68.40	58.41	83.62	76.53	41.30	81.75	71.74	13.58	10	
Burundi	2016-2017	0.409	75.10	50.60	7.86	42.57	24.04	74.85	45.71	42.78	73.51	70.60	53.26	10	
Cameroon	2018	0.232	43.59	26.78	8.34	19.12	19.37	42.98	33.44	26.88	34.57	36.98	22.03	10	
Central African Republic	2018-2019	0.461	80.41	43.94	11.97	46.26	30.73	79.97	75.45	61.04	75.09	75.45	64.73	10	
Chad	2019	0.517	84.17	44.62	14.77	57.96	55.50	82.01	77.55	46.98	80.80	80.36	44.38	10	
Congo	2014-2015	0.112	24.27	12.54	3.14	9.68	3.82	23.61	23.02	14.84	20.14	19.29	12.56	10	
Democratic Republic of Congo	2017-2018	0.331	64.52	38.78	7.19	16.45	23.00	63.82	59.74	50.72	57.68	59.24	48.69	10	
Cote d'Ivoire	2016	0.236	46.07	20.64	7.13	31.73	25.45	43.39	40.22	23.05	28.98	24.13	9.97	10	
Ethiopia	2019	0.367	68.74	26.87	4.00	38.22	31.00	68.26	64.78	46.80	57.28	67.53	54.97	10	
Gabon	2012	0.070	15.60	9.90	3.75	5.78	3.16	9.65	14.60	10.02	7.42	9.24	6.73	10	
Gambia	2019-2020	0.198	41.71	9.90	3.75	5.78	3.16	9.65	14.60	10.02	7.42	9.24	6.73	10	
Ghana	2017-2018	0.111	24.64	12.37	3.36	12.46	7.89	24.46	22.76	12.33	10.82	13.62	7.96	10	
Guinea	2018	0.373	66.21	35.73	12.09	46.08	39.86	65.74	55.43	36.97	49.00	39.21	24.18	10	
Guinea-Bissau	2018-2019	0.341	64.40	32.21	6.94	40.83	30.73	64.20	61.23	33.99	45.44	63.51	12.77	10	
Kenya	2014	0.171	37.48	20.57	3.53	9.95	5.39	36.81	32.95	26.92	34.95	37.41	20.04	10	
Liberia	2019-2020	0.259	52.32	24.63	6.06	25.57	18.89	51.81	46.84	22.81	47.84	36.57	35.41	10	
Madagascar	2021	0.386	68.42	35.69	5.58	47.82	25.34	68.24	64.43	52.57	58.24	58.81	49.09	10	
Mali	2018	0.376	68.33	32.21	11.84	46.42	46.47	67.70	52.05	33.71	43.52	60.48	8.32	10	
Mozambique	2019-2020	0.372	61.93	30.38		36.77	21.96	61.54	54.84	45.09	51.57	55.79	41.49	9	Child mortality
Namibia	2013	0.185	40.88	31.34	3.74	7.33	8.10	38.36	37.29	20.89	36.66	31.91	15.91	10	
Nigeria	2021	0.175	33.04		10.21	16.65	20.62	31.82	26.45	18.20	24.86	24.70	15.56	9	Nutrition
Rwanda	2019-2020	0.231	48.82		1.48	2.95	1.57	5.20	3.62	1.98	2.53	4.43	3.47	10	
Sao Tome and Principe	2019	0.048	11.71	4.59	0.79	7.09	3.44	9.30	10.95	3.35	7.03	0.45	7.42	10	
Senegal	2019	0.263	50.83	26.82	5.83	32.53	43.88	46.99	28.86	15.73	25.81	22.53	6.08	10	
Sierra Leone	2019	0.293	59.22	30.73	9.64	26.89	15.38	59.09	54.12	35.74	55.00	40.16	35.21	10	
Tanzania	2015-2016	0.284	57.07	32.51	5.87	12.27	25.69	56.88	53.60	43.34	55.14	47.37	26.15	10	
Togo	2017	0.180	37.61	17.65	4.92	19.06	11.25	37.42	35.95	22.51	29.69	24.80	14.28	10	
Uganda	2011	0.367	69.90	33.30	41.70	18.90	15.40	69.80	59.50	44.50	68.00	60.60	30.30	10	

Figura 8: Global MPI 2023, Paesi compresi nel perimetro di ricerca.

### Hazards naturali

La **povertà è uno dei principali fattori di vulnerabilità** delle persone ai rischi naturali e alle catastrofi naturali<sup>14</sup>. La loro vulnerabilità dipende sia dalla loro elevata dipendenza dalle risorse naturali che dalla loro capacità di far fronte alla variabilità climatica. Lo stato del costruito ed in particolare le criticità connesse alle coperture sono alcune delle variabili che generano un rischio per le comunità al verificarsi dei pericoli climatici

14 Hallegatte et al., *From Poverty to Disaster and Back: A review of the Literature*, Economics of Disasters and Climate Change, 2020

Non esiste una classificazione oggettiva degli hazards naturali, quindi si procede assumendo la categorizzazione e la terminologia riportata dalla UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk) (Fig.9).

Gli *hazards* possono essere di origine **naturale, antropica** o socionaturale. I pericoli naturali sono prevalentemente legati a processi e fenomeni naturali. In questo gruppo sono compresi i disastri climatici, meteorologici e biologici. I rischi antropogenici sono di diversa natura, ma sono comunque compresi all'interno degli hazards naturali.

I **fattori atmosferici** possono svolgere una varietà di ruoli nello sviluppo di una situazione pericolosa. Si può operare un'ampia distinzione tra i fenomeni che riguardano caratteristiche che **diventano pericoli solo se superano grandezze tollerabili entro o oltre certi limiti di tempo**, classificati come **disastri climatici** e quelli che comportano **l'impatto improvviso di grandi quantità di energia scaricate in periodi relativamente brevi** (Gentili, 1979), considerati **disastri meteorologici**.

I primi possono essere classificati come *Cumulative Hazards*, mentre la seconda tipologia rientra nei *Sudden-Impacy Hazards*.

I **rischi biologici** sono di origine organica o veicolati da vettori biologici, tra cui microrganismi patogeni, tossine e sostanze bioattive. Esempi sono batteri, virus o parassiti, nonché animali selvatici e insetti velenosi, piante velenose e zanzare portatrici di agenti patogeni.

I **rischi antropogenici**, o rischi indotti dall'uomo, sono indotti interamente o prevalentemente dalle attività e dalle scelte umane. Questo termine non include il verificarsi o il rischio di conflitti armati e altre situazioni di instabilità o tensione sociale soggette al diritto umanitario internazionale e alla legislazione nazionale.

I **rischi tecnologici** derivano da condizioni tecnologiche o industriali, procedure pericolose, guasti infrastrutturali o attività umane specifiche. Invece, gli impatti ambientali sono stati aggiunti perchè imputabili di rischi legati alla sfera ambientale. Nella ricerca di tesi, non saranno trattati i pericoli legati di origine socionaturale.

Nelle sezioni successive, gli hazards naturali saranno espressi in funzione degli impatti negativi sul sistema di copertura e connessi agli effetti legati alla sfera umana ed ambientale. I **rischi per l'essere umano impattano sulla salute ed il benessere** o sull'**incolumità**.

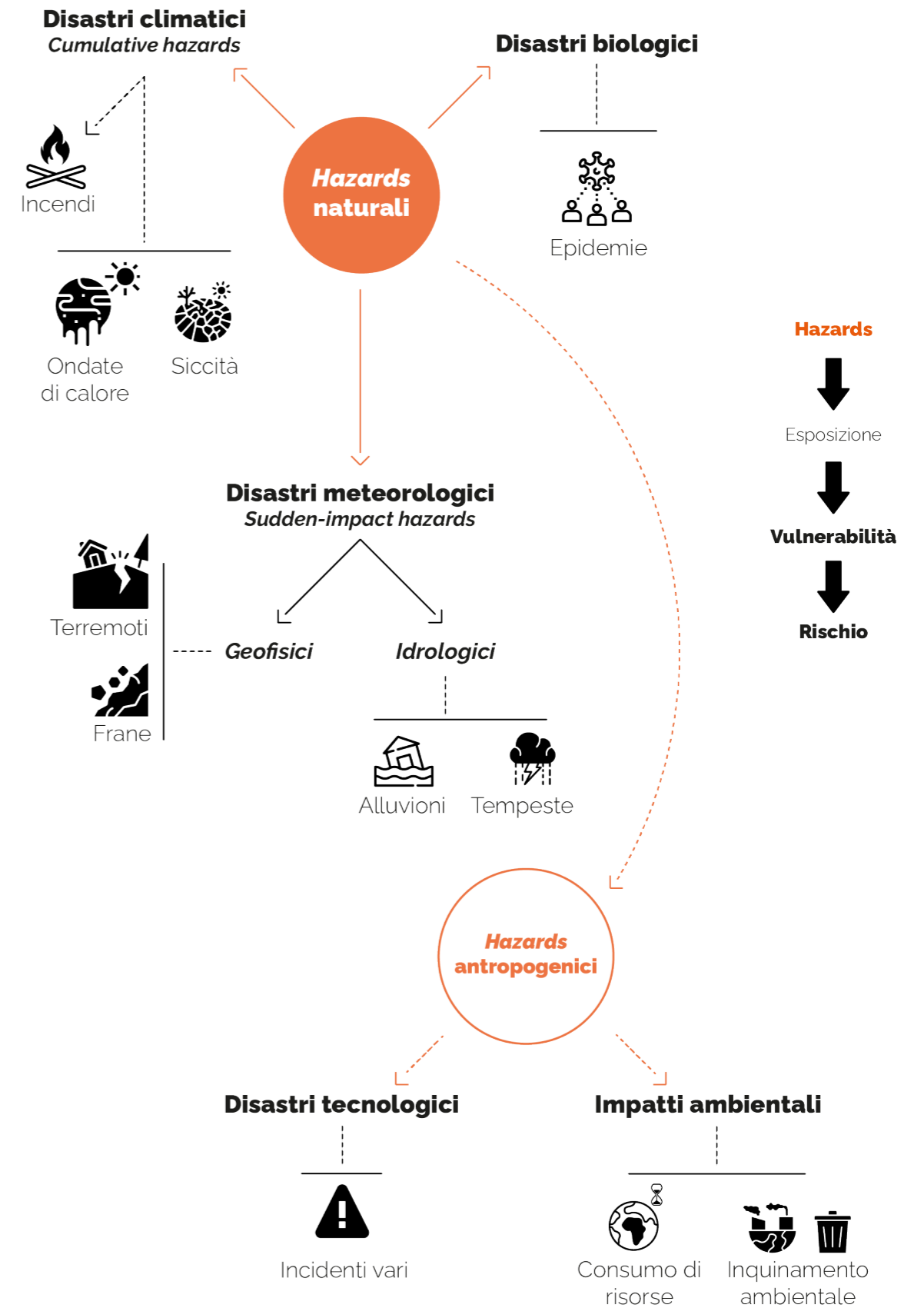


Figura 9: Classificazione degli hazards naturali, elaborato dalla tesista



### 1.2.3 RISCHI PER LA DIMENSIONE UMANA

#### Salute e benessere

- **Ondate di calore**

Nel contesto tropicale, uno di questi fenomeni riguarda le **ondate di calore**.

*Una definizione, fornita dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale, definisce un'onda di calore come segue: un tempo caldo insolito marcato (max, min e media giornaliera) su una regione, che persista per almeno due giorni consecutivi durante il periodo caldo dell'anno in base alle condizioni climatiche locali, con condizioni termiche registrate al di sopra di determinate soglie.*

Secondo l'IPCC<sup>9</sup>, in Africa, dato l'aumento delle emissioni di gas a effetto serra (GHG) per opera di azioni antropiche, la **temperatura media e le temperature estreme sono destinate ad aumentare (Fig.10 e 11)**. In particolare, i Paesi africani a bassa latitudine, che presentano bassa stagionalità, saranno esposti ad un aumento della frequenza degli estremi delle temperature giornaliere all'inizio del XXI secolo, in percentuale molto maggiore rispetto ai Paesi inquadri alle alte latitudini.

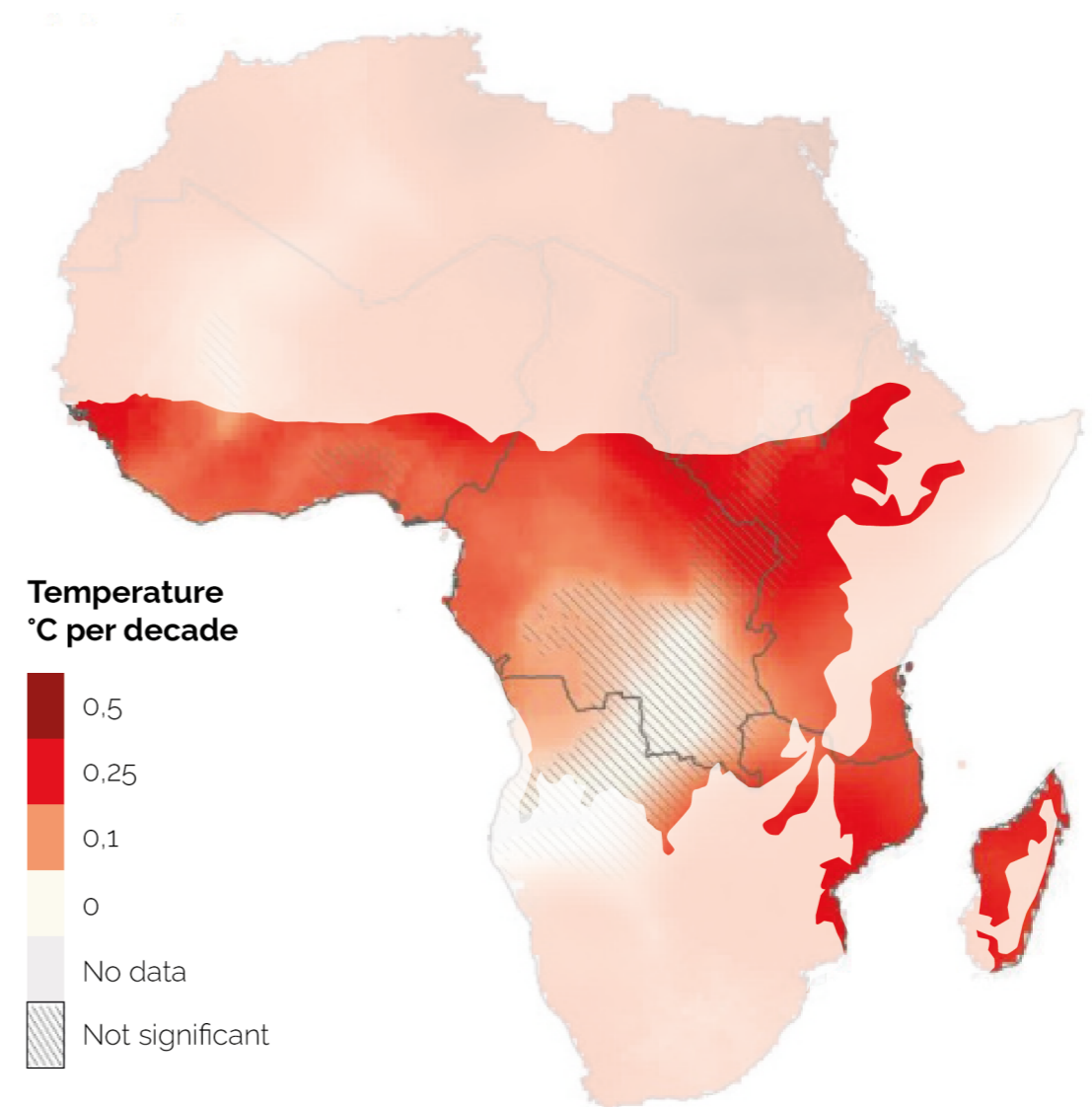
Ne consegue un crescente interesse per le ambiziose azioni di mitigazione a breve termine per l'Africa tropicale (Harrington et al. 2016; Frame et al., 2017).

Le **temperature all'interno delle strutture con tetti scarsamente ventilati o isolati e costruiti con materiali inadatti**, quali appunto la lamiera, **possono superare le temperature esterne di 4°C o più<sup>9</sup>**. Considerando che le persone delle comunità agricole di sussistenza trascorrono la maggior parte del loro tempo al chiuso<sup>11</sup>, l'esposizione ripetuta al calore rappresenta un rischio per la salute, il benessere e l'istruzione della popolazione rurale sotto molti punti di vista. Come riportato da Bunker et al., gli impatti negativi riguardano: **aumento del rischio di mortalità (Fig.12), aumento del rischio di mobilità di malattie non trasmissibili, disturbi del comportamento e riduzione della produttività**. Gli anziani, i bambini e le donne in gravidanza e in allattamento sono a più alto rischio di malattia e morte associato alle alte temperature ambientali<sup>9</sup>.

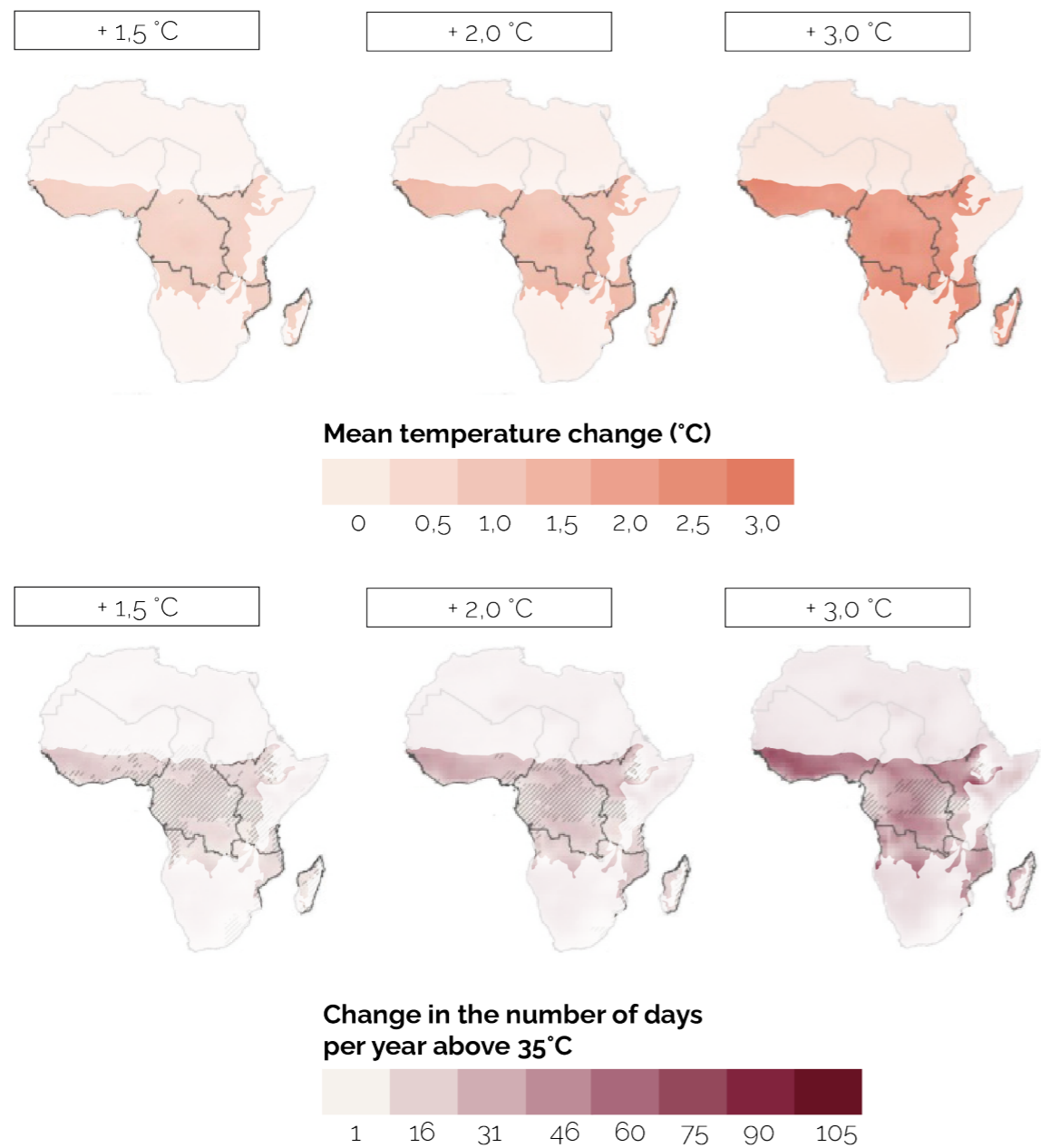
Inoltre, i rischi connessi all'aumento delle temperature ed alle conseguenti ondate di calore si accentuano nei contesti tropicali, dove gli elevati livelli di umidità riducono drasticamente l'efficienza di raffreddamento del sudore, rendendo difficile o impossibile per il corpo prevenire il surriscaldamento<sup>15</sup> (Fig. 13).

<sup>15</sup> IFRC, OCHA, *Extreme Heat. Preparing for the heatwaves of the future*, October 2022

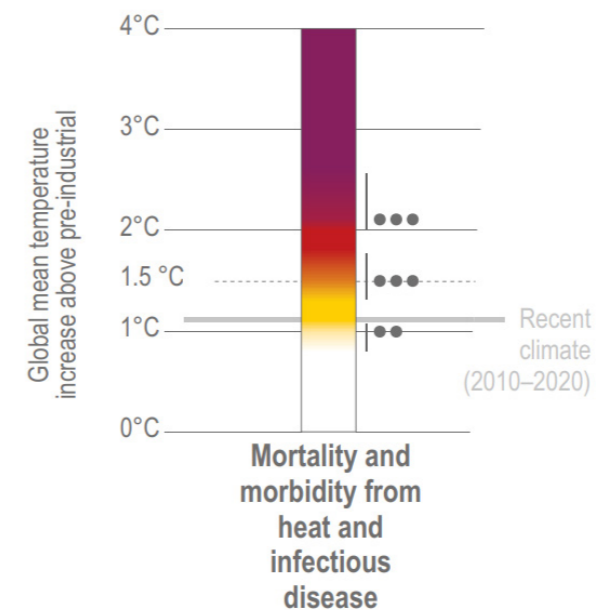
Observed climate trends calculated for 1980-2015



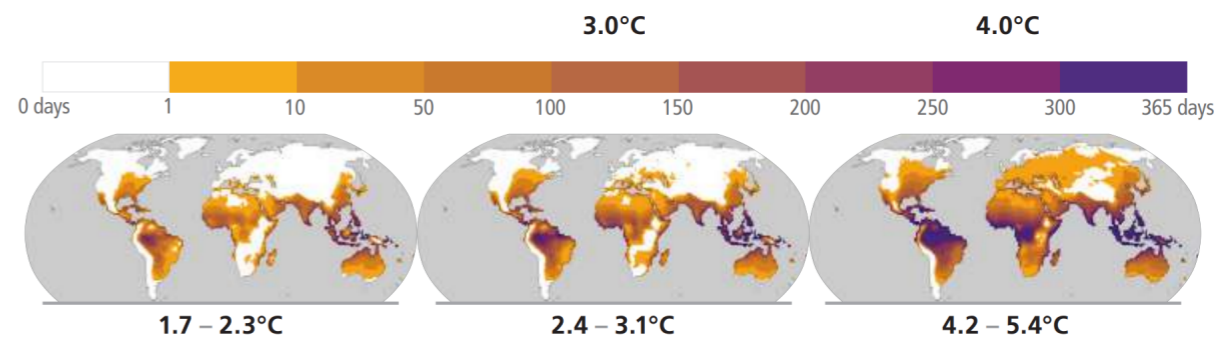
**Figura 10:** Tendenze climatiche osservate calcolate per il periodo 1980-2015. Aumenti della temperatura dovuti ai cambiamenti climatici causati dall'uomo. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1321



**Figura 11:** Projected changes of climate variables and hazards. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1324



**Figura 12:** I rischi per l'Africa aumentano con l'aumento del riscaldamento globale. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1299



**Figura 13:** Rischi per la salute umana connessi alle alte temperature ed agli elevati livelli di umidità. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Full Volume*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1299

• **Siccità**

16 Jake E. Hobbs, *Climatic hazards*, Climatology (pp 279-287), Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Boston, MA

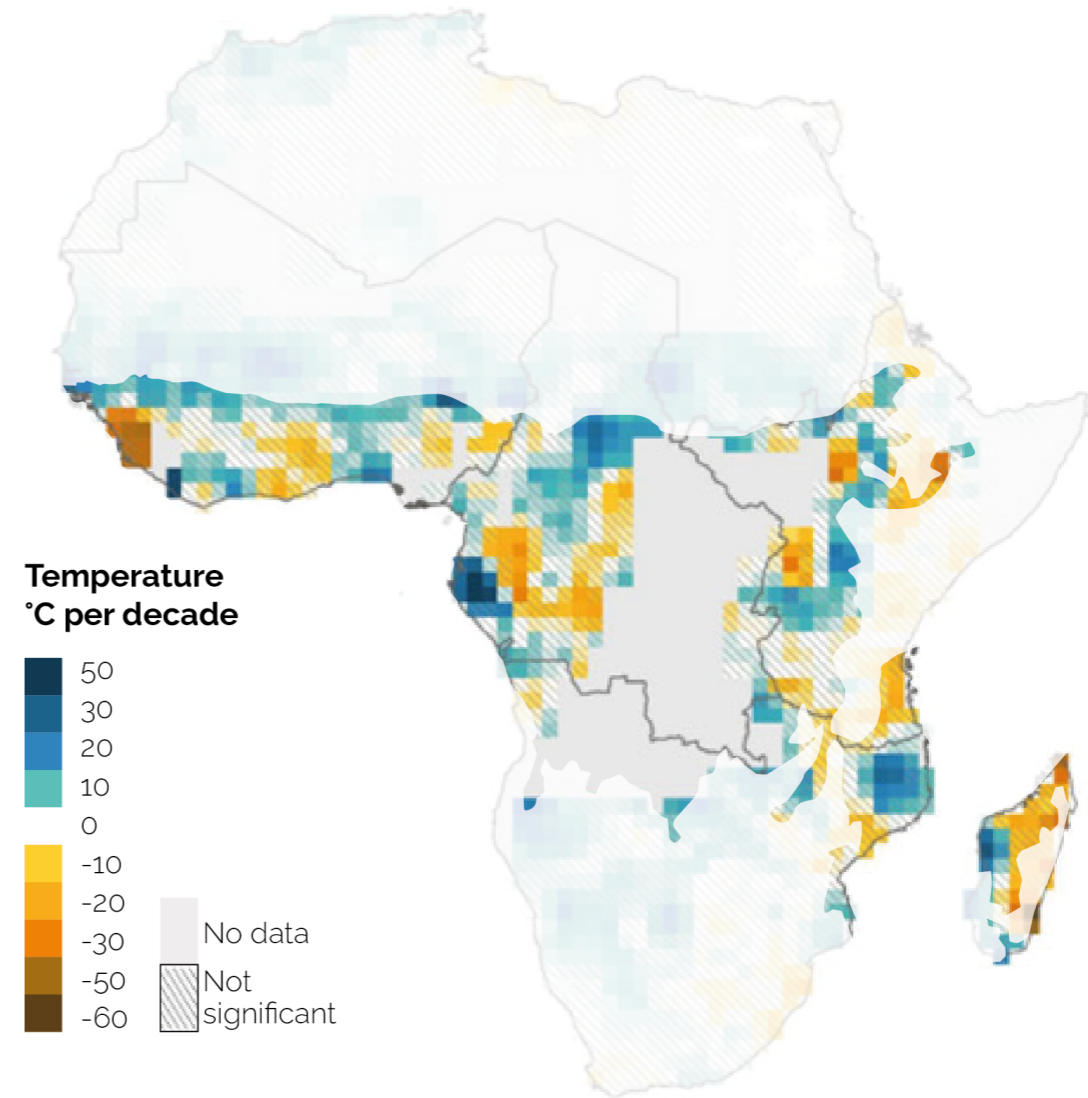
Un pericolo climatico che accentua le privazioni e la scarsità di un contesto è la **siccità**. La siccità è legata al fallimento delle piogge abituali in un momento particolare, in cui la maggior parte delle attività sono legate al bisogno di acqua (Fig. 14). L'impatto della siccità sulle attività umane è di solito descritto in termini di approvvigionamento idrico ridotto e perdite economiche in tutta la comunità<sup>16</sup>. Nel contesto rurale dell'Africa tropicale, la fonte di sussistenza della popolazione è strettamente legata all'agricoltura, ma le reti idriche e fognarie sono spesso assenti o inaffidabili<sup>14</sup>. Inoltre, lo stress idrico ambientale causato dall'alternarsi di periodi prolungati di calore estremo e abbondanti precipitazioni, mette a rischio la **produzione agricola** di un territorio e **le risorse alimentari di una comunità**, nonché la **biodiversità del contesto tropicale**<sup>9</sup>. Per questo motivo, la siccità e la mancanza e l'inefficienza dei sistemi di raccolta di acqua piovana per le coperture aggravano la vulnerabilità delle comunità agricole.

*"Analisi settoriali specifiche confermano che i cali di produttività delle colture alimentari, delle colture di materie prime e della produttività globale del suolo contribuiscono a ridurre le prestazioni macroeconomiche in presenza di temperature crescenti." (Schlenker e Lobell, 2010; Bezabih et al., 2011; Jaramillo et al., 2011; Lobell et al., 2011; Adhikari et al., 2015).*

17 Akanwa, *Rural Harvested Rainwater: Effect of Roof Types and its Design on Water Quality and Health: A case fir CBP Approach in Anambra State*, Review of Environmental and Earth Sciences, 2020

Tra il 2000 e il 2015, la **percentuale di edifici migliorati, classificati come quelli con acqua e servizi igienico-sanitari migliorati è aumentata** dall'8,2 al 18,4% **nell'Africa sub-Sahariana rurale**<sup>11</sup>. Tuttavia, i tetti dell'architettura rurale fatti principalmente in zinco, alluminio e, in alcuni casi, in calcestruzzo<sup>17</sup> possono influenzare la **qualità delle acque piovane** raccolte introducendo contaminanti; così come altri inquinanti ambientali quali detriti, sporcizia, polvere e escrementi di animali. La **criticità materica dei sistemi di copertura** espone gli abitanti di un contesto al rischio connesso alla sicurezza dell'acqua.

**Observed climate trends calculated for 1980-2015**  
Precipitation trend



**Figura 14:** Tendenze climatiche osservate calcolate per il periodo 1980-2015. Aumento delle precipitazioni medie. IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp 1321



18 Genovese e Zoure, *Architecture trends and challenges in Sub-Saharan Africa's construction industry: A theoretical guideline of a bioclimatic architecture evolution based on the multi-scale approach and circular economy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023

19 Samah et al., *Double diffusive convection heat and moisture transfer inside a planted roof building under hot humid climate: Case of Lomé City in West Africa*, American Journal of applied Sciences, 2021

**Contesto di scarsità.** Occuparsi di contesti a risorse scarse necessita della considerazione dei suoi temi cardine. Come è stato appena detto, la **scarsità** riguarda le **risorse idriche**, ma comprende pure quelle **energetiche** e intellettuali. Le risorse alimentari non saranno approfondite, perché al di fuori del tema di tesi.

Nel contesto dell'Africa Sub Sahariana, il raggiungimento del comfort termo-igrometrico è ostacolato da molti fattori di contesto. L'ambiente costruito riprende standard e tecniche proprie dei Paesi Occidentali, inadeguati al clima tropicale<sup>18</sup>, in più i dispositivi di raffreddamento diretto azionati elettricamente sono fattibili, ma presentano spesso un'efficienza energetica bassa, sono costosi ed esposti a reti elettriche inaffidabili<sup>19</sup>. Per questo motivo, molti studi sono concordi nel risolvere il problema connesso alla mancanza di risorse energetiche implementando le **strategie di raffreddamento passivo**, in particolar modo sui sistemi di copertura. Ciò nonostante, il design bioclimatico è ancora sottovalutato e sottoutilizzato, ne consegue che la diffusione dell'architettura bioclimatica, l'accettabilità e l'adattabilità tecnologica sono sfide da risolvere<sup>17</sup>.

Un'altra criticità sul tema della scarsità riguarda le conoscenze intellettuali. Secondo l'IPCC, le conoscenze indigene e i sistemi di conoscenza locali in Africa sono ricchi di soluzioni che aumentano la resilienza delle comunità rispetto agli shock climatici. Purtroppo, la maggior parte delle società africane sono state a lungo colonizzate, per cui i modi indigeni sono stati svalutati ed emarginati (Bolden et al., 2018). Se ne deduce che il cambiamento dell'ambiente costruito è anche frutto di una **perdita di conoscenza** sulle buone pratiche dell'**architettura vernacolare** (Fig.15).



Figura 15: Contesto rurale Casamance, Senegal (Kaira Looor 2023 Images Materials)



20 Per *safety* si intende il fallimento di funzioni dei sistemi che potrebbe causare lesioni o perdite di vite umane

**Safety**<sup>20</sup>

• **Cicloni tropicali**

I **cicloni tropicali** sono tra le tempeste più pericolose per gli insediamenti umani. I principali rischi connessi al sistema di copertura possono riguardare il **collasso strutturale** dell'unità tecnologica o l'**innalzamento dei rivestimenti in lamiera**, spesso mal ancorati alla struttura. I danni possono essere indotti da: venti violenti, onde e ondate di tempesta e pioggia torrenziale. La velocità del vento può raggiungere oltre i 250 km/h, con venti sostenuti che si avvicinano ai 150 km/h. La maggior parte di questi eventi si registra durante il periodo estivo tra le latitudini 5 e 25, in particolare in terreni bassi e pianeggianti in prossimità delle zone costiere e nei delta dei fiumi<sup>18</sup>. Lungo le coste dell'Africa Orientale si registrano molti decessi a causa dei cicloni tropicali (Fig.16) che interagiscono con i monsoni durante la stagione delle piogge e che si amplificano per effetto dell'aumento delle temperature superficiali dei mari e degli oceani (Fitchett, 2018; Vidya et al., 2020).

I rischi legati ai collassi strutturali possono riguardare anche i **temporali convettivi** che si abbattano principalmente sulle coste dell'Africa Occidentale (Fig.17).

• **Alluvioni**

Le **alluvioni** sono i pericoli naturali più frequenti e che hanno maggiore impatto sugli insediamenti dei contesti tropicali (Fig.18). Assumendo che il sistema di copertura sia situato ad un livello superiore, al riparo dai rischi connessi alle alluvioni, questo fenomeno potrebbero comunque compromettere indirettamente la stabilità delle chiusure orizzontali superiori andando ad **impattare sulle unità sottostanti**, in particolare sulle strutture portanti continue o discontinue. Le alluvioni, tipicamente, sono una conseguenza di condizioni meteorologiche estreme, condizioni idrologiche e attività umane<sup>21</sup> (Fig.19).

21 The World Bank, Abhas K Jha, Robin Bloch, Jessica Lamond, (2012), *Cities and Flooding: A guide to Integrated Flood Risk Management for the 21st Century and A Summary for Policy Makers*, pp. 55-64

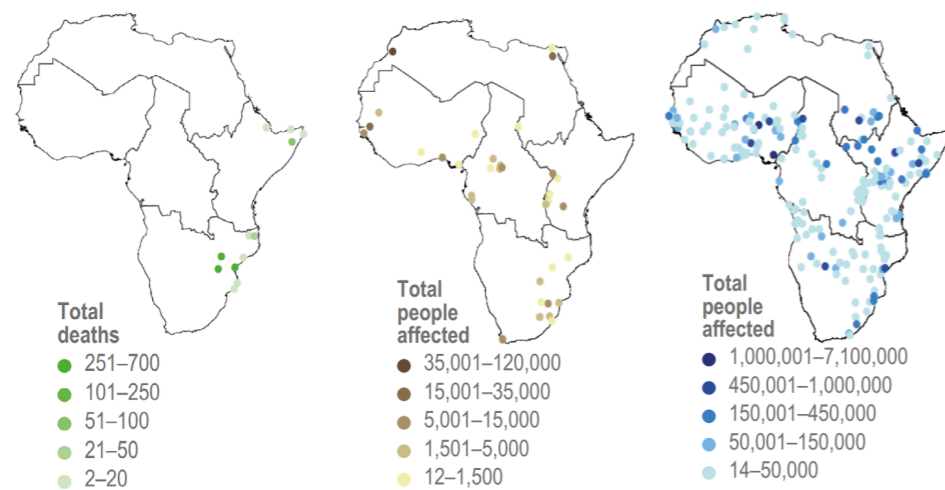


Figura 16: Cicloni tropicali    Figura 17: Temporali convettivi    Figura 18: Alluvioni



Figura 19: La città di Macuva in Mozambico. La tempesta tropicale Ana ha toccato terra nel centro e nel nord del Mozambico, causando distruzione delle abitazioni e sfollamenti in cinque province. © UNICEF/UN0583834/ Bruno Pedro, Gennaio 2022



22 Internal Displacement Monitoring Centre (2023), *Internal Displacement in a changing climate, GRID 2023*, pp 10-11

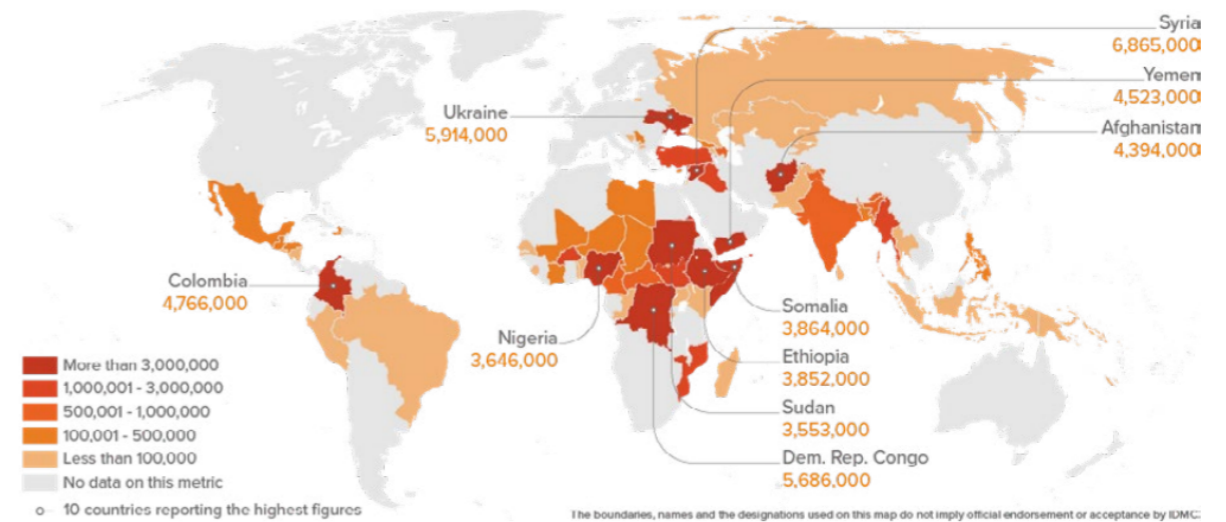
**Sfollati e migrazione.** Nel contesto dell’Africa Sub-Sahariana, il numero di **persone sfollate** supera i 15 milioni, il 27.1% del totale globale (Mettere immagine). Alcuni dei drivers legati alla migrazione in questo contesto riguardano conflitti e violenze e disastri climatici<sup>22</sup> (Fig.20 e 21).

**IDPs (Internal Displaced peoples):** la cifra degli spostamenti interni si riferisce al numero di movimenti forzati di persone all’interno dei confini del loro paese registrati durante l’anno.

23 Cerra, *A design tool for risk reduction in learning facilities. Flood Prone areas*, Msc degree program in Architecture for the Sustainability Design. Master Thesis, pp. 21

I pericoli climatici riconosciuti precedentemente come sudden-impact hazards causano distruzione e perdite agli insediamenti e costringono le persone a **migrare** (Fig.22). Questo fatto può esacerbare la fragilità della destinazione, che è spesso caratterizzata da insediamenti informali<sup>23</sup>. La capacità dell’ambiente costruito di resistere e adattarsi agli eventi estremi influenza la **resilienza di una comunità**, per questo la **stabilità e la resistenza dei sistemi di copertura** è una vulnerabilità dello stato del costruito che impatta fortemente sulla sicurezza della popolazione rurale.

Displaced by conflict and violence



62.5 million

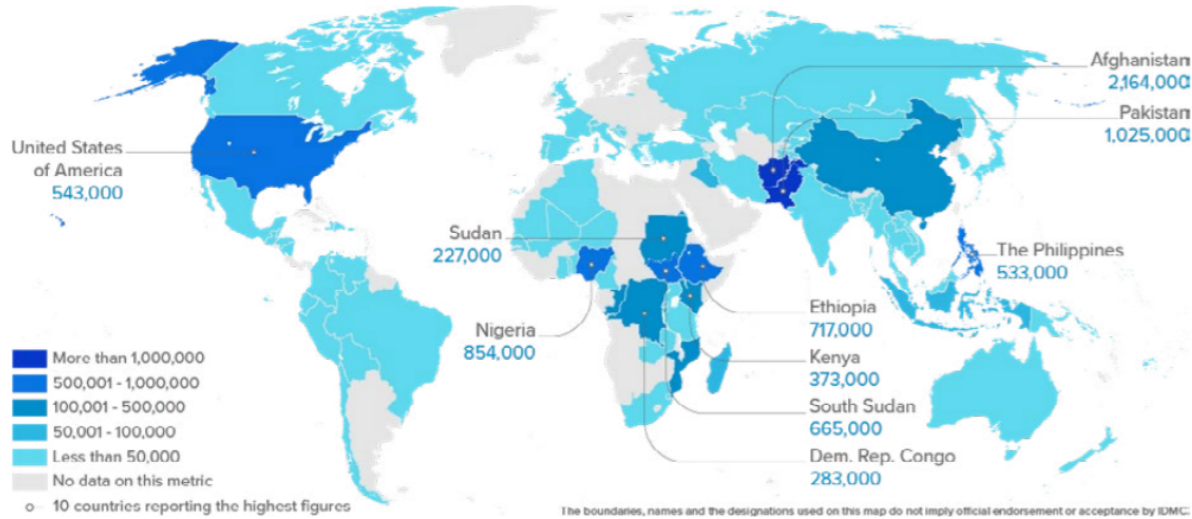
Internally displaced people as a result of conflict and violence in 65 countries and territories as of 31 December 2022

↑ 17%

Increase in the number of people internally displaced by conflict and violence since 2021

Figura 21: Displaced people by disaster and conflicts. Internal Displacement Monitoring Centre (2023), *Internal Displacement in a changing climate, GRID 2023*.

Displaced by disasters



8.7 million

Internally displaced people as a result of disasters in 88 countries and territories as of 31 December 2022

↑ 45%

Increase in the number of people internally displaced by disasters since 2021

Figura 20: Displaced people by disaster and conflicts. Internal Displacement Monitoring Centre (2023), *Internal Displacement in a changing climate, GRID 2023*.

Five countries reporting the highest figures

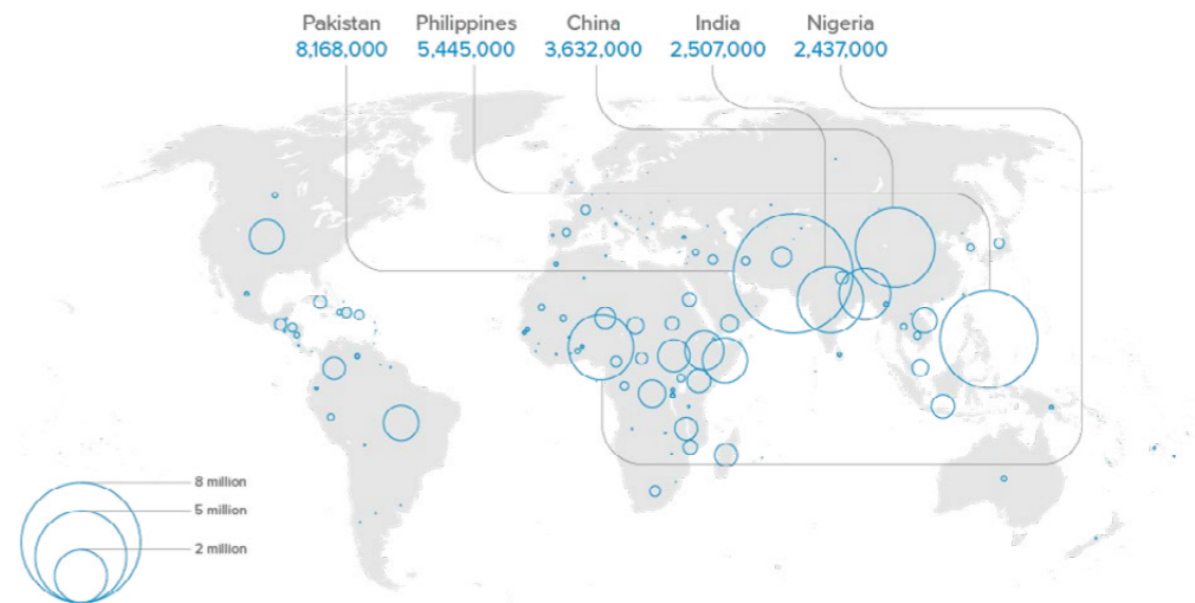


Figura 22: Breakdown by hazards. Internal Displacement Monitoring Centre (2023), *Internal Displacement in a changing climate, GRID 2023*.

### 1.2.4 RISCHI PER LA DIMENSIONE ECOLOGICA

La **dimensione ecologica**, nel contesto di tesi, comprende i rischi per le interazioni che si instaurano tra gli organismi viventi ed il loro ambiente. Infatti, nel contesto di tesi, le comunità dipendono fortemente dalle risorse del territorio. Per questo motivo, è opportuno considerare anche gli hazards antropogenici, connessi alla dimensione materica del sistema di copertura.

24 Abera et al., *Comparative Analysis on Roof Covering Materials Sustainability as Constructed by Bamboo and Corrugated Galvanized Iron Sheet in Rural Areas Around Wolkite, Ethiopia*, International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 2022

I materiali dei sistemi di copertura devono rispettare requisiti di sicurezza, bellezza, leggerezza, durata, ridotto impatto ambientale e compatibilità funzionale (Udagama e Kulatunga, 2015). Tuttavia, **il cambiamento legato alla sostituzione dei tetti in paglia in coperture in lamiera ha effetti negativi sull'ambiente a causa del processo di fabbricazione dei materiali**. Nello specifico, molti tetti presentano lamiere ondulate zincate, lastre di cemento in fibra, piastrelle in cemento, tegole di argilla bruciata, lastre di copertura in alluminio o tegole di asfalto<sup>24</sup>.

Nonostante l'**Africa** sia il continente con la più bassa impronta ecologica (Fig. 23), negli ultimi anni, l'Africa sta sperimentando un **drastico aumento dell'impronta ecologica che ha superato la biocapacità (Fig. 24) del continente** ed ha reso **molti dei suoi stati "biocapacity debtors"**<sup>25</sup> (Fig.25 e 26).

25 African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012, pp 15, 11

- **Impronta ecologica (gha):** rappresenta il capitale naturale, costituito da terra biologicamente produttiva e zona marina, necessario per i consumi della popolazione umana e per assimilare i rifiuti associati.
- **Biocapacità (gha):** è la quantità di superficie terrestre e acquatica produttive che costituiscono un determinato territorio. Rappresenta la disponibilità delle risorse in un dato territorio.
- **Ettaro globale (gha):** bio-capacità annua di un ettaro di terreno dotato di un livello medio di produttività biologica. L'ettaro globale è l'unità di misura dell'impronta ecologica e della biocapacità.
- **Biocapacity debtors:** paesi i cui modelli di consumo non possono essere sostenuti dalla loro biocapacità interna.

Uno dei principali drivers responsabile dell'aumento dell'impronta ecologica è rappresentato dall'aumento della popolazione, tuttavia le componenti che descrivono l'impatto dell'impronta ecologica riguardano: i **terreni edificabili**, le zone di pesca, i pascoli, il carbone, le foreste ed i terreni coltivati. In Africa, la componente che più impatta sull'impronta ecologica riguarda i terreni edificabili (Fig.26), che rappresentano l'area di terreno coperta da infrastrutture umane, compresi i trasporti, le abitazioni, le strutture industriali ed i serbatoi per l'energia idroelettrica<sup>23</sup>. Questo significa che **l'ambiente costruito ed i suoi cambiamenti hanno un forte impatto sulla biocapacità di un territorio**, per questo, dato l'aumento dell'impiego di materiali industrializzati, molti studi registrano un crescente interesse nell'impronta ecologica legata alle risorse utilizzate in edilizia in questi contesti.

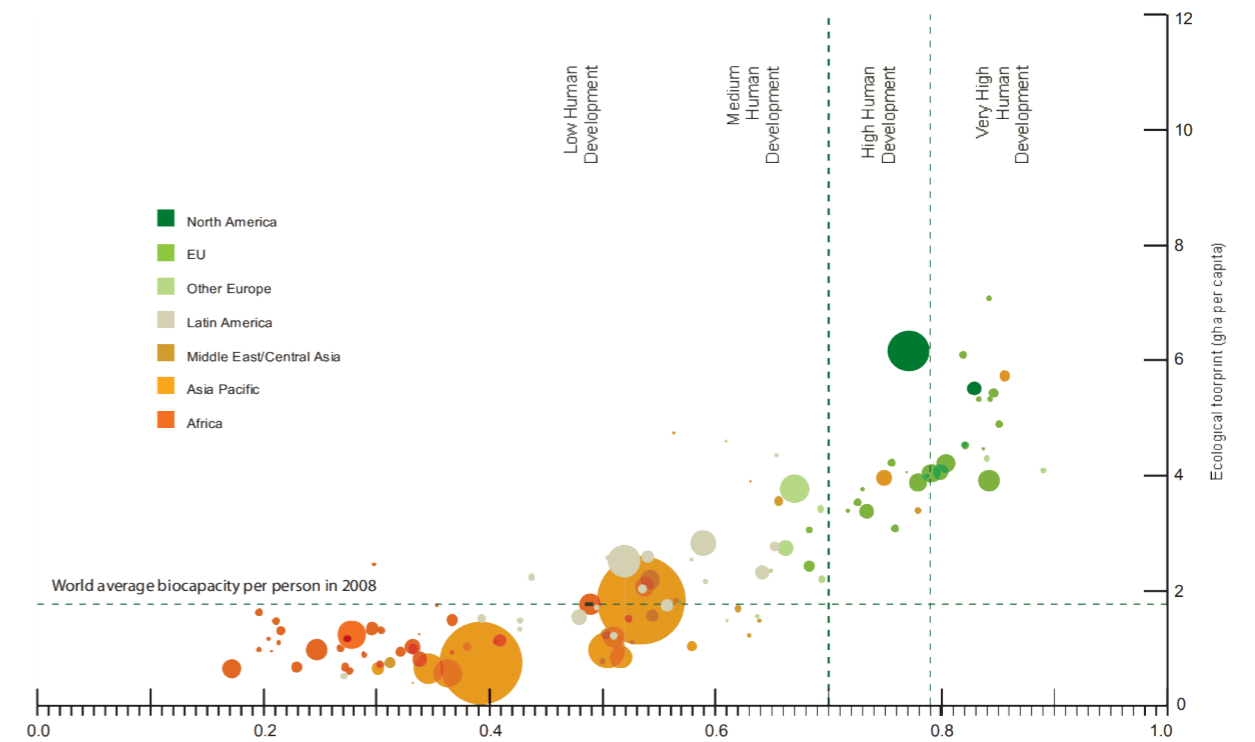


Figura 23: Impronta ecologica dell'Africa a confronto con gli altri continenti. African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012, pp 33

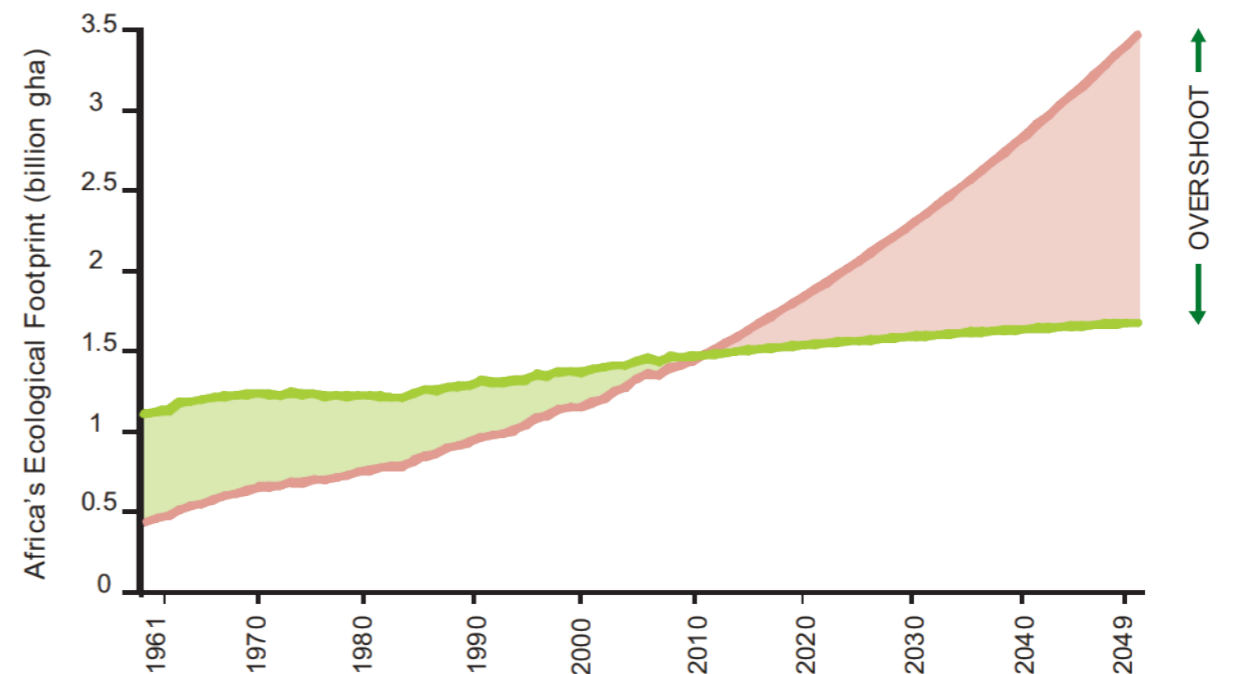


Figura 24: Biocapacità e Impronta ecologica a confronto. African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012, pp 34

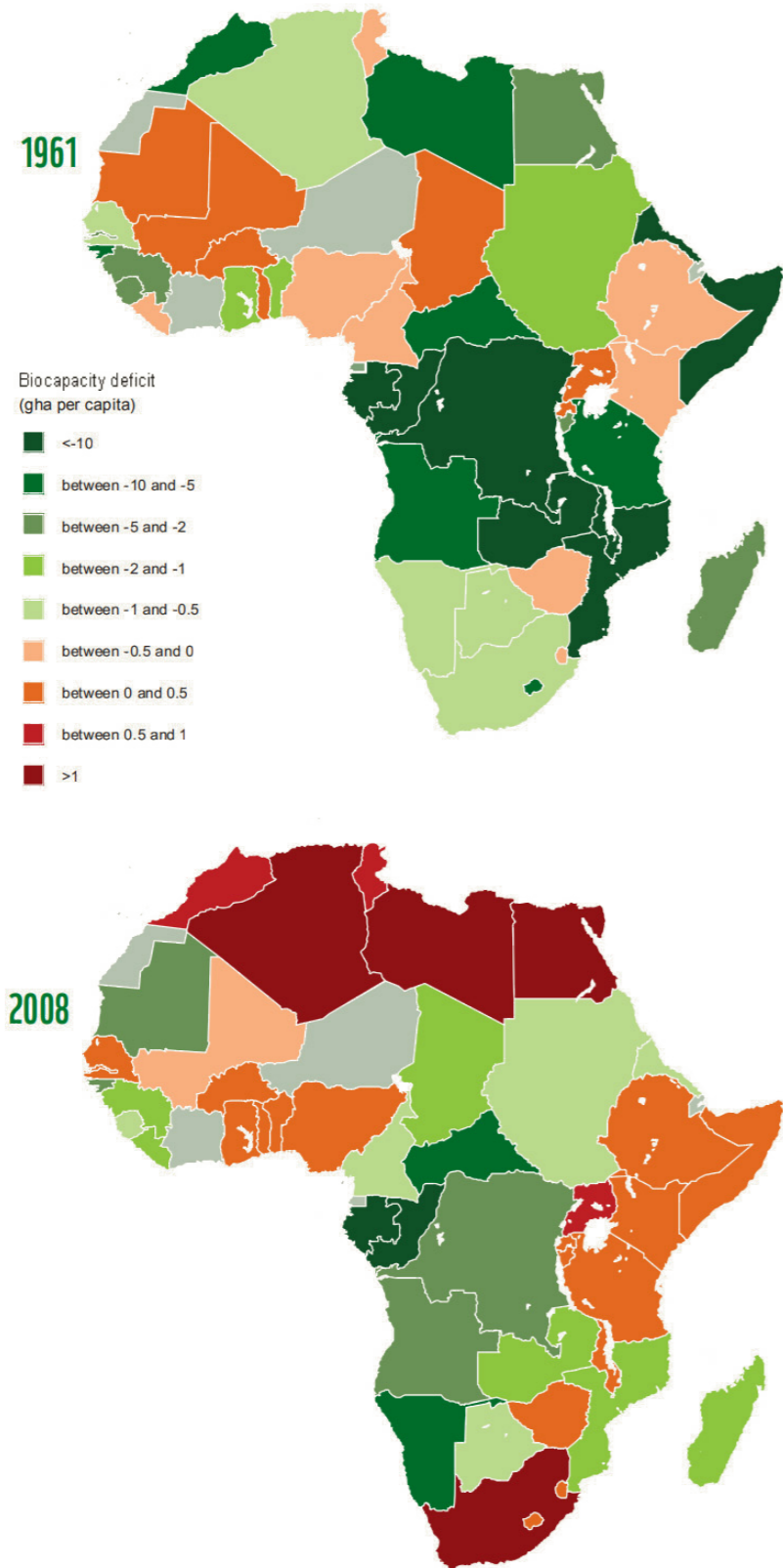


Figura 25: Africa "Biocapacity Debitor"; African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012, pp 15

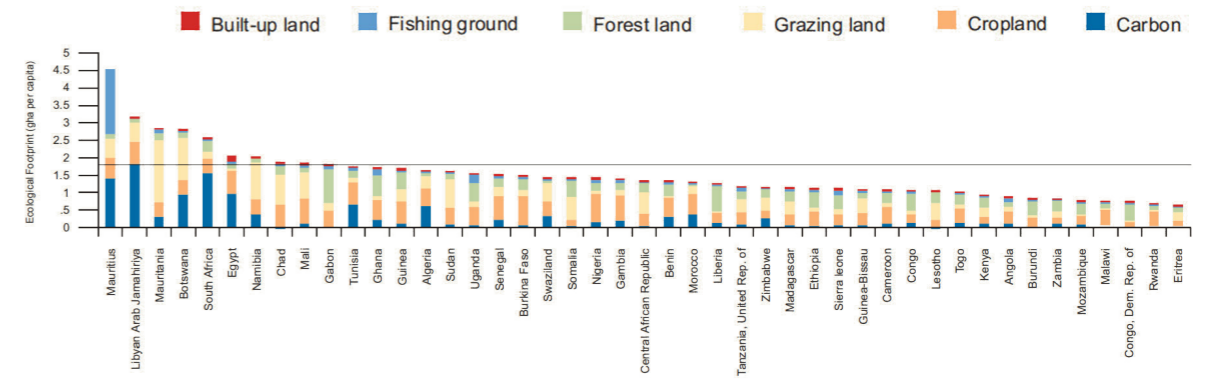
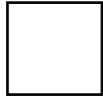


Figura 26: Ecological Footprint per country per person. African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012, pp 15





## BIBLIOGRAFIA

- Victor Olgay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & c. editore, 1981
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*, Roma, 2011
- Hodo-Abalo et al., *Performance of a planted roof as a passive cooling technique*, Renewable Energy, 2012
- African Development Bank, *Africa ecological footprint report. Green infrastructure for Africa's Ecological Security*, 2012
- Abhas K Jha, Robin Bloch, Jessica Lamond, *Cities and Flooding: A guide to Integrated Flood Risk Management for the 21st Century and A Summary for Policy Makers*, The World Bank, 2012
- Tusting LS, Bisanzio D, Alabaster G, Cameron E, Cibulskis R, Davies M et al., *Mapping changes in housing in sub-Saharan Africa from 2000 to 2015*. Nature. 2019;568:391-4
- Sabina Alkire, Christoph Jindra, Gisela Robles and Ana Vaz, *Multidimensional Poverty in Africa*, OPHI Briefing 40, 2016
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Rural Africa in motion. Dynamics and drivers of migration South of the Sahara*, 2017
- Margani e Tardo, *Alternative Materials and Technological Solutions for Low-Income Housing in Tropical Africa*, Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management, 2020
- Hallegatte et al., *From Poverty to Disaster and Back: A review of the Literature*, Economics of Disasters and Climate Change, 2020
- Akanwa, *Rural Harvested Rainwater: Effect of Roof Types and its Design on Water Quality and Health: A case fir CBP Approach in Anambra State*, Review of Environmental and Earth Sciences, 2020
- Carrasco-Tenezaca et al., *Effect of roof colour on indoor temperature and human comfort levels, with implications for malaria control: a pilot study using experimental houses in rural Gambia*, Malaria Journal, 2021
- Samah et al., *Double diffusive convection heat and moisture transfer inside a planted roof building under hot humid climate: Case of Lomé City in West Africa*, American Journal of applied Sciences, 2021
- Barbara Widera, *Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa*, Renewable and Sustainable Energy Review 140 (2021) 110736
- FRC, OCHA, *Extreme Heat. Preparing for the heatwaves of the future*, 2022
- Deraman et al., *Production of roof Boatr Insulation Using Agricultural Wastes Towards Sustainable Building Material*, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 2022
- Abera et al., *Comparative Analysis on Roof Covering Materials Sustainability as Constructed by Bamboo and Corrugated Galvanized Iron Sheet in Rural Areas Around Wolkite, Ethiopia*, International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology, 2022
- Genovese e Zoure, *Architecture trends and challenges in Sub-Sahara Africa's construction industry: A theoretical guideline of a bioclimatic architecture evolution based on the multi-scale approach and circular economy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023
- IPCC, 2023: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- Internal Displacement Monitoring Centre, *Internal Displacement in a changing climate*, GRID 2023



# **STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE**

## PRESENTAZIONE DELLO STRUMENTO DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE



*La portata generale del lavoro di ricerca sulle criticità si concretizza, in questa fase, nello Strumento di Supporto alla Progettazione (SSP). La struttura dello strumento serve a chiarire i passaggi metodologici secondo i quali le criticità di contesto, affrontate nel capitolo precedente, si traducono in un quadro esigenziale composto di strategie qualitative specifiche per i sistemi di copertura.*

### **Perchè nasce la necessità di creare uno Strumento di Supporto alla Progettazione?**

Nel contesto tropicale e rurale africano mancano delle linee guida progettuali specifiche per gli edifici. Di conseguenza, non esiste uno strumento che possa essere utilizzato per migliorare le caratteristiche dei sistemi di copertura. Sebbene esistano linee guida a livello nazionale, molti articoli scientifici testimoniano la carenza di attenzione alle particolari esigenze climatiche e ambientali. Inoltre, molti Paesi non dispongono di risorse necessarie per delineare un quadro di riferimento dettagliato ed aggiornato.

### **Qual'è la funzione dello Strumento di Supporto alla Progettazione?**

Lo SSP intende fornire un linguaggio per la progettazione di sistemi di copertura che tenga conto dei concetti legati alla sostenibilità economica, sociale e ambientale per risolvere problemi specifici legati all'unità tecnologica. La creazione di un quadro di riferimento comune e definito all'interno di un perimetro omogeneo permette di standardizzare strategie qualitative sempre valide nel contesto climatico tropicale.

### **A chi è rivolto lo Strumento di Supporto alla Progettazione?**

Il quadro di riferimento comune è stato concepito per tre categorie di professionisti:

1. Équipe di progettazione, tra cui architetti, ingegneri e consulenti specializzati;
2. Clienti e investitori, tra cui investitori, gestori, promotori e proprietari immobiliari;
3. Responsabili delle politiche e committenti pubblici a livello nazionale, regionale e locale.

Questi attori includono clienti pubblici e privati, nonché responsabili dei progetti edilizi<sup>1</sup>.

**1 Level(s) – Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio**, Manuale utente 1: Introduzione al quadro comune Level(s), (versione 1.1), 2021

**Diagramma di flusso**

Come precedentemente accennato, lo Strumento di Supporto alla Progettazione definisce una metodologia per un iniziale approccio strategico al progetto, valida all'interno del perimetro di ricerca.

Per associare il metodo ad un perimetro di applicazione, vengono definiti dei parametri spaziali che aiutano a validare l'omogeneità dell'area di interesse. I range spaziali sono stati utilizzati anche per la selezione dei casi studio.



Lo Strumento di Supporto alla Progettazione segue un approccio metodologico che, in sequenza, pone in relazione tutte le informazioni riguardo gli **INputs**, gli **OUTcomes** e gli **OUTputs**. Per questo motivo, lo Strumento di Supporto alla Progettazione è schematizzabile tramite un diagramma di flusso (Fig. 1).

Gli **INputs** rappresentano le informazioni di contesto riguardo le **criticità** legate ai fattori climatici, ai natural hazards ed ai rischi connessi alla dimensione umana ed ecologica.

L'analisi dei problemi affrontata nel capitolo precedente viene quindi riaffrontata in questa fase per tarare le scelte progettuali sulle esigenze del contesto specifico.

Le informazioni di progetto restituiscono dati riguardo le dimensioni di progetto e l'uso del fabbricato connesso alla destinazione d'uso. Qui l'edificio viene oggettivamente descritto da un punto di vista materico e formale.

Gli **OUTcomes** rappresentano i **requisiti**, connessi alle criticità e strutturati sul sistema di copertura. I requisiti traducono le esigenze di contesto in obiettivi specifici che deve raggiungere il sistema di copertura.

I 3 macro-obiettivi legati alle esigenze della dimensione umana e di quella ecologica riprendono la classificazione dei rischi e si esplicano in spazi salubri e confortevoli, spazi sicuri e salvaguardia ambientale. Ogni macro-obiettivo si articola secondo una serie di indicatori che specificano i requisiti da dover assolvere per ogni categoria.

Gli **OUTputs** rappresentano le **soluzioni** qualitative e quindi l'ultimo stadio dello strumento. Gli OUTputs possono essere classificati in strategie bioclimatiche, scelte materiche e soluzioni tecnologiche, riferite ad un singolo strato/elemento dell'unità tecnologica o all'intero sistema di copertura.

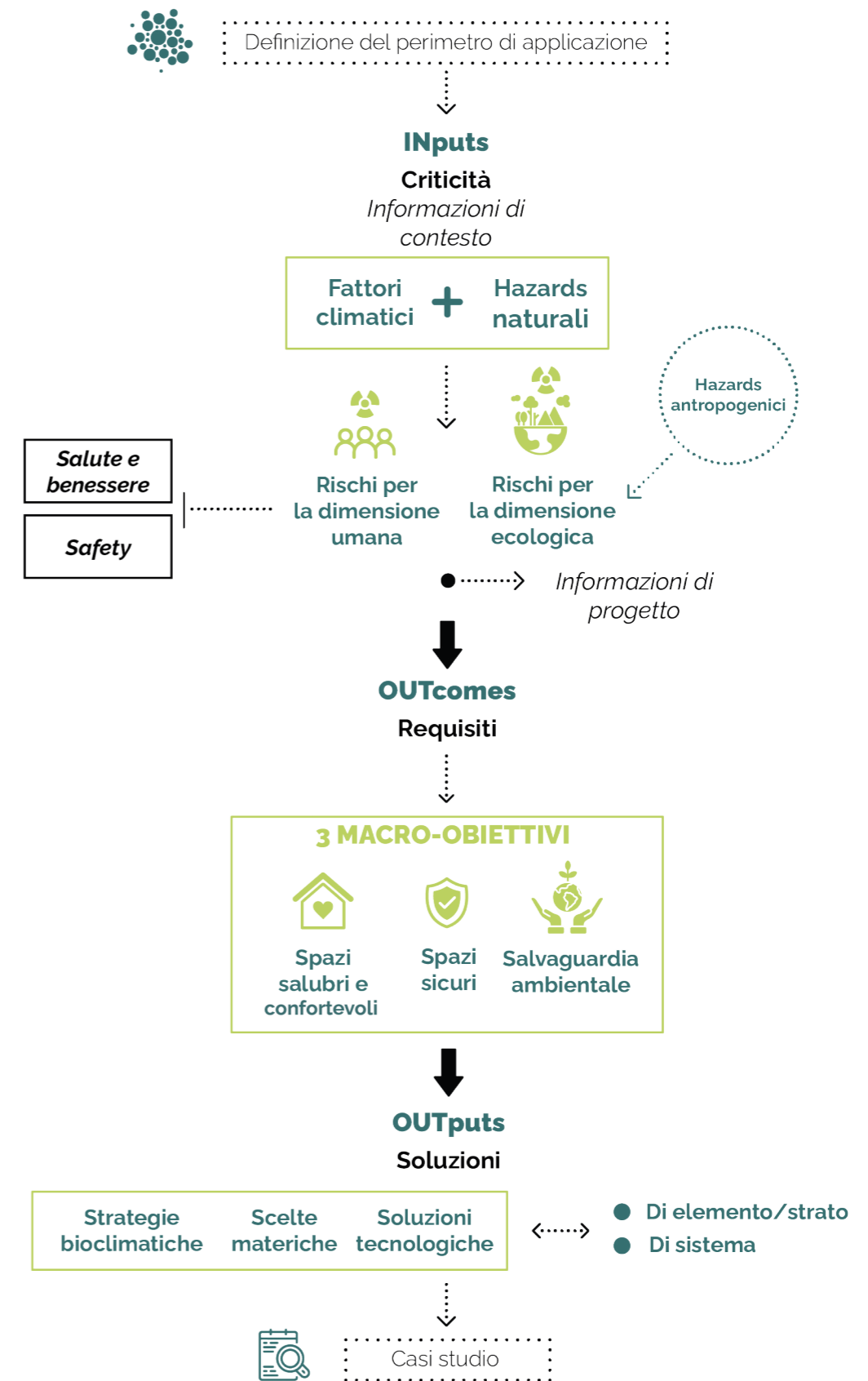


Figura 1: Schema della struttura dello Strumento, elaborato dalla tesista

### 2.1.1 DEFINIZIONE DEL PERIMETRO DI APPLICAZIONE

#### Localizzazione

I parametri relativi alla localizzazione limitano il perimetro di ricerca facendo riferimento a dati spaziali e antropici e dati climatici.

<sup>2</sup> Copernicus è il programma di osservazione della Terra dell'Unione Europea. Il programma utilizza dati globali provenienti da satelliti e da sistemi di misurazione terrestri, aerei e marittimi.

#### a. Aree rurali

I casi studio, come è stato precedentemente esplicitato nel perimetro di ricerca, fanno riferimento alle aree rurali dell'Africa tropicale. Per definire geograficamente questo parametro, data la mancanza di un indice comune di urbanizzazione, è stata assunta la classificazione adottata da Copernicus<sup>2</sup>, che grazie al grado di urbanizzazione individua tre tipologie di insediamenti:

- **Città** che hanno una popolazione di almeno 50.000 abitanti in celle contigue a griglia densa (> 1.500 abitanti per km<sup>2</sup>);
- **Città e aree semidense**, che hanno una popolazione di almeno 5.000 abitanti in celle contigue della griglia con una densità di almeno 300 abitanti per km<sup>2</sup>;
- **Aree rurali**, costituite principalmente da celle della griglia a bassa densità (< 300 abitanti per km<sup>2</sup>).

<sup>3</sup> <https://human-settlement-emergency.copernicus.eu/visualisation.php#> (ult. cons. 05/04/2024)

Le celle della griglia riportate nella mappa del *Global Human Settlement Layer Population Grid (GHS-POP)*<sup>3</sup> hanno un'estensione di 1 km<sup>2</sup> (Fig. 2). I casi studio selezionati di seguito ricadono principalmente nelle celle classificate come "Aree rurali", e in alcuni casi anche in quelle denominate "Città e aree semidense". Lo Strumento di Supporto alla Progettazione si estende ad entrambe le categorie.

#### b. Aree a clima tropicale A

La selezione dei progetti ricade nelle aree a clima tropicale A, secondo la **classificazione dei climi terrestri di Köppen**. Molte strategie individuate possono essere generalizzate in questo contesto climatico.

Di conseguenza, è garantito almeno un caso studio per sottogruppo climatico della zona tropicale A, al fine di rafforzare l'omogeneità e di indagare probabili differenze. I sottogruppi specificano ulteriormente i dati climatici e, come già precedentemente accennato, possono essere distinti in:

- **Clima equatoriale Af:** clima tropicale della foresta pluviale. Caratterizzato da piogge abbondanti ogni mese, sempre superiore ai 60 mm. Rientrano in questa categoria il clima equatoriale ed il clima costiero degli Alisei.
- **Clima monsonico Am:** clima tropicale monsonico, con una stagione asciutta ben definita e una stagione umida molto piovosa.
- **Clima della savana Aw:** clima tropicale della savana, con una stagione più arida più lunga e una stagione delle piogge ben definita.

È opportuno specificare che la maggior parte dei casi studio ricade nella parte nel clima della savana Aw, in particolare nella zona Ovest dell'Africa. Questo è dovuto sia alla maggioranza di casi individuati da ricerche in letteratura che



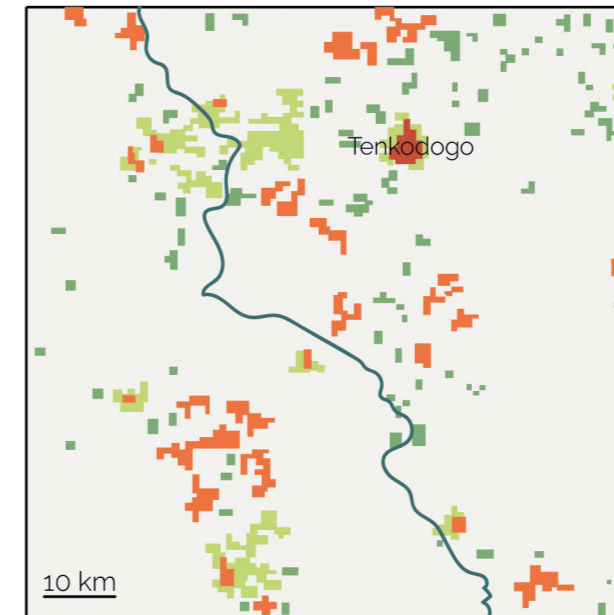
Aree rurali  
Africa



Clima tropicale  
Aree a clima tropicale  
Classificazione dei climi terrestri di Köppen

#### Esempio:

Burkina Faso, Tenkodogo



#### Legenda

- Città  
Popolazione: > 50.000 ab.; Densità: > 1.500 ab./km<sup>2</sup>  
■ Centro urbano
- Cluster urbano:  
Popolazione: > 5.000 ab.; Densità: > 300 ab./km<sup>2</sup>  
■ Cluster denso e semi-denso  
● Cluster sub-urbano e periurbano
- Cluster rurale:  
Popolazione: < 5.000 ab.; Densità: < 300 ab./km<sup>2</sup>  
● Celle a griglia rurali  
○ Celle a bassa densità (aree disabitate)

#### Legenda

- Clima equatoriale Af
- Clima monsonico Am
- Clima della savana Aw

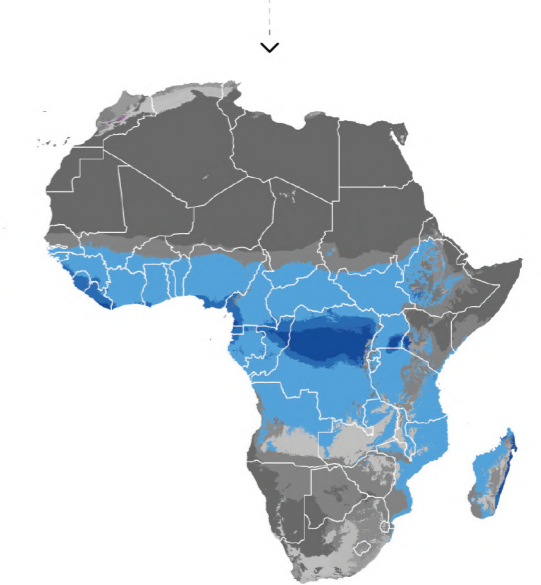


Figura 2: Diagramma di flusso per la definizione del perimetro di applicazione, elaborato dalla tesista



all'obiettivo di tesi volto a mettere in pratica tale ricerca nel contesto specifico della Casamance, nel Sud del Senegal.

### c. Fattori idrogeomorfologici

I fattori ed i pericoli climatici e di conseguenza le strategie edilizie possono essere influenzati dall'**orografia** e dalla presenza di masse d'acqua sul territorio. Infatti, l'**altimetria** e la presenza di fiumi, laghi o la vicinanza al mare sono dei parametri che possono condizionare l'intensità e la variazione del vento, la temperatura e la pressione<sup>4</sup>. Per questo motivo, per ogni caso studio è stata riportata l'altimetria e informazioni sulla **presenza di masse d'acqua o meno (Fig. 3)**.

<sup>4</sup> Salvatore De Pascalis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccio, 2001, Palermo

### Natura dei finanziamenti e costo di costruzione

Le risorse economiche destinate ad un progetto edilizio nel contesto di ricerca possono variare in funzione delle esigenze specifiche, della natura del progetto e della tipologia di investimento.

<sup>5</sup> Renée Serale, **Concorso di architettura umanitaria Kaira Loo-ro 2023: applicazione di strategie bioclimatiche per la progettazione di una scuola elementare in Casamance (Senegal)**, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, Luglio 2023

Molto spesso, i finanziamenti pubblici e le sovvenzioni erogati da enti governativi o istituzioni pubbliche locali possono essere stanziati in base ad interessi specifici legati a correnti politiche o autorità religiose sul territorio, che complicano terribilmente la governance dei progetti<sup>5</sup>. Nel peggiore dei casi, le scarse risorse monetarie delle istituzioni, in particolar modo nei contesti rurali, non riescono a supportare lo sviluppo edilizio del territorio<sup>6</sup>.

I finanziamenti tramite investitori privati locali, in genere, sono da escludere per le condizioni di povertà in cui riversa la maggior parte della popolazione rurale, come già illustrato nel capitolo precedente.

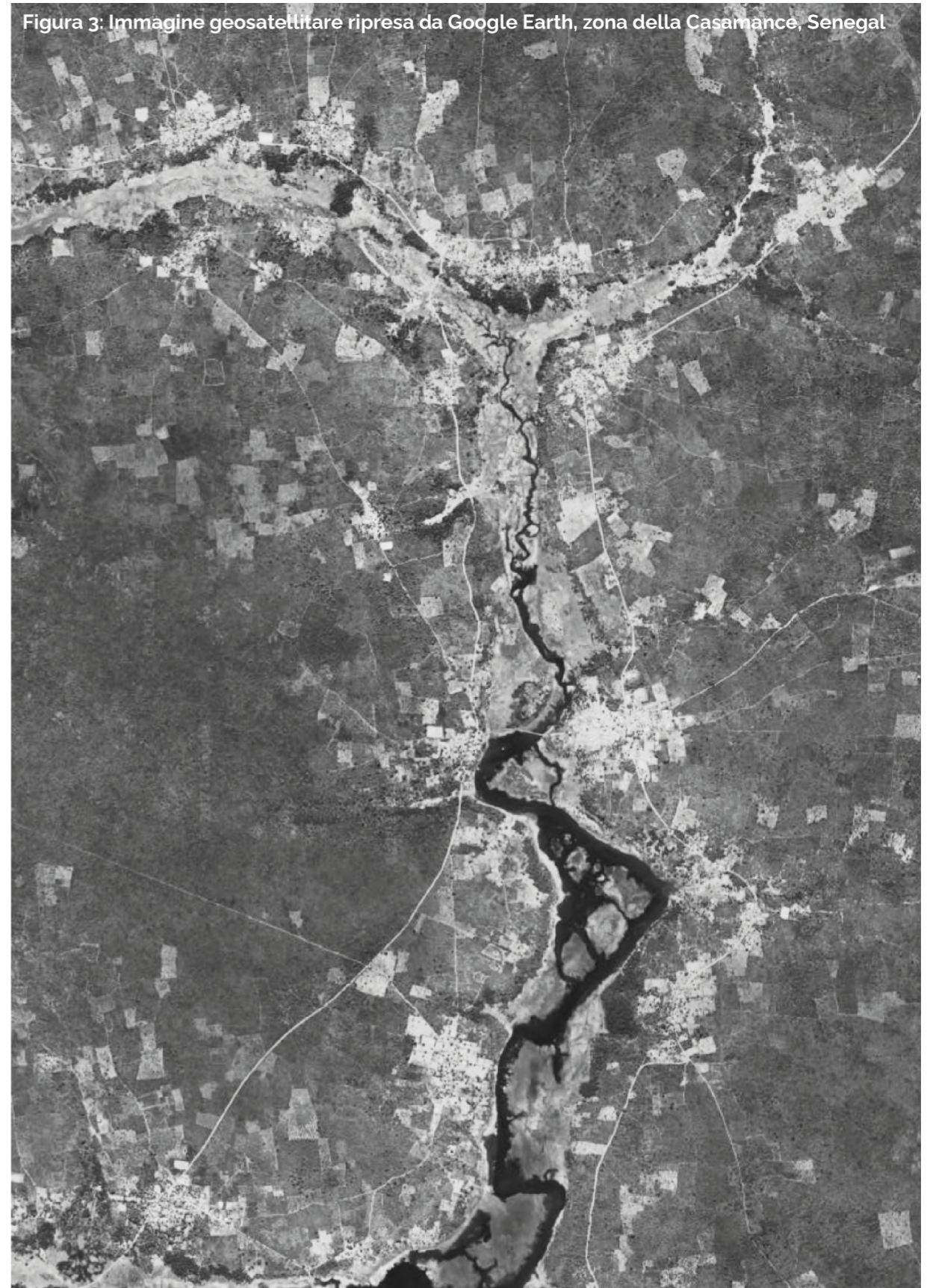
<sup>6</sup> **Primary School On-site Review Report**, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004

Per questi motivi, i fondi per promuovere interventi edilizi nel contesto rurale e tropicale africano sono da ricercarsi altrove. Le possibilità di ottenere finanziamenti per progetti edilizi sono molteplici, tuttavia si procede concentrandosi sulla natura dei finanziamenti legati ad **interventi di tipo umanitario**. Le tipologie di intervento umanitario riscontrate nei casi studio coinvolgono, in primo luogo, organizzazioni no-profit e/o studi professionali. In questo caso, gli investimenti derivano da eventi di raccolta fondi o da versamenti privati esteri.

Data la natura dei finanziamenti, è opportuno far notare che il budget stanziato per i progetti può subire fluttuazioni in funzione di molti fattori legati al contesto nel quale si agisce, quali: l'instabilità economica e politica, il presentarsi di eventi estremi, la variazione dei costi legati a materiali e manodopera e così via. Allo stesso tempo, è probabile che il budget ricavato per l'intervento edilizio non riesca a coprire tutte le spese necessarie.

Di conseguenza, tutti i costi legati al ciclo di vita dell'edificio devono perseguire i criteri dell'offerta economicamente più vantaggiosa individuata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo, dove, in questo caso, si intende per qualità il rispetto dei requisiti specifici di progetto. Per questo motivo, si procede argomentando la **natura dei finanziamenti**, senza andare ad indagare

Figura 3: Immagine geosatellitare ripresa da Google Earth, zona della Casamance, Senegal





soluzioni specifiche per perseguire tale obiettivo, dato che molte delle strategie individuate nello SSP perseguono in maniera intrinseca l'ottimizzazione dei costi.

Il parametro che limita la scelta agli interventi umanitari, nei casi selezionati, presuppone che si operi in un'ottica di **autocostruzione**. Questo dato, quindi, aiuta ad indagare entro i confini della movimentazione manuale, in totale assenza di mezzi pesanti.

La scelta di operare in questo regime deriva sia dai requisiti espressi nel bando di Concorso Kaira Loro 2023 organizzato dall'associazione no-profit **Balouo Salò (Fig. 4)**, sia dai termini imposti dal territorio riguardo la scarsità economica, la marginalità spaziale ed i mezzi a disposizione.



**Figura 4:** Associazione no-profit **Balouo Salò**. pozzo per il villaggio di **Sanoufly, Senegal, Africa**. **Sanoufly è un villaggio nella Casamance** con gravi problemi di approvvigionamento idrico e sanitario, dovuti alla ridotta profondità dei pozzi esistenti, dalla non raggiungibilità della falda acquifera e dai contaminati dovuti all'intrusione salina. Il progetto prevede un pozzo moderno profondo 16 metri, alimentato da energia solare, con sistemi di desalinizzazione e decontaminazione dell'acqua. I beneficiari totali sono circa 2.500 persone.

## 2.1.2 INputs

### Definizione delle variabili meteorologiche

In questa sezione si specificano le variabili assunte nei dati in INputs, riferite ai fattori climatici. Nello specifico, si chiarisce come i fattori climatici assunti nel primo capitolo vengano tradotti in variabili meteorologiche.

Come riportato nel primo capitolo, i 5 fattori climatici che influenzano fortemente le prestazioni del sistema di copertura nel contesto tropicale sono: radiazione solare, temperatura, precipitazioni, vento e umidità.

In questa fase, i **5 fattori climatici vengono tradotti in variabili meteorologiche** che riportano dati quantitativi medi (Fig.5).

Qui di seguito si riportano chiarimenti riguardo le variabili assunte dalle fonti di riferimento:

#### Radiazione solare

- **Percorso solare:** diagramma solare del contesto specifico;
- **Copertura nuvolosa:** la percentuale di tempo trascorso in ciascuna fascia di copertura nuvolosa, classificata in base alla percentuale di cielo coperto da nuvole.

#### Temperatura

- **Temperature medie:**
  - a. La temperatura a bulbo secco giornaliera massima e minima;
  - b. La temperatura percepita (o temperatura dell'aria) giornaliera;
  - c. La **temperatura** percepita (o temperatura dell'aria) **oraria**.

#### Precipitazioni

- **Pioggia:** la piovosità media accumulata nel corso di un periodo mobile di 31 giorni.

#### Vento

- **Velocità media del vento:** descrive la distribuzione media giornaliera della velocità del vento durante tutto l'anno;
- **Rosa dei venti:** restituisce informazioni riguardo la direzione dalla quale provengono i venti, la loro frequenza e velocità;
- **Direzione del vento:** riporta la distribuzione media giornaliera della provenienza (direzione e verso) del vento durante tutto l'anno. Questa informazione, a differenza della rosa dei venti, descrive stagionalmente la direzione prevalente dei venti.

#### Umidità

- **Livelli di comfort dell'umidità:** la percentuale di tempo trascorso a vari livelli di comfort di umidità, classificato in base al punto di rugiada

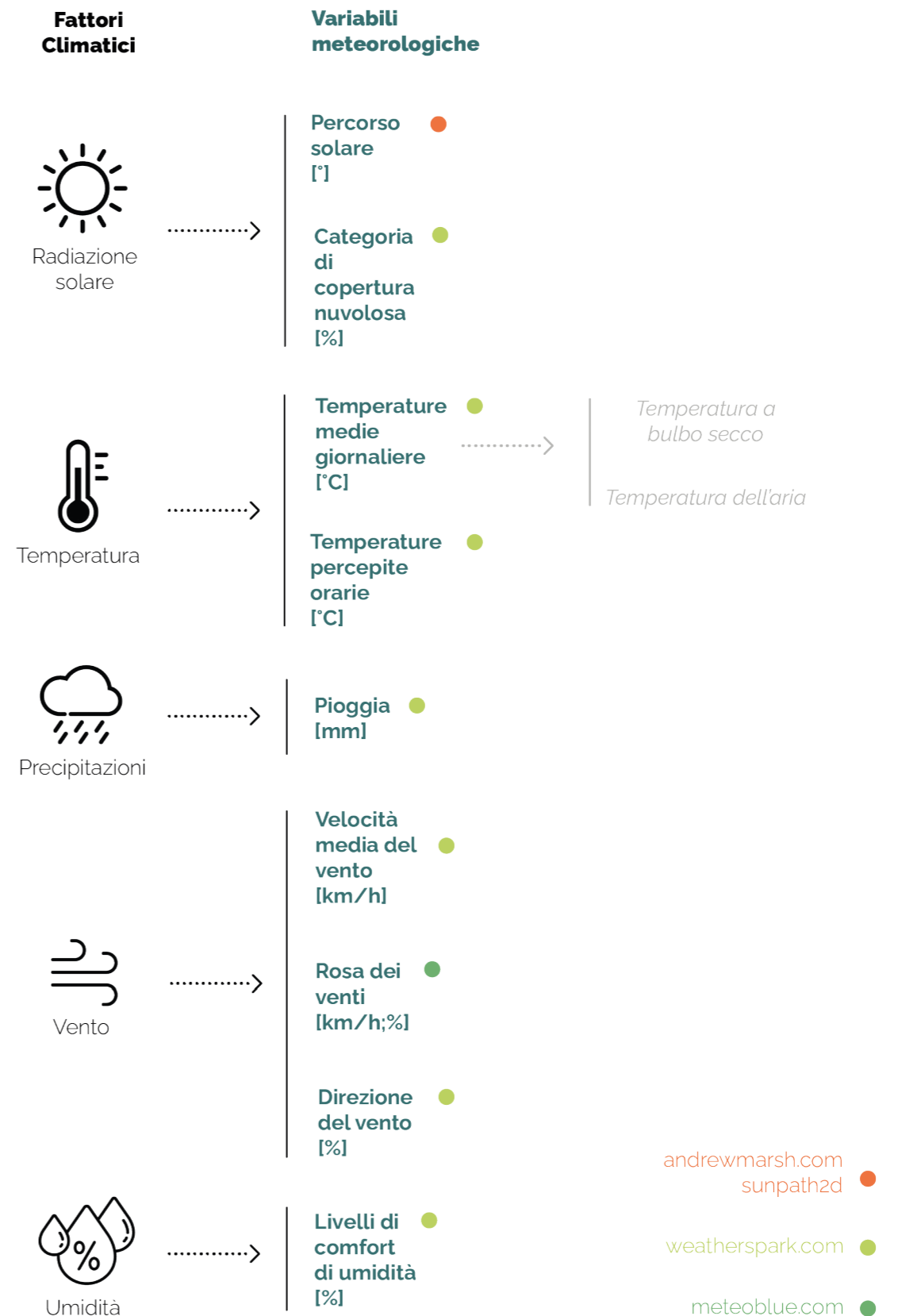


Figura 5: Schema dei fattori climatici associati alle variabili meteorologiche e relative fonti, realizzato dalla tesista



### Definizione degli hazards naturali

Nel primo capitolo si è parlato di rischi per il sistema uomo ed il sistema ambiente dovuti agli hazards naturali.

Nello SSP, comprendere i trend riguardanti gli hazards climatici di un dato contesto è cruciale per indirizzare correttamente le priorità progettuali. Questo implica che su alcuni criteri, utilizzati per valutare e guidare il design, verrà riposta più attenzione rispetto ad altri.

In questa fase, si procede valutando separatamente i **rischi legati alle ondate di calore** ed agli **hazards naturali** facendo riferimento alle analisi nazionali e regionali della *World Bank*, sul portale on line *Climate Change Knowledge Portal for Development Practitioners and Policy Makers* (Fig. 6).

#### a. Rischio di ondate di calore

Come già anticipato nel capitolo precedente, le ondate di calore, nello specifico contesto di tesi, rappresentano una forte criticità che può impattare sullo stato di salute e benessere delle popolazioni locali e che può essere esacerbato da mancati accorgimenti al livello del sistema di copertura.

In base alle stime sui percorsi e sulle emissioni, il sito riporta la **frequenza del rischio composto legato al calore ed all'umidità** ed alla **categorizzazione del rischio della popolazione**.

Nello specifico, il rischio composto può essere studiato spazialmente tramite la mappa, che raffigura la massima categorizzazione del rischio termico durante l'anno, su un periodo di tempo che si estende dal 2020 al 2039. Le indagini sulla stagionalità specifica del sito si basano su categorizzazioni mensili mostrate tramite il grafico circolare.

In più, il sito restituisce il numero di anziani e bambini esposti a tale rischio. In questo caso, il numero di persone rappresenta l'intensità del rischio.

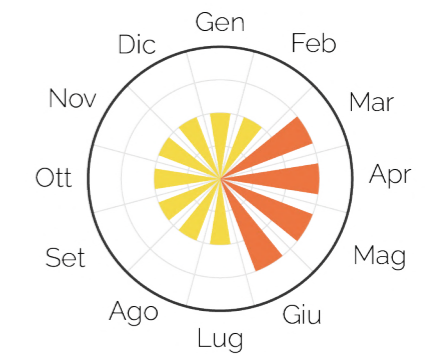
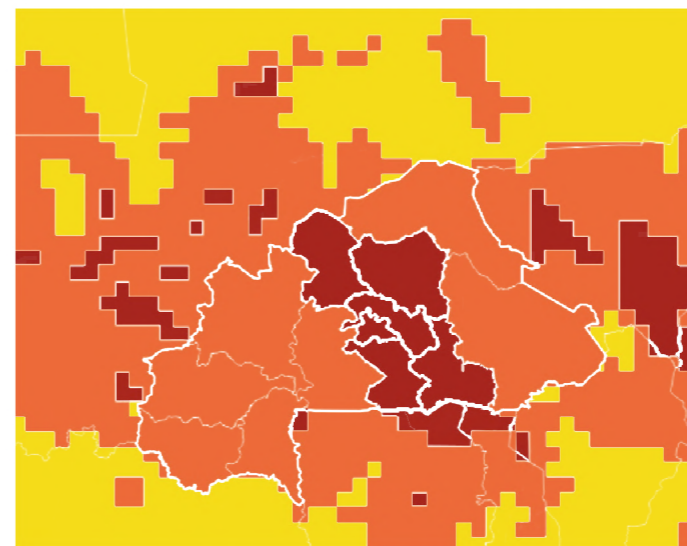
#### b. Hazards naturali

È ormai riconosciuto che il cambiamento climatico ha un impatto significativo sugli sforzi legati alla gestione delle catastrofi e rappresenta una minaccia significativa per i crescenti bisogni delle popolazioni più vulnerabili.

Le informazioni qui presentate offrono dati sulla **frequenza**, **l'impatto** e la **comparsa degli hazards naturali**.

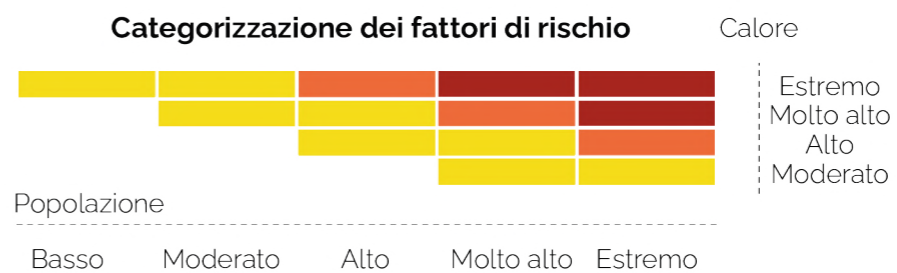
Infatti, i grafici forniscono una panoramica dei disastri naturali più frequenti in un dato Paese, mentre alcune informazioni testuali, sempre riprese dal sito, offrono spunti sul come tali disastri possono influenzare la vulnerabilità delle popolazioni locali.

**Categorizzazione**  
Ondate di calore basate sulla **temperatura** e sull'**umidità** + categorizzazione del **rischio della popolazione**



#### Fasce di età vulnerabili

Molto giovani (0-4 anni): M: 1.39 Milioni  
F: 1.45 Milioni  
Anziani (65 + anni): M: 823.580  
F: 652.800



#### Dati statistici sui principali hazards naturali (1980-2020)

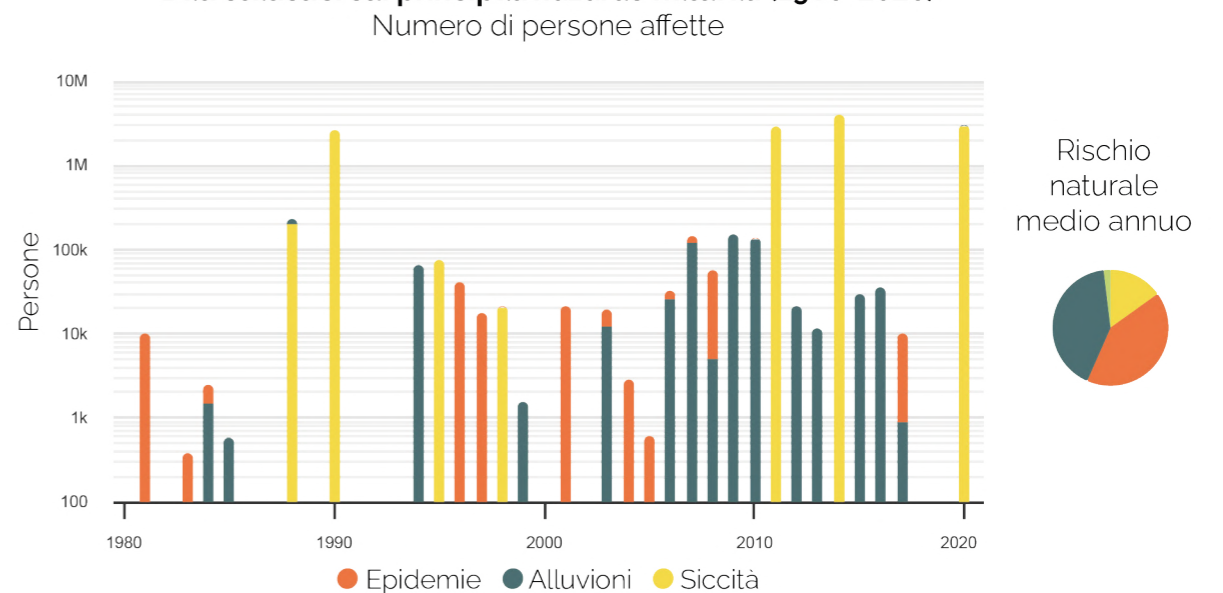


Figura 6: Rischi legati alle ondate di calore e agli hazards naturali. Esempio sul Burkina Faso

### 2.1.2 OUTcomes e OUTputs

#### OUTcomes

La struttura riferita agli OUTcomes dello Strumento di Supporto alla Progettazione è stata fortemente influenzata dal quadro di riferimento comune dell'UE chiamato **Level(s)**, costituito da indicatori per la valutazione della sostenibilità degli edifici.

**Level(s) può essere applicato sin dalle primissime fasi della progettazione concettuale** fino alla fine prevista del ciclo di vita dell'edificio. Oltre alle prestazioni ambientali, che rappresentano l'aspetto più importante, consente di valutare anche altri aspetti dell'efficienza correlati e significativi, utilizzando indicatori e strumenti relativi a salute e benessere, costi del ciclo di vita e potenziali rischi futuri per le prestazioni.

Lo strumento europeo intende fornire un **linguaggio comune per la sostenibilità degli edifici**. Obiettivo di questo linguaggio comune è consentire interventi a livello dell'intero edificio che possano apportare evidente contributo per il conseguimento di obiettivi più ampi nell'ambito della politica ambientale.

Level(s) è costituito da macro-obiettivi e sviluppato in indicatori principali comuni. Gli indicatori si differenziano in base a 3 livelli, che rappresentano la progressione dal concetto iniziale fino alla progettazione dettagliata, alla costruzione, al completamento e all'occupazione dei progetti.

Lo SSP riprende i macro-obiettivi di Level(s) e li modella sul sistema di copertura e sul contesto di riferimento. In particolare, i macro-obiettivi assunti sono:

- Emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici lungo il ciclo di vita di un edificio;
- Cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse;
- Utilizzo efficiente delle risorse idriche;
- Spazi salubri e confortevoli;
- Adattamento e resilienza ai cambiamenti climatici.

Gli indicatori di ogni macro-obiettivo costruiti per lo SSP fanno riferimento al **livello 1 di progettazione concettuale di Level(s)**, basato su valutazioni qualitative iniziali per la comunicazione dei concetti.

Occorre specificare che il macro-obiettivo riguardo il costo è stato escluso, così come tutti gli indicatori non associabili all'unità funzionale affrontata in tesi.

La struttura e gli argomenti trattati da Level(s) sono stati assunti per una mancanza di un quadro di riferimento sulla valutazione degli edifici in Africa.

Nonostante il quadro di riferimento sia modellato sulle esigenze del contesto europeo, i principi progettuali riportati nel quadro di riferimento perseguono l'obiettivo di sviluppo sostenibile, adottando modalità di lavoro capaci di rispondere ai bisogni del presente, conciliando salute ambientale, equità sociale e vitalità economica per creare comunità fiorenti, sane, diversificate e

resilienti; partendo dal presupposto che le risorse che usiamo per lavorare e per vivere sono limitate, quindi utilizzarle in modo ponderato abilita uno sviluppo sostenibile nel tempo.

Questo concetto intrinseco al quadro di riferimento Level(s) è perfettamente adattabile alle esigenze del contesto rurale e tropicale, nel quale la scarsità e la povertà fanno del concetto di sviluppo sostenibile un obbligo e non una scelta.

#### OUTputs

Le strategie puntuali individuate per ogni indicatore possono essere classificate in:

- **Strategie bioclimatiche:** studio delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni dei sistemi tecnologici che rispondono maggiormente alle caratteristiche climatiche del sito, e che consentono di raggiungere condizioni di benessere all'interno degli edifici [**definizione di architettura bioclimatica, Hadrovic, 2008**]. Nello specifico, si tratta di **strategie passive**, quindi di tecniche progettuali che non fanno affidamento su sistemi meccanici o elettrici. Molti principi bioclimatici esposti nello SSP fanno riferimento al libro di *Victor Olgyay, Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*.
- **Scelte materiche:** studio delle caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei materiali per facilitare la scelta in base ai requisiti funzionali dello strato/elemento del sistema di copertura. Si tratta quindi di scegliere materiali congruenti ai requisiti espressi dagli indicatori.
- **Soluzioni tecnologiche:** informazioni riguardo gli strumenti, le tecniche o i sistemi innovativi in grado di ottimizzare la progettazione, la costruzione e la funzionalità del sistema di copertura. Le soluzioni tecnologiche rispondono maggiormente alle caratteristiche ambientali del sito. Inoltre, molte proposte relative a questa sezione tengono conto del fatto che si opera in un contesto a risorse scarse.

Ogni strategia puntuale restituisce una soluzione relativa all'intero sistema di copertura o al singolo strato/elemento. Gli strati che compongono il sistema di copertura possono essere classificati in:

- **Rivestimento esterno;**
- **Struttura portante;**
- **Elemento di chiusura:** elemento di separazione degli ambienti interni dallo spazio esterno.

Le coperture si articolano poi in una serie di altri strati complementari, finalizzati a migliorare le prestazioni finali, la cui presenza dipende dai requisiti del singolo progetto.

Il diagramma di flusso nella **Figura 7** riporta il passaggio da OUTcomes ad OUTputs.

### 3 Macro-obiettivi

  
1. Spazi salubri e confortevoli

  
2. Spazi sicuri

  
3. Salvaguardia ambientale

### Indicatori

-  **1. A Comfort termo-igrometrico** →
-  **1. B Qualità dell'aria interna** →
-  **1. C Illuminazione e comfort visivo** →
-  **1. D Acustica e protezione contro il rumore** →
-  **2. A Resistenza ai carichi statici** →
-  **2. B Resistenza e protezione dagli agenti atmosferici** →
-  **2. C Sicurezza al fuoco** →
-  **3. A Fase del prodotto e fase di costruzione** →
-  **3. B Materiali: quantità e vita utile** →
-  **3. C Progettare ai fini di adattabilità e ristrutturazione** →
-  **3. D Progettare ai fini di smantellamento e riutilizzo** →

### Strategie, scelte e soluzioni puntuali

- 2 Strategie bioclimatiche + 2 Scelte materiche
  - Strategie bioclimatiche + Scelte materiche
  - Strategie bioclimatiche + Scelte materiche
  - 2 Strategie bioclimatiche + 2 Scelte materiche
  - 4 Scelte materiche
  - 2 Scelte materiche + 2 Strategie bioclimatiche
  - Soluzioni tecnologiche Scelte materiche
- Ecocompatibilità Localizzazione e trasportabilità      Lavorabilità Compatibilità culturale
- 4 Soluzioni tecnologiche + 2 Scelte materiche +
  - 2 Scelte materiche + 2 Strategie bioclimatiche + 2 Soluzioni tecnologiche
  - Soluzioni tecnologiche

### Sistema di copertura



Figura 7: Diagramma di flusso dello SSP, realizzato dalla tesista.



## 1 Spazi salubri e confortevoli

Lo Strumento di Supporto alla Progettazione strutturato sul sistema di copertura si concentra in questa sezione sullo **studio delle variabili climatiche**. Per garantire spazi salubri e confortevoli, gli **aspetti bioclimatici legati al sistema edificio** svolgono un ruolo importante per la determinazione delle strategie da adottare.

### 1.A COMFORT TERMO-IGROMETRICO

7 Kabre, 2009; Al-O-baidi et al., 2014; Zingre et al., 2015; Garg et al., 2016; Nihar et al., 2017; Kolokotroni et al., 2018; Lapisa et al., 2019; Hodo-Abalo et al., Lapisa et al., 2019; Vellingiri et al., 2020; Tenezaca et al., 2021; Bunker et al., 2024

Lo studio della letteratura esistente riguardo sistemi di copertura con rivestimento in lamiera in contesti in Via di Sviluppo si concentra sul migliorare le prestazioni termiche del sistema di copertura per attenuare il discomfort termico negli ambienti interni<sup>7</sup>.

Di conseguenza, l'indicatore dedicato al comfort termo-igrometrico assume un ruolo fondamentale nel contesto specifico di tesi e quindi nello SSP.

Nel sistema edificio, le diverse unità tecnologiche operano in stretta collaborazione per garantire il rispetto dei requisiti di progetto. Per comprendere le funzioni assolute dal sistema edificio e di conseguenza il ruolo della copertura all'interno di questo sistema, per questa sezione è stato creato un **iter metodologico preliminare** suddiviso in 3 step (Fig. 8):

- **Step 1: Riconoscere la stagione secca e la stagione delle piogge**
- **Step 2: Analisi delle variabili meteorologiche stagionali**
- **Step 3: Distribuzione stagionale delle strategie bioclimatiche passive tramite analisi del diagramma psicrometrico di Givoni**

8 Rohli, Robert. V.; Vega, Anthony J. (2018). *Climatology* (4<sup>a</sup> ed.). Jones & Bartlett Learning

- **Step 1: Riconoscere la stagione secca e la stagione delle piogge**  
Il sistema di classificazione climatica di Köppen, adotta una soglia quantitativa, per i climi tropicali, per distinguere la stagione delle piogge dalla stagione secca. Un valore spesso citato è utilizzato si aggira intorno ai 60 mm di precipitazioni medie mensili<sup>8</sup>. Quindi si definisce:

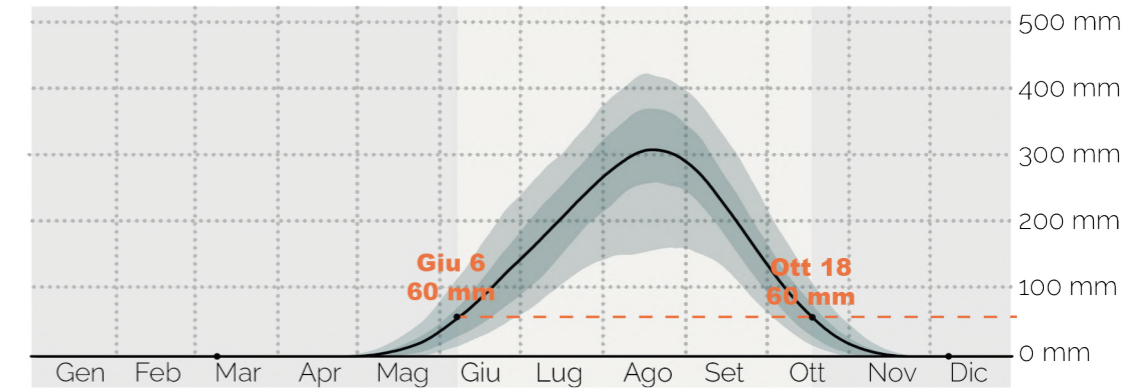
- Stagione delle piogge: precipitazioni medie mensili > 60 mm;
- Stagione secca: precipitazioni medie mensili < 60 mm.

Questa distinzione è applicabile ai sottogruppi climatici riferiti al clima monsonico Am ed al clima della savana. Per quanto riguarda il clima equatoriale Af, definito anche come "clima della foresta pluviale tropicale, sempre umida", non verrà applicata questa distinzione in quanto caratterizzato dalla sola stagione delle piogge.

- **Step 2: Analisi delle variabili meteorologiche stagionali**  
Le variabili meteorologiche possono essere elaborate stagionalmente. Lo studio delle tendenze climatiche facilita la scelta delle strategie bioclimatiche volte al miglioramento delle condizioni di comfort termo-igrometrico.

● stagione secca ● stagione delle piogge

#### Step 1



#### Step 2



#### Legenda

- ☁ Copertura nuvolosa
- ☀ Radiazione solare diretta
- 🌡 Temperatura a bulbo secco
- 🌡 Temperatura percepita
- ☔ Pioggia
- 🌀 Velocità media del vento
- 💧 Livelli di comfort di umidità

#### Step 3

##### Diagramma psicrometrico

Distribuzione annuale di temperatura e umidità

1 2771 Hrs

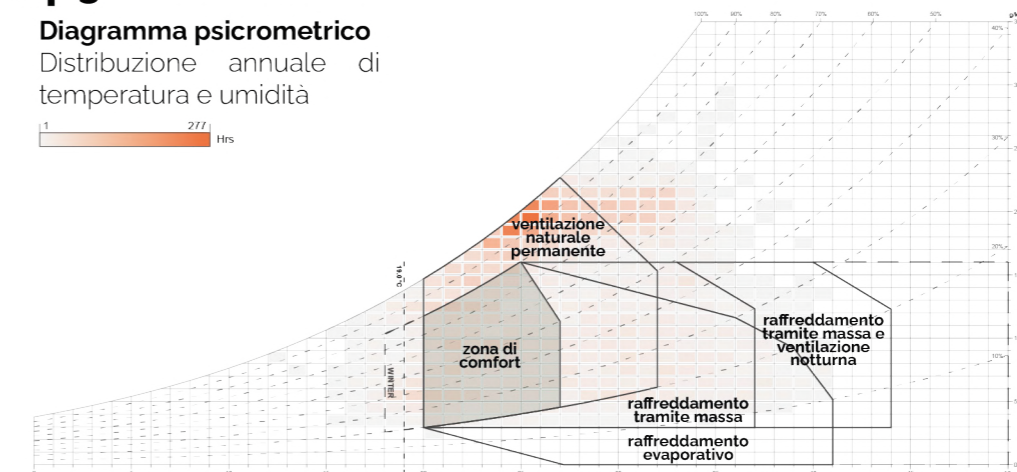


Figura 8 : Iter metodologico preliminare con i dati di Marsassoum, Senegal; elaborato dalla tesista

● **Step 3: Distribuzione stagionale delle strategie bioclimatiche passive tramite analisi del diagramma psicrometrico di Givoni**

Il diagramma psicrometrico di Givoni è uno strumento grafico che tiene conto delle condizioni ambientali esterne. Il diagramma ha la funzione di inquadrare strategie di attenuazione delle azioni termiche esterne per gli edifici al fine di garantire condizioni termo-igrometriche che ricadono all'interno della zona di comfort<sup>9</sup>.

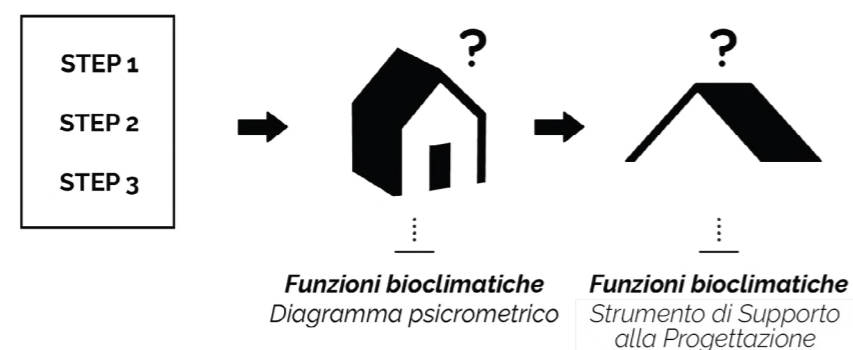
Le strategie riportate sul diagramma psicrometrico sono studiate per edifici ad uso diurno o permanente, provvisti o meno di impianti di ventilazione meccanizzata. Le strategie selezionate, dato il contesto di tesi, fanno riferimento ad edifici ad uso diurno e permanente sprovvisti di impianti di ventilazione meccanizzata.

Di conseguenza, le strategie bioclimatiche utili sono:

- **Zona di comfort:** protezione dalla radiazione solare diretta;
- **Ventilazione naturale permanente:** massimizzare la velocità dell'aria per ridurre la temperatura dell'aria;
- **Raffreddamento tramite massa, o inerzia termica, con o senza ventilazione notturna:** capacità dell'involucro di ritardare e smorzare l'effetto delle sollecitazioni termiche esterne;
- **Raffreddamento evaporativo:** capacità dell'involucro di favorire il fenomeno naturale dell'evaporazione dell'acqua, che assorbe calore dall'ambiente circostante, abbassando così la temperatura dell'aria.

Tramite raccolta dei dati meteorologici<sup>10</sup> e per mezzo di simulazioni svolte con software on line<sup>11</sup> è possibile ottenere la distribuzione annua della temperatura e dell'umidità del contesto desiderato. Di conseguenza, è possibile distribuire stagionalmente le strategie bioclimatiche proposte dal diagramma psicrometrico grazie al diagramma ed allo studio delle variabili meteorologiche.

In conclusione, le **strategie bioclimatiche** che si ottengono da questa analisi suggeriscono le **funzioni che deve svolgere il sistema edificio**, di conseguenza, si comprende il **ruolo del sistema di copertura** per il raggiungimento delle condizioni di comfort termico. Il ruolo del sistema di copertura viene analizzato con le strategie proposte nello SSP, divise per intero sistema o singolo strato/elemento.



<sup>9</sup> Salvatore DePasqualis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccovio, 2001, Palermo

<sup>10</sup> <https://www.adybug.tools/epw-map/#close> (ult. cons. 06/06/2024)

<sup>11</sup> <https://www.andrewmarsh.com>

■ **Strategie bioclimatiche: protezione dalla radiazione solare diretta**

*Sistema di copertura*

Secondo Olgyay, alle latitudini più basse, il lato Sud di un edificio riceve quasi quattro volte più radiazione d'inverno che d'estate. D'estate i lati Est ed Ovest ricevono da due a tre volte più radiazione rispetto alla facciata Sud.

Inoltre, sul lato Ovest, l'effetto dell'alta temperatura è aumentato dall'effetto dell'irraggiamento pomeridiano. Quindi, la progettazione eliotermica in questo specifico contesto climatico suggerisce che l'orientamento ottimale del **corpo dell'edificio**, e di conseguenza del sistema di copertura, sia **ruotato di 5° verso Est rispetto all'asse Sud**.

Nei contesti tropicali, la facciata **Ovest** di un edificio rappresenta quindi una delle criticità principali, poiché è esposta alla radiazione solare diretta durante le ore più calde della giornata. Pertanto, è essenziale che la copertura la protegga adeguatamente, prevedendo un **ampio aggetto e un tetto inclinato** in quella direzione, per schermare efficacemente i raggi solari che, avendo un angolo zenitale ridotto, richiedono una protezione adeguata. Anche le facciate Sud e Nord dovrebbero beneficiare di un minimo aggetto per una protezione ottimale. Inoltre, è consigliato che la copertura presenti un ampio aggetto e una buona inclinazione anche verso Est, per schermare l'edificio dalla radiazione solare diretta durante le prime ore del mattino. L'aggetto in direzione Est ha l'obiettivo di attenuare il surriscaldamento degli ambienti interni durante le ore pomeridiane.

Dato che la zona tropicale africana si estende a cavallo dell'Equatore, queste indicazioni valgono per il contesto al di sopra di esso e si ribaltano al di sotto lungo l'asse Est-Ovest.

La **protezione dalla radiazione solare incidente** può riguardare direttamente anche il sistema di copertura. Se l'incidenza della radiazione solare rispetto alla superficie colpita è di 90°<sup>12</sup>, allora la quantità di radiazione trasmessa alla superficie è massima. Questo suggerisce che, al di sopra dell'Equatore, le **coperture con inclinazione a Nord** riescono a ridurre la quantità di radiazione solare incidente.

■ **Scelte materiche: capacità di riflettere la radiazione solare incidente**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

**I materiali di rivestimento devono riflettere la radiazione solare incidente**<sup>13</sup>.

I **tetti freddi**, caratterizzati da superfici molto chiare, sono un ottimo esempio di come il colore del rivestimento esterno possa riflettere la radiazione solare incidente.

È stato dimostrato che in contesti caldo-umidi, il colore del materiale di rivestimento può ridurre il numero di ore di comfort termico fino all'87,2%<sup>14</sup>. La lamiera è caratterizzata da una buona riflettanza percentuale che si aggira intorno all'85%. Tuttavia, il metallo, se non opportunamente trattato o rivestito

<sup>12</sup> Salvatore De Pasqualis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccovio, 2001, Palermo (pag. 116)

<sup>13</sup> Sergio Croce, **Teoria e tecnologia delle coperture ad elevate prestazioni**, Rockwool firesafe insulation

<sup>14</sup> Lapisa et al., **Passive cooling strategies in roof design to improve the residential building thermal performance in tropical region**, Asian Journal of Civil Engineering, 2019

15 Carrasco-Teneza-  
ca, *Effect of cool roof  
colour on indoor tem-  
perature and human  
comfort levels, with  
implications for ma-  
laria control: a pilot  
study using experi-  
mental houses in ru-  
ral Gambia*, Malaria  
Journal, 2021

con zinco, può corrodersi a causa dell'ossidazione causata dal contatto con l'acqua, sale, polvere e fuliggine, e conseguentemente arrugginarsi. Il proces-  
so di ossidazione, responsabile del cambiamento di colore del tetto da grigio  
argenteo a rosso scuro, è un rischio legato al rivestimento che impatta sulle  
caratteristiche fisiche del materiale<sup>15</sup>. In particolare, questo fenomeno riduce  
il potere riflettente della superficie esterna e la sua resistenza alla trasmissio-  
ne del calore.

■ **Strategie bioclimatiche: tetti ventilati**  
Sistema di copertura

16 Victor Olgay, *Pro-  
gettare con il clima.  
Un approccio biocli-  
matico al regionali-  
simo architettonico*,  
Franco Muzzio & c.  
editore, 1981, (pag.  
192)

In un tetto ventilato, ciascuna cavità o intercapedine tra il rivestimento esterno  
e l'elemento di chiusura degli ambienti interni contribuisce con una propria  
resistenza termica, inoltre, la capacità di asportare l'energia incidente cresce  
all'aumentare dello spessore dell'intercapedine ventilata<sup>16</sup>.  
È stato dimostrato che un'intercapedine ben ventilata riesce a ridurre le  
temperature interne di almeno 6 °C rispetto a quelle esterne<sup>17</sup>.

17 Primary School  
On-site Review Re-  
port, edited by Aga  
Khan Award for Archi-  
tecture, 2004

■ **Scelte materiche: ridurre l'inerzia termica e la massa termica, va-  
lutare l'impiego di isolanti termici**  
Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Elemento di chiusura

In contesti caldo-umidi, l'escursione termica tra giorno e notte è irrilevante, in  
buona parte per gli effetti dell'umidità. Questo significa che l'**involucro edili-  
zio non deve essere costituito da materiali con elevata inerzia termica**. In-  
fatti, i materiali con un'elevata inerzia termica tenderanno a rilasciare il calore  
durante le ore notturne che, sommato alle notti afose estive, porterà ad un  
discomfort termo-igrometrico nelle ore mattutine.

Olgay suggerisce per i contesto tropicali **costruzioni a bassa densità mate-  
rica**, totalmente permeabili agli effetti della ventilazione.

Per quanto riguarda il sistema di copertura, è consigliabile utilizzare, sia per  
il rivestimento esterno che per l'elemento isolante al di sotto della copertura,  
materiali con bassa inerzia termica. Tuttavia, per quanto riguarda l'elemento  
isolante al di sotto del rivestimento, è consigliabile prevedere isolanti termici  
naturali, in grado di isolare termicamente gli ambienti sottostanti dalla radia-  
zione termica trasmessa dal rivestimento.

L'impiego di **materiali igroscopici** aiuta inoltre a migliorare le condizioni ter-  
mo-igrometriche interne.

Gli OUTputs sono schematizzati in **Figura 9**.

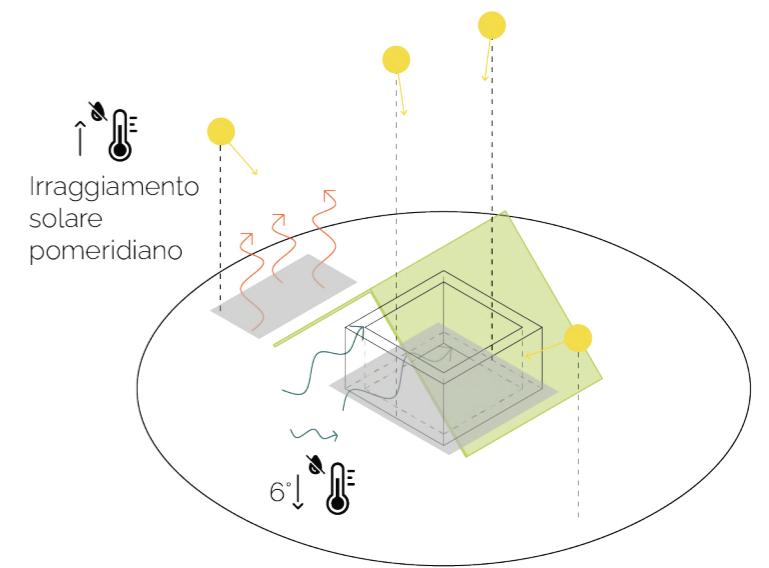
● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Elemento di chiusura

**Strategie bioclimatiche**

Protezione dalla radiazione solare  
diretta

**Strategie bioclimatiche**

Tetti ventilati

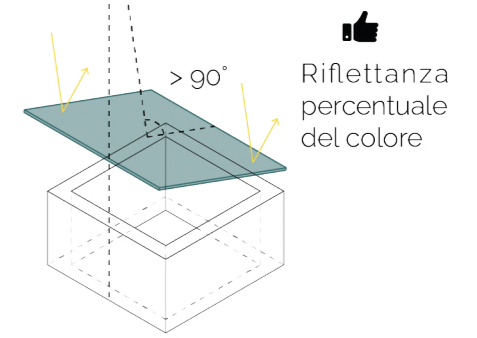


asse elioterminico: 5°

Progettare inclinazioni delle  
coperture con angolo di incidenza  
tra la superficie e la radiazione  
solare diverso da 90°

**Scelte materiche**

Capacità di riflettere la radiazione  
solare incidente e alta resistenza  
alla trasmissione del calore



Riflettanza  
percentuale  
del colore

**Scelte materiche:**

Ridurre l'inerzia termica e la  
massa termica, valutare l'impiego  
di isolanti termici

Materiali igroscopici per gli  
elementi isolanti

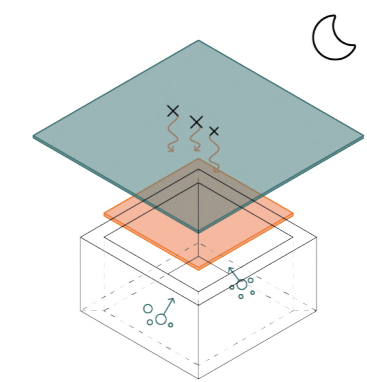


Figura 9 : OUTputs dell'indicatore 1.A, elaborato dalla tesista



## 1.B QUALITA' DELL'ARIA INTERNA

- **Strategie bioclimatiche: favorire la ventilazione trasversale e facilitare i moti convettivi ascensionali e l' "effetto camino"**  
Sistema di copertura

18 **L'Indice di qualità dell'aria (AQI) e l'inquinamento atmosferico da PM2.5** viene verificato da: <https://www.iqair.com/it/world-air-quality> (ult. cons. 10/06/2024)

19 Victor Olgay, **Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico**, Franco Muzzio & c. editore, 1981, (pag. 186)

20 U.S. Environmental Protection Agency, **Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; Dec 2013. EPA 402-F-13053.

Favorire i moti convettivi ascensionali in ambienti chiusi è utile per **evacuare un possibile accumulo di anidride carbonica**. Data la buona qualità dell'aria esterna nel contesto rurale africano, è consigliato progettare ai fini del ricambio dell'aria interna con quella esterna, pulita e non inquinata<sup>18</sup>.

La progettazione di **aperture sull'elemento di chiusura degli spazi interni** favorisce la convezione naturale all'interno degli ambienti, infatti, l'aria calda entrante dalle aperture perimetrali verticali tenderà a salire ed a uscire in prossimità delle aperture sul soffitto grazie al moto ascensionale convettivo. In più, un buon **oggetto del rivestimento superficiale** del sistema di copertura capta le correnti d'aria che altrimenti sfuggirebbero, aumentando così l'effetto del flusso entrante<sup>19</sup>.

In aggiunta, favorire i moti convettivi ascensionali in ambienti chiusi può **ridurre i fenomeni condensativi**, limitando così lo sviluppo di condizioni favorevoli allo sviluppo di muffe e la predisposizione dei materiali a processi di degrado<sup>20</sup>.

Occorre specificare che se la temperatura negli ambienti interni è inferiore a quella registrata nell'intercapedine del sistema di copertura, allora l'aria interna tenderà a passare dai fori in uscita progettati per l'elemento di chiusura per effetto della differenza di temperatura, pressione e altezza tra i due spazi. Questo fenomeno, che prende il nome di **"effetto camino"**, cresce all'aumentare delle dimensioni dei fori, mentre il ricambio d'aria per gravitazione aumenta al crescere della distanza tra le aperture perimetrali e le aperture sul soffitto.

- **Scelte materiche: materiali che non hanno un impatto nocivo sulla salute umana, resistenza agli agenti biologici**  
Elemento/Strato: Elemento di chiusura

21 Salvatore De Pascalis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccovio, 2001, Palermo

Nel clima caldo-umido dell'Africa tropicale, nel periodo più afoso dell'anno, in genere, i venti che si registrano sono prevalentemente **brezze leggere**, secondo la scala di Beaufort<sup>21</sup>. Questo significa che, dati gli alti livelli di umidità e la ridotta velocità dell'aria, in questo contesto si preferisce l'impiego di materiali con elevata resistenza agli agenti biologici.

Occorre puntualizzare che il livello di comfort dell'umidità si basa sul punto di rugiada, poiché questo dato determina se il sudore evaporerà dalla pelle, raffreddando così il corpo.

L'elemento a chiusura degli ambienti interni è protetto dal rivestimento e dalla struttura della copertura dovrebbe essere costituito da materiali caratterizzati

da una **bassa emissione di composti organici volatili (COV)** durante la loro vita utile.

I composti organici volatili (COV) sono composti organici che hanno un'elevata tensione di vapore a temperatura ambiente correlata a un basso punto di ebollizione e ad un'elevata volatilità<sup>22</sup>.

Vernici e rivestimenti, sigillanti, adesivi, additivi chimici, colle ed alcuni tipi di isolanti possono rilasciare composti organici volatili. Per questo motivo, i rivestimenti interni potrebbero essere sottoposti ad un trattamento superficiale con **oli naturali**, al fine di ridurre possibili emissioni di COV.

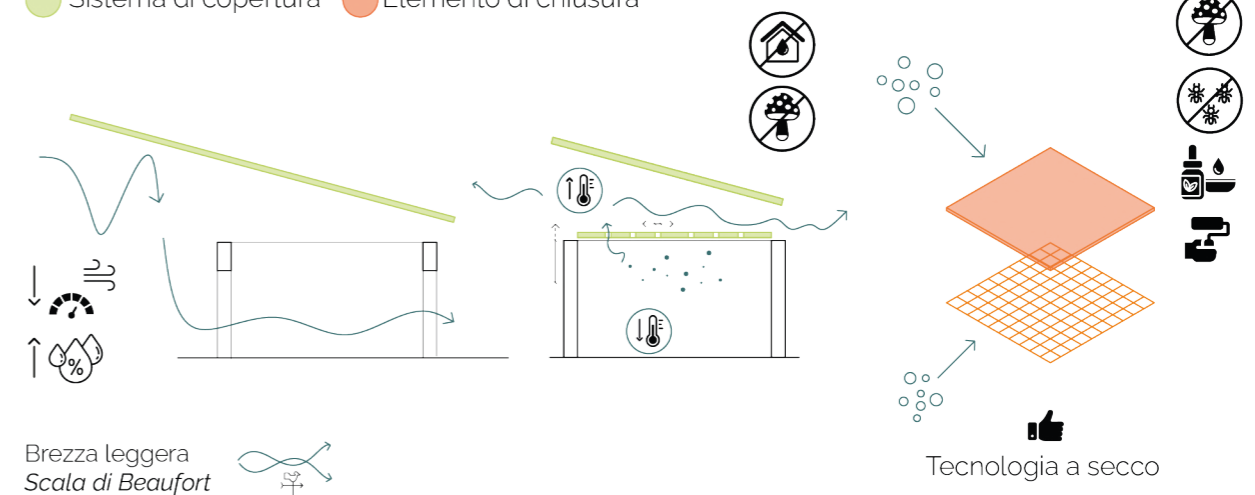
Le **pitture a base** di calce utilizzate spesso nel contesto rurale africano vengono utilizzate per proteggere i materiali naturali dagli attacchi degli agenti biologici. La terra, per esempio, dato il contesto tropicale caldo-umido e per la sua natura organica e porosa, se non stabilizzata con la calce, avente proprietà antisettiche, può andare incontro a degrado per lo sviluppo di muffe o funghi. Inoltre, se la terra viene stabilizzata con la paglia o altri tipi di fibre naturali per aumentarne l'isolamento termico può essere attaccata da termiti o altri tipi di insetti presenti nella zona<sup>23</sup>.

La progettazione di un elemento di chiusura messo in opera con **tecnologia a secco** e ben protetto dagli agenti atmosferici potrebbe ridurre il rischio di muffe e funghi per sistemi in terra.

Invece, strutture leggere in acciaio a vista per elementi di chiusura interni, se non adeguatamente trattate anch'esse con la calce, potrebbero sviluppare un film di condensa sulla superficie e quindi favorire processi di corrosione a causa degli alti livelli di umidità del contesto tropicale.

Gli OUTputs sono riportati in **Figura 10**.

● Sistema di copertura ● Elemento di chiusura



### Strategie bioclimatiche

favorire la ventilazione trasversale e facilitare i moti convettivi ascensionali e l' "effetto camino"

### Scelte materiche

Non emissione di sostanze nocive, resistenza agli agenti biologici.

**Figura 10:** OUTputs dell'indicatore 1.B, elaborato dalla tesista

22 Koppmann, Ralf, **Volatile Organic Compounds in the Atmosphere**; ed. (2007)

23 **Primary School On-site Review Report**, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004

### 1. C ILLUMINAZIONE E COMFORT VISIVO

#### ■ Strategie bioclimatiche: massimizzare il contributo della luce diurna

*Sistema di copertura*

24 [tps://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3](https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3) (ult. cons. 02|05|2024)

Molti edifici nel contesto rurale e tropicale africano sono caratterizzati da una scarsa illuminazione naturale<sup>24</sup>. Infatti, una delle sfide per i contesti tropicali sta nel saper individuare strategie progettuali che riescano a coniugare il guadagno di luce naturale con la riduzione dell'accumulo di calore.

Per ridurre l'accumulo di calore e proteggersi dalla radiazione solare diretta, è preferibile seguire le indicazioni trattate al punto 1.A Comfort termo-igrometrico.

Allo stesso tempo, per favorire l'ingresso di **luce naturale diffusa** è opportuno progettare **aperture sull'elemento di chiusura**, questo può favorire l'ingresso di luce zenitale negli ambienti interni.

#### ■ Scelte materiche: alta riflettanza percentuale

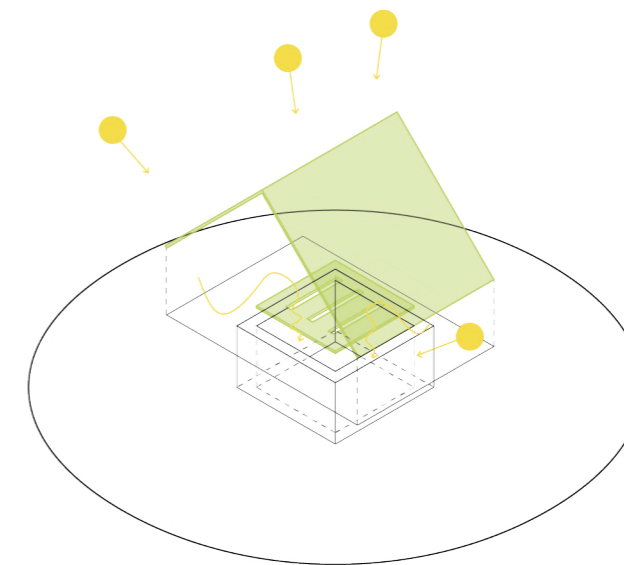
*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

25 Victor Olgay, **Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico**, Franco Muzzio & c. editore, 1981, (pag. 122)

I materiali utilizzati per il sistema di copertura, in particolare per il soffitto, potrebbero contribuire alla diffusione della luce naturale. Per aumentare la riflessione della luce naturale all'interno degli ambienti potrebbe essere utile progettare elementi di chiusura con rifinitura in calce sulla superficie interna agli ambienti. Il **colore biancastro della finitura superficiale interna** aiuterebbe a distribuire la luce in maniera più uniforme ed a far sembrare gli spazi più luminosi ed aperti<sup>25</sup>.

Gli OUTPUTs riguardo il comfort visivo sono riportati in **Figura 11**.

● Sistema di copertura ● Elemento di chiusura

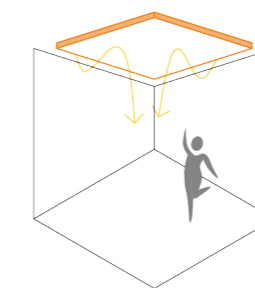


#### Strategie bioclimatiche

Massimizzare il contributo della luce diurna

*Protegersi dalla radiazione solare diretta*

*Aperture sul soffitto per l'ingresso di luce zenitale diffusa*



> 85%  
colori chiari

#### Scelte materiche

Alta riflettanza percentuale

Figura 11: : OUTPUTs dell'indicatore 1.C, elaborato dalla tesista



## 1.D ACUSTICA E PROTEZIONE CONTRO IL RUMORE

### ■ **Scelte materiche: impiegare materiali fonoisolanti in copertura**

Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante

L'isolamento di un ambiente "sottotetto" dipende dal potere fonoisolante dei singoli componenti che costituiscono la chiusura<sup>26</sup>. Lo strato di rivestimento in lastre metalliche può propagare il suono agli ambienti sottostanti per via strutturale a causa di rumori impattivi legati ad urti e vibrazioni nei giorni piovosi.

Il problema acustico potrebbe essere attenuato mediante la posa di uno **strato fonoisolante** o uno strato **antivibrante al di sotto del rivestimento in lamiera**.

### ■ **Strategie bioclimatiche: sfruttare gli effetti dell'intercapedine d'aria**

Sistema di copertura

Il tetto ventilato ha degli effetti positivi riguardo la propagazione del rumore. L'aria è un cattivo conduttore del suono, quindi l'**intercapedine d'aria** tra il rivestimento ed il soffitto delle aule ha un **effetto fonoisolante** sulla propagazione del rumore aereo dovuto alle piogge.

Inoltre, la progettazione di uno strato isolante a chiusura degli ambienti interni potrebbe attenuare ulteriormente la propagazione del rumore.

### ■ **Strategie bioclimatiche/Scelte materiche: geometria e impiego di materiali fonoassorbenti sui soffitti**

Elemento/Strato: Elementodi chiusura

L'isolamento degli ambienti interni dipende fortemente dal tempo di riverbero complessivo che si realizza al suo interno. La propagazione del suono può avvenire per via aerea e dipendere dal rumore prodotto dal parlato. La regola generale secondo cui l'**altezza del soffitto** dovrebbe essere **di molto inferiore alla lunghezza e alla larghezza del locale** è quanto più possibile mantenuta al fine di aumentare il tasso di decadimento spaziale del livello della voce<sup>27</sup>. La riflessione può essere attenuata tramite la posa di **controsoffitti fonoassorbenti**.

Gli OUTPUTs sono riportati in **Figura 12**.

<sup>26</sup>Sergio Croce, *Teoria e tecnologia delle coperture ad elevate prestazioni*, Rockwool firesafe insulation (pag. 35)

<sup>27</sup> Dodd N. & Donatello S., 2021. *Indicatore Level(s) 4.4: Acustica e protezione contro il rumore - manuale utente: nota introduttiva, istruzioni e orientamenti (versione 1.1)*

● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Struttura portante ● Elemento di chiusura

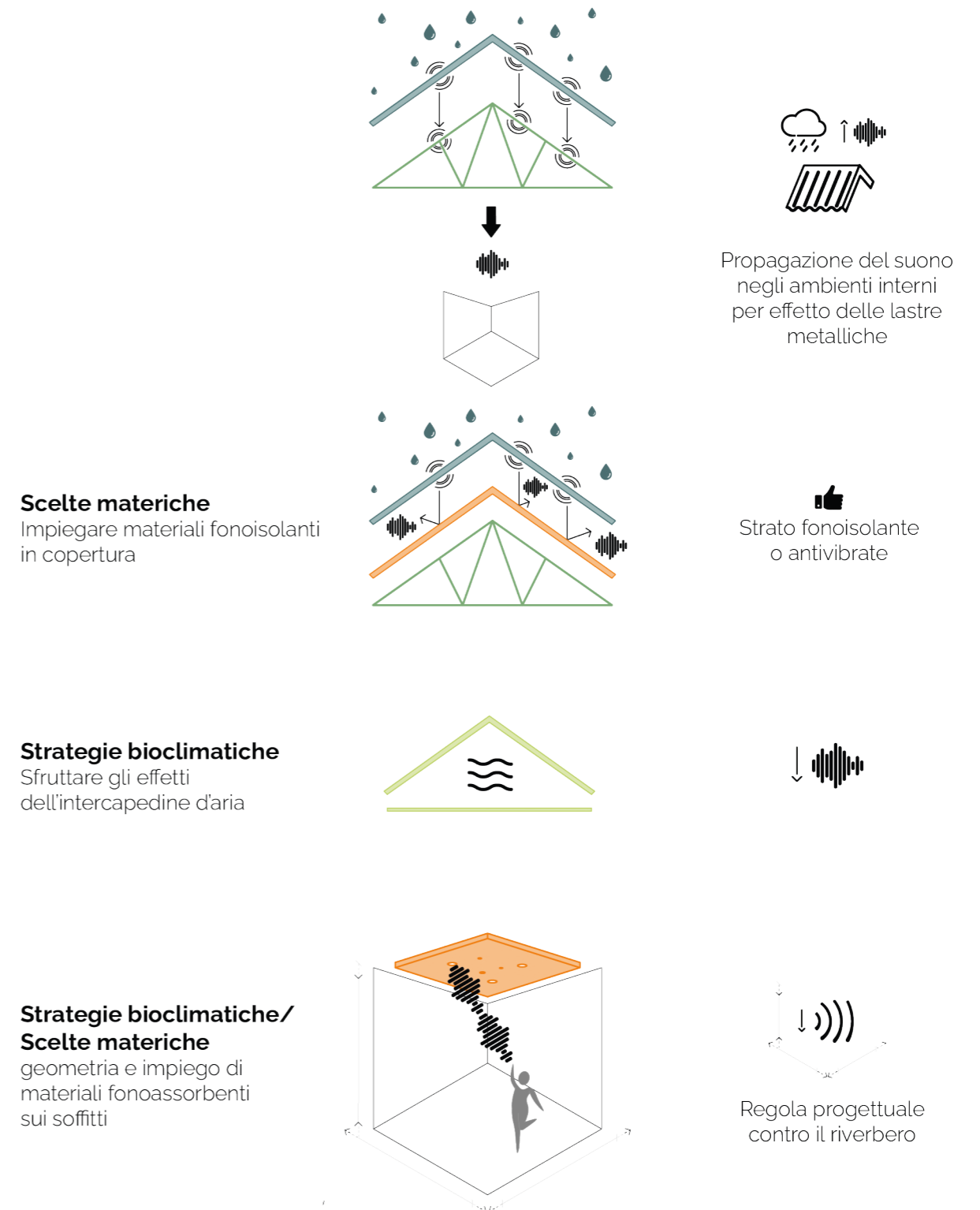


Figura 12: : OUTPUTs dell'indicatore 1.D, elaborato dalla tesista

## 2 Spazi sicuri

**28** Definizione di *safety*: *fallimento di funzioni dei sistemi che potrebbe causare lesioni o perdite di vite umane*

In questa sezione si procede valutando i requisiti legati alla sicurezza ed alla stabilità del sistema di copertura.

Questo macro-obiettivo non è trattato dal quadro di riferimento Level(s), ma emerge come un punto cruciale dall'analisi delle criticità del contesto, affrontata nel primo capitolo. "Spazi sicuri" è dedicato a soddisfare i requisiti di *safety*<sup>28</sup>.

L'obiettivo consiste nell'indagare strategie che garantiscano la stabilità strutturale del tetto senza incorrere in calcoli strutturali. Per questo motivo, l'analisi inquadra **strategie qualitative** basate sulle **caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche dei materiali e sulla forma della struttura**.

Le regole qualitative indagate in questa sezione fanno riferimento alle linee guida riportate in "Rural Structures in the Tropics", della *Food and Agriculture of the United Nations (FAO)*.

### Forma e struttura

I sistemi di copertura possono essere classificati secondo il piano della superficie come segue (Fig. 13):

- **Le strutture a singola falda:** la copertura è da considerarsi inclinata quando la falda è caratterizzata da una pendenza maggiore di 5°. Clima e materiale di copertura influenzano la scelta di un tetto piano o inclinato. In caso di forti precipitazioni, in contesti tropicali, un tetto inclinato aiuta a drenare più rapidamente l'acqua piovana. Per questo motivo, si esclude il tetto piano dalla ricerca di tesi.
- **Le strutture bidimensionali:** hanno solo lunghezza e profondità, e tutte le forze sono risolte all'interno di un singolo piano verticale. Travi, travetti del tetto e capriate rientrano in questa categoria.
- **Le strutture tridimensionali:** hanno lunghezza, profondità e ampiezza, e le forze sono risolte in tre dimensioni all'interno della struttura. Queste forme sono ora comunemente denominate 'strutture spaziali'. Le strutture tridimensionali o spaziali comprendono gusci cilindrici e parabolici e cupole, tetti conici, lastre multicurve, lastre piegate e gusci prismatici, strutture a griglia come i telai spaziali, e strutture sospese o tetto tensione.

Gli elementi strutturali che compongono il sistema di copertura devono avere caratteristiche meccaniche in grado di resistere a forze di compressione, trazione, flessione e, nel caso di forze eccentriche, torsione. In base a queste caratteristiche, gli elementi strutturali possono essere suddivisi in:

- **Cavi o corde:** sono elementi flessibili a causa delle loro piccole dimensioni laterali, hanno una scarsa resistenza a flessione. Possono essere applicati solo in tensione.
- **Barre:** sono progettate per resistere ai carichi di trazione e compressione.
- **Trave:** è un elemento utilizzato per resistere al carico che agisce lungo il suo asse longitudinale, trasferendo l'effetto su una distanza tra i supporti,

denominata campata. Le travi devono resistere a sforzi di trazione, compressione, trazione e, in casi di carico eccentrico, a torsione.

- **Arco:** può essere sagomato in modo tale che tutte le sezioni dell'arco siano sottoposte a sola compressione e non flessione. Gli archi esercitano spinte verticali e orizzontali sui loro supporti.

La scelta strutturale dei sistemi di copertura può differenziarsi anche in base ai requisiti funzionali ed alle risorse. Come riportato dalla *Food and Agriculture of the United Nations (FAO)* (Fig. 14):

- Le **campate fino ad 8 metri** possono essere generalmente coperte con travi in legno inclinate o capriate leggere;
- Le **campate tra i 7 ed i 16 metri** richiedono invece strutture reticolari in legno o acciaio;
- Le **campate che superano i 16 metri** dovrebbero essere suddivise in unità più piccole, quindi interrotte da una maglia di pilastri.

Negli edifici di piccole dimensioni, le campate sono relativamente piccole e, dato un carico normale, le sezioni rettangolari o quadrate in legno sono generalmente la soluzione più economica per le travi. Tuttavia, qualora siano necessari elementi di dimensioni maggiori rispetto alle dimensioni del legno massiccio in commercio, o nel caso in cui il legno non sia una risorsa disponibile, è possibile progettare delle travi composte. Le combinazioni possibili sono:

- Utilizzare **elementi di piccole dimensioni in acciaio o legno** per comporre **telai spaziali o capriate**;
- Utilizzare **travi in acciaio a sezione IPE**;
- Realizzare **travi a sezione composte in legno o legno e acciaio** (Fig. 15), quindi costituite da più elementi che possono essere tenuti insieme da chiodi o bulloni (Fig. 16);
- Realizzare **travi in cemento armato**.

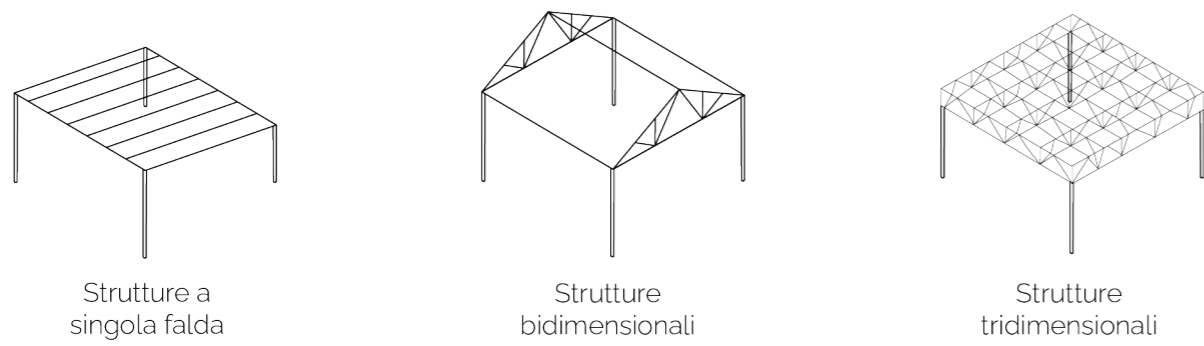
Negli edifici pubblici, caratterizzati da muri a blocchi o in mattoni, la trave anulare in cemento armato viene talvolta installata sopra le pareti esterne. L'obiettivo di questa trave anulare, che è continua intorno all'edificio, è quello di assicurare il comportamento scatolare della muratura portante. In più, fornisce un buon ancoraggio per il tetto, impedendo il sollevamento dovuto alla forte pressione del vento.

Come riportato dalla *Food and Agriculture of the United Nations (FAO)*, in contesti rurali dell'Africa tropicali, per larghezze fino a 5 metri, sono preferibili sistemi di copertura discontinui, opachi e caratterizzati da mono-falde inclinate. Questa tipologia formale e strutturale risulta facile da costruire e poco costosa (Fig. 17).

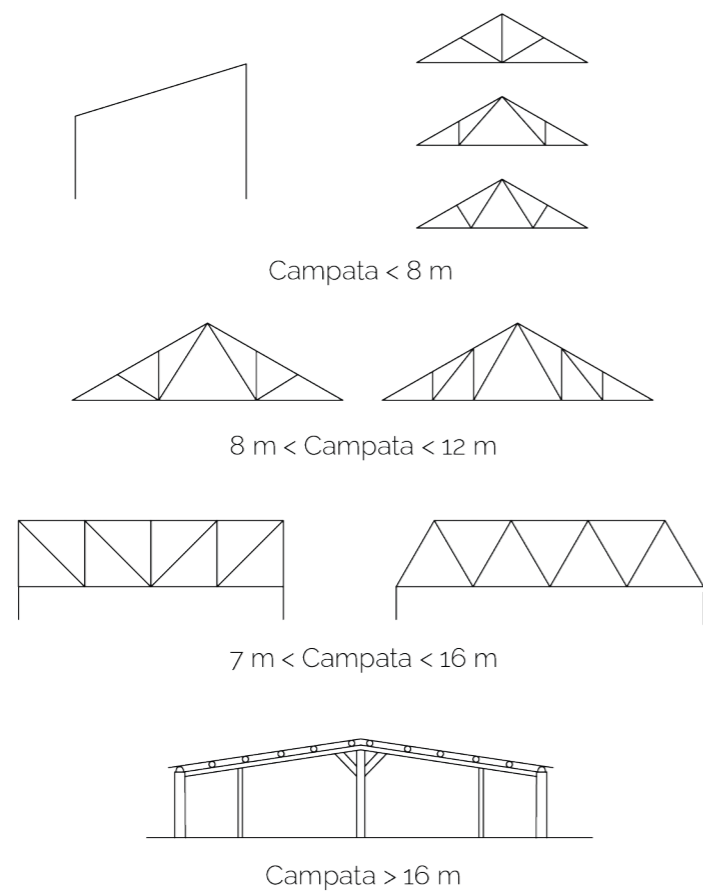
Per luci maggiori, si suggerisce tetti a doppia falda.

Il tetto conico, molto usato in contesti rurali, si adatta a edifici con pianta circolare (Fig. 18).

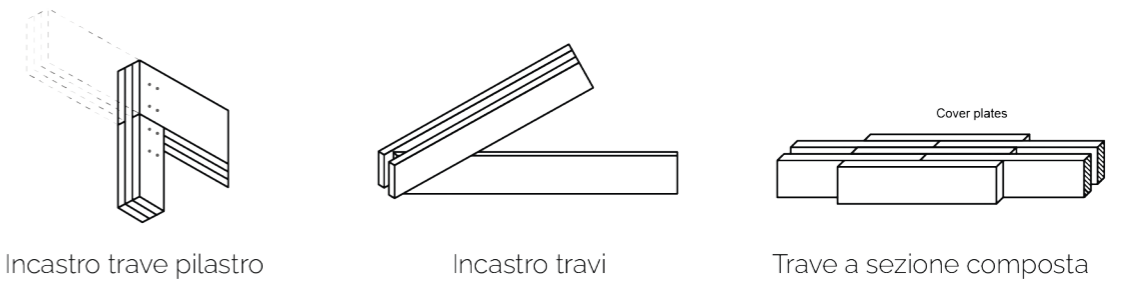
La soluzione a telaio spaziale, invece, è un'ottima scelta, ma implica una conoscenza più approfondita sulla statica dell'edificio.



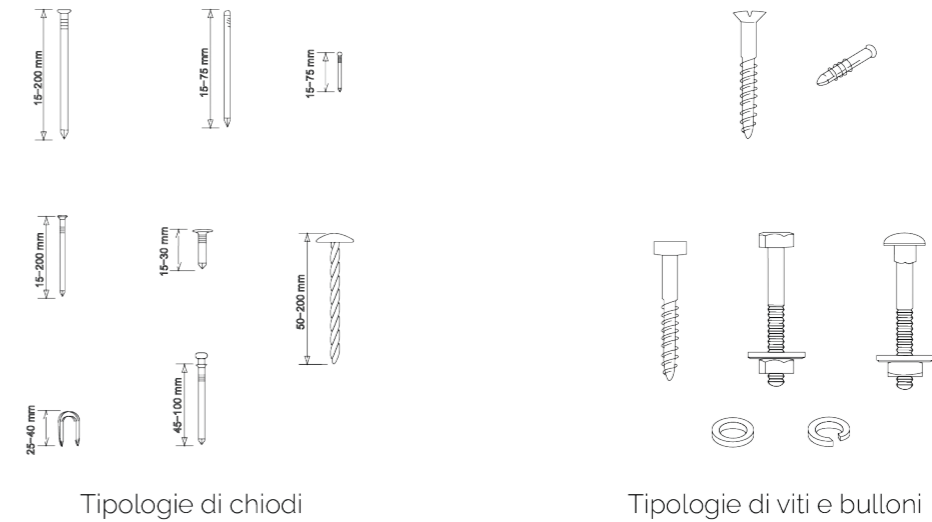
**Figura 13:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



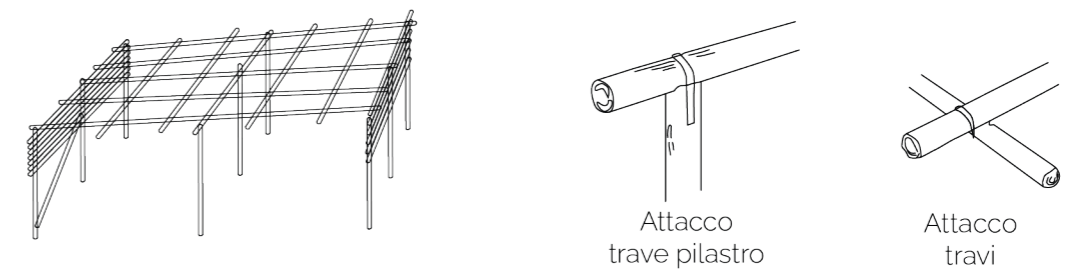
**Figura 14:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



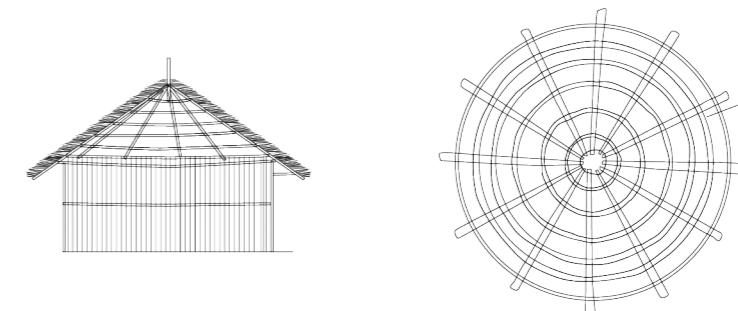
**Figura 15:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



**Figura 16:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



**Figura 17:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



**Figura 18:** Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*; Roma, 2011; rielaborato dalla tesista



## 2.A RESISTENZA AI CARICHI STATICI

Le caratteristiche meccaniche dei materiali fanno sì che un materiale reagisca in modo diverso ogni qualvolta sarà applicata una forza. I diagrammi di deformazione-tensione dei materiali da costruzione forniscono informazioni riguardo il comportamento dei materiali all'aumentare della forza applicata. Il comportamento dei materiali sotto carico può essere descritto tramite: la fase elastica, dove si comprende la rigidità del materiale, la fase di snervamento e la fase plastica, nella quale si valuta il comportamento plastico del materiale (Fig. 19).

Affinchè la struttura assolva i requisiti riguardo la sicurezza e la protezione rispetto ai carichi statici (Fig. 20), si procede elencando qui di seguito i **comportamenti meccanici** che devono avere i materiali da costruzione strutturali impiegati nel contesto di tesi. I materiali analizzati in questa sezione sono: il **calcestruzzo armato**, l'**acciaio**, il **legno** ed il **bambù**. Conoscere le caratteristiche meccaniche dei materiali permette di associare i materiali agli elementi strutturali in fase di progetto.

<sup>29</sup>Ferdinand P.Beer et al., *Mechanics of Materials. Sixth Edition*, McGraw-Hill Science Engineering, 2011

Le scelte materiche riguardo la **struttura portante** vengono affrontate in funzione dei 4 materiali presenti nel contesto di tesi, le caratteristiche meccaniche<sup>29</sup> sono espresse in simboli, come riportato in **Figura 21**.

### ■ Scelte materiche: elevato limite di snervamento

*Elemento/Strato: Struttura portante*

- **Calcestruzzo armato**: la fase plastica contenuta determinano un comportamento fragile, che viene migliorato dalla presenza delle barre in acciaio. Per questo motivo, il comportamento del calcestruzzo armato è pseudoplastico.
- **Acciaio**: è un materiale ideale dal punto di vista strutturale, perchè presenta una fase elastica ben marcata ed un'ampia fase plastica, che consente una buona dissipazione isteretica. Queste caratteristiche lo rendono un materiale elasto-plastico.
- **Legno**: l'assenza della fase plastica (materiale fragile) condiziona la risposta strutturale ed i livelli di sicurezza. Di fatto, presenta un limite di snervamento basso e, per questo, il materiale tende ad "andare in crisi" subito dopo il limite elastico. Quindi, si può affermare che il legno è un materiale pseudo-plastico.
- **Bambù**<sup>30</sup>: è un materiale ideale dal punto di vista strutturale, grazie all'ampia fase elastica. Questo lo rende un materiale elasto-plastico.

<sup>30</sup>Obataya et al., *Bending characteristics of bamboo (Phyllostachy pubescens) with respect to its fiber-foam composite structure*, Wood Science and Technology, 2007

### ■ Scelte materiche: adeguata rigidità

*Elemento/Strato: Struttura portante*

- **Calcestruzzo armato**: il materiale risulta piuttosto rigido, per cui le strutture in calcestruzzo armato presentano bassa deformabilità.

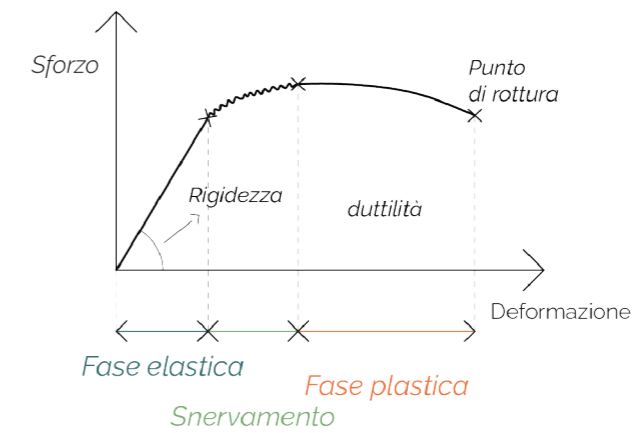


Figura 19: Grafico deformazione tensione. Ferdinand P.Beer et al., *Mechanics of Materials. Sixth Edition*, McGraw-Hill Science Engineering, 2011; rielaborato dalla tesista

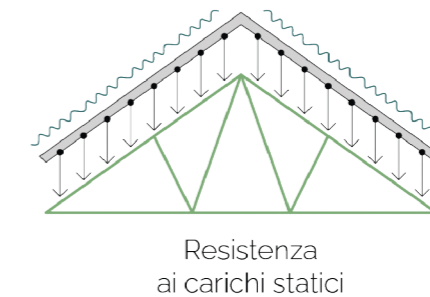


Figura 20: Resistenza ai carichi statici, realizzato dalla tesista



Figura 21: Simbologia dei comportamenti meccanici e caratteristiche dei materiali, elaborato dalla tesista

- **Acciaio:** presenta un modulo elastico elevato, quindi, risponde ai carichi con adeguata rigidità.
- **Legno:** il legno presenta un modulo elastico più basso dell'acciaio e del calcestruzzo, per questo le strutture sono facilmente deformabili, anche a causa dei collegamenti poco rigidi.
- **Bambù<sup>30</sup>:** il materiale presenta un'adeguata rigidità dovuta alla sua forma naturale. Essendo cavo ed avendo una sezione circolare, il bambù concentra la maggior parte della sua massa nella parte esterna, o corona, della struttura. Questa caratteristica formale fa sì che il bambù abbia un elevato momento di inerzia. La configurazione del bambù gli permette di sopportare i carichi senza deformarsi facilmente, sfruttando al massimo la sua geometria naturale per ottenere un'adeguata rigidità.

■ **Scelte materiche: ridotto peso specifico**

*Elemento/Strato: Struttura portante*

- **Calcestruzzo armato:** le strutture in calcestruzzo armato hanno un peso specifico elevato per via dell'acciaio.
- **Acciaio:** nonostante il peso specifico elevato, le strutture sono relativamente leggere per la ridotta sezione degli elementi.
- **Legno:** il peso specifico del legno è il più basso tra i quattro materiali, infatti le strutture sono molto leggere.
- **Bambù<sup>30</sup>:** il peso specifico è molto ridotto per la sua struttura cava.

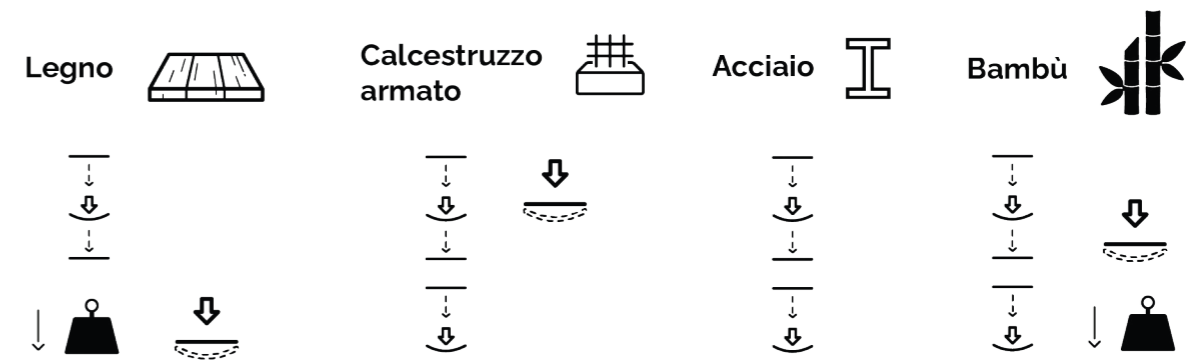
■ **Scelte materiche: resistenza agli sforzi flessionali**

*Elemento/Strato: Struttura portante*

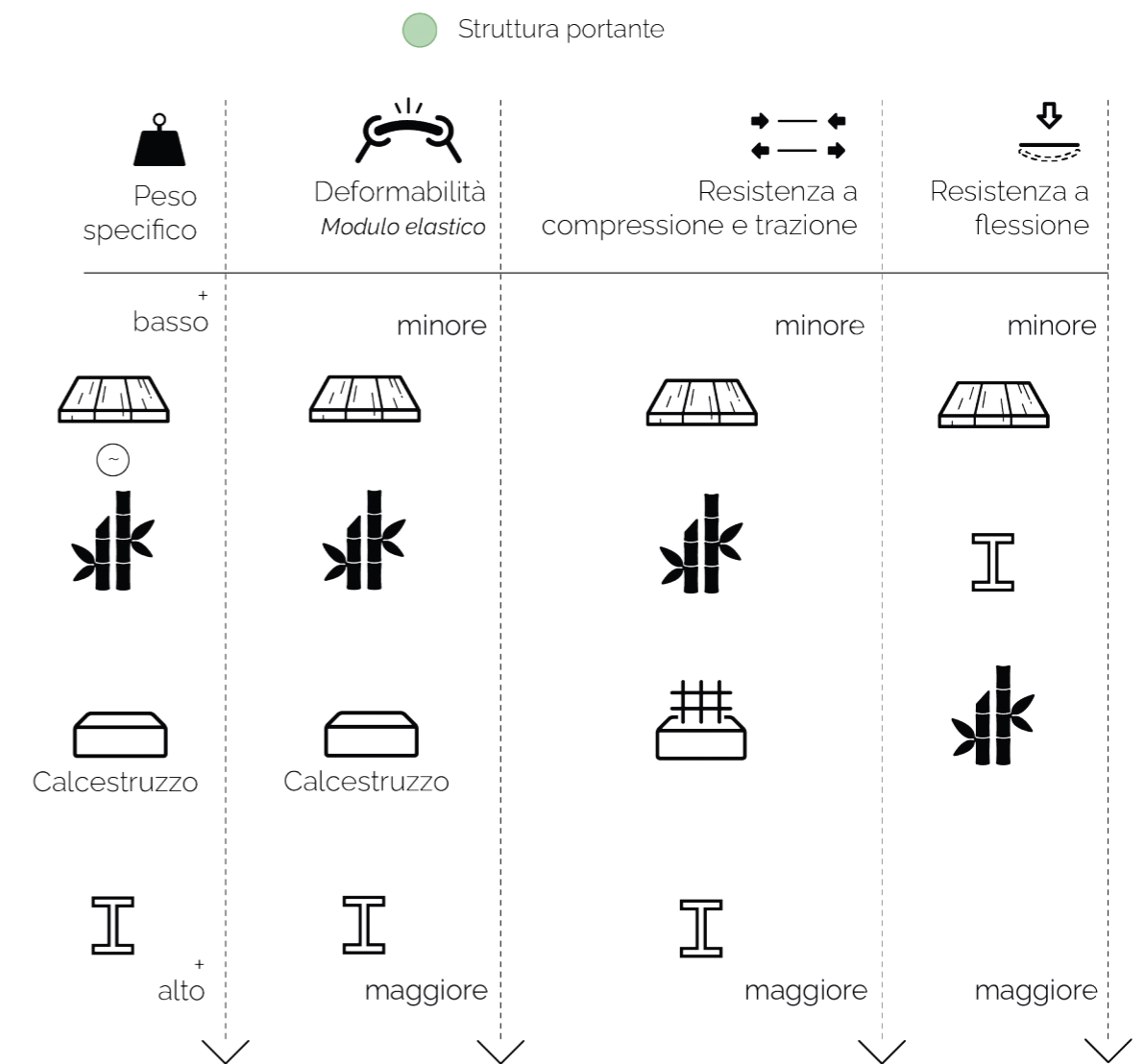
- **Calcestruzzo armato:** grazie alla presenza delle barre d'acciaio, gli elementi possono dissipare gli sforzi flessionali, per cui il tipo strutturale più frequente risulta quello a telaio.
- **Acciaio:** gli elementi possono assorbire gli sforzi flessionali, per cui il tipo strutturale più frequente è quello a telaio.
- **Legno:** pur avendo un limite di snervamento più basso rispetto agli altri materiali trattati, presenta una resistenza specifica più elevata a causa della sua bassa densità. Per questo motivo, il legno riesce ad assorbire gli sforzi flessionali ed a resistere al carico di punta, per cui il tipo strutturale più frequente è quello a telaio.
- **Bambù<sup>30</sup>:** gli elementi in bambù riescono ad assorbire gli sforzi flessionali, per cui il tipo strutturale più frequente è quello a telaio. Inoltre, come il legno, presenta un'alto coefficiente di efficienza rispetto al carico di punta.

Le caratteristiche meccaniche dei materiali sono espresse in **Figura 22**.

Data l'esclusione di dati quantitativi, si procede riportando una classifica delle caratteristiche meccaniche dei materiali (**Fig. 23**), che potrebbe facilitare la scelta materica e indirizzare la tipologia strutturale in fase di progetto.



**Figura 22:** Caratteristiche meccaniche dei 4 materiali del contesto di tesi, realizzato dalla tesista



**Figura 23:** classifica dei dati quantitativi generici dei materiali ripresa da: Jessica Jackebed Leão França, *Costruzioni contemporanee in bambù: Le connessioni dei culmi tramite corda*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, Settembre 2018, immagine rielaborata dalla tesista

**2.B RESISTENZA E PROTEZIONE DAGLI AGENTI ATMOSFERICI**

■ **Scelte materiche: resistenza agli urti da pioggia**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

Il rivestimento in lamiera ondulata in acciaio garantisce al sistema di copertura una buona resistenza agli urti da corpo molle per la sua elevata **durezza**; quindi, può resistere all'azione violenta delle piogge. Inoltre la forma ondulata della lamiera gli consente di acquisire un buon grado di rigidezza grazie alla forma. Ciò nonostante, in caso di urti accidentali, la lamiera può subire deformazioni permanenti.

■ **Scelte materiche: elevata tenuta all'acqua**

*Sistema di copertura*

La tenuta all'acqua dei materiali impiegati per i sistemi di copertura dipende dall'**idrofobicità**, dalla **porosità** e dall'impiego di trattamenti superficiali sigillanti o idrorepellenti.

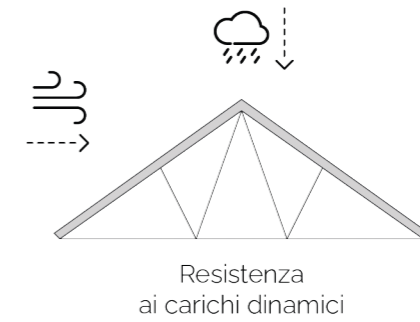
■ **Strategie bioclimatiche: pendenza della falda per il deflusso delle acque meteoriche**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

La corretta inclinazione delle falde del sistema di copertura assicura un corretto deflusso delle acque meteoriche. Per rivestimenti in lamiera ondulata di acciaio, **la pendenza non deve essere inferiore ai 15°**. Un angolo di pendenza inferiore può causare perdite, poiché i forti venti potrebbero aumentare la velocità dell'acqua lungo il pendio<sup>31</sup>.

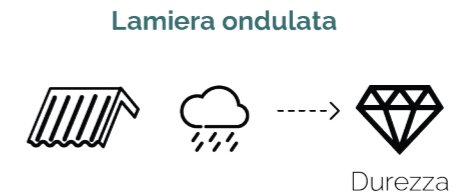
Gli OUTputs sono riportati in **Figura 24**.

<sup>31</sup> Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*, Roma, 2011



● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Struttura portante

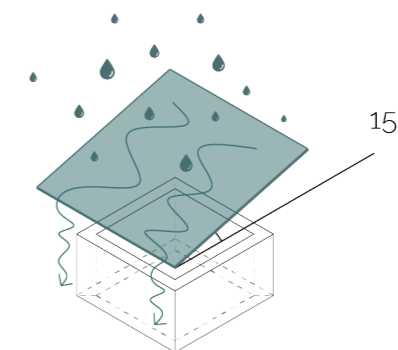
**Scelte materiche**  
Resistenza agli shock termici



**Scelte materiche**  
Elevata tenuta all'acqua



**Strategie bioclimatiche**  
Pendenza della falda per il deflusso delle acque meteoriche



**Figura 24:** : OUTputs dell'indicatore 2.B, elaborato dalla tesista



■ **Strategie bioclimatiche: resistenza agli shock termici**  
*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante*

La resistenza agli shock termici dei materiali viene valutata nello SSP in base alla **dilatazione termica dei materiali** (Fig. 25). La variazione di lunghezza di un elemento, infatti, è un fattore che dipende dalle alte temperature del contesto, che potrebbe compromettere la stabilità del sistema di copertura.


La lamiera ondulata in acciaio presenta un elevato coefficiente di dilatazione termica. Questo significa che si espanderà significativamente con l'aumento della temperatura e si contrarrà con il raffreddamento. Il trattamento in stagno potrebbe attenuare questa sua caratteristica, ma non in maniera significativa. Questa sua caratteristica potrebbe influenzare la stabilità, in particolare provocando **stress sugli elementi di fissaggio**.

Per ridurre lo stress sui collegamenti, una soluzione potrebbe essere quella fissare le lastre alla struttura di supporto tramite viti autofilettanti. Questo consentirebbe una maggiore tolleranza ai movimenti termici. La stessa soluzione è adottabile anche nel caso di struttura portante in acciaio.

Il calcestruzzo armato presenta un coefficiente di dilatazione termica inferiore rispetto all'acciaio. Nel caso di travi in calcestruzzo armato, una buona soluzione alla dilatazione termica prevede giunti di dilatazione termica in acciaio. Ciò consente la libera circolazione quando il materiale è soggetto a variazioni di lunghezza.

Il legno ed il bambù presentano il coefficiente di dilatazione lineare più basso tra tutti i materiali. Progettare elementi di fissaggio a secco aumenterebbe la tolleranza ai movimenti di dilatazione e contrazione.

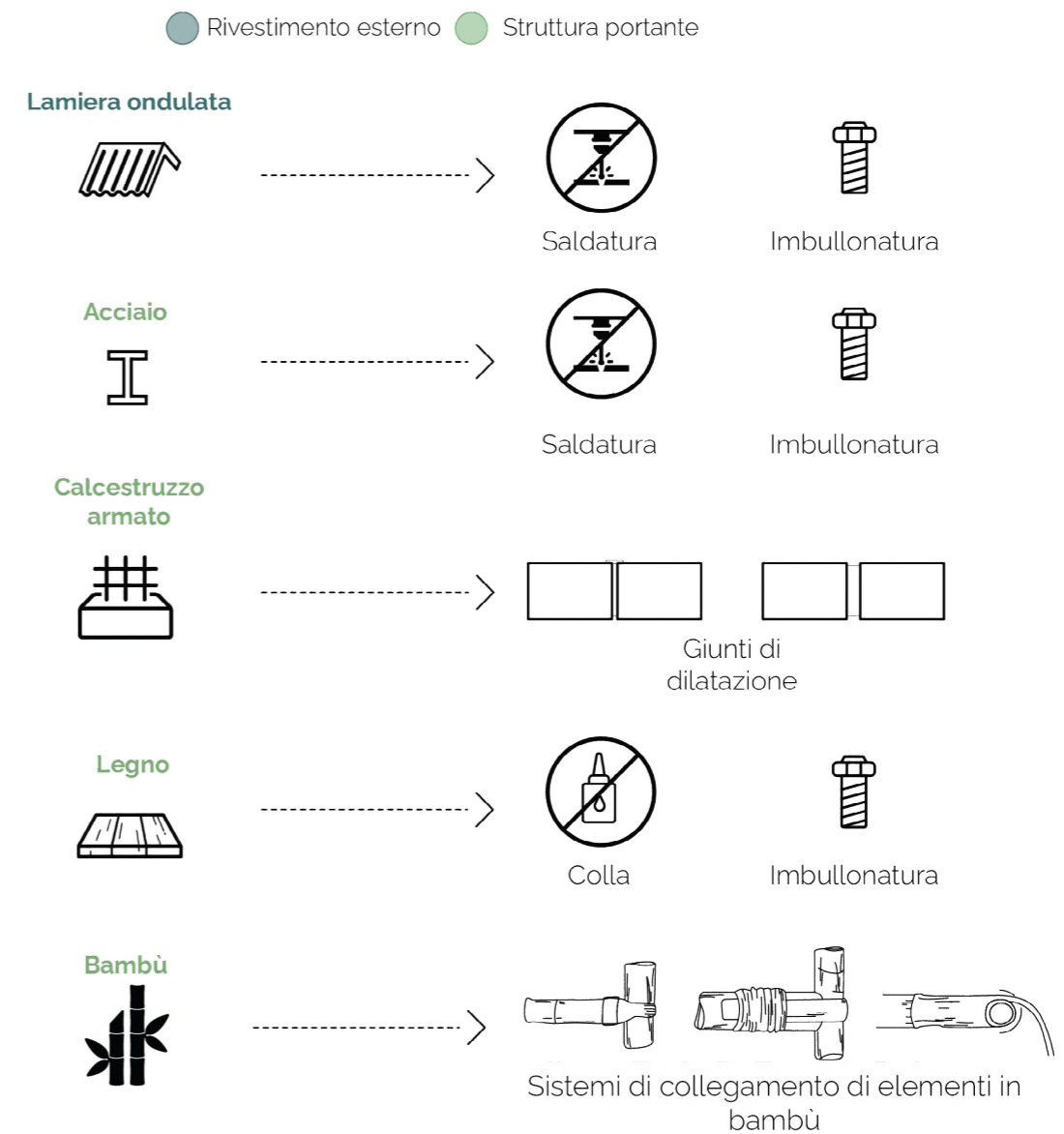
Gli OUTputs relativi alla sezione sulla resistenza agli shock termici sono riportati in **Figura 26**.



	~ Coefficiente di dilatazione termica lineare
Acciaio inox	$1,7 \times 10^{-5}$
Conglomerato cementizio	$1,2 \times 10^{-5}$
Legno ~	$0,4 \times 10^{-5}$
Bambù ~	$0,3 \times 10^{-5}$

**Scelte materiche**  
Resistenza agli shock termici

**Figura 25:** Coefficienti di dilatazione termica lineare. Fonte: <https://www.oppo.it/tabelle/coefficienti-dilataz-lineare.html> (ult. cons. 10/06/2024), rielaborato dalla tesista



**Figura 26:** OUTputs dell'indicatore 2.B sulla resistenza agli shock termici, elaborato dalla tesista

## 2.C SICUREZZA AL FUOCO

Analogamente a quanto avviene per tutti i componenti dell'involucro edilizio, anche per le coperture occorre evitare, per quanto possibile, l'insorgere di un incendio, o quantomeno limitarne le conseguenze negative.

- **Resistenza al fuoco:** La resistenza al fuoco implica l'attitudine di una struttura o di un elemento di compartimentazione a conservare, durante un periodo determinato di tempo, la stabilità, la tenuta ai gas e l'isolamento termico richiesto.
- **Reazione al fuoco:** La reazione al fuoco indica il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto<sup>32</sup>.

32 Norma UNI EN 15715:2006

I sistemi di copertura sono toccati in minor misura dal tema della resistenza al fuoco; tuttavia ci sono strategie progettuali di compartimentazione che possono migliorare la resistenza al fuoco del sistema di copertura. In questo contesto, invece, assume particolare rilievo l'aspetto della reazione al fuoco dei materiali.

### ■ Soluzioni tecnologiche: compartimentazione Sistema di copertura

La **compartimentazione delle falde** fra di loro in corrispondenza del colmo. In presenza di falde è consigliabile inserire un elemento di compartimentazione, soprattutto in presenza di uno strato di ventilazione. In ogni caso, la separazione delle falde e degli elementi strutturali del sistema di copertura aiuta a limitare la propagazione di un probabile incendio<sup>33</sup>.

33 Sergio Croce, *Teoria e tecnologia delle coperture ad elevate prestazioni*

### ■ Scelte materiche: reazione al fuoco Sistema di copertura

La reazione al fuoco è una caratteristica propria dei materiali e definisce il suo comportamento in fase di innesco e di propagazione di un incendio. I **parametri principali che descrivono il comportamento dei materiali esposti al fuoco** sono: l'infiammabilità, la velocità di propagazione, il gocciolamento, lo sviluppo di calore, la produzione di fumo e la produzione di sostanze nocive<sup>34</sup>.

34 Norma UNI CEI EN ISO 13943/2004

La lamiera ondulata in acciaio ed il calcestruzzo presentano una buona reazione al fuoco, in quanto non sono materiali infiammabili, non propagano facilmente le fiamme e non producono fumi tossici o sostanze nocive in fase di combustione. In particolare, il calcestruzzo armato ha una buona reazione al fuoco per la sua massa e la sua ridotta conducibilità termica.

L'acciaio, invece, quando utilizzato come struttura portante, va assolutamente protetto dall'azione termica del fuoco che riduce significativamente le sue capacità portanti e di resistenza strutturale, generando pericolosi fenomeni di instabilità e collasso.

Il legno e gli isolanti in fibre vegetali, ampiamente impiegate nel contesto di tesi, se non opportunamente trattati con vernici ignifughe o intumescenti, risultano infiammabili, contribuiscono alla propagazione dell'incendio e sviluppano fumi e sostanze nocive in fase di combustione.

È opportuno aggiungere che il legno, a differenza dell'acciaio che può collassare improvvisamente una volta superata la temperatura critica, ha una caratteristica unica: si carbonizza.

Quando il legno è esposto al fuoco, la superficie esterna si carbonizza formando uno strato di carbone. Questo strato ha una bassa conducibilità termica, che protegge il legno sottostante e rallenta la velocità di carbonizzazione. La perdita graduale del materiale fa sì che il collasso sia progressivo ed avvenga ad un tasso prevedibile.

Il bambù presenta delle caratteristiche di reazione al fuoco molto simili a quelle del legno.

Gli OUTPUTs relativi a questo indici sono riportati in **Figura 27**.

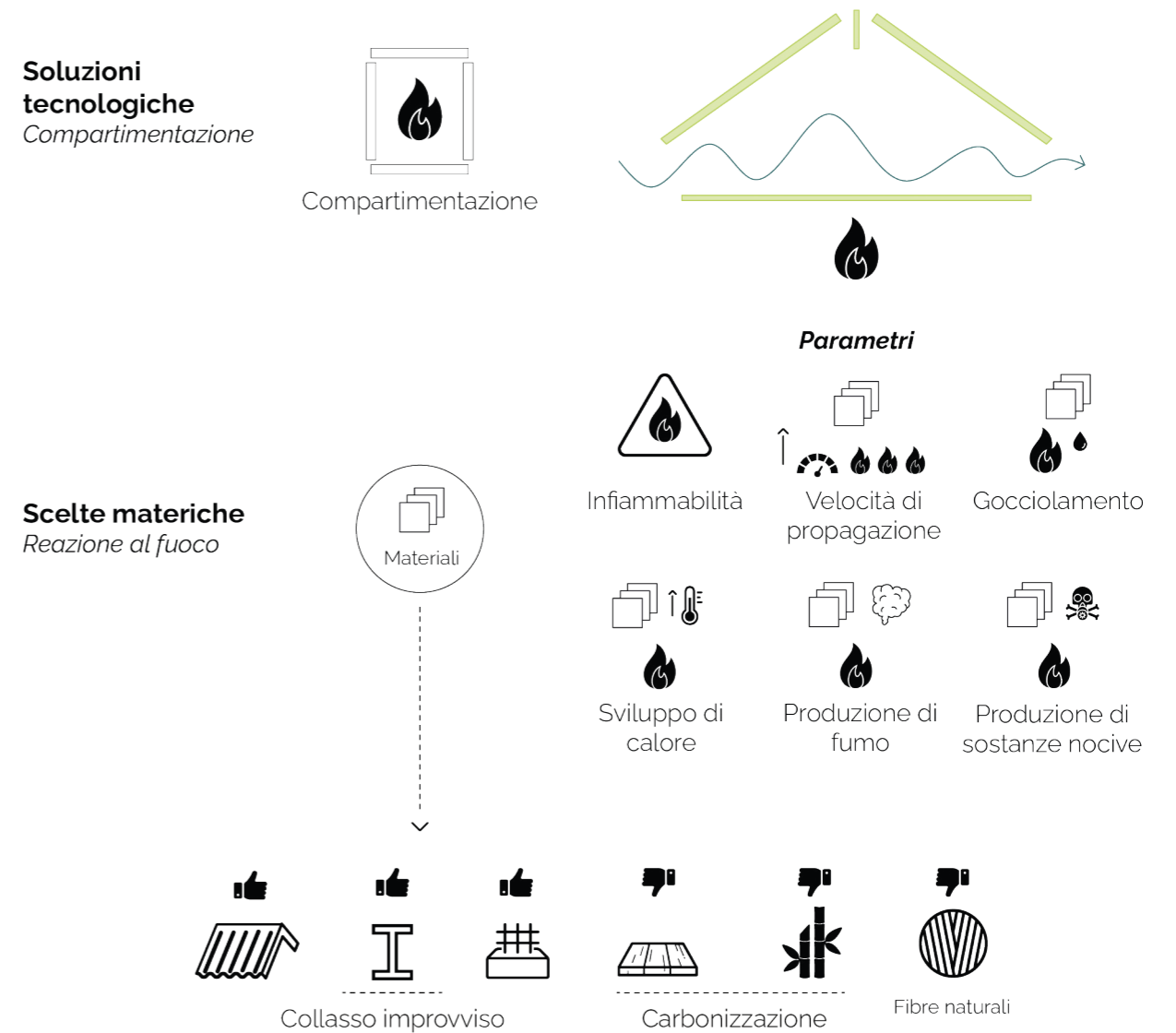


Figura 27: : OUTPUTs dell'indicatore 2.C, elaborato dalla tesista

### 3 Salvaguardia ambientale

I vincoli ambientali rappresentano un'esigenza progettuale necessaria quando si interviene in contesti a risorse scarse. In un contesto in cui **la resilienza delle comunità agricole e marginali dipende fortemente dalle risorse del territorio**, la salvaguardia ambientale è un requisito da perseguire.

Di conseguenza, assume il ruolo di macro-obiettivo nello Strumento di Supporto alla Progettazione.

**Salvaguardia ambientale:** insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrastemi di cui il sistema edilizio fa parte. Si può riferire in parte all'ecocompatibilità dei materiali<sup>35</sup>.

Il quadro di riferimento comune Level(s) adotta un approccio alla sostenibilità degli edifici basato sull'intero ciclo di vita. Per sostenere pienamente tale approccio, gli indicatori principali di Level(s) riguardanti l'impatto ambientale sono stati rielaborati per il contesto della ricerca.

<sup>35</sup>Andrea Ciampolini e Monica Lavagna, **Tecniche e Architettura**, De Agostini, Scuola Spa - Novara, 1a edizione: Febbraio 2013, Italia

#### 3.A FASE DEL PRODOTTO E FASE DI COSTRUZIONE

*Sistema di copertura*

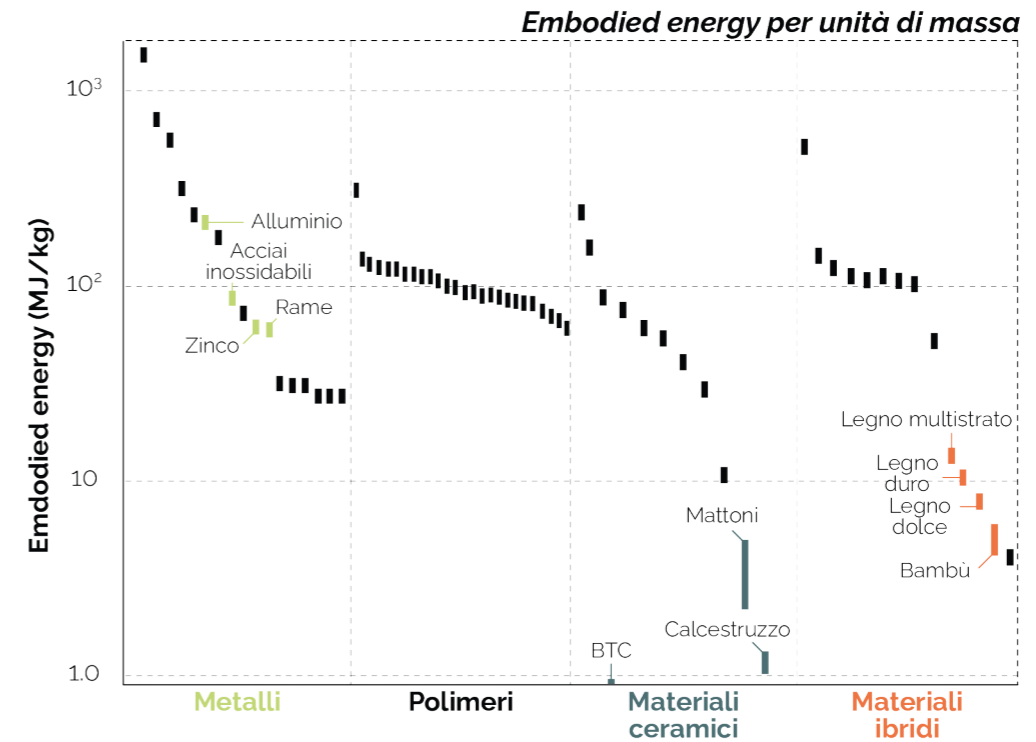
Data la difficoltà nel reperire i dati di progetto riguardo l'estrazione e la trasformazione delle materie prime in prodotto finito al di fuori della fase di costruzione, si procede valutando l'**approvvigionamento di materie prime** o prodotti finiti, successivo **trasporto al sito di costruzione** e **fase di cantiere**.

Per quanto riguarda i materiali da costruzione, si procede valutando l'**eco-compatibilità** di ogni elemento/strato tramite dati generici sull'*embodied energy* e l'*embodied carbon*. È opportuno specificare che l'*embodied energy* e l'*embodied carbon* fanno riferimento al *cradle-to-cradle*, quindi fanno riferimento al totale ciclo di vita dell'edificio, non solo alla fase del prodotto ed alla fase di costruzione.

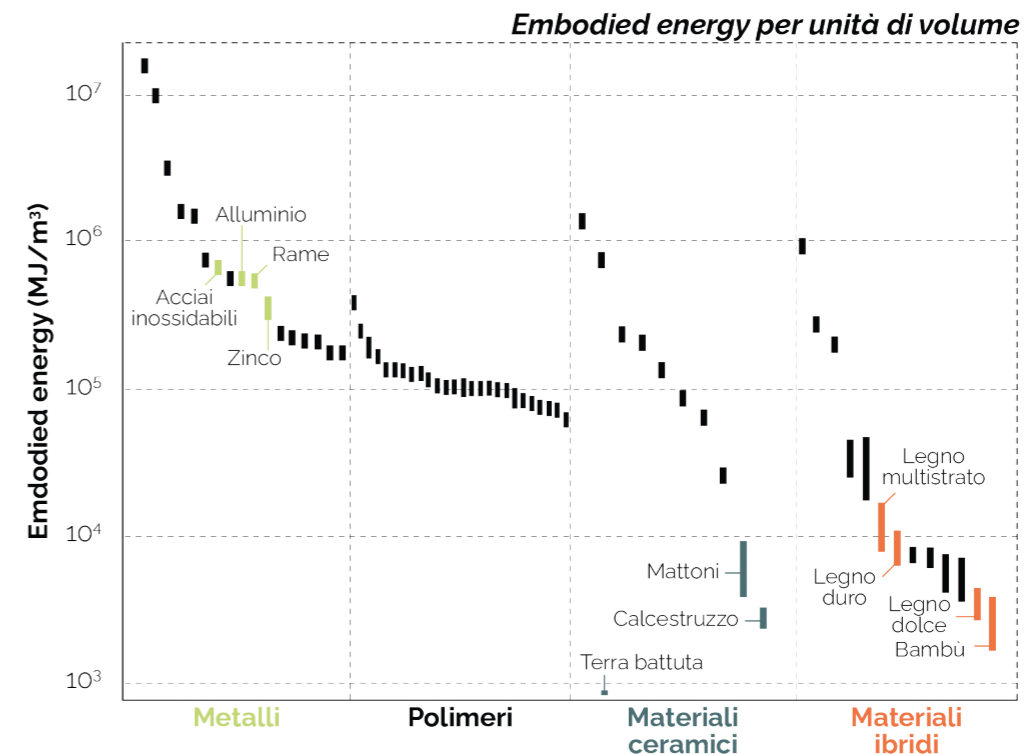
- **Embodied Energy (EE):** l'energia incorporata è definita come la somma dell'energia necessaria, direttamente o indirettamente, per fornire un bene o un servizio.
- **Embodied Carbon (EC):** il carbonio incorporato è l'intera quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) emessa durante la produzione, il trasporto e l'utilizzo del prodotto. Comprende la CO<sub>2</sub> rilasciata durante l'approvvigionamento delle materie prime, il processo di produzione, la consegna del prodotto e lo smaltimento del prodotto dopo la sua vita utile. È un parametro cruciale per valutare l'impatto ambientale di prodotti e materiali da costruzione<sup>36</sup>.

In **Figura 28** viene riportata l'*embodied energy* per unità di massa dei materiali. Si osserva che le leghe metalliche leggere, come le leghe di alluminio, presentano valori più elevati di quelli degli acciai e delle ghise (20-40 MJ/kg), mentre i materiali ceramici tradizionali, come i mattoni ed il calcestruzzo, presentano valori molto più bassi (3-12 MJ/kg).

<sup>36</sup>Grainger e Smith, **The role of low carbon and high carbon materials in carbon neutrality science and carbon economics**, Current Opinion in Environmental Sustainability, vol. 49, Aprile 2021



**Figura 28:** Grafico a barre dell'*Embodied energy* per unità di massa, con evidenziati i materiali da costruzione rilevati nel contesto di ricerca dall'analisi degli articoli scientifici. Ashby, CHAPTER 6\_Eco-data:values, sources, precision. In: **Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice, 2013**, rielaborato dalla tesista



**Figura 29:** Grafico a barre dell'*Embodied energy* per unità di volume, con evidenziati i materiali da costruzione rilevati nel contesto di ricerca dall'analisi degli articoli scientifici. Ashby, CHAPTER 6\_Eco-data:values, sources, precision. In: **Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice, 2013**



All'estremo destro si trovano i materiali come il legno che presenta un'*embodied energy* compresa fra i 5 ed i 13 MJ/kg, paragonabile a quella dei laterizi. Interessante notare come il calcestruzzo presenti una *embodied energy* di circa 4-6 MJ/kg, inferiore a quella del legno.

Nella **Figura 29**, il confronto tra i materiali valuta l'*embodied energy* per unità di volume, anche in questo caso, sveltano i metalli su tutti gli altri materiali non metallici, come calcestruzzo, mattoni e legno, che si classificano molto al di sotto.

La produzione dei materiali da costruzione è responsabile del 20% del totale globale delle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera. In **Figura 30** viene riportata l'impronta di carbonio dei materiali per kg ponderata sul numero di kg all'anno prodotti. Ai primi posti sveltano l'acciaio e l'alluminio.

Dato l'elevato impiego della terra cruda nel contesto di riferimento, nelle tre figure sono stati aggiunti i dati riguardo la terra cruda, facendo riferimento ai valori della terra battuta e dei mattoni in terra compressa (BTC)<sup>37</sup>, che si classifica in ultima posizione per i valori di EE e EC.

L'analisi delle criticità di contesto ha evidenziato svariate difficoltà legate alla carenza idrica. Quindi, essendo l'acqua una risorsa scarsa, si procede valutando la domanda di acqua necessaria per la produzione e la messa in opera dei materiali da costruzione (**Fig. 31**).

• **Localizzazione e trasportabilità**

Data la mancanza di dati specifici, si procede valutando la localizzazione dei singoli elementi/strati che compongono il sistema di copertura limitatamente alle informazioni trovate e classificando la **disponibilità su scala: locale, regionale, nazionale o internazionale**<sup>38</sup>.

La trasportabilità dei vari materiali che compongono il sistema di copertura viene valutata nello Strumento di Supporto alla Progettazione in base al peso ed alle dimensioni. Per quando riguarda la dimensione, la valutazione prende in considerazione anche la scalabilità dei singoli elementi.

• **Lavorabilità**

La lavorabilità dei singoli materiali viene valutata nel contesto specifico tramite parametri qualitativi relativi alla **plasticità** e la **facilità di fissaggio** e assemblaggio.

• **Compatibilità culturale**

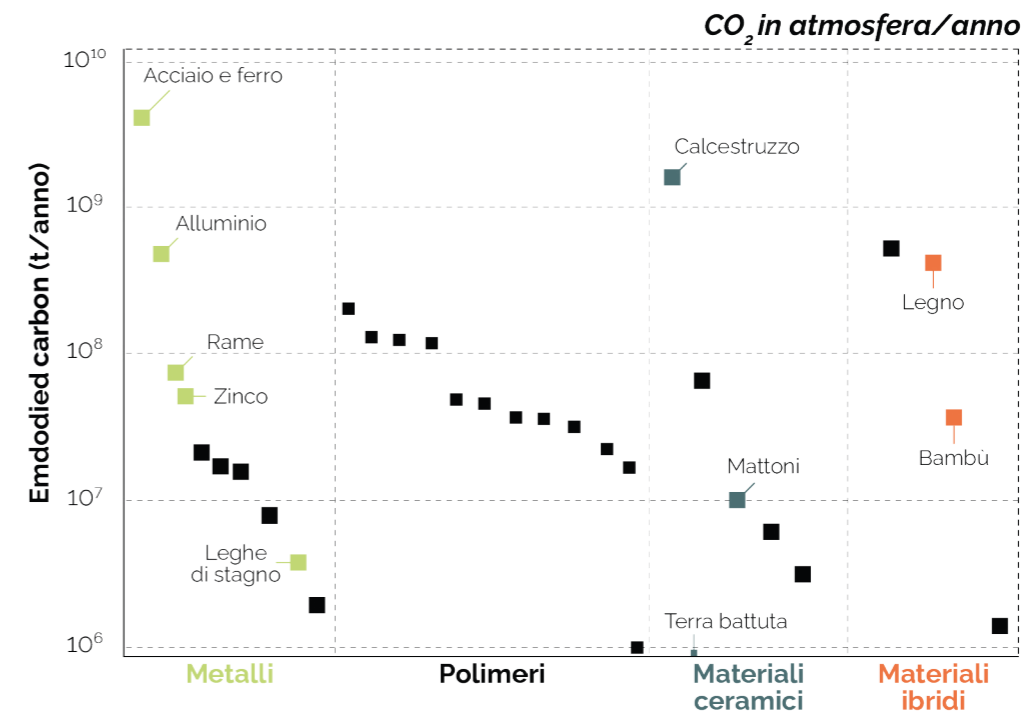
L'impiego di materiali locali e naturali e l'adozione di tecniche costruttive vernacolari producono effetti positivi quando si tratta di progetti di sviluppo cooperativo<sup>39</sup>.

In contesti di povertà a risorse scarse, le attività svolte in fase di costruzione dovrebbero mirare alla consapevolezza, alla responsabilità e all'indipendenza. Per questo motivo, l'aspetto formativo delle comunità beneficiarie è

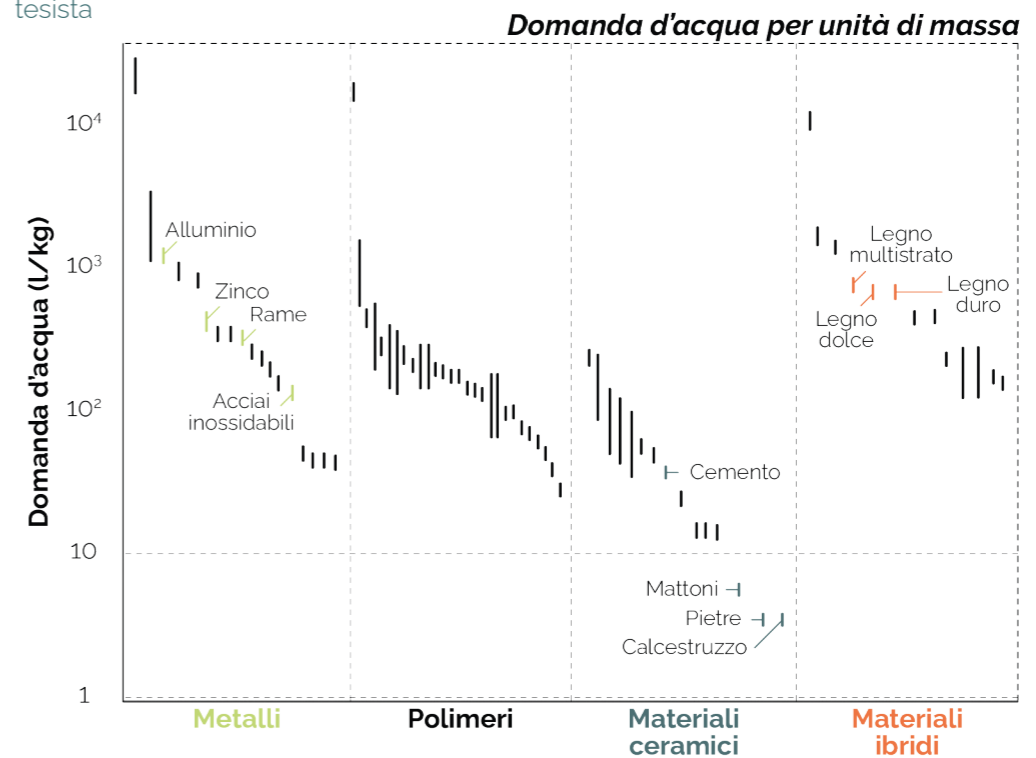
37 Ashby. CHAPTER 15. **Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice**, 2013

38 La classificazione riprende la valutazione della disponibilità materica riportata in **Materials Data**, fornito da **Kaira Loro Architecture Competition 2023**

39 <https://www.balouosalo.com/> (ult. cons. 12/04/2024)



**Figura 30:** Grafico a barre dell'*Embodied carbon*, con evidenziati i materiali da costruzione rilevati nel contesto di ricerca dall'analisi degli articoli scientifici. Ashby. CHAPTER 6\_Eco-data:values, sources, precision. In: **Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice, 2013**, rielaborato dalla tesista



**Figura 31:** Grafico a barre della domanda d'acqua per unità di massa, con evidenziati i materiali da costruzione rilevati nel contesto di ricerca dall'analisi degli articoli scientifici. Ashby. CHAPTER 6\_Eco-data:values, sources, precision. In: **Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice, 2013**, rielaborato dalla tesista

fondamentale per la loro autosufficienza, infatti, mettere le comunità nelle condizioni di soddisfare autonomamente i propri bisogni favorisce la resilienza e lo sviluppo locale. I materiali da costruzione tradizionale risentono di pregiudizi materici e scarsa fiducia tra le comunità locali, a causa di stereotipi diffusi in epoca coloniale. Tuttavia, il coinvolgimento delle popolazioni locali in progetti in cui si combinano tecniche costruttive locali, metodi ingegneristici moderni e tecniche di autocostruzione non solo migliora la qualità edilizia, ma aumenta anche la fiducia delle comunità sulle risorse del territorio. Questo aiuta a rafforzare l'identità locale ed a tramandare tecniche vernacolari, spesso trasmesse per via orale, che andrebbero perdute se non praticate. La valutazione della compatibilità culturale premia le tecniche costruttive e le lavorazioni locali impiegate nel progetto.

Gli OUTputs sono riportati in **Figura 32**.

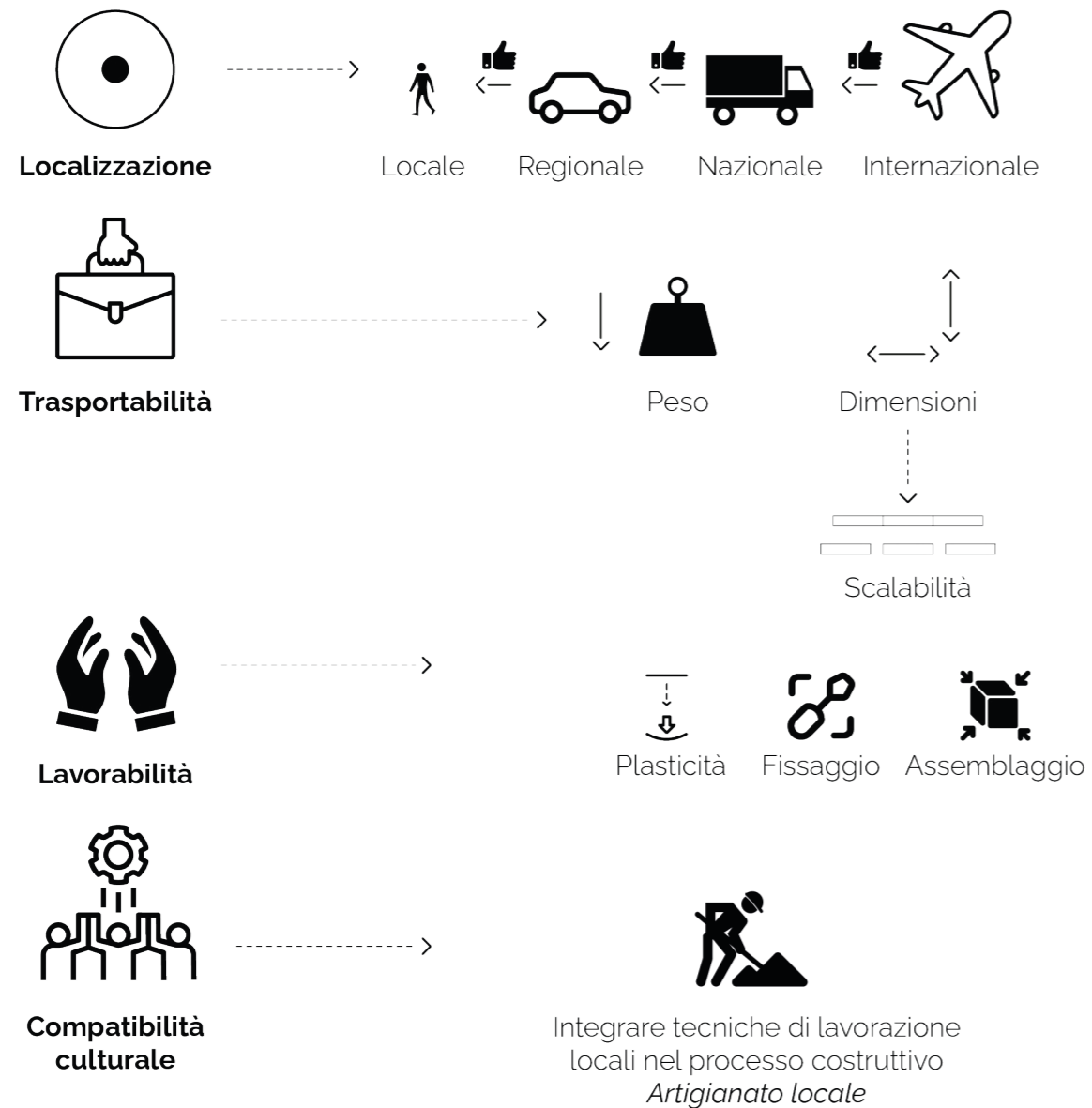


Figura 32: : OUTputs dell'indicatore 3.A, elaborato dalla tesista

### 3.B MATERIALI: QUANTITA' E VITA UTILE

#### ■ Soluzioni tecnologiche: controllo della forma e riduzione della massa strutturale

*Elemento/Strato: Struttura portante*

La forma del sistema di copertura ha una forte ricaduta sugli elementi strutturali, i quali incidono fortemente sulla massa complessiva dei materiali. I dati indicano che, ottimizzando le progettazioni strutturali, l'utilizzo dei materiali può essere ridotto del 20-36% pur mantenendo le caratteristiche tecniche richieste<sup>40</sup>. La soluzione spaziale più appropriata al contesto dipende da fattori quali: la dimensione e la disponibilità di risorse. Progettare tramite **maglie strutturali con campata massima di 5 metri**, aiuta a distribuire i carichi su più elementi strutturali e quindi a ridurre le dimensioni delle strutture portanti.

#### ■ Scelte materiche: uso ottimale dei rivestimenti

*Sistema di copertura*

Ridurre l'impiego dei materiali di allestimento può avere impatti positivi sulle quantità e sul numero di materiali impiegati in un progetto edilizio. Per esempio, per quanto riguarda le travi portanti, l'uso di forme di calcestruzzo a vista riduce la successiva necessità di materiali di allestimento e favorisce l'accesso ai componenti per una più rapida ed immediata manutenzione o riparazione. Per ridurre i materiali di allestimento è utile **massimizzare le caratteristiche fisiche delle risorse disponibili impiegando materiali con alta resistenza agli agenti esterni meteorologici ed agli agenti biologici**. Questo implica una ridotta necessità di impiego di materiali di allestimento, utili a isolare e proteggere ulteriormente gli elementi del pacchetto tecnologico.

- La **manutenibilità** riguarda la facilità con cui un componente può essere mantenuto in condizioni ottimali attraverso interventi regolari di manutenzione. I fattori che influenzano la manutenibilità includono l'accessibilità per le operazioni di manutenzione, la durata dei materiali e la facilità di pulizia.
- La **riparabilità** si riferisce alla facilità con cui un componente può essere riparato in caso di danni o guasti. I fattori che influenzano la riparabilità includono la semplicità del componente, la disponibilità di parti di ricambio, l'accessibilità e la documentazione delle procedure di riparazione.
- La **sostituibilità** si riferisce alla facilità con cui un componente può essere rimosso e sostituito con uno nuovo senza compromettere l'integrità strutturale dell'edificio. I fattori che influenzano la sostituibilità includono la modularità del design, la standardizzazione dei componenti e la facilità di accesso per la rimozione e installazione<sup>41</sup>.

<sup>40</sup>Level(s) – Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio, **Indicatore Level(s) 1.2: Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita**, (versione 1.1), 2021 INDICE 1.2

<sup>41</sup>39G.W.A. Dummer, M.H. Tooley, R.C.Winton, **Capitolo 8 -Maintainability, AnElementary Guide To Reliability (Fifth Edition)**, Butterworth-Heinemann, 1997,PP 46-53

Progettare riducendo i materiali di allestimento favorisce l'accessibilità ai componenti del sistema di copertura per una più immediata manutenzione, riparazione o sostituzione

### ■ **Soluzioni tecnologiche: accessibilità e sicurezza**

*Sistema di copertura*

<sup>42</sup><https://www.zin-tek.it/sfogliabili/zin-tek-childrens-surgical-hospital-it-en/58/index.html> (ult. cons. 04/05/2024)

L'accessibilità ai componenti del sistema di copertura è un fattore che influisce sulla manutenibilità, la riparabilità e la sostituibilità. Progettare sistemi di copertura che abbiano un'**altezza contenuta ed una ridotta pendenza** potrebbe migliorare la raggiungibilità di tutti i componenti. Inoltre, progettare elementi strutturali che rendano **calpestabile** lo spazio al di sopra del sistema di copertura e integrare **dispositivi anticaduta**<sup>42</sup> nel design del tetto consente di svolgere le operazioni di manutenzione in sicurezza.

### ■ **Soluzioni tecnologiche: sostituibilità**

*Sistema di copertura + Elemento/Strato: Struttura portante*

Impiegare **elementi modulari e standardizzati sulle dimensioni dei componenti disponibili sul territorio** aiuta a diminuire gli scarti ed i rifiuti in fase di cantiere e quindi le quantità impiegate nel progetto edilizio. Inoltre, favorisce la sostituibilità delle unità in caso di danni o degradi materici. Inoltre, progettare sistemi strutturali reticolari aiuta a ripartire i carichi in più direzioni, per questo la "gabbia spaziale" favorisce la sostituibilità delle componenti senza compromettere la stabilità strutturale.

### ■ **Scelte materiche: pulibilità**

*Sistema di copertura*

La pulibilità identifica la capacità di un materiali di consentire la rimozione dello sporco e della polvere che si depositano sulla superficie, al fine di garantire le necessarie condizioni di igiene.

Il design del **tetto inclinato in lamiera ondulata** garantisce la pulibilità del rivestimento; infatti, la superficie liscia e non porosa del metallo, unita ad una sufficiente pendenza della copertura (limite minimo imposto dalla pendenza per il deflusso delle acque meteoriche), facilitano l'evacuazione dell'accumulo di sporco.

I **materiali organici**, invece, data la loro superficie porosa e rugosa, dovrebbero essere **trattati con la calce** per ridurre la rugosità e favorire la pulibilità superficiale del materiale.

Gli OUTPUTs sono riportati in **Figura 33**.

### ■ **Soluzioni tecnologiche: integrazione di materiali riciclati o scarti di altre lavorazioni**

*Elemento/Strato: Elemento di chiusura (isolante)*

Per ridurre l'inquinamento dovuto ai rifiuti, una soluzione consiste nell'**integrare materiali riciclati nelle componenti del sistema di copertura**. Questo

dipende fortemente dalla disponibilità di risorse e dall'artigianalità locale. Nel contesto rurale, una soluzione riguarda l'**impiego di scarti da lavorazioni agricole** nelle componenti di sistema. Una ricerca condotta con la collaborazione di **ARUP** e Raul Pantaleo del gruppo **TAMassociati**, dimostra come si possano integrare principi di progettazione circolare nella progettazione di pannelli isolanti nelle aree rurali africane di Paesi in Via di sviluppo. Dopo aver identificato i requisiti sulla base alle fasce climatiche, procede categorizzando le risorse vegetali ricavabili da scarti di lavorazioni agricole in: fibre, bastoncini, gusci e ceneri.

Le fibre sciolte e i bastoncini possono essere tessuti o feltrati su stuoie, mentre le fibre e i gusci devono essere incorporati in una matrice che li lega insieme nella forma desiderata. Questa matrice, in generale, è a base minerale come argilla, calce o, come ultima opzione, cemento<sup>43</sup>. Questa soluzione consente di creare pannelli isolanti in contesti emergenziali, sfruttando le risorse disponibili di un territorio e integrando rifiuti nel processo costruttivo (**Fig. 34**).

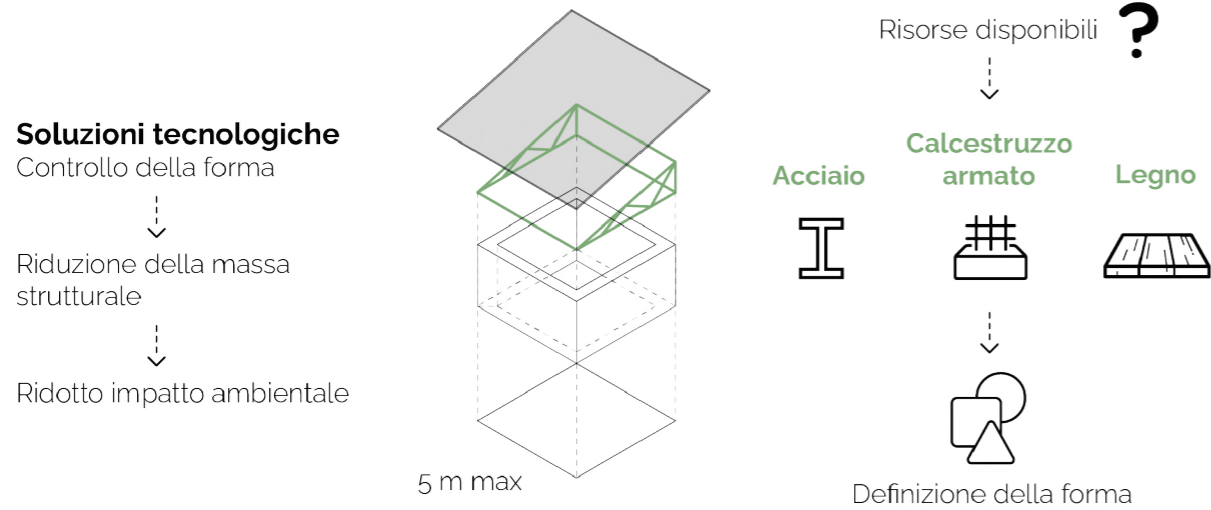
Un'altra soluzione consiste nell'integrare sottoprodotti di altre lavorazioni nelle schermature a chiusura dell'intercapedine ventilata dei sistemi di copertura.

È opportuno specificare che, in questo caso, le soluzioni possibili sono molteplici, *site specific* e frutto dell'ingegno del progettista, quindi risulta difficile identificare una soluzione tecnologica unica e valida sempre.

<sup>43</sup> **Material Playbook for community resourced insulation-materials in emerging economies**, a research collaboration with TAMassociati and ARUP, 2019



● Sistema di copertura ● Struttura portante



**Scelte materiche**  
Uso ottimale dei rivestimenti



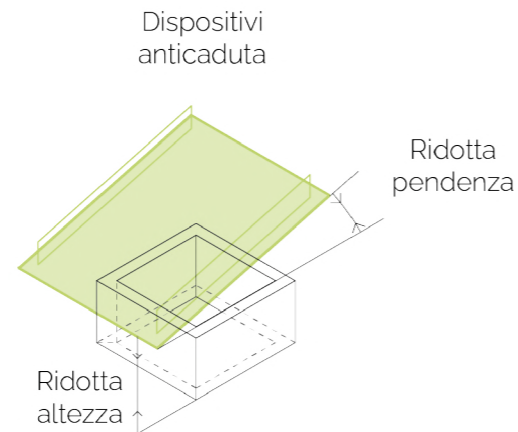
**DURABILITA'**

**MANUTENIBILITA'**

**RIPARABILITA'**

**SOSTITUIBILITA'**

**Soluzioni tecnologiche**  
Massimizzare l'accessibilità e sicurezza



● Sistema di copertura ● Struttura portante ● Strato di chiusura

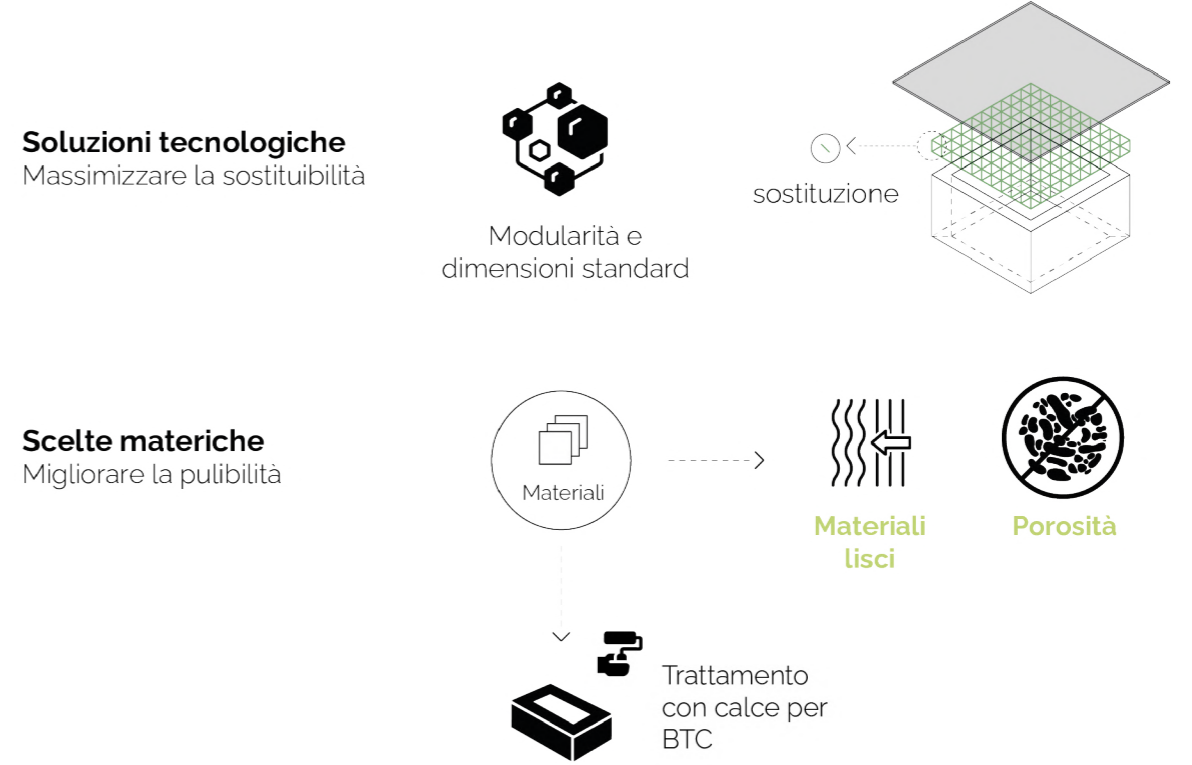


Figura 33: : OUTputs dell'indicatore 3.B, elaborato dalla tesista

**Soluzioni tecnologiche**  
Integrazione di rifiuti o scarti di altre lavorazioni

ARUP

TAM associati



Requisiti climatici



Figura 34: temi della ricerca condotta da ARUP e TAMassociati, elaborato dalla tesista

### 3.C PROGETTARE AI FINI DI ADATTABILITA' E RISTRUTTURAZIONE

La progettazione di un edificio può agevolare un futuro adattamento al variare delle esigenze degli occupanti e delle condizioni di mercato. Infatti, studiare questi aspetti di progettazione potrebbe prolungare la vita utile dell'edificio nel suo complesso, favorendo la prosecuzione dell'uso previsto o consentendo possibili cambiamenti di destinazione futuri.

#### Nota sugli edifici scolastici

Nel contesto rurale e tropicale dell'Africa, la crescita demografica della popolazione giovanile in età scolare porta spesso al **sovrapopolamento degli edifici scolastici**. Tuttavia, le limitate risorse finanziarie e la mancanza di flessibilità nella configurazione degli edifici possono rendere difficile l'espansione delle strutture esistenti. Di fronte a questa sfida, le comunità spesso si trovano costrette a trovare soluzioni creative per fornire spazio aggiuntivo per le classi. Queste soluzioni pragmatiche e temporanee consentono di rispondere rapidamente alla crescente domanda, ma non soddisfano pienamente le esigenze a lungo termine. Le **aule temporanee** possono essere **vulnerabili** alle condizioni climatiche estreme e possono non offrire lo stesso livello di comfort e sicurezza delle strutture permanenti.

#### ■ Soluzioni tecnologiche: modularità, flessibilità spaziale e scalabilità

*Sistema di copertura*

La tipologia strutturale a telaio potrebbe aumentare la flessibilità spaziale e la scalabilità del complesso edilizio, in più, la **semplicità del design monofalda** potrebbe favorire l'espansione del sistema di copertura in una direzione. Infine, progettare **sistemi di copertura sovrapponibili ma indipendenti** potrebbe favorire la flessibilità spaziale.

#### Integrabilità dei servizi

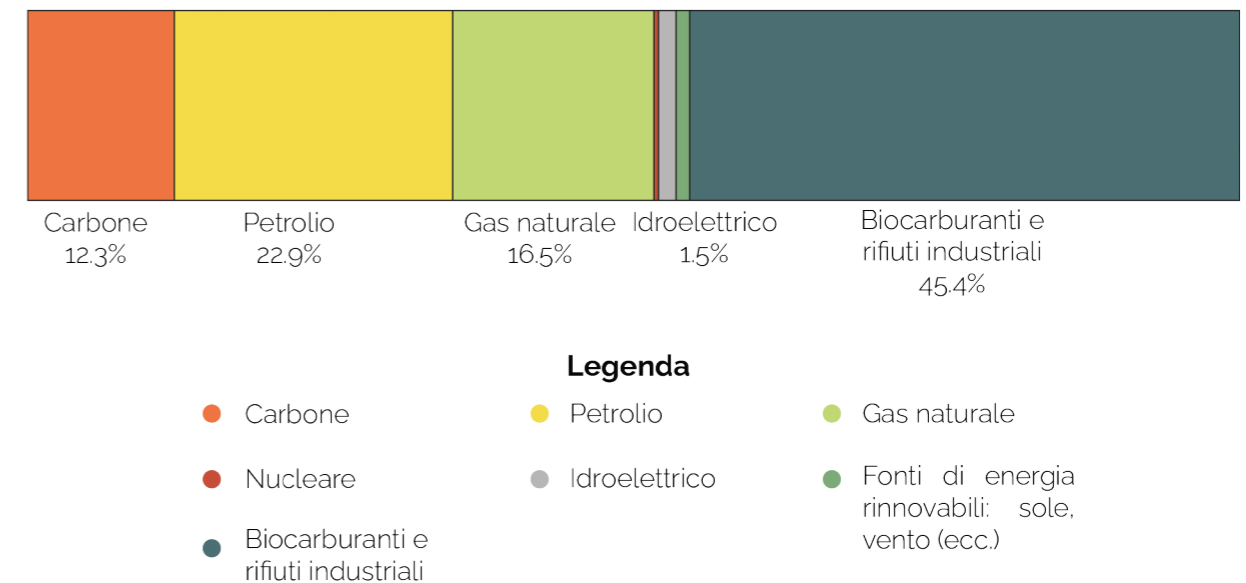
Un adattamento che rifletta il cambio di esigenze degli occupanti è un fattore da tenere in considerazione in fase di progetto. Nello specifico contesto di ricerca, data la tendenza all'aumento di servizi migliorati, si potrebbe avere la **necessità di integrare sistemi di illuminazione artificiale, di ventilazione meccanizzata o di raccolta delle acque piovane**.

Purtroppo, succede molto spesso che il mix energetico che alimenta questi sistemi provenga da fonti energetiche non rinnovabili e sia dominato da biocarburanti e rifiuti o da prodotti petroliferi (Fig. 35).

Per questo motivo, creare un mix design per i sistemi di copertura che favorisca la possibilità di integrare tecnologie nel campo delle **energie rinnovabili** potrebbe ridurre l'impatto ambientale derivante dall'approvvigionamento energetico di fonti fossili.

In questa sezione, date le esigenze del contesto tropicale, si andrà ad indagare la possibilità di impiegare **pannelli fotovoltaici** in copertura per la produzione di energia elettrica ed un **sistema di raccolta delle acque piovane**.

Approvvigionamento energetico totale per fonte, Africa, 2021



Evoluzione dell'approvvigionamento energetico totale per fonte in Africa dal 2000

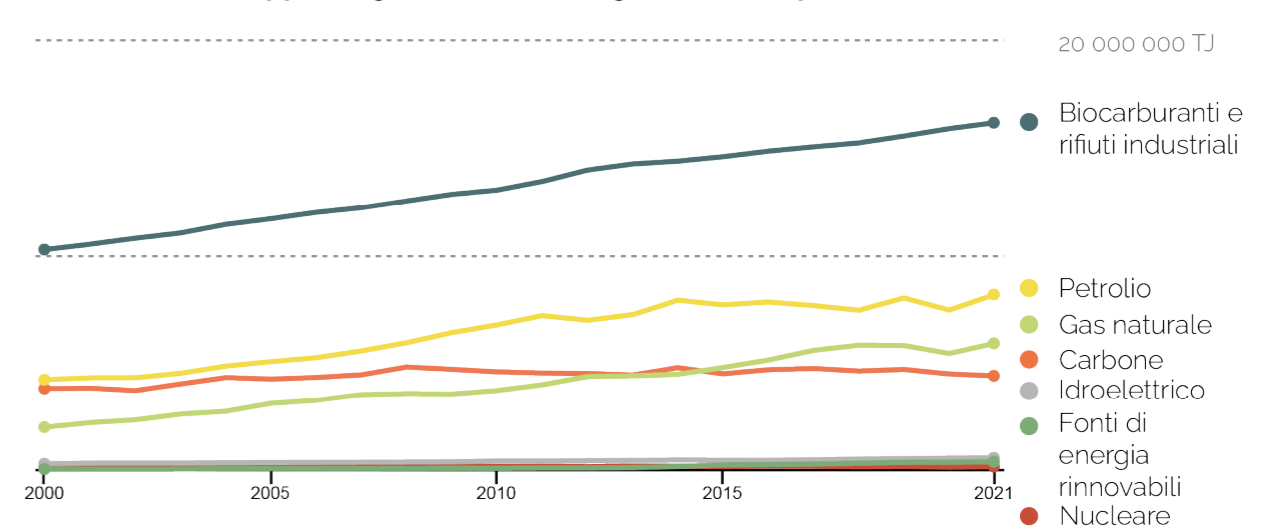


Figura 35: <https://www.iea.org/regions/africa/energy-mix> (ult. cons. 12/06/2024), rielaborato dalla tesista

### 1. Pannelli fotovoltaici

#### ■ Strategie bioclimatiche: inclinazione e orientamento dei pannelli fotovoltaici

*Sistema di copertura*

Per valutare l'integrabilità dei pannelli fotovoltaici sul sistema di copertura, è opportuno considerare l'inclinazione e l'orientamento del sistema di copertura. Per comprendere quale sia l'inclinazione ottima che i pannelli fotovoltaici dovrebbero avere per sfruttare al massimo l'incidenza della radiazione solare, si tiene conto delle **simulazioni tramite software PVGIS**.

Conoscendo le coordinate del luogo, il software restituisce la pendenza dei pannelli e l'angolo azimutale, che indica l'orientamento dei pannelli, secondo cui la quantità di radiazione solare incidente e quindi la produzione di energia elettrica si massimizza.

Bisogna considerare che le condizioni di cielo coperto che si verificano prevalentemente durante la stagione delle piogge potrebbero impattare sui dati estratti da PVGIS, che non tiene conto della copertura nuvolosa, andando a ridurre il quantitativo di energia prodotta.

Inoltre, occorre tenere in considerazione l'ombreggiamento reciproco dei pannelli fotovoltaici. Questo potrebbe limitare il numero di pannelli in copertura.

#### ■ Scelte materiche: facilità di fissaggio

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

L'utilizzo di **lamiera ondulata metallica** in copertura favorisce l'installazione dei pannelli fotovoltaici per la sua **facilità di fissaggio**. Infatti, il metallo è generalmente più facile da perforare o saldare rispetto ad altri materiali di copertura ed è caratterizzato da una compatibilità estetica con i pannelli fotovoltaici.

Gli OUTPUTs relativi all'integrazione di pannelli fotovoltaici sono riportati in **Figura 36**.

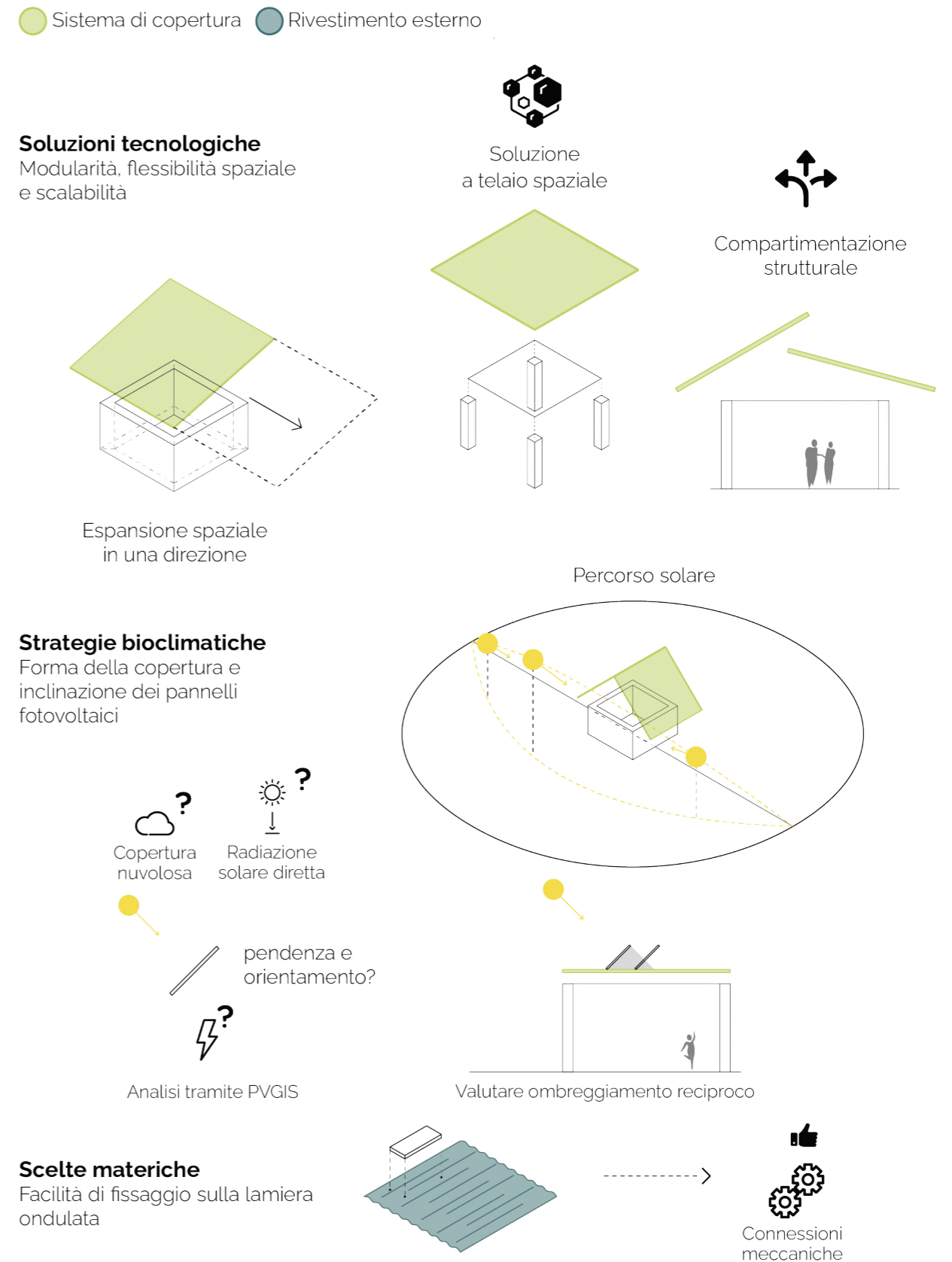


Figura 36: OUTPUTs dell'indicatore 3.C, geometria e pannelli fotovoltaici, elaborato dalla tesista



## 2. Utilizzo efficiente delle risorse idriche: sistema di raccolta delle acque meteoriche

L'importanza della **carenza idrica** nel contesto di tesi suggerisce la necessità di progettare un sistema di raccolta delle acque meteoriche. Il sistema di copertura è l'unità tecnologica ideale per soddisfare il fabbisogno idrico. L'obiettivo è quello di massimizzare il recupero di acqua piovana. Il progetto dei sistemi di raccolta ed allontanamento facilitato delle acque meteoriche è definibile attraverso:

1. La **raccolta dei dati climatici** e l'individuazione della geometria dell'edificio;
2. La definizione dei **materiali** costituenti gli elementi tecnici;
3. La **progettazione idraulica** dei vari elementi che convogliano le acque meteoriche.

In pratica, una volta definita l'intensità della precipitazione, l'inclinazione della falda e la direzione dei venti prevalenti nei periodi di pioggia (**monsoni estivi**), si procede valutando la scelta di materiali ed il dimensionamento del canale di gronda.

### ■ Strategie bioclimatiche: inclinazione della falda in direzione dei venti prevalenti Sistema di copertura

Progettare sistemi di copertura che abbiano l'inclinazione della falda in direzione dei monsoni estivi massimizza la capacità di raccolta dell'unità tecnologica.

### ■ Scelte materiche: alto coefficiente di deflusso Elemento/Strato: Rivestimento esterno

Il rivestimento in lamiera ondulata in acciaio facilita il deflusso delle acque meteoriche. Questo dipende dalla levigatezza del materiale. Infatti, il **coefficiente di deflusso della lamiera ondulata è pari a 95%**<sup>44</sup>.

### ■ Soluzioni tecnologiche: premiare sistemi di raccolta aerei Sistema di copertura

La raccolta dell'acqua piovana presuppone un corretto dimensionamento del **canale di gronda**. Nello SSP, non si affronterà il tema riguardo ai passaggi per il dimensionamento della gronda. Semplicemente, si consiglia sistemi di raccolta aerei tramite canale di gronda rispetto a sistemi di raccolta a terra, che potrebbero avere maggiori criticità riguardo la contaminazione dell'acqua piovana. Gli OUTPUTs relativi ai sistemi di raccolta delle acque meteoriche sono riportati in **Figura 37**.

44 Roupe de recherche et d'échanges technologiques GRET, **Le point sur la construction de citernes recueil et stockage des eaux de pluie**, Centre d'échanges et promotion des artisans en zones équipées, Parigi 1984, p. 1.

● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno

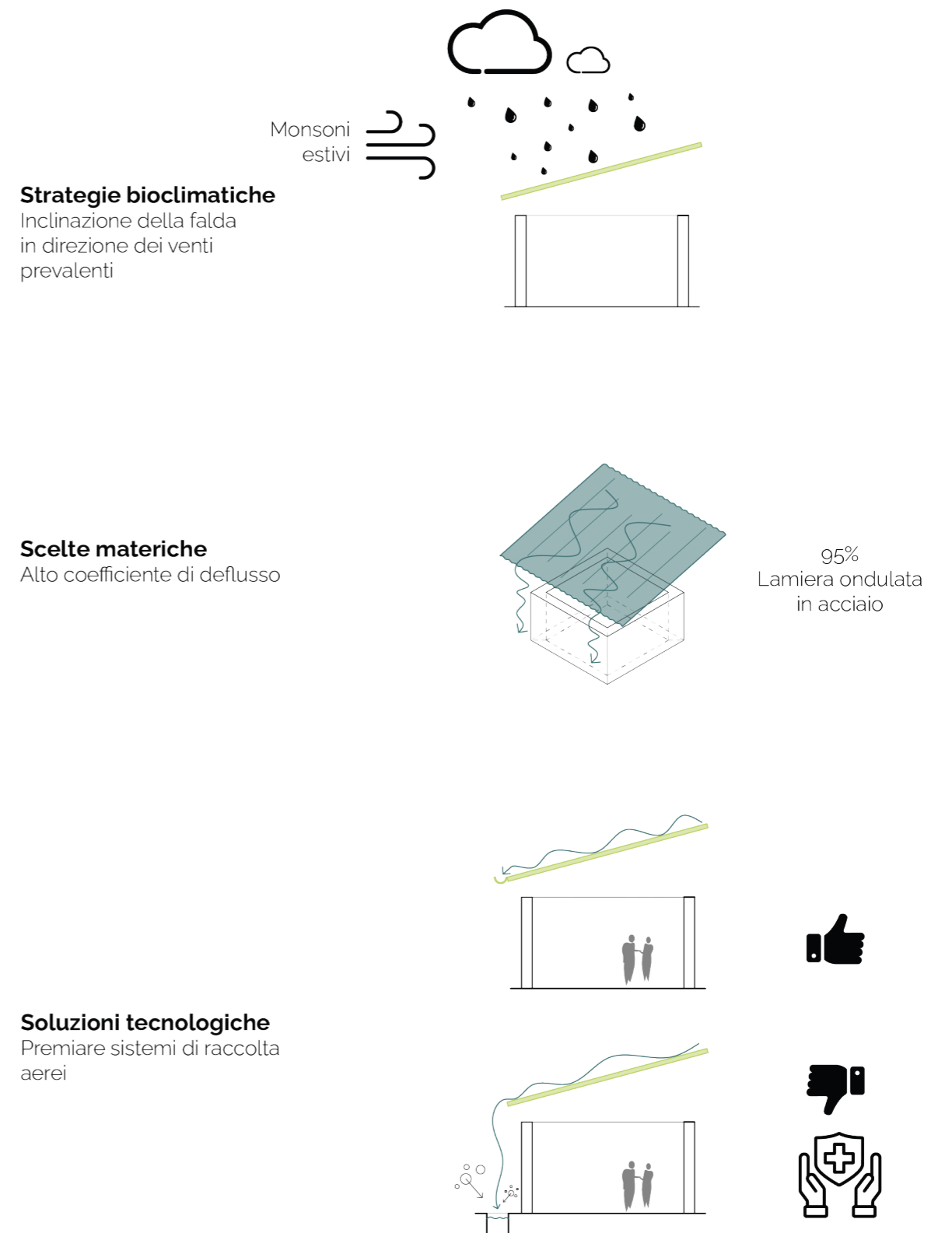


Figura 37: OUTPUTs dell'indicatore 3.C, raccolta delle acque meteoriche, elaborato dalla tesista

**Buone pratiche: tecnologia a secco e progettazione Off-site**

La costruzione a secco indica un tipo di tecnologia costruttiva che, contrariamente a quella umida, **non prevede l'utilizzo di acqua** o di altri materiali quali **leganti, cementi o colle** in fase di assemblaggio. L'unione dei vari elementi può avvenire tramite sistemi di incastro o attraverso giunzioni e connessioni meccaniche.

Inoltre, i sistemi costruttivi a secco sono particolarmente indicati in tutti quegli edifici o porzioni di edifici che vengono realizzati con il metodo off-site: in questo caso, infatti, si impiegano elementi prefabbricati in officina per comporre soluzioni bidimensionali o tridimensionali che vengono poi assemblate velocemente in cantiere tramite giunzioni meccaniche ingegnerizzate.

La combinazione di soluzioni a secco e progettazione off-site dà luogo a una serie di impatti positivi lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Innanzitutto, sia le tecniche a secco che la progettazione off-site sono caratterizzate da una notevole **velocità di messa in opera**. Nella progettazione off-site, i componenti sono prefabbricati in fabbrica in condizioni controllate, mentre le tecnologie a secco eliminano la necessità di attese per l'indurimento dei materiali e per la lavorazione delle miscele e dei preparati usati nelle tecnologie a umido. Questo si traduce in tempi di costruzione notevolmente ridotti, consentendo la consegna anticipata dei progetti e rispondendo alle esigenze di un mercato sempre più orientato ai tempi.

Inoltre, **entrambe gli approcci riducono l'impatto ambientale**. La progettazione off-site consente un uso più efficiente delle risorse, mentre le tecnologie a secco eliminano il consumo di acqua e riducono la produzione di rifiuti sul cantiere.

La **leggerezza dei materiali** utilizzati nelle costruzioni a secco si combina bene con la **modularità** e la precisione della progettazione off-site. I componenti prefabbricati possono essere facilmente trasportati e assemblati in loco, riducendo i costi e semplificando la gestione del cantiere. Inoltre, la **flessibilità** e l'**adattabilità** dei due approcci consentono una maggiore libertà di design e la possibilità di apportare modifiche durante tutte le fasi del progetto.

Tuttavia, sia le **costruzioni a secco** che la **progettazione off-site** richiedono un **livello molto elevato di precisione e pianificazione**. Ogni dettaglio, dalla progettazione dei componenti alla loro installazione, deve essere attentamente pianificato ed eseguito per garantire la qualità e la stabilità dell'edificio finale.

Inoltre, **l'approccio off-site potrebbe limitare l'opportunità di coinvolgimento della comunità locale nella fase di costruzione**, escludendo così lo sviluppo partecipativo e il trasferimento di conoscenze pratiche.

La partecipazione attiva della comunità durante la costruzione non solo favorisce un senso di appartenenza e di responsabilità verso il progetto, ma offre anche un'occasione preziosa per l'apprendimento pratico e per la creazione di competenze locali.

Ciò non significa che la progettazione off-site debba essere completamente

esclusa. Piuttosto, potrebbe essere integrata in modo complementare con **approcci di costruzione partecipativa (Fig. 38)**, ad esempio attraverso la produzione di componenti prefabbricati che vengono successivamente assemblati e finiti in loco. Questo permette di sfruttare i vantaggi della prefabbricazione, come la maggiore efficienza e la riduzione dei tempi di costruzione, nonché il calo dei rifiuti in fase di cantiere, mantenendo al contempo un coinvolgimento significativo della comunità locale e un trasferimento di conoscenze e competenze.



**Figura 38:** Nella figura si osservano le donne del villaggio di Gando intente a trasportare i vasi in terra cotta, di loro produzione, al sito di progetto. I vasi sono stati integrati nel massetto di chiusura del sistema di copertura della biblioteca della scuola primaria di Gando, realizzata da Kéré. Questo è un **esempio di progettazione off-site adattabile al contesto di tesi, che non esclude la costruzione partecipativa della comunità femminile**, ma la valorizza, pure in virtù della parità di genere. Immagine ripresa da <https://arquitecturaviva.com/works/biblioteca-de-gando-10> (ult. cons. 12/06/2024)



### 3.D PROGETTAZIONE A FINI DI SMANTELLAMENTO E RIUTILIZZO

- **Smantellamento:** Processo di demolizione selettiva e sistematica volto a ridurre la quantità di rifiuti prodotti e generare una riserva di materie secondarie di elevato valore adatte ad essere riutilizzate o riciclate.
- **Riutilizzo:** Operazione attraverso cui un prodotto o una sua parte che hanno raggiunto la fine di una delle fasi d'uso sono reimpiegati per la stessa finalità per la quale erano stati concepiti.
- **Riciclaggio:** Qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i materiali di rifiuto sono ritrattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini.
- **Rifiuti:** Ai sensi della direttiva quadro Rifiuti dell'UE, qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'obbligo di disfarsi.

45https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive\_en (ult. cons. 28/04/2024)

Nel contesto di ricerca, le capacità industriali e artigiane coinvolte nel processo di riciclo di un materiale e di gestione dei rifiuti sono scarsamente documentate. In aggiunta, molti dei requisiti valutati sono orientati a prevenire o minimizzare la produzione di rifiuti o di materiali che hanno bisogno di un processo di riciclaggio, in linea con i principi della Waste Hierarchy<sup>45</sup>. (Fig.39). Questo significa che, piuttosto che concentrarsi sulla gestione del processo di riciclaggio e dei rifiuti, l'attenzione è posta sulle fasi precedenti del ciclo di vita dei prodotti e dei materiali, con l'**obiettivo di ridurre l'uso di risorse e l'impatto ambientale**. Per questa ragione, i parametri sul riciclaggio e sulla gestione dei rifiuti vengono esclusi dalla valutazione.

#### Progettare a misura d'uomo

La progettazione per la movimentazione manuale è di fondamentale importanza, soprattutto in contesti di autocostruzione, dove le risorse finanziarie sono limitate e non è possibile impiegare attrezzature pesanti. In tali circostanze, la progettazione che tiene conto della modularità e della scalabilità favorisce l'integrazione della comunità nel processo costruttivo e minimizza la necessità di impiego di mezzi pesanti.

Questo approccio consente alle persone di partecipare attivamente alla costruzione utilizzando le risorse a loro disposizione e riduce la dipendenza da macchinari costosi. La modularità consente di suddividere il progetto in componenti più gestibili e trasportabili manualmente, mentre la scalabilità permette di adattare la dimensione e la complessità del progetto alle risorse e alle capacità disponibili.

L'obiettivo dello SSP è quello di comprendere in che modo la progettazione del sistema di copertura possa agevolarne lo smantellamento futuro in modo da accedere alle componenti, smontarle, scomporle e riutilizzarle in un altro processo.

È opportuno far notare che le strutture sono responsabili della maggior parte degli impatti ambientali incorporati della costruzione di un edificio. Di conseguenza, ogni progresso verso la "circolarità" mediante il riutilizzo di questi materiali, *in situ* all'interno di un nuovo edificio o in un altro sito, servirà a ridurre gradualmente gli impatti incorporati del ciclo di vita.

Molte delle strategie individuate precedentemente facilitano il recupero ed il riutilizzo degli elementi costruttivi del sistema di copertura.

In particolare, per quanto riguarda lo smantellamento, si osservino i punti sulla sostituibilità, la modularità, l'accessibilità e la sicurezza (nella fase di manutenzione, riparazione e sostituzione) e la trasportabilità. Mentre, i principi volti al riutilizzo possono riguardare il punto sull'integrazione di rifiuti o scarti da altre lavorazioni e dipendono dalle necessità specifiche di progetto e di contesto. Ciò nonostante, qui di seguito viene riportata una ulteriore soluzione utile al recupero ed al riutilizzo.

#### ■ Soluzioni tecnologiche: separabilità, connessioni meccaniche e reversibili

Sistema di copertura

Le connessioni tra gli elementi che compongono il sistema di copertura dovrebbero essere di tipo meccanico e reversibile in modo da massimizzare il riutilizzo delle componenti.

Quindi, si predilige sistemi di connessioni bullonati, chiodati o ad incastro. Per quanto riguarda la saldatura, data la natura permanente del processo che coinvolge la fusione dei materiali, non viene considerata un tipo di collegamento reversibile.

Gli OUTPUTs sulla progettazione ai fini di smantellamento e riutilizzo sono riportati in **Figura 39**.

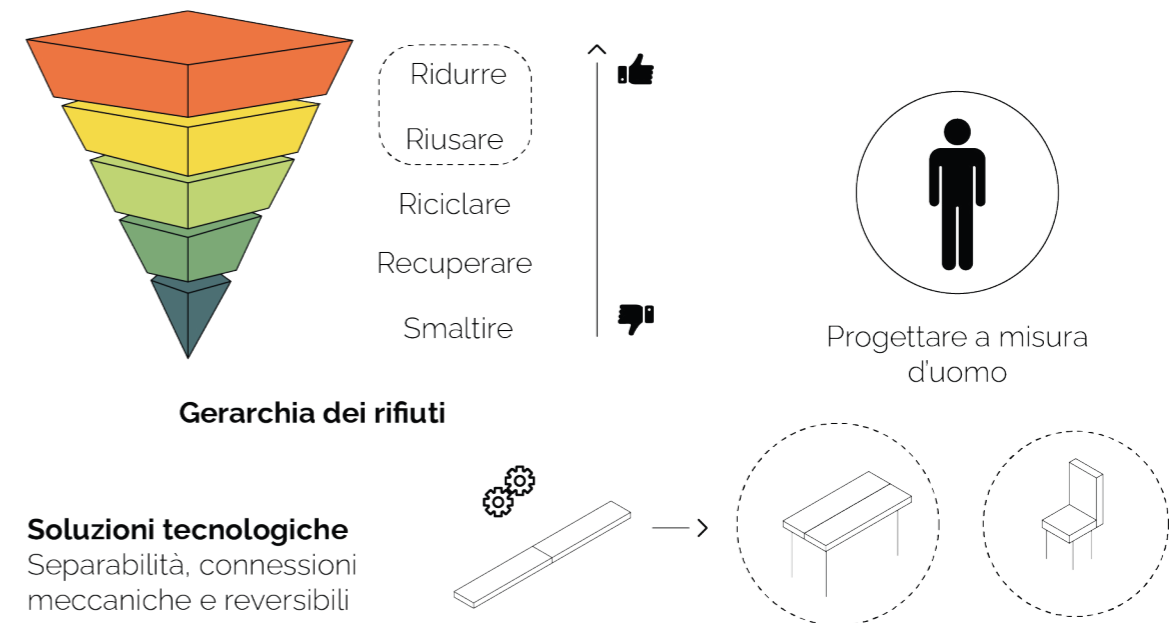
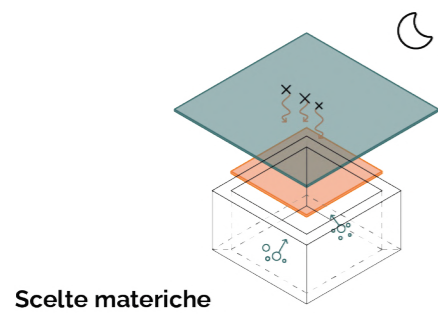
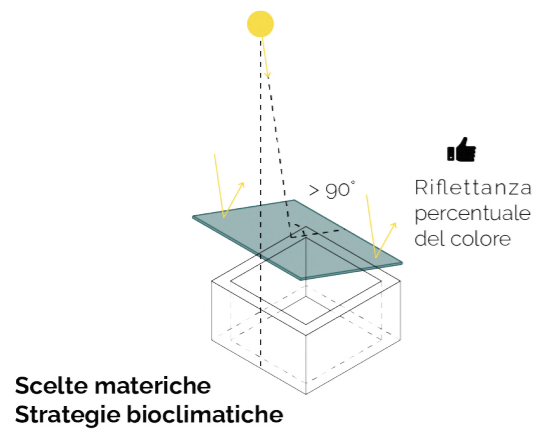
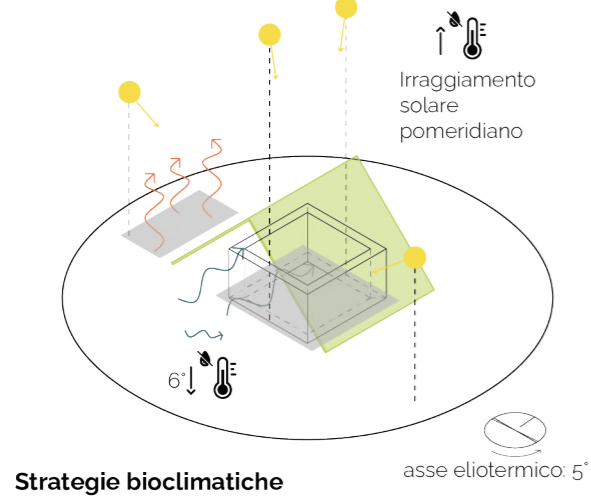


Figura 39: OUTPUTs dell'indicatore 3.D, elaborato dalla tesista

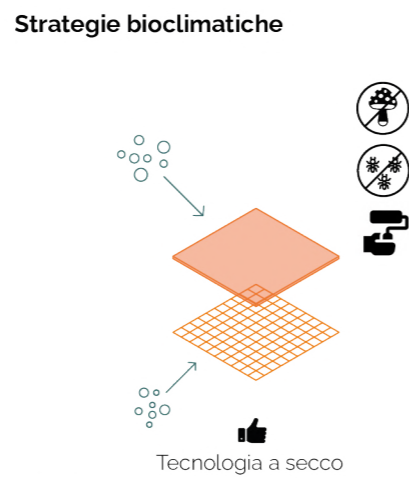
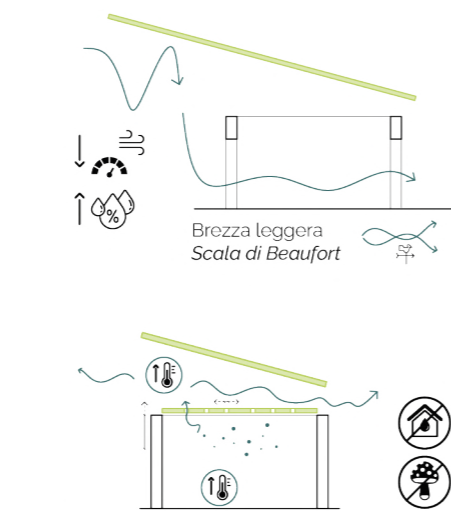


# 1. Spazi salubri e confortevoli

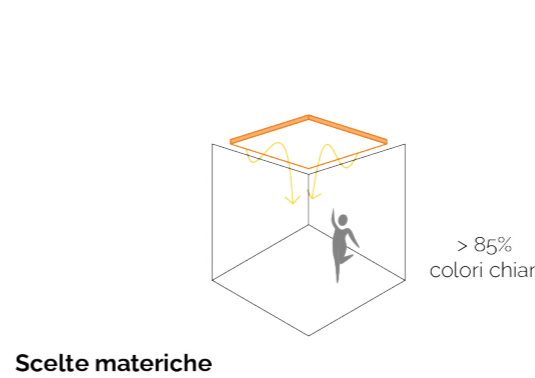
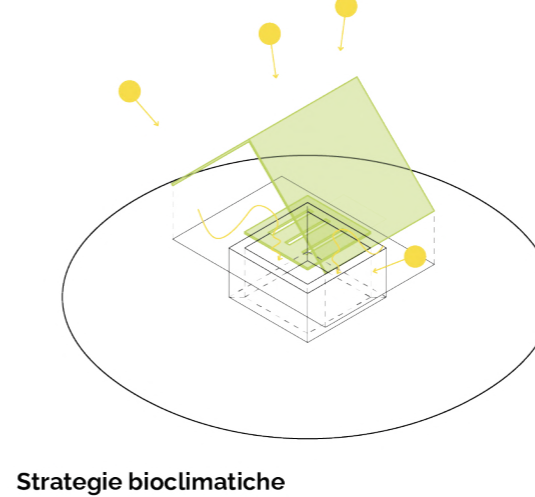
## 1.A Comfort termo-igrometrico



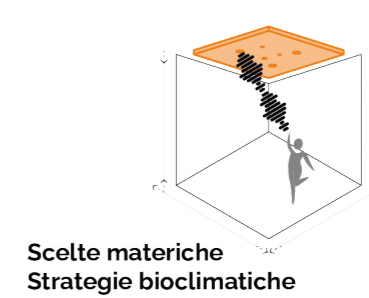
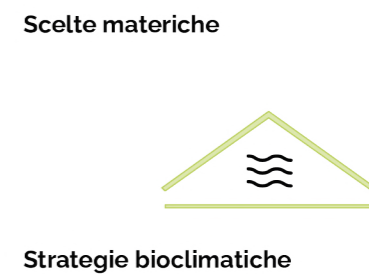
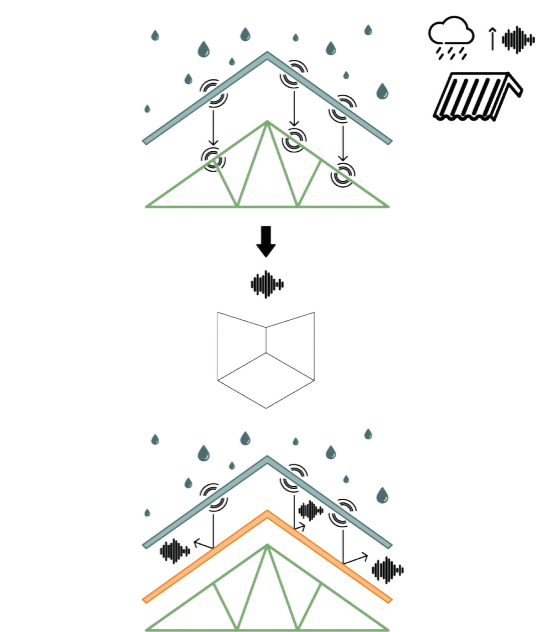
## 1.B Qualità dell'aria interna



## 1.C Illuminazione e comfort visivo



## 1.D Acustica e protezione contro il rumore

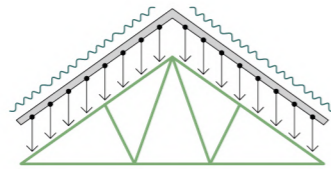


● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Struttura portante ● Elemento di chiusura

## 2. Spazi sicuri



### 2.A Resistenza ai carichi statici



Legno Calcestruzzo armato Acciaio Bambù

● Struttura portante

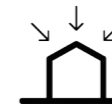
Peso specifico  
Deformabilità Modulo elastico  
Resistenza a compressione e trazione  
Resistenza a flessione

basso + minore minore minore

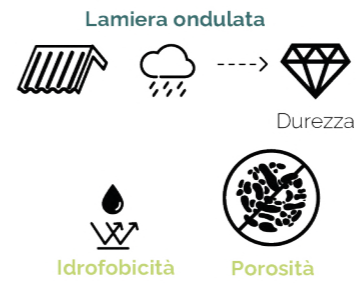
Calcestruzzo Calcestruzzo Calcestruzzo Bambù  
Calcestruzzo Calcestruzzo Bambù Bambù

alto + maggiore maggiore maggiore

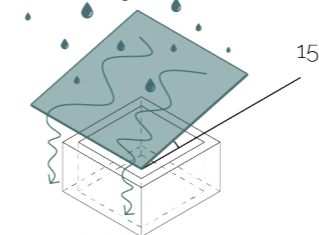
Scelte materiche



### 2.B Resistenza e protezione dagli agenti atmosferici



Scelte materiche



Strategie bioclimatiche

Lamiera ondulata Acciaio  
Calcestruzzo armato

Legno Bambù

Scelte materiche

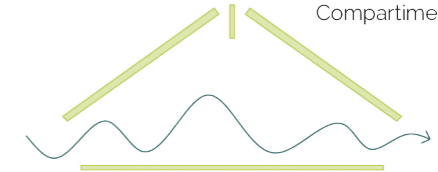
● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Struttura portante ● Elemento di chiusura



### 2.C Sicurezza al fuoco



Compartimentazione



Soluzioni tecnologiche

Parametri

Infiammabilità Velocità di propagazione Gocciolamento  
Sviluppo di calore Produzione di fumo Produzione di sostanze nocive

Scelte materiche

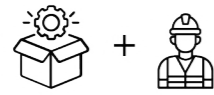
Materiali

Fibre naturali

Collasso improvviso Carbonizzazione



### 3. Salvaguardia ambientale



#### 3.A Fase del prodotto e fase di costruzione

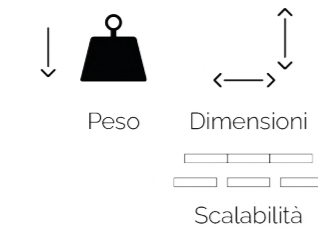
Embodied energy  
Embodied Carbon



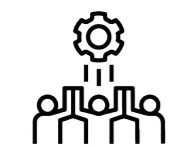
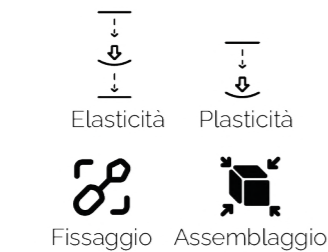
Localizzazione



Trasportabilità

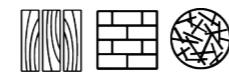


Lavorabilità

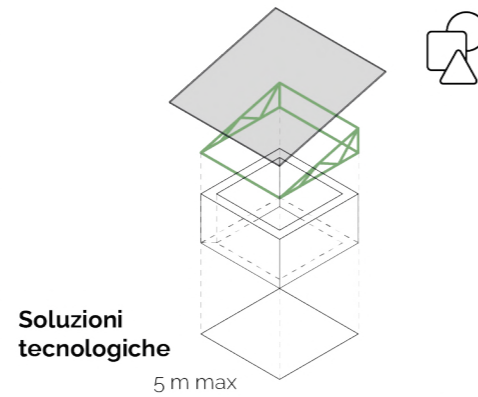


Compatibilità culturale

Integrare tecniche di lavorazione locali nel processo costruttivo  
*Artigianato locale*



#### 3.B Materiali: quantità e vita utile



Soluzioni tecnologiche

5 m max



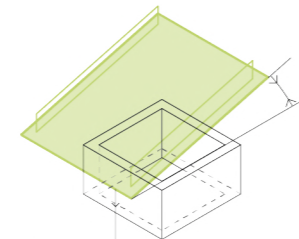
Resistenza agli agenti meteorologici



Resistenza agli agenti biologici



Scelte materiche



Modularità e dimensioni standard

Soluzioni tecnologiche



Materiali Porosità lisci

Scelte materiche



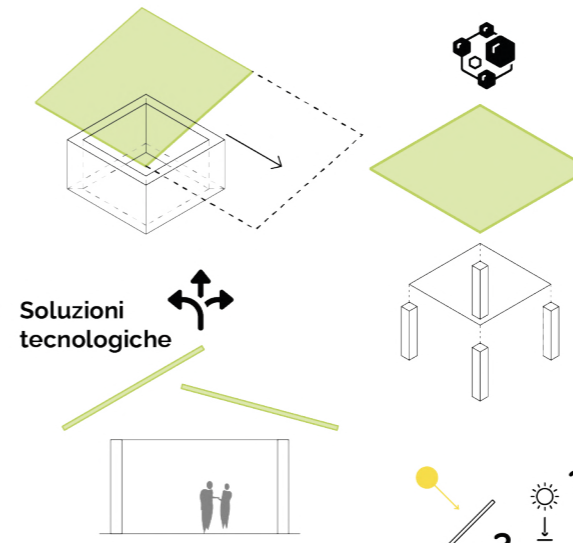
Soluzioni tecnologiche



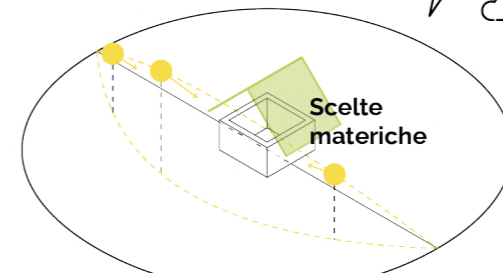
Elemento isolante



#### 3.C Progettare ai fini di adattabilità e ristrutturazione



Soluzioni tecnologiche

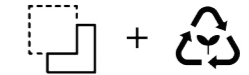


Scelte materiche

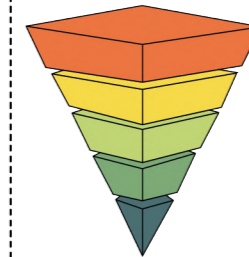
Strategie bioclimatiche

Scelte materiche

● Sistema di copertura ● Rivestimento esterno ● Struttura portante ● Elemento di chiusura



#### 3.D Progettare ai fini di smantellamento e riutilizzo



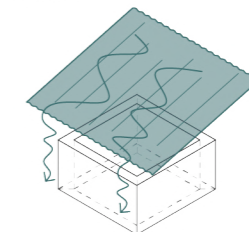
Gerarchia dei rifiuti

Progettare a misura d'uomo

Strategie bioclimatiche

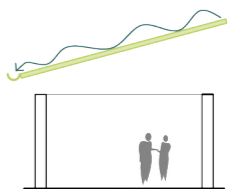
Monsoni estivi

Scelte materiche



95% Lamiera ondulata in acciaio

Soluzioni tecnologiche





## CASI STUDIO



*Il lavoro svolto sui casi studio serve allo Strumento di Supporto alla Progettazione per basarsi sull'evidenza e per tradurre in esempi pratici alcune strategie qualitative, precedentemente presentate. Inoltre, la ricerca dei casi studio all'interno del perimetro omogeneo aiuta a rafforzare la validità dello Strumento nell'area definita. L'intento finale è quello di indagare pratiche che possano essere replicate nel contesto di ricerca.*





### 2.2.1 PRESENTAZIONE DEI CASI STUDIO

I casi studio sono stati selezionati per arricchire lo Strumento di Supporto alla Progettazione (Fig. 40) e rientrano nei parametri stabiliti dal perimetro di applicazione (Fig. 41), nel paragrafo precedente.

L'obiettivo di tesi si concentra sull'unità tecnologica del sistema di copertura senza obbligatoriamente specificare la destinazione d'uso dell'edificio. Per questo motivo, le destinazioni d'uso dei casi studio presi in esame sono state il più possibile differenziate.

Tuttavia, è opportuno far notare che **la maggior parte dei casi studio sono istituti scolastici**, in quanto il progetto svolto nel capitolo successivo si concentrerà sulla tipologia funzionale della scuola di primo grado. Quindi, ricercare esempi per questa precisa destinazione d'uso è stato utile per approfondire soluzioni tipologiche più mirate sul progetto finale.

I casi studio sono:

1. **Scuola primaria**, Gando, Burkina Faso
2. **Estensione della scuola primaria**, Gando, Burkina Faso
3. **Case degli insegnanti**, Gando, Burkina Faso
4. **Biblioteca**, Gando, Burkina Faso
5. **Scuola secondaria CEM Kamanar**, Tionck Essil, Senegal
6. **Eco-Maison**, Keur Bakar Diahité, Senegal
7. **Scuola primaria Inside Out**, Yeboahkrom, Ghana
8. **Centro di opportunità per le donne**, Kayonza, Ruanda

I casi studio selezionati sono stati scelti sia perchè ricadono nel perimetro di applicazione, ma anche in base ad altri criteri utili alla tesi di ricerca.

Per cominciare, dalla mappa si nota che **la maggior parte dei casi studio appartiene al sottogruppo climatico Aw**. Questo è dovuto al fatto che l'area di progetto del capitolo successivo rientra in questa categoria climatica. Pertanto, è stata effettuata una selezione mirata per raccogliere esempi concreti di buone pratiche adottate in questo specifico contesto tropicale.

**Un altro parametro**, che ha guidato la scelta dei casi studio, **limita la selezione ai sistemi di copertura con rivestimento in lamiera ondulata in acciaio**. Infatti, attraverso la ricerca preliminare della letteratura scientifica, si è arrivati alla conclusione che i sistemi con rivestimenti metallici, in questo contesto specifico, sono i più impiegati ed indagati. Di conseguenza, la ricerca di tesi si focalizza, anche in questa sezione, sul comprendere "cosa succede" al di sotto dello strato di protezione metallico.

### Mappa dei casi studio

Perimetro climatico e destinazioni d'uso

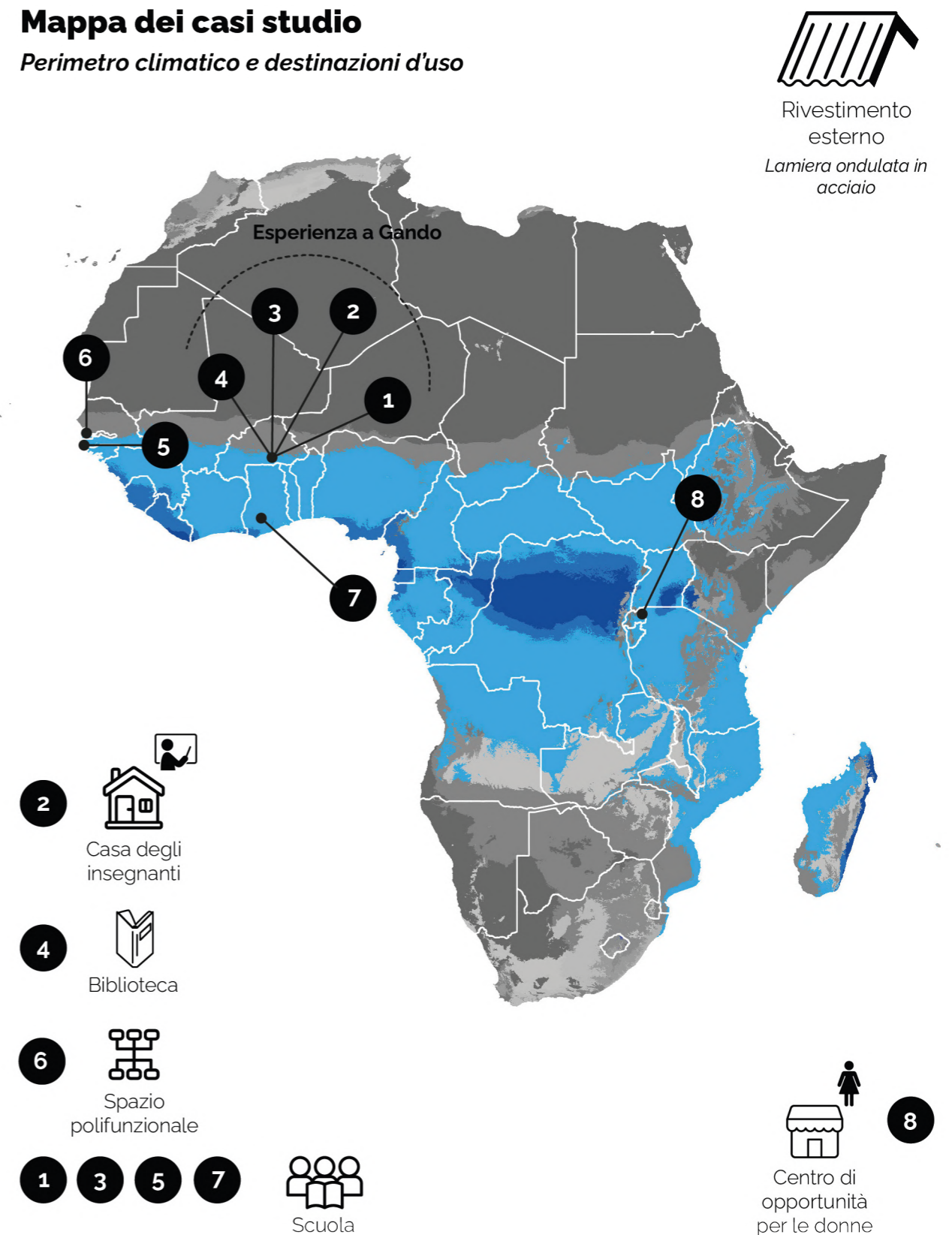


Figura 40: I casi studio mappati all'interno del perimetro di applicazione



**Esperienza a Gando**



**Cella rurale**

(n° ab. < 5.000, d < 300 ab./km²)

Fattori idrogeomorfologici  
 Altimetria: **Rilievo** (300 m s.l.m.)  
 Masse d'acqua: **No**

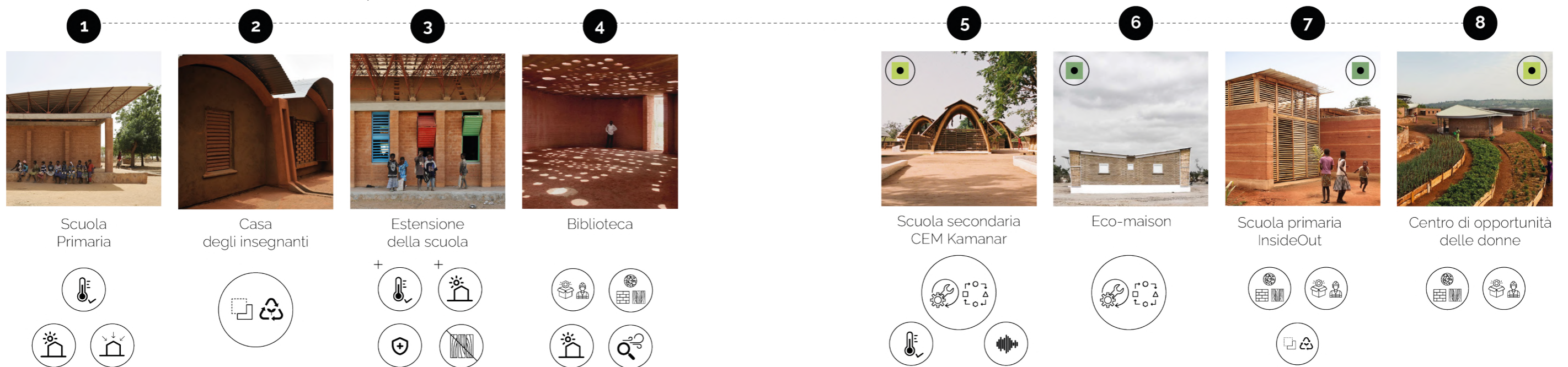


Figura 41: Presentazione dei casi studio, indicazione sul grado di urbanizzazione e indici analizzati.

L'analisi dei casi studio vede una **prima parte** in cui si descrive il complesso scolastico in Burkina Faso. L'**esperienza del villaggio di Gando** rappresenta un laboratorio in cui si combinano e si sperimentano le conoscenze professionali dell'architetto Francis Kéré e le tradizioni costruttive e artigiane della comunità locale.

Di conseguenza, i casi studio analizzati in ordine di costruzione testimoniano un percorso progettuale in cui le strategie messe in atto nelle prime tre aule per la scuola primaria subiscono un processo di trasformazione nei casi successivi.

L'evoluzione delle pratiche costruttive è il focus di questa prima fase di analisi. Di conseguenza, si procede presentando gli INputs del contesto di riferimento e valutando le scelte progettuali tramite gli indicatori dello SSP. Gli INputs del complesso scolastico descrivono gli obiettivi del progetto ed i finanziamenti, che rimangono comuni per tutti e quattro i casi studio, mentre per i singoli edifici si differenziano per le informazioni di progetto.

Le analisi tramite indicatori sono frutto dello studio delle variabili meteorologiche, mentre gli hazards naturali sono già stati presentati, si rimanda a pag. **TOT**.

Nella **seconda parte**, gli altri casi studio vengono analizzati tramite gli **indicatori e descrizioni mirate riguardo le criticità di contesto**.

Occorre specificare che gli esempi pratici riportati per arricchire gli indicatori dello SSP posso valutare positivamente e negativamente le strategie messe in atto.



## 2.2.2 L'ESPERIENZA A GANDO

Complesso scolastico, Burkina Faso

### Obiettivi di progetto

Gando sorge vicino a Tenkodogo, capoluogo di provincia e nel Burkina Faso. Intorno agli anni Novanta, **Gando fu dotato di una scuola elementare**, un modesto edificio realizzato in blocchi di cemento e coperto con lamiera ondulata. Nonostante il successo culturale dell'iniziativa, la **scarsa qualità dell'edificio, unita alla mancanza di fondi governativi** per la sua manutenzione, presto lo ha portato ad uno stato avanzato di deterioramento. Senza ampi lavori di riparazione avrebbe dovuto essere abbandonato.

Per questo motivo, la scuola primaria di Gando è stata fortemente voluta dall'architetto **Kéré**, originario della zona, che **si assunse la causa di assicurare che il suo villaggio non fosse privato di una scuola** e di ampliare la sparsa rete di scuole della provincia di Boulgou. Il progetto di Kéré risolve problemi caratteristici di molti edifici scolastici della zona entro i parametri stabiliti dal clima, dalla disponibilità delle risorse e dalla fattibilità della costruzione.

### Finanziamenti

Il finanziamento locale non era in grado di sostenere la costruzione della scuola. Per questo motivo, la costruzione della scuola è stata finanziata da un'**associazione di raccolta fondi, Schulbausteine für Gando** (Bricks for the Gando School); creata dall'architetto Francis Kéré. Il progetto ha guadagnato il sostegno finanziario di LOCOMAT, un'agenzia governativa impegnata nella promozione di materiali da costruzione locali<sup>46</sup>. I progetti successivi sono stati sostenuti dalla Kéré Foundation e.V e dal sostegno della comunità locale.

**46 Primary School On-site Review Report**, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004





## 1. Scuola primaria



### Informazioni di progetto

La struttura di base della scuola è stata portata a termine nel 2001. L'edificio è costituito da pareti portanti fatte da blocchi di terra compressa stabilizzati con l'8% di cemento industriale. Le fondazioni sono in pietra e cemento colato; nelle aule il solaio controterra è caratterizzato da terra battuta stabilizzata con cemento e la pavimentazione presenta lastre esagonali in terra compressa stabilizzata.

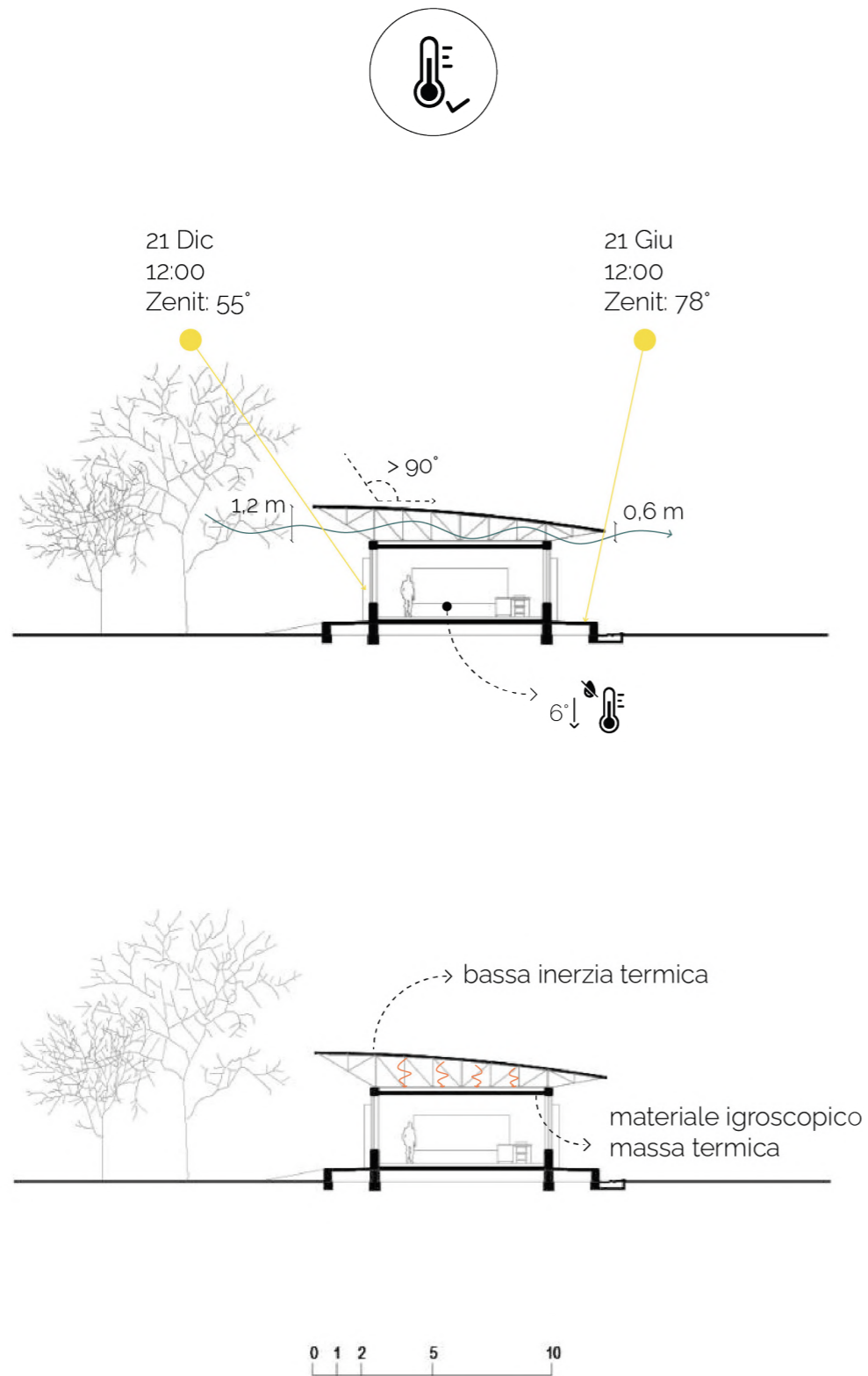
### SISTEMA DI COPERTURA

L'edificio scolastico presenta un **sistema di copertura discontinuo non isolato e ventilato**, nel quale la struttura del tetto separa nettamente il rivestimento esterno dall'elemento di chiusura delle aule.

Lo **strato di rivestimento mono-falda è caratterizzato da lastre in lamiera ondulata in acciaio**, con spessore ridotto e trattato con stagno, posate su un **telaio spaziale semi-voltato** e costituito da **barre di acciaio di rinforzo** da 16 mm, disposte in parallelo rispetto alla larghezza dell'edificio e legate alle travi in acciaio e in calcestruzzo. Le **travi in cemento armato** sostengono i soffitti e chiudono in sommità le pareti perimetrali delle aule, questi sono scanditi da giunti di dilatazione che li separano dagli architravi in cemento adiacenti che corrono lungo gli spazi di separazione tra un'aula e l'altra.

Il **soffitto è costituito da blocchi di terra compressa sostenuta da barre di acciaio** di 12 millimetri, impostate a circa 15 centimetri di distanza e perpendicolari alle travi in calcestruzzo. Alla fine di ogni aula, in corrispondenza della piattaforma rialzata per la lavagna e la scrivania dell'insegnante, c'è uno spazio di 10 centimetri tra i blocchi del soffitto, che corre da parete a parete.





**Figura 42:** Valutazione del 1° caso studio tramite indicatore 1.A. Fonte immagine: <https://www.kere-architecture.com/work/building/gando-primary-school-3> (ult. cons. 05/06/2024), rielaborato dalla tesista

## 1.A COMFORT TERMO-IGROMETRICO

### ■ Strategie bioclimatiche: protezione dalla radiazione solare diretta Sistema di copertura

Il sistema di copertura mono-falda aggettante delle aule segue una curva inclinata verso Nord, quindi, dato il percorso solare nella località di Gando, gli **aggetti Nord e Sud** sono necessari nei periodi più caldi. Gli studenti frequentano la scuola quando il percorso solare è orientato a Sud, questo significa che, data l'**inclinazione della falda a Nord**, la **radiazione solare incidente**, maggiore di  $90^\circ$ , sul rivestimento esterno **si riduce**. Quindi la quantità di radiazione assorbita dalla lamiera e trasmessa negli ambienti sottostanti, sotto forma di calore, diminuisce per effetto dell'orientamento della falda. Ciò nonostante, il sistema di copertura non assume una forma idonea affinché vengano schermati gli ambienti ad Est e ad Ovest. Infatti, la classe esposta ad Ovest è la più calda tra le tre per la sua elevata esposizione alla radiazione solare. Qui il comfort termico si aggrava anche per effetto dell'irraggiamento pomeridiano (**Fig. 42**).

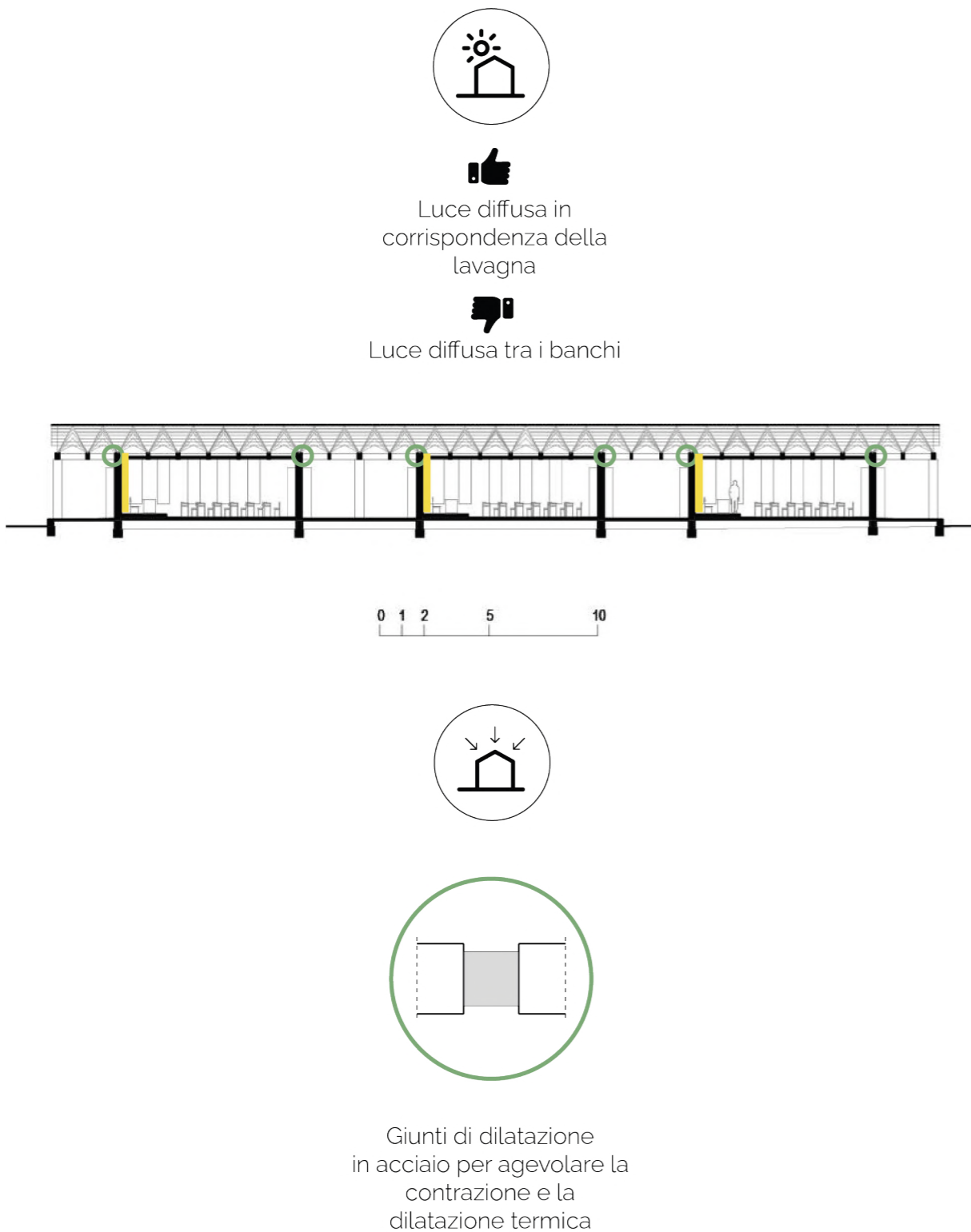
### ■ Strategie bioclimatiche: tetti ventilati Sistema di copertura

La soluzione adottata da Kéré prevede un'**intercapedine ventilata, con spessore che varia da 1,2 m a 0,6 m**, che riesce a ridurre le temperature interne rispetto a quelle esterne<sup>47</sup>. Infatti, nonostante la lamiera trattata in stagno non sia una soluzione ottimale per questo contesto climatico, riesce comunque ad attenuare gli effetti negativi della trasmissione del calore separando completamente il rivestimento esterno dal soffitto delle aule. L'effetto ombra del rivestimento e la sua **forma adatta a captare i venti estivi provenienti prevalentemente da Sud** favoriscono la riduzione della temperatura dell'aria nell'intercapedine (**Fig. 42**).

### ■ Scelte materiche: ridurre l'inerzia termica e la massa termica, valutare l'impiego di isolanti termici Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Elemento di chiusura

Il sistema di copertura impiega un **elemento di chiusura in mattoni in terra compressa**, che presentano per loro natura una bassa inerzia termica ed una bassa conducibilità termica, inoltre, l'igroscopicità della terra, tendenzialmente argillosa nei dintorni di Gando, favorisce la riduzione di umidità negli ambienti scolastici, andando a migliorare le condizioni di comfort termo-igrometrico e riducendo la temperatura percepita. Il rivestimento della copertura in lamiera ondulata ha un'elevata conducibilità termica, quindi tenderà a trasmettere facilmente il calore. Tuttavia, dato il suo ridotto spessore ed il suo ridotto calore specifico, presenta una bassa inerzia e massa termica, quindi nelle ore notturne tenderà a raffreddarsi più rapidamente ed a non rilasciare il calore accumulato durante le ore più calde del giorno seguente (**Fig. 42**).

**47Primary School On-site Review Report**, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004



### 1.C ILLUMINAZIONE E COMFORT VISIVO

■ **Strategie bioclimatiche: massimizzare il contributo della luce diurna**

*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

Lo strato di separazione dello spazio interno da quello esterno è caratterizzato da un'apertura di 10 cm in corrispondenza della pedana per l'insegnante. Questo permette l'ingresso di luce zenitale diffusa che mette in risalto la lavagna dell'insegnante, migliorando la visibilità e favorendo la concentrazione e l'apprendimento degli studenti durante la didattica frontale.

Questa soluzione non si ripete in corrispondenza dei banchi, spazio in cui una luce diffusa zenitale favorirebbe invece l'apprendimento individuale (Fig. 43).

### 2.B RESISTENZA E PROTEZIONE DAGLI AGENTI ATMOSFERICI

■ **Strategie bioclimatiche: resistenza agli shock termici**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante*

Data l'importanza delle travi in calcestruzzo armato nel progetto per la scuola di Gando ed il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo, sono stati inseriti giunti di dilatazione realizzati con delle semplici travi in acciaio ad I incorporate negli architravi di cemento adiacenti, in modo che l'estremità di un fascio si trovi semplicemente sopra l'estremità di un altro. Ciò consente la libera circolazione quando il materiale è soggetto a variazioni di lunghezza (Fig. 43).

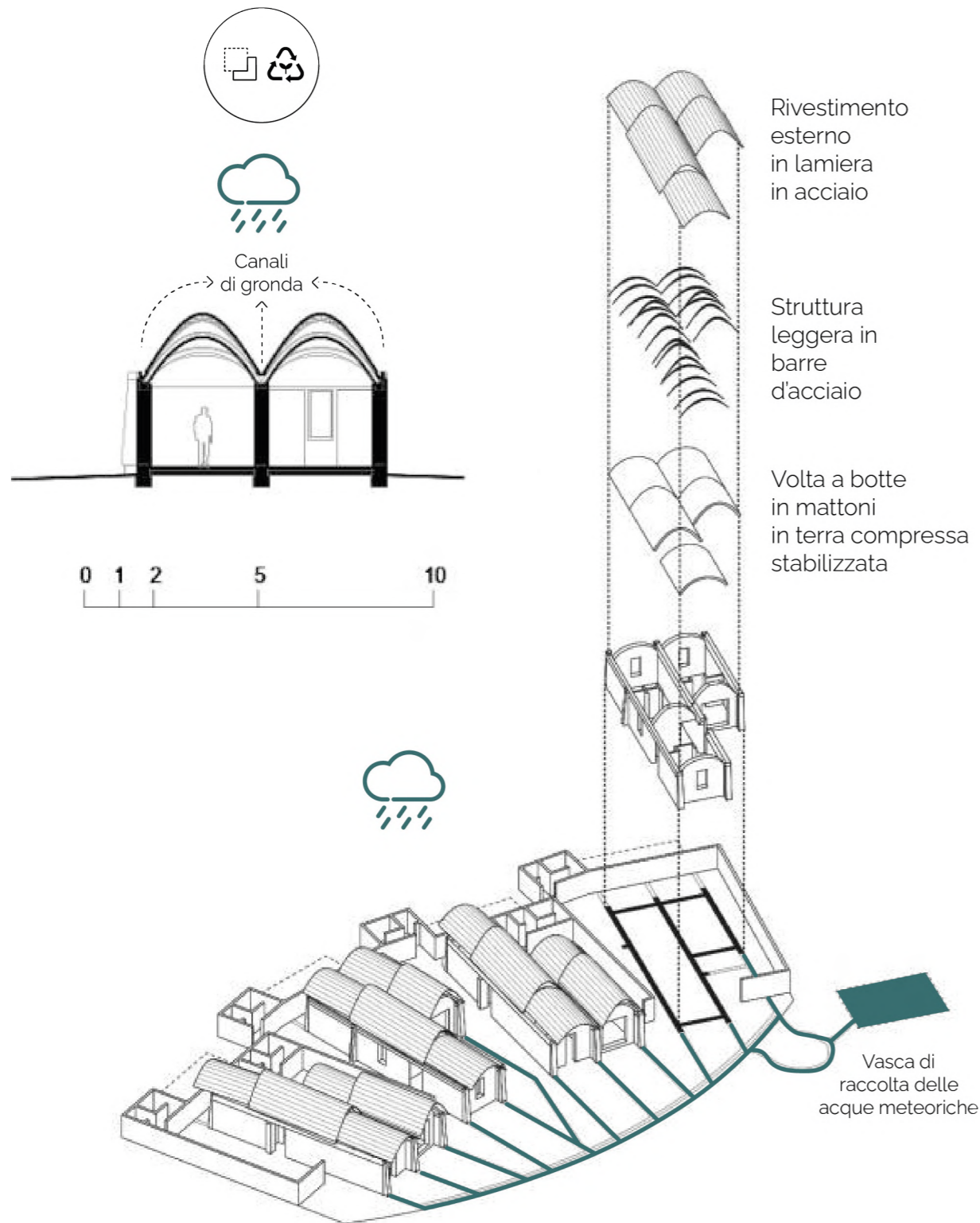
Figura 43: Valutazione del 1° caso studio tramite indicatori 1.C e 2.B. Fonte immagine: <https://www.ke-rearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3> (ult. cons. 05/06/2024), rielaborato dalla tesista



## 2. Case degli insegnanti







### Informazioni di progetto

Le case degli insegnanti sono state completate circa 3 anni dopo rispetto all'apertura della scuola primaria. Il complesso residenziale è composto da una serie di moduli adattabili disposti in un ampio arco, a Sud del complesso scolastico.

Le pareti sono costituite da blocchi di Banco tradizionali, spessi 40 centimetri, su una base di pietra ciclopica aggregata con cemento. I pavimenti sono di terra speronata, quelli all'interno vengono successivamente rifiniti con terra con una percentuale di grasso.

### SISTEMA DI COPERTURA

Il sistema di copertura è caratterizzato da **volte a botte in mattoni di terra stabilizzati**, sostenuti sul bordo da travi curve in cemento armato. La stessa centina in legno, utilizzata per la realizzazione delle volte, è stata reimpiegata per la messa in opera di tutte le volte delle abitazioni. Le pareti e gli estradossi delle volte sono stati impermeabilizzati con un intonaco di terra, cemento e asfalto.

Per proteggere la volta in mattoni di terra dall'erosione delle piogge estive, è stato inserito un **rivestimento esterno in lamiera ondulata** che segue la forma di una volta catenaria ed è sorretto da una sottile struttura in barre di acciaio.

Per garantire un drenaggio rapido, le **grondaie di cemento** corrono lungo la valle tra le volte contigue e in cima alle pareti laterali, scendendo lungo le estremità della parete come una sorta di contrafforti cavi.

### 3.C PROGETTARE AI FINI DI ADATTABILITA' E RISTRUTTURAZIONE

#### ■ Soluzioni tecnologiche: premiare sistemi di raccolta aerei Sistema di copertura

Il sistema di raccolta dell'acqua piovana ideato per le case degli insegnanti prevede un **canale di gronda aereo incorporato nelle travi in cemento**. Per proteggere le grondaie dal vento forte, è stato inserito un pettine da tetto fatto di un corso di blocchi di cemento. Questo sistema assicura la raccolta dell'acqua piovana evitando la contaminazione, rischiosa per i sistemi di raccolta a terra.

Tuttavia, **le grondaie sono direttamente collegate ad un sistema di canalette a terra in cemento** che convoglia le acque meteoriche in una vasca di raccolta. Questo vuol dire che il percorso seguito dal flusso delle acque è esposto al rischio di contaminazione e, nel caso di mancato deflusso, potrebbe attirare insetti e zanzare (Fig. 44).

In questo specifico contesto, la raccolta delle acque meteoriche è un requisito fondamentale, in quanto in fase di costruzione della scuola primaria, la **fonte d'acqua più vicina si trovava a 7 km di distanza**. In seguito, questa criticità viene risolta grazie ad un pozzo nero scavato nelle vicinanze del complesso.

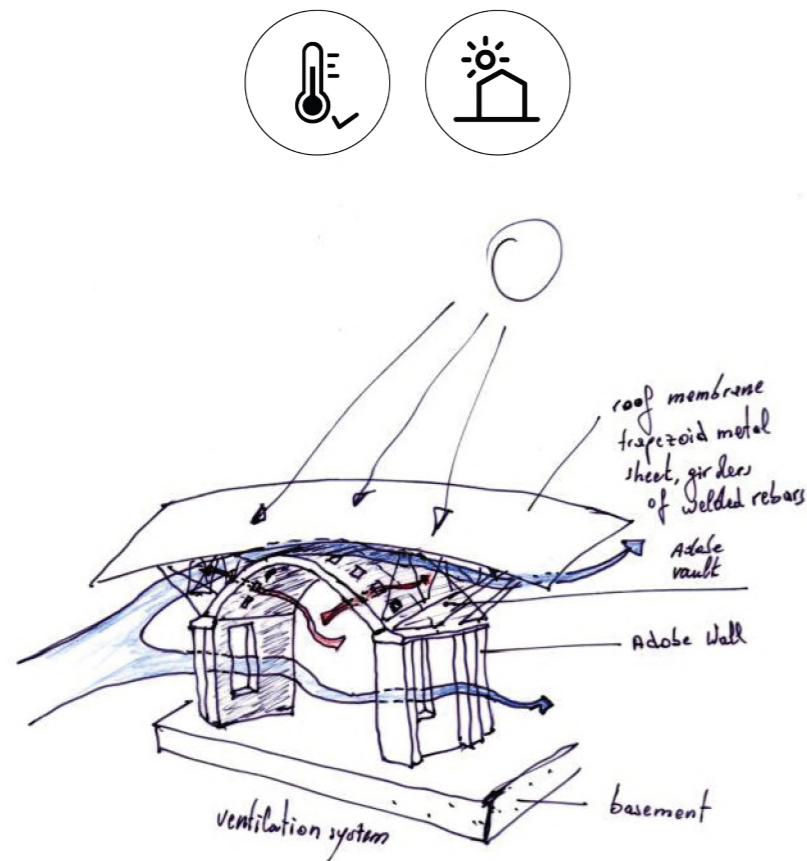
Figura 44: Valutazione del 2° caso studio tramite indicatori 3.C. Fonte immagine: <https://www.kere-architecture.com/work/building/gando-teachers-housing> (ult. cons. 05/06/2024), rielaborato dalla tesista





3. Estensione della scuola primaria





**Figura 45:** Sketch della ventilazione di Francis Kéré. Valutazione dell'evoluzione delle strategie adottate tramite indicatori 1.A e 1.C; 3° caso studio. Fonte immagine: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension> (ult. cons. 05/06/2024)

### Informazioni di progetto

Due anni dopo il completamento della scuola elementare, più di 260 bambini di Gando e della regione circostante hanno chiesto di frequentare la scuola. Divenne subito evidente l'esigenza di ampliare il complesso scolastico per soddisfare le esigenze educative del luogo.

L'estensione della scuola, terminata nel 2008, comprende quattro aule aggiuntive e un'area collettiva centrale. L'edificio beneficia delle esperienze acquisite dai membri della comunità nella costruzione della prima fase della scuola. Questo è stato costruito con gli stessi materiali e tecniche di costruzione, ma presenta notevoli miglioramenti al livello del sistema di copertura.

### SISTEMA DI COPERTURA

Il sistema di copertura adotta una **volta a botte di mattoni in terra stabilizzata**, intervallata da **travi voltate in calcestruzzo** e fessure lungo la larghezza delle aule. Il cordolo in calcestruzzo, che corre lungo le pareti perimetrali, sostiene la volta insieme ai pilastri verticali di mattoni che fiancheggiano l'apertura della facciata.

La volta in mattoni adobe è protetta dalla radiazione solare diretta e dalle piogge battenti da un rivestimento esterno in lamiera ondulata sostenuta da barre di acciaio. Il sistema a telaio spaziale che sorregge il rivestimento esterno è molto simile a quello impiegato nelle prime aule della scuola primaria.

Le barre in acciaio rinforzato di 16 mm sono state tagliate a grandezze pre-determinate, piegate a formare una V rovescia e affogate nelle travi voltate in calcestruzzo. La stabilità del sistema strutturale viene garantita in tutte le direzioni anche grazie a più sottili barre in acciaio, che assumono il ruolo di controventi concentrici ad X e collegano le barre a V.

#### ■ **Miglioramento\_Strategie bioclimatiche: massimizzare il contributo della luce diurna (indicatore 1.C)**

*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

#### ■ **Miglioramento\_Strategie bioclimatiche: tetti ventilati (indicatore 1.A)**

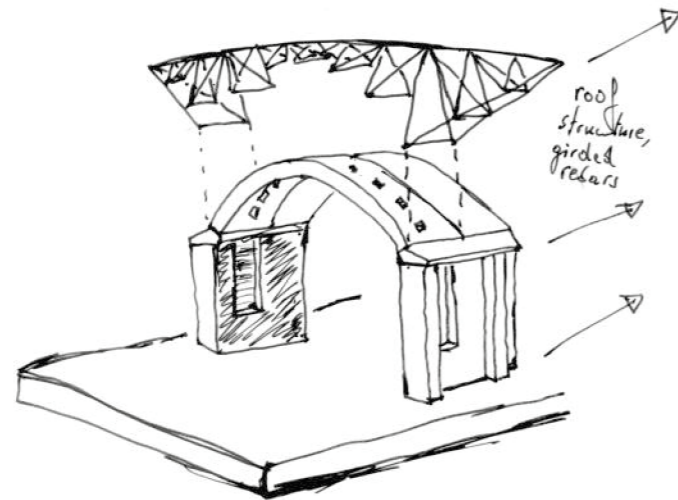
*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

Le **volte a botte in mattoni migliorano la qualità spaziale interna delle aule in termini di comfort termico**, consentendo all'aria calda di fuoriuscire verso l'alto, per effetto dei moti convettivi ascensionali, attraverso fessure di ventilazione integrate. A differenza della scuola primaria terminata nel 2001, le fessure integrate nello strato di chiusura si ripetono anche al di sopra dello spazio per gli studenti, favorendo l'**ingresso di luce diffusa zenitale anche in corrispondenza dei banchi**<sup>48</sup>.

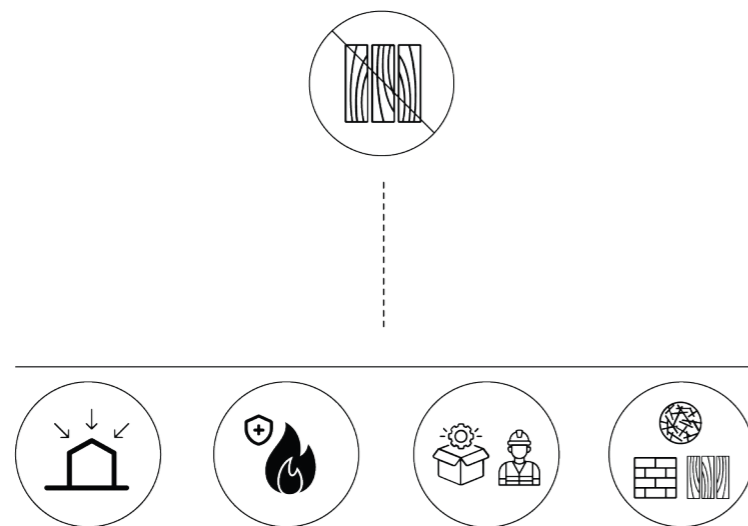
Questo esempio testimonia l'evoluzione progettuale all'interno del complesso scolastico (**Fig. 45**).

<sup>48</sup>Andres Lepik e Ayça Beygo, **Francis Kéré: Radically simple**, Hatje Cantz Verlag GmbH & Co Kg; 1ª edizione (17 novembre 2016)





**Figura 46:** Sketch della struttura del tetto di Francis Kéré. Valutazione dell'evoluzione delle strategie adottate tramite indicatore 2.A; 3° caso studio. Fonte immagine: <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension> (ult. cons. 05/06/2024)



**Figura 47:** Benefici analizzati tramite indicatore in funzione della scelta di esclusione del legno come elemento strutturale, elaborato dalla tesista

■ **Miglioramento\_Scelte materiche: resistenza agli sforzi flessionali (indicatore 2.A)**

Elemento/Strato: Struttura portante

Nelle prime aule della scuola a Gando, il sistema di chiusura piano in mattoni era sorretto da cordoli in calcestruzzo armato e da una rete di barre in acciaio di 12 mm. Tuttavia, dopo circa un anno dal completamento della scuola, è stato osservato un abbassamento della copertura in mattoni, dovuto sia ad un ridotto dimensionamento delle travi e delle barre in acciaio, sia al peso dei bambini che, arrampicandosi sulle finestre, riuscivano a raggiungere ed a sedersi nell'intercapedine ventilata<sup>49</sup>.

Questa criticità, invece, si risolve in questo caso studio con **la volta a botte che riesce a scaricare i carichi statici del sistema di copertura**. Inoltre, le travi voltate ed i cordoli in calcestruzzo presentano dimensioni maggiori ed insieme ai pilastri in mattoni contribuiscono a creare un sistema strutturale più stabile (Fig. 46).

*49Primary School On-site Review Report*, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004.

■ **Scelte materiche: reazione al fuoco (indicatore 2.C)**

■ **Scelte materiche: materiali che non hanno un impatto nocivo sulla salute umana, resistenza agli agenti biologici (indicatore 2.B)**

■ **Soluzioni tecnologiche: controllo della forma e riduzione della massa strutturale (indicatore 3.B)**

- **Trasporto (indicatore 3.A)**
- **Compatibilità culturale (indicatore 3.A)**

Gli indicatori precedentemente riportati servono a descrivere ed a valutare l'esclusione del legno come elemento strutturale, voluta direttamente dall'architetto progettista.

L'uso strutturale del legno è stato respinto per due motivi: in primo luogo, non esiste una tradizione locale di costruzione in legno; quindi, c'è una **scarsa competenza in falegnameria** tra gli artigiani locali; in secondo luogo, il **legno di latifoglie autoctono non è diffuso abbondantemente sul territorio** e le varietà importate dai Paesi vicini sono di **qualità inaffidabile**, spesso non correttamente essiccate e suscettibili di deformazione. In più, le termiti sono una grave minaccia per le strutture in legno.

Il legno è stato scartato per le **ingenti dimensioni strutturali**, infatti, una struttura in travi di legno convenzionale avrebbe comportato difficoltà nel trasporto ed elevati costi. In aggiunta, a causa del loro peso, gli elementi coinvolti avrebbero richiesto delle gru che, ancora una volta, sarebbero state oltre i mezzi a disposizione per il progetto (Fig. 47).



**Informazioni di progetto**

I lavori per la costruzione della biblioteca della scuola sono tuttora in corso d'opera e sono stati iniziati nel 2010.

Questo edificio è concepito come uno spazio in cui integrare il curriculum scolastico standardizzato con l'insegnamento tradizionale tra anziani e bambini. La sua geometria è formalmente distinta dagli edifici su entrambi i lati, la sua morbida forma ellittica lo distingue nel carattere dalle aule ortogonali. Oltre a fornire un'infrastruttura educativa per i bambini, la biblioteca è intesa anche come centro di risorse per il villaggio. L'edificio costituisce un collegamento fisico tra la scuola elementare di Gando ed il suo ampliamento, riparando il cortile della scuola dai polverosi venti orientali<sup>50</sup>.

<sup>50</sup><https://www.ke-researchitecture.com/work/building/gando-primary-school-library> (ult. cons. 05/06/2024)

**SISTEMA DI COPERTURA**

■ **Soluzioni tecnologiche: integrazione di rifiuti o scarti di altre lavorazioni (indicatore 3.B)**

• **Compatibilità culturale (indicatore 3.A)**

Nell'innovativo sistema di copertura per la biblioteca della scuola di Gando, Kéré migliora il suo approccio progettuale con la ricerca di un nuovo linguaggio architettonico e con nuove interpretazioni dei materiali locali.

I **vasi di argilla inutilizzati**, che erano originariamente prodotti per lo stoccaggio di frutta, grano e acqua, e utilizzati dalle donne al mercato, **hanno assunto una nuova funzione**. Con l'aiuto della comunità locale, questi vasi sono stati portati al sito e tagliati della loro parte superiore e inferiore. Questi sono stati poi gettati in opera nella soletta in cemento armato per migliorare la ventilazione e favorire l'ingresso di luce naturale (Fig. 48). Il tetto rettangolare in metallo ondulato è sollevato sempre dal telaio spaziale in acciaio, poggiato sulle travi in calcestruzzo armato. Il tetto si estende oltre la facciata per creare aree ombreggiate separate e aiuta la circolazione dell'aria nello spazio sottostante. L'edificio della biblioteca offre nuovi approcci che rivalutano l'espressione rurale e la valorizzano con nuove funzioni all'interno del progetto architettonico.



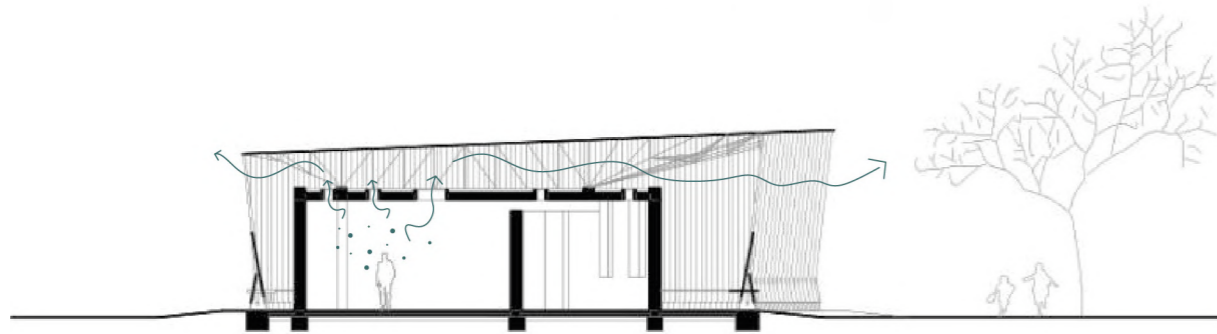
**Figura 48:** Processo di costruzione e integrazione dei vasi in copertura. Fonte immagine: <https://www.domusweb.it/it/architettura/2012/10/29/utopia-di-terra.html> (ult. cons. 05/06/2024)

**4. Biblioteca**





Moti convettivi ascensionali:  
ricambio di aria viziata per gravitazione



Luce zenitale  
naturale e diffusa



## 1.B QUALITA' DELL'ARIA INTERNA

### ■ Strategie bioclimatiche: favorire la ventilazione trasversale e facilitare i moti convettivi ascensionali e l'"effetto camino"

Elemento/Strato: Elemento di chiusura

L'integrazione dei **vasi in terracotta nella soletta** a chiusura dello spazio interno rappresenta una soluzione che contribuisce a **migliorare la qualità dell'aria interna**.

La biblioteca è pensata per accogliere non solo gli studenti, ma anche la comunità del villaggio. Questo vuol dire che lo spazio interno presenta dei **modelli di occupazione più alti rispetto alle aule della scuola**. Negli spazi altamente frequentati, se non correttamente aerati, **potrebbe accumularsi aria viziata**, ricca di anidride carbonica.

Per questo motivo, i vasi integrati nella soletta favoriscono il ricambio di aria interna con quella esterna pulita e non inquinata, favorendo i **moti convettivi ascensionali**. Qui l'"effetto camino" indotto dalle aperture sul soffitto si massimizza per le numerose aperture sul soffitto, favorendo il ricambio d'aria per gravitazione (Fig. 49).

### ■ Scelte materiche: materiali che non hanno un impatto nocivo sulla salute umana, resistenza agli agenti biologici

Elemento/Strato: Elemento di chiusura

Favorire i **moti convettivi ascensionali** in ambienti chiusi **riduce i fenomeni condensativi** che potrebbero verificarsi a livello della copertura. Questo fattore influisce sulla qualità dell'aria interna limitando lo sviluppo di muffe ed il degrado dei materiali.

## 1.C ILLUMINAZIONE E COMFORT VISIVO

### ■ Strategie bioclimatiche: massimizzare il contributo della luce diurna

Sistema di copertura

Per massimizzare il contributo della luce diurna, l'architetto sfrutta la strategia impiegata anche le classi, quindi **protegge gli ambienti dalla radiazione solare diretta** tramite il **rivestimento esterno**, mentre le **aperture sul soffitto** favoriscono l'**ingresso di luce zenitale naturale e diffusa**.

Le aperture irregolari sul soffitto creano un modello dinamico di luce che facilita la lettura e arricchisce l'esperienza sensoriale dello spazio. (Fig. 49)

Figura 49: Valutazione del 4° caso studio tramite indicatori 1.B e 1.C. Fonte immagine: <https://www.ke-rearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-library> (ult. cons. 05/06/2024), rielaborato dalla tesista

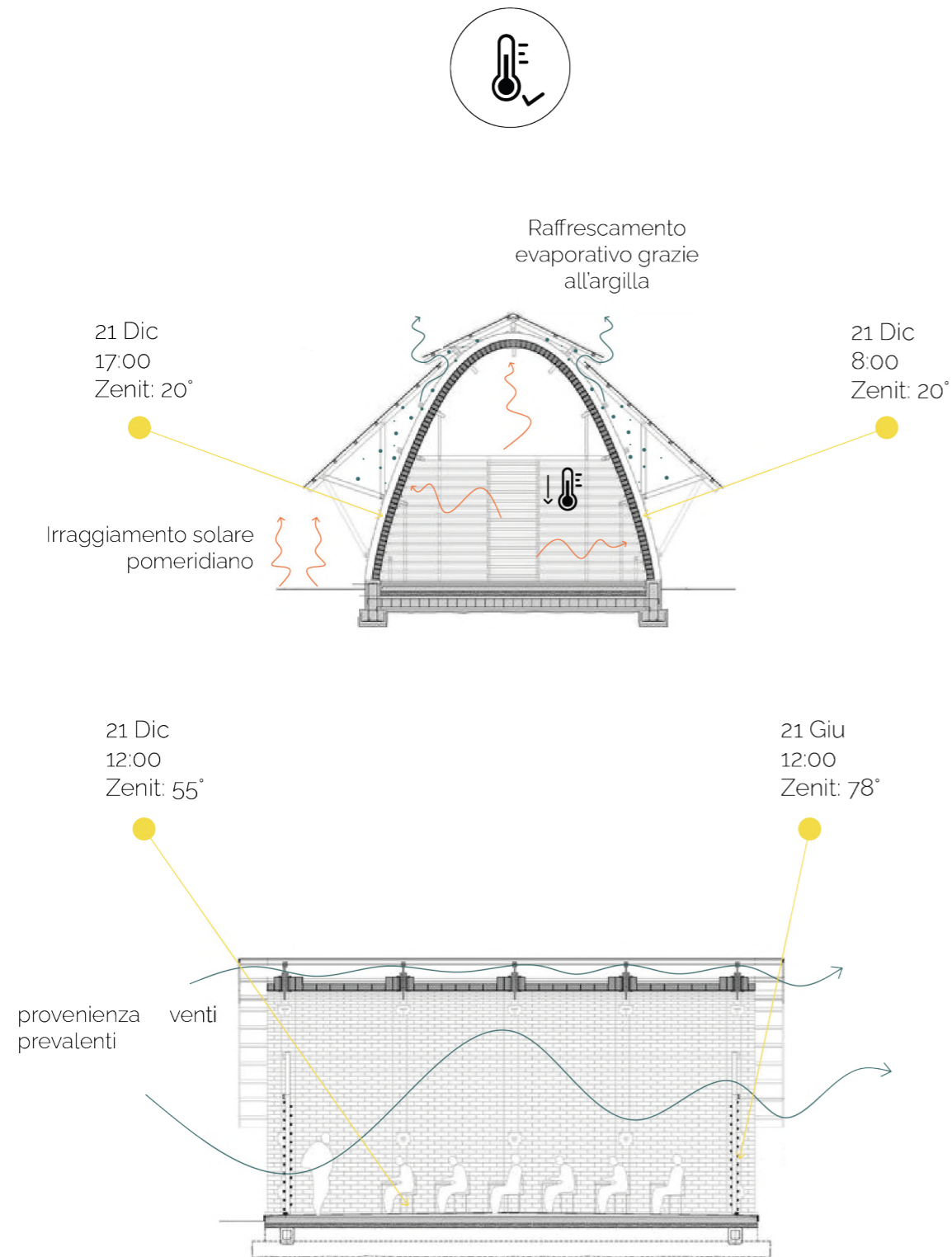


### 2.2.3 ALTRI CASI STUDIO



**5. Scuola secondaria CEM Kamanar**  
Tionck Essil, Senegal





### Obiettivi e informazioni di progetto

La scuola secondaria in Senegal è un'infrastruttura educativa nella regione della **Casamance in Senegal**, precisamente nella provincia di **Zinguinchor**, in cui i bisogni della comunità si combinano con gli obiettivi dello studio Dawoffice.

La scuola è stata costruita a partire dal 2016 e completata nel 2020 per risolvere il problema legato al **sovraffollamento scolastico** nella cittadina di Thionk. Invece, i **finanziamenti tramite raccolta fondi** sono stati supportati dall'**ente di beneficenza Foundawtion**.

### PROTOTIPO AULA

Il complesso scolastico ospita circa 500 studenti ed è costituito da 23 volumi chiamati Awles, modulari e disposti all'interno di una griglia<sup>51</sup>. In questo caso studio, la struttura del prototipo aula realizzata dallo studio spagnolo è un unico volume voltato nel quale non si distinguono le pareti perimetrali dal sistema di copertura.

Infatti, le **aule in argilla** riprendono la **geometria della volta catenaria** e sono state costruite tramite una centina in legno. La volta è quindi costituita da mattoni adobe, realizzati in loco tramite una pressa manuale, che si appoggiano su un basamento in calcestruzzo armato continuo. Il pavimento è rialzato ed è rivestito con cocci di ceramica smaltati.

Il volume in argilla è protetto da una **struttura costituita da piccoli elementi in legno locale di palissandro**, che si aggancia tramite perni ad archi di rinforzo realizzati ad intervalli regolari lungo la volta catenaria. La struttura sorregge **elementi di rivestimento esterno in lamiera grecata**, a doppia falda in sommità e mono-falda sui fronti Est ed Ovest.

[51 https://foundawtion.org/en/archivos/4604](https://foundawtion.org/en/archivos/4604) (ult. cons. 07/06/2024)

### 1.A COMFORT TERMO-IGROMETRICO

#### ■ Strategie bioclimatiche: protezione dalla radiazione solare diretta Sistema di copertura

La volta delle aule segue un orientamento Est-Ovest, quindi **la volta si apre in direzione Nord-Sud**. La radiazione solare diretta viene correttamente schermata sui fronti Est ed Ovest dall'orientamento della volta e dall'inclinazione delle falde in lamiera, in particolare nelle ore mattutine e serali.

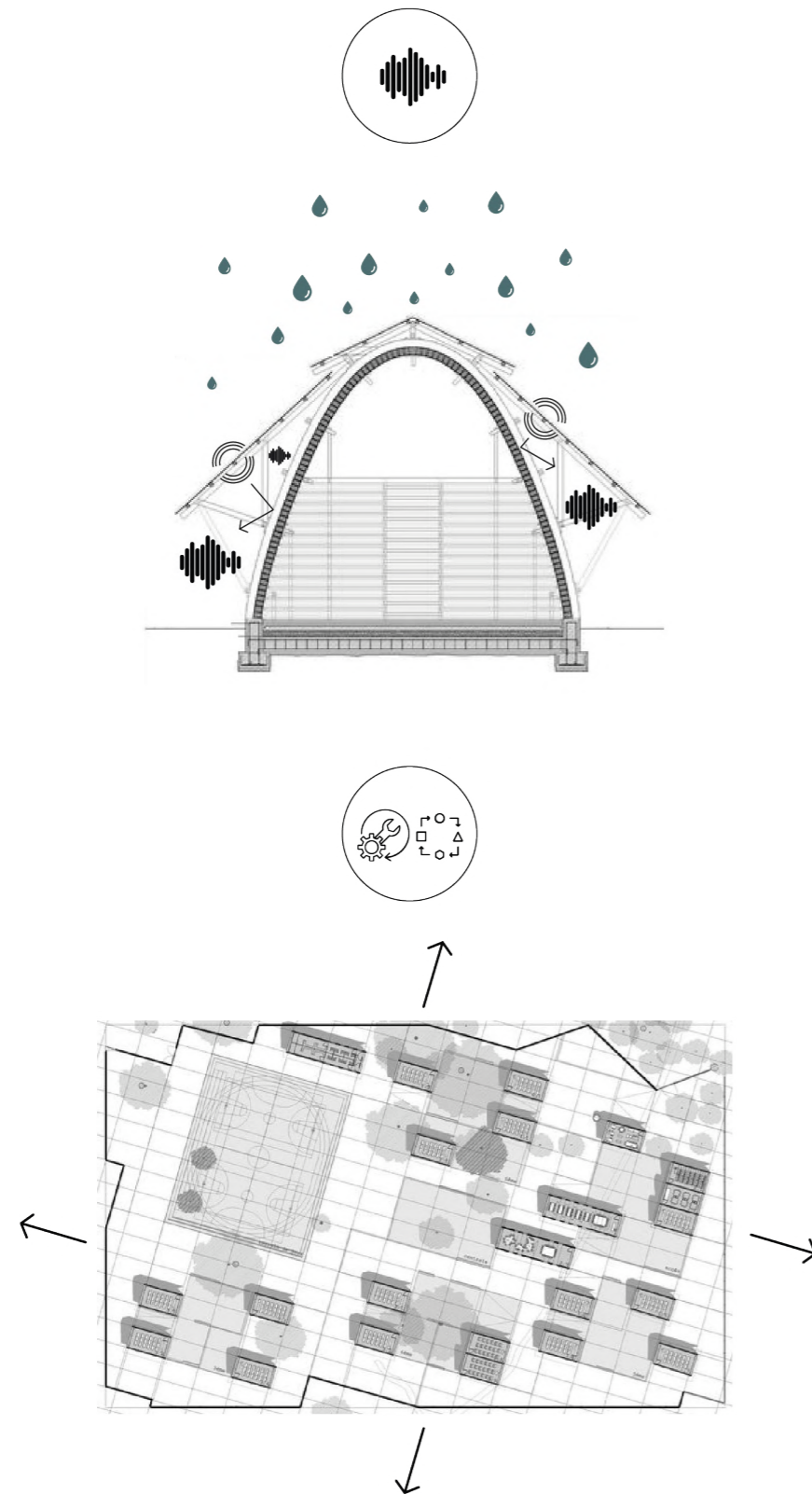
Mentre, se si analizza il percorso solare si osserva che l'aggetto della copertura a Nord a Sud non è sufficiente affinché la radiazione solare venga schermata e non entri direttamente all'interno delle aule (**Fig.50**).

#### ■ Strategie bioclimatiche: tetti ventilati Sistema di copertura

L'intercapedine ventilata tra lo strato di rivestimento esterno e la volta in argilla

**Figura 50:** Valutazione del 5° caso studio tramite indicatore 1.A. Fonte immagine: <https://arquitectura-viva.com/works/secondary-school-in-thionck-essyl> (ult. cons. 07/06/2024), rielaborato dalla tesista





**Figura 51:** Valutazione del 5° caso studio tramite indicatori 1.D e 3.C. Fonte immagine: <https://architeturaviva.com/works/secondary-school-in-thionck-essyl> (ult. cons. 07/06/2024), rielaborato dalla tesista

favorisce la ventilazione naturale e assicura una riduzione della trasmissione del calore all'interno degli ambienti. In più, la grande **apertura della volta è direzionata verso i venti prevalenti**, quindi la forma dell'aula massimizza la ventilazione naturale e rende superfluo un sistema di raffrescamento meccanizzato (Fig. 50).

- **Scelte materiche: ridurre l'inerzia termica e la massa termica, valutare l'impiego di isolanti termici**  
Elemento/Strato: Elemento di chiusura

L'elemento voltato in mattoni adobe assicura un abbattimento delle temperature all'interno degli ambienti grazie alle caratteristiche termiche della massa. I **mattoni in argilla** sono altamente igroscopici, questa loro caratteristica favorisce il **raffrescamento evaporativo** degli ambienti. Questa loro proprietà è utile durante il periodo scolastico che si estende quasi interamente durante la stagione secca. In questo periodo, i mattoni in argilla sfruttano il principio fisico secondo cui l'acqua presente nell'agglomerato argilloso tenderà ad evaporare e quindi ad assorbire calore dall'ambiente circostante, abbassando così la temperatura dell'aria interna (Fig. 50).

### 1.D ACUSTICA E PROTEZIONE CONTRO IL RUMORE

- **Strategie bioclimatiche/Scelte materiche: geometria e impiego dimateriali fonoassorbenti sui soffitti**  
Elemento/Strato: Elemento di chiusura

Il controsoffitto delle aule facilita la riduzione del riverbero all'interno degli ambienti scolastici, infatti, nonostante l'altezza delle aule non sia di molto inferiore della larghezza e della profondità dello spazio, il riverbero è comunque attenuato grazie alla **porosità dell'argilla**, che lo rende in parte un **materiale fonoassorbente** (Fig. 51).

### 3.C PROGETTARE AI FINI DI ADATTABILITA' E RISTRUTTURAZIONE

- **Soluzioni tecnologiche: modularità, flessibilità spaziale e scalabilità**  
Sistema di copertura

La **modularità del prototipo aula favorisce l'ampliamento del complesso scolastico** e quindi assicura una buona flessibilità spaziale. Questa soluzione risolve quindi il problema legato al sovraffollamento degli edifici scolastici nella cittadina di Thionk (Fig. 51).

## 6. Eco-Maison

Keur Bakar Dihaité, Senegal

### Obiettivi e informazioni di progetto

Lo studio di architettura **TAMassociati** ha inaugurato nel 2017 il primo lotto del progetto H2OS, che comprende la realizzazione di un **eco-villaggio** a Keur Bakar, in Senegal. H2OS rappresenta un esperimento di co-sviluppo ecologico promosso dal Circolo Sunugal di Venezia, sviluppato dalla onlus Musoco in collaborazione con l'ONG Use della capitale senegalese.

Il prototipo di abitazione è un progetto pilota open source che **combatte la desertificazione** creando modelli abitativi che rafforzano l'auto-sufficienza e l'auto-sussistenza delle comunità locali. L'eco-maison è il primo prototipo realizzato e rappresenta un luogo di condivisione all'interno del quale prenderanno forma i capisaldi del progetto ecologico, per combattere le carenze del territorio. Infatti, il villaggio sorge in una **zona non servita da acqua ed energia elettrica**, priva di strutture scolastiche e sanitarie. L'intento dello studio è quello di combattere l'abbandono dei territori a risorse scarse.

L'edificio è costituito da pareti in mattoni di terra compressa stabilizzata poggiati su un basamento in travi rovesce in calcestruzzo armato. Le facciate esposte ad Est ed Ovest sono schermate da brisé soleil in metallo e bambù.

### SISTEMA DI COPERTURA

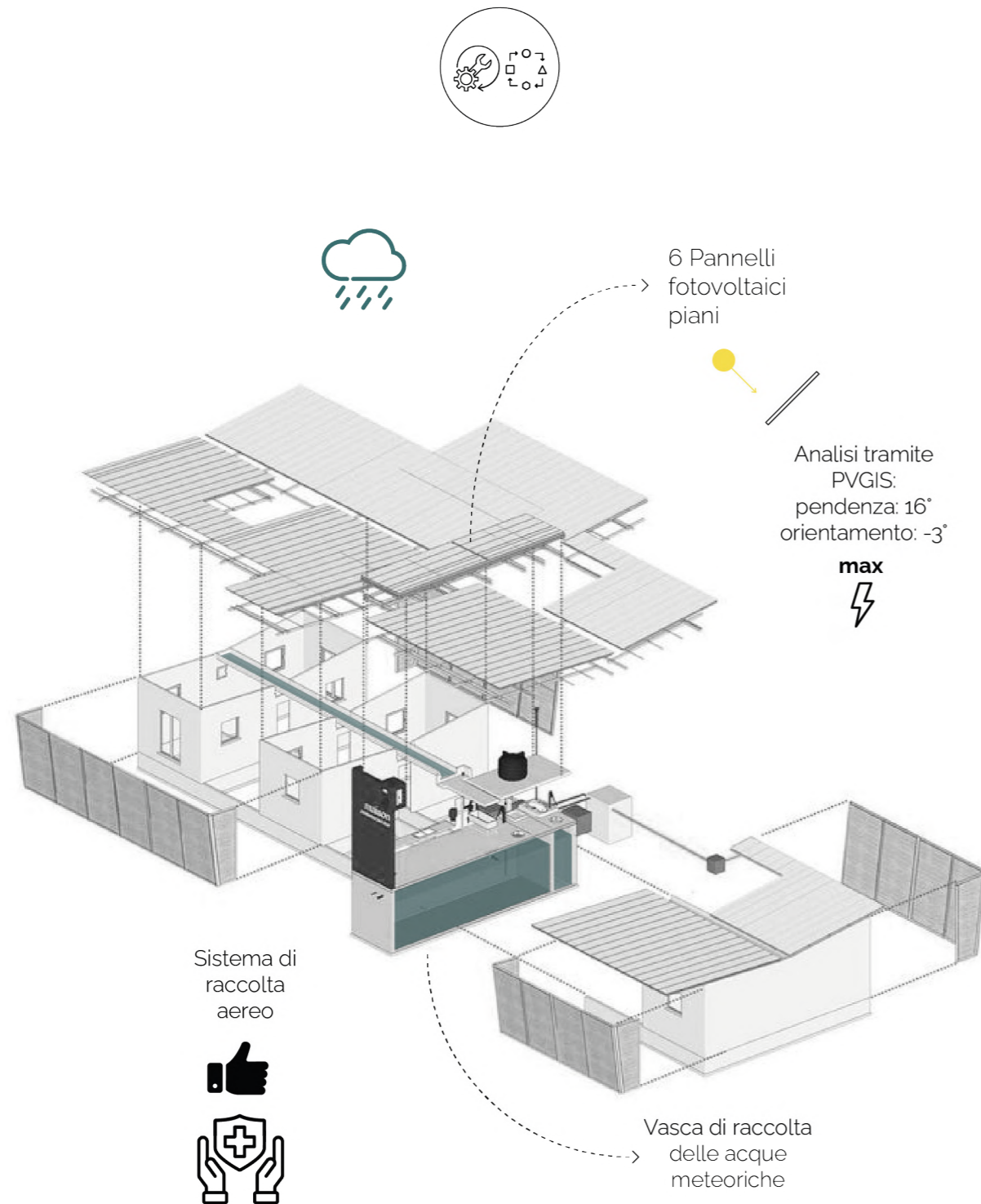
Il sistema di copertura è costituito da una **struttura portante metallica di travi** a sezione circolare **in acciaio**, che sorregge il **rivestimento esterno in lamiera ondulata**. Al di sotto della struttura, in corrispondenza degli ingressi, viene posto un **rivestimento in piccole stecchette di bambù intrecciato**, mentre gli ambienti interni sono chiusi con **pannelli isolanti** di un materiale non definito, che si appoggiano direttamente alle pareti perimetrali.

Le due falde del sistema di copertura sono inclinate verso l'interno e convogliano le acque meteoriche in un **canale di gronda unico collegato ad una cisterna centrale di raccolta**, posta al centro dell'edificio. La cisterna è coperta da un sistema di copertura piano con integrati **6 pannelli fotovoltaici**<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> <https://h2os-project.org/> (ult. cons. 10/06/2024)







### 3.C PROGETTARE AI FINI DI ADATTABILITA' E RISTRUTTURAZIONE

#### ■ Strategie bioclimatiche: inclinazione e orientamento dei pannelli fotovoltaici

*Sistema di copertura*

Le analisi svolte tramite software PVGIS dimostrano che l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici integrati nel progetto non massimizza la produzione di energia elettrica.

Infatti, il software suggerisce un'inclinazione dei pannelli fotovoltaici di 16° con orientamento riguardo l'angolo azimutale di - 3°.

Tuttavia, la produzione di energia elettrica dipende dal fabbisogno da soddisfare. Non conoscendo i reali bisogni degli impianti e dei sistemi di illuminazione all'interno dell'edificio, non è possibile valutare se il fabbisogno energetico è garantito o meno (Fig. 52).

#### ■ Strategie bioclimatiche: inclinazione della falda in direzione dei venti prevalenti

*Sistema di copertura*

Il sistema di copertura a doppia falda non è orientato in direzione dei venti prevalenti. Tuttavia, la scelta del progettista è indirizzata a convogliare le acque meteoriche in un unico canale di gronda centrale che, a differenza dei sistemi di gronda perimetrali, tenderà a massimizzare la raccolta dell'acqua senza subire perdite.

#### ■ Soluzioni tecnologiche: premiare sistemi di raccolta aerei

*Sistema di copertura*

Il canale di gronda dell'edificio è realizzato in metallo e si aggancia alla struttura portante in metallo delle due falde laterali, che si interrompono proprio in corrispondenza della gronda.

Il sistema di raccolta aereo e la cisterna posta all'interno dell'edificio fanno sì che l'acqua raccolta non sia soggetta a rischio di contaminazione e possa essere trattata per essere riutilizzata per i servizi igienici o per attività agricole (Fig. 52).

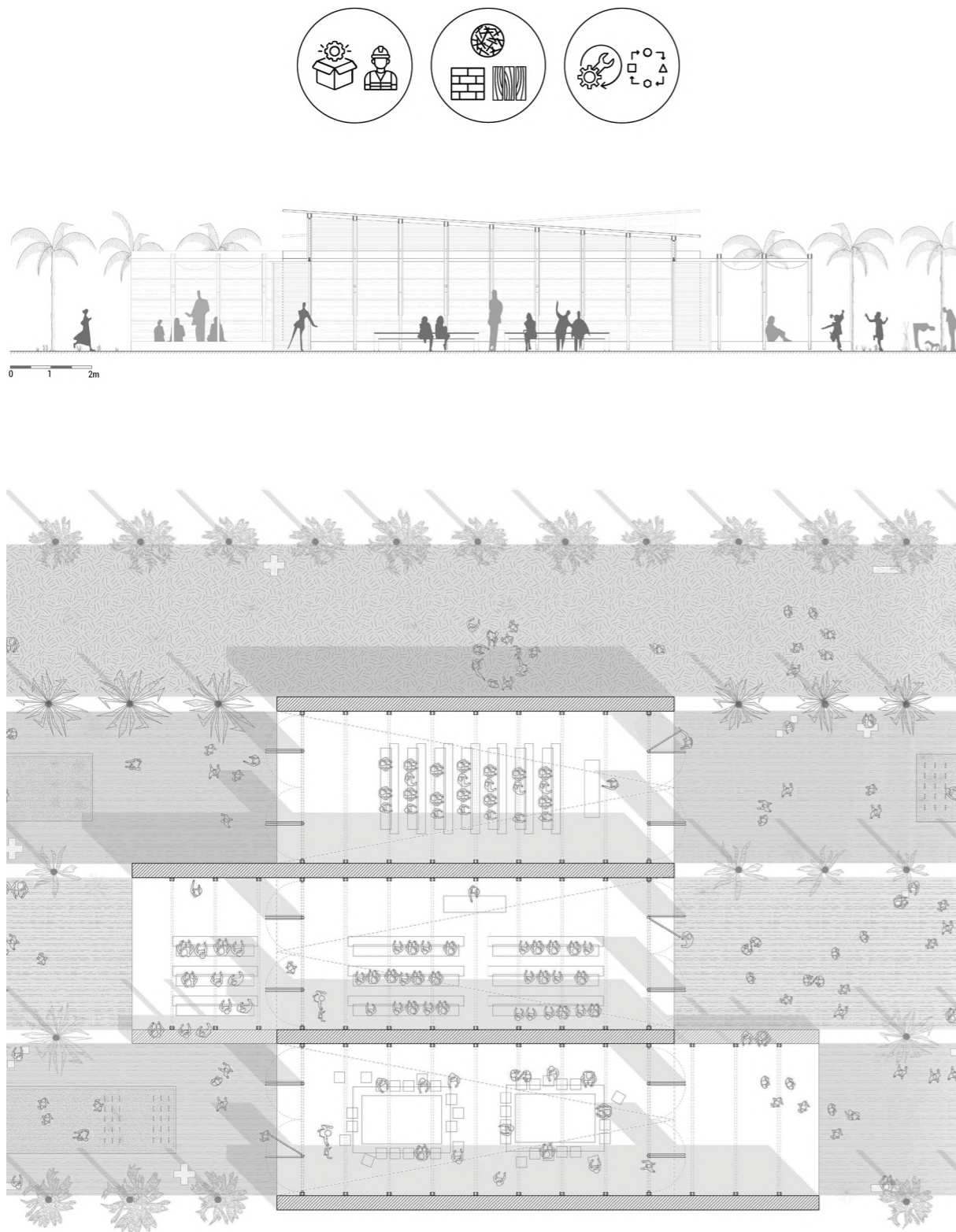
Figura 52: Valutazione del 6° caso studio tramite indicatori 1.D e 3.C. Fonte immagine: <https://h2o-project.org/> (ult. cons. 10/06/2024), rielaborato dalla tesista



**7. Scuola primaria InsideOut**  
Yeboahrom, Ghana







**Figura 53:** Pianta e sezione della scuola Inside Out Fonte immagine: <https://www.andreatabocchini.com/it/insideout-school/> (ult. cons. 12/06/2024)

### Obiettivi e informazioni di progetto

InsideOut è un prototipo di scuola costruito in un **villaggio rurale** del Ghana, **dove il vento aveva distrutto l'unica scuola della zona**. Questo **progetto no-profit**, ideato da Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini è stato costruito e portato a termine nel 2017 in 60 giorni con soli 12.000 euro.

Il progetto della scuola è stato realizzato attraverso un workshop, al quale hanno aderito sia la popolazione locale che un gruppo di volontari.

La scuola è costituita solamente da 4 pareti perimetrali portanti realizzate in terra battuta e poggiate su un basamento in calcestruzzo. Le pareti sono intervallate da piccoli cordoli in cemento che rafforzano la stabilità dell'apparato murario. Questo è chiuso in sommità da cordoli in calcestruzzo con un incavo che funge da canale di gronda<sup>53</sup> (Fig. 53).

<sup>53</sup><https://www.andreatabocchini.com/it/insideout-school/> (ult. cons. 12/06/2024)

### SISTEMA DI COPERTURA

I sistemi di copertura che proteggono gli spazi interni delle aule sono costituiti da **elementi monofalda** con inclinazioni opposte l'una rispetto all'altra. Il rivestimento si compone di **lastre in lamiera ondulata** sorrette da una struttura di **travi composte da piccoli elementi di legno bullonati e chiodati tra loro**. Le travi in legno sono incastrate e bullonate ad elementi in legno verticali che si agganciano lateralmente alle pareti perimetrali tramite perni metallici. In corrispondenza dello spazio che intercorre tra la lamiera grecata e la sommità delle pareti in terra battuta sono stati inseriti sistemi schermanti in legno.

- **Localizzazione e trasportabilità (indicatore 3.A)**
- **Soluzioni tecnologiche: controllo della forma e riduzione della massa strutturale (indicatore 3.B)**
- **Soluzioni tecnologiche: separabilità, connessioni meccaniche e reversibili (indicatore 3.D)**

I costi di realizzazione relativi alla manodopera ed ai materiali sono stati abbattuti grazie al processo di **autocostruzione** ed all'**impiego di materiali locali**. Per la scuola sono stati spostati 58.000 kg di terreno e sono stati lavorati 3 km di legno con due piallatrici manuali.

L'idea di agganciare la struttura portante della copertura alle pareti perimetrali è un buon esempio di come la **forma progettuale possa abbattere la quantità di massa strutturale impiegata nel progetto**. Infatti, le travi a sezione composta in legno locale, che vanno a comporre la struttura della copertura, riducono le quantità di legno necessarie e sono progettate per facilitare l'autocostruzione e la movimentazione manuale.

In più, le **connessioni meccaniche tramite perni e bulloni in metallo** fanno sì che gli elementi impiegati nel progetto possano essere facilmente smontati e riutilizzati successivamente in base alle esigenze di contesto.



**8. Centro di opportunità per le donne**  
Kayonza, Ruanda







**Figura 54:** Processo di costruzione del centro per le donne. Fonte immagine: <https://livinspace.net/design-stories/projects/architecture/a-detailed-review-of-the-womens-opportunity-center-in-rwanda-by-sharon-davis-design/> (ult. cons. 13/06/2024)

### Obiettivi e informazioni di progetto

Il progetto per il centro di opportunità delle donne in Ruanda è stato commissionato allo studio Sharon Davis Design dall'**organizzazione no-profit Women for Women International** ed è stato portato a termine nel 2013. La zona del **villaggio di Kayonza**, ad un'ora dalla capitale ruandese Kigali, **soffre degli effetti del genocidio** dei tutsi e degli hutu, consumatosi negli anni Novanta per mano delle milizie para-militari. Il centro comunitario per le donne ha quindi l'**obiettivo di promuovere la collaborazione, il sostegno e la solidarietà tra le donne sopravvissute al genocidio**, non in grado di assicurarsi un futuro economico. Per questo motivo, il progetto comprende una fattoria dimostrativa che aiuta le donne a produrre e commercializzare i propri beni ed a gestire con profitto le cooperative alimentari della zona. Il complesso si compone di 11 edifici in mattoni a forma di spirale, sette dei quali sono piccoli spazi didattici costituiti da mattoni sfalsati, che creano aperture per la circolazione dell'aria e la penetrazione della luce. Questi padiglioni hanno pavimenti piatti o a gradini per i posti a sedere. I 450.000 mattoni di argilla necessari per la costruzione sono stati realizzati con l'argilla adiacente al sito dalle donne locali ruandesi utilizzando un metodo di pressatura manuale durevole, ripreso dalla tradizione locale. Le pareti circolari in mattoni poggiano su un basamento in calcestruzzo (Fig. 54).

### SISTEMA DI COPERTURA

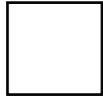
Il **sistema di copertura autoportante** si compone di una struttura di **travi reticolari in acciaio** che poggia su un sistema di pilastri reticolari, sempre in acciaio, agganciati a travi rovesce in calcestruzzo armato. Questo sistema sorregge un **rivestimento in lamiera di acciaio zincato a doppia falda**. Il progetto del sistema di copertura si allinea alla campagna "anti-paglia" lanciata dal governo ruandese nel 2011, volta a sostituire i tetti in paglia con quelli in acciaio zincato.

- **Localizzazione e trasportabilità (indicatore 3.A)**
- **Soluzioni tecnologiche: sostituibilità (indicatore 3.B)**  
Elemento/Strato: *Struttura portante*

Il progetto è finalizzato a trasmettere competenze commerciabili e generatrici di reddito. Questo obiettivo si realizza per i mattoni in argilla realizzati dalle donne, ma non per il sistema di copertura. L'**acciaio**, estremamente ingegnerizzato della struttura del tetto è stato **acquistato in Kenya**, trasportato tramite camion e **messo in opera dalla comunità locale**. Le dimensioni strutturali non si prestano all'autocostruzione e alla movimentazione manuale, mentre la **sostituibilità delle componenti del sistema di copertura dipende fortemente dalle donazioni private e dalle risorse economiche locali**, che potrebbero non essere sufficienti a garantire la durabilità nel tempo tramite manutenzione, riparazione o sostituzione<sup>54</sup>.

<sup>54</sup> <https://www.architectural-review.com/buildings/the-womens-opportunity-centre-in-rwanda-by-sharon-davis-design-is-an-icon-to-which-foreign-aid-can-attach> (ult. cons. 13/06/2024)

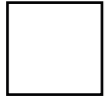




## BIBLIOGRAFIA

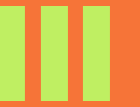
- Victor Olyay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & c. editore, 1981
- Roupe de recherche et d'échanges technologiques GRET, *Le point sur la construction de citernes recueil et stockage des eaux de pluie*, Centre d'échanges et promotion des artisans en zones equiper, 1984, Parigi
- G.W.A. Dummer, M.H. Tooley, R.C. Winton, *Capitolo 8 - Maintainability, An Elementary Guide To Reliability (Fifth Edition)*, Butterworth-Heinemann, 1997
- Salvatore De Pascalis, *Progettazione Bioclimatica*, D.Flaccovio, 2001, Palermo
- *Primary school On-site Review Report*, edited by Aga Khan Award for Architecture, 2004
- Obataya et al., *Bending characteristics of bamboo (Phyllostachy pubescens) with respect to its fiber-foam composite structure*, Wood Science and Technology, 2007
- M.F. Ashby, *Materials and the Environment, Eco-Informed Material Choice*, Butterworth-Heinemann; 1st edition, 2009
- Kabre, *A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics*, Building and Environment 45 (2010), pp 727 - 738
- Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics, Design and development*, 2011, Roma
- Ferdinand P.Beer et al., *Mechanics of Materials. Sixth Edition*, McGraw-Hill, Science Engineering, 2011
- Andrea Ciampioli e Monica Lavagna, *Tecniche e Architettura*, De Agostini, Scuola Spa - Novara, 1a edizione: 2013, Italia
- Al-Obaidi et al., *Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses*, Energy Conversion and Management 85 (2014), pp 488 - 504
- Zingre et al., *Modelling of cool roof performance for double-skin roofs in tropical climate*, Energy 82 (2015), pp 813 - 826
- Andres Lepik e Ayça Beygo, *Francis Kéré: Radically Simple*, Hatje Cantz Verlag GmbH & Co, 2016
- Garg et al., *Assessment of the impact of cool roofs in rural buildings in India*, Energy and Buildings 114 (2016) pp 156 - 163
- Nihar et al., *Cool roof implications of thermal adaptation in built environment*, International Symposium to Promote Innovation & Research in Energy Efficiency, 2017
- Kolokotroni et al., *Cool roofs: High tech low cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low rise low income houses in high solar radiation countries*, Energy & Buildings 176 (2018) pp 58-70
- Rohli, Robert. V.; Vega, Anthony J., *Climatology (4° ed.)*. Jones & Bartlett Learning, 2018
- Jessica Jackebed Leão França, *Costruzioni contemporanee in bambù:Le connessioni dei culmi tramite corda*, Tesi di Laurea Magistrale, Corso di Laurea in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, 2018
- *Material Playbook for community resourced insulation materials in emerging economies*, a research collaboration with TAMassociati and ARUP, 2019
- Lapisa et al., *Passive cooling strategies in roof design to improve the residential building thermal performance in tropical region*, Asia Journal of Civil Engineering (2019) 20: pp 571 - 580
- Vellingiri et al., *Combating Climate Change-induced Heat Stress: Assessing Cool Roofs and Its Impact on the Indoor Ambient Temperature of the Households in the Urban Slums of Ahmedabad*, Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine, 2020
- Grainger e Smith, *The role of low carbon and high carbon materials in carbon neutrality science and carbon economics, Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 49, Aprile 2021
- Level(s) – *Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio, Manuale utente 1: Introduzione al quadro comune Level(s)*, (versione 1.1), 2021
- Level(s) – *Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio, Indicatore Level(s) 1.2: Potenziale di riscaldamento globale (GWP) del ciclo di vita*, (versione 1.1), 2021
- Dodd N. & Donatello S., *Indicatore Level(s) 4,4: Acustica e protezione contro il rumore - manuale utente: nota introduttiva, istruzioni e orientamenti (versione 1.1)*, 2021
- Hodo Abalo et al., *Double Diffusive Convection Heat and Moisture Transfer Inside a Planted Roof Building Under Hot Humid Climate: Case of Lomé City in West Africa*, American Journal of Applied Sciences, 2021;
- Carrasco-Tenezaca et al., *Effect of roof colour on indoor temperature and human comfort levels, with implications for malaria control: a pilot study using experimental houses in rural Gambia*, Springer Nature, 2021
- Sergio Croce, *Teoria e tecnologia delle coperture ad elevate prestazioni*, Rosckwool of firesafe insulation, 2021
- Renée Serale, *Concorso di architettura umanitaria Kaira Looor 2023: applicazione di strategie bioclimatiche per la progettazione di una scuola elementare in Casamance (Senegal)*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, Luglio 2023
- Bunker et al., *The effects of cool roofs on health, environmental, and economic outcomes in rural Africa: study protocol for a community-based cluster randomized controlled trial*, Springer Nature, 2024





## SITOGRAFIA

- <https://www.zintek.it/sfogliabili/zintek-childrens-surgical-hospital-it-en/58/index.html> (ult. cons. 04/03/2024)
- <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/visualisation.php#> (ult. cons. 05/04/2024)
- [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-andrecycling/waste-framework-directive\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-andrecycling/waste-framework-directive_en) (ult. cons. 28/04/2024)
- <https://www.balouosalo.com/> (ult. cons. 12/04/2024)
- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3> (ult. cons. 02/05/2024)
- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-3> (ult. cons. 05/06/2024)
- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-teachers-housing> (ult. cons. 05/06/2024)
- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-extension> (ult. cons. 05/06/2024)
- <https://www.kerearchitecture.com/work/building/gando-primary-school-library> (ult. cons. 05/06/2024)
- <https://www.ladybug.tools/epwmap/#close> (ult. cons. 06/06/2024)
- <https://arquitecturaviva.com/works/secondary-school-in-thionck-essyl> (ult. cons. 07/06/2024)
- <https://foundawtion.org/en/archivos/4604> (ult. cons. 07/06/2024)
- <https://www.iqair.com/it/world-air-quality> (ult. cons. 10/06/2024)
- <https://h2os-project.org/> (ult. cons. 10/06/2024)
- <https://www.andreatabocchini.com/it/insideout-school/> (ult. cons. 12/06/2024)
- <https://arquitecturaviva.com/works/biblioteca-de-gando-10> (ult. cons. 12/06/2024)
- <https://livinspace.net/design-stories/projects/architecture/a-detailed-review-of-the-womens-opportunity-center-in-rwanda-by-sharon-davis-design/> (ult. cons. 13/06/2024)
- <https://weatherspark.com/> (ult. cons. 18/06/2024)
- [https://www.meteoblue.com/it/tempo/settimana/marsassoum\\_senegal\\_2248777](https://www.meteoblue.com/it/tempo/settimana/marsassoum_senegal_2248777) (ult. cons. 18/06/2024)
- <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html> (ult. cons. 18/06/2024)
- <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/#:~:text=In%20an%20effort%20to%20serve,to> (ult. cons. 18/06/2024)



**IL  
PROGETTO**



**STATO DI FATTO:  
CONCORSO DI  
ARCHITETTURA  
KAIRA LOORO 2023**



*Con la partecipazione al Concorso Kaira Looro 2023 si è presentata l'occasione per un punto di partenza del lavoro di tesi. L'obiettivo di gara si riassume nel progetto per una scuola elementare per le aree rurali della Casamance, in Senegal. Il progetto realizzato per il concorso rappresenta lo stato di fatto.*

*L'obiettivo di tesi consiste nel testare l'iter metodologico dello Strumento di Supporto alla Progettazione per elaborare strategie progettuali finalizzate a migliorare il progetto del sistema di copertura.*





### 3.1.1 LINEE GUIDA DEL CONCORSO

#### *Infrastrutture scolastiche: rischi per la dimensione umana*

Il **Concorso di Architettura Kaira Looro 2023** impone come obiettivo di progetto la realizzazione di una scuola elementare nelle aree rurali della Casamance. Il **tema progettuale nasce dalle criticità territoriali riguardo la dimensione scolastica** e si allinea alle direttive dell'**Agenda 2030 delle Nazioni Unite**.

In **contesti a risorse scarse, garantire un'istruzione di qualità a tutti** è al tempo stesso un diritto ed una sfida che si lega al tema della **povertà**.

Seconda il **Global MPI (Multidimensional Poverty Index) 2023**, la **povertà multidimensionale** nazionale colpisce circa il 70% della popolazione rurale senegalese<sup>1</sup>.

Questo dato testimonia il fatto che la maggior parte della popolazione sperimenta contemporaneamente più livelli di privazione. In particolare, l'indicatore in materia di istruzione, riporta che il **62% della popolazione giovanile in età scolare non frequenta la scuola**<sup>1</sup>. Alcuni dei motivi possono essere interconnessi agli altri indicatori, i quali testimoniano **scarse condizioni igienico sanitarie**, dovute alla mancanza di risorse energetiche ed idriche, e **insicurezza alimentare**.

Nonostante il concorso sia finalizzato alla realizzazione di una scuola, in contesti fragili, in cui la resilienza delle comunità dipende fortemente dalle risorse del territorio, è necessario adottare un **approccio olistico**. Questo significa **soddisfare un bisogno specifico** relativo alle infrastrutture scolastiche, ma integrando strategie volte a **massimizzare le capacità delle risorse disponibili**.

#### **Obiettivi di gara**

L'obiettivo del concorso richiede un **modello architettonico di scuola elementare** che possa innalzare il livello dell'istruzione dei minori, assicurare il diritto allo studio e alla salute e mettere tutti nelle condizioni psico-fisiche e sanitarie necessarie a sviluppare le potenzialità di ciascuno (**Fig.1**).

È richiesto che **la struttura** non sia limitata solo ai corsi scolastici ma **possa ospitare attività trasversali**, nonché un luogo che, oltre ad essere scuola, sia anche comunità. Attraverso l'architettura, le forme e i colori, si vuole creare un modello che ispiri fiducia negli studenti, nella comunità e nelle autorità, un luogo identitario, unico e simbolico, ma al tempo stesso semplice, in cui ogni bambino possa rispecchiarsi e iniziare a costruire il proprio futuro.

Il progetto dovrà essere pensato come **realizzabile in un processo di un intervento umanitario e in auto-costruzione**, ovvero senza personale qualificato e con la **diretta partecipazione della comunità locale**, esso dovrà pertanto rispondere a determinate esigenze costruttive, ovvero:

<sup>1</sup> <https://ophi.org.uk/publications/mpi-methodological-notes/> (ult. cons. 21/06/2024)



Figura 1: Vista del cortile interno della scuola elementare, progetto consegnato per il Concorso di Architettura Kaira Looro 2023, elaborato dalla tesista e da Matilde Biondi



- **essere facilmente realizzabile** tramite tecnologie sostenibili e adattabili all'autocostruzione, che pertanto non richiedano l'uso di mezzi pesanti e attrezzature complesse;
- **fare uso di materiali naturali e/o di riciclo**, disponibili sul territorio, così da limitare l'impatto economico ambientale e generare redditività sul territorio;
- **essere integrata a un contesto rurale.**

### 3.1.2 DIAGRAMMA DI FLUSSO

Il lavoro presentato per il bando ed i requisiti imposti dal concorso rappresentano un **limite alle modifiche del progetto di tesi**.

Il lavoro sul sistema di copertura mira a mettere in pratica le strategie dello SSP, per questo motivo, le scelte progettuali effettuate per la copertura hanno delle ripercussioni sull'impostazione dell'impianto planivolumetrico e sulle scelte materiche, ma non stravolgono il concept e la distribuzione spaziale dei volumi del progetto presentato al concorso.

Nei capitoli successivi, si procede quindi ripercorrendo le tappe dello SSP.

L'inquadramento e la verifica del perimetro di applicazione rappresentano la prima tappa dell'iter progettuale.

Occorre puntualizzare che **il concorso non impone un lotto specifico**, quindi si procede identificando un lotto d'intervento nell'area della Casamance e andando a verificare l'effettiva necessità del complesso scolastico sul territorio. La natura dei finanziamenti e le modalità d'intervento fanno riferimento all'**organizzazione umanitaria Balouo Salò, organizzatrice del concorso di architettura**. In questa prima fase, le decisioni tengono conto dei rischi per la dimensione umana.

In seguito, i **fattori climatici** e gli **hazards naturali** sottolineano le criticità climatiche che possono rappresentare un rischio per l'uomo e per il sistema ecologico.

Per completare la parte relativa agli INputs, si riportano prima **le risorse disponibili** e le **informazioni del progetto modificato in fase di tesi**, facendo riferimento ai **requisiti materici e spaziali imposti dal bando di concorso**. Occorre specificare che la lista dei materiali di concorso non rappresenta un limite rigido alle risorse impiegabili.

Infine, negli **OUTcomes** e negli **OUTputs** si procede presentando le **caratteristiche** e le **strategie progettuali** applicate tramite gli indicatori e le soluzioni proposte nello SSP (**Fig. 2**).

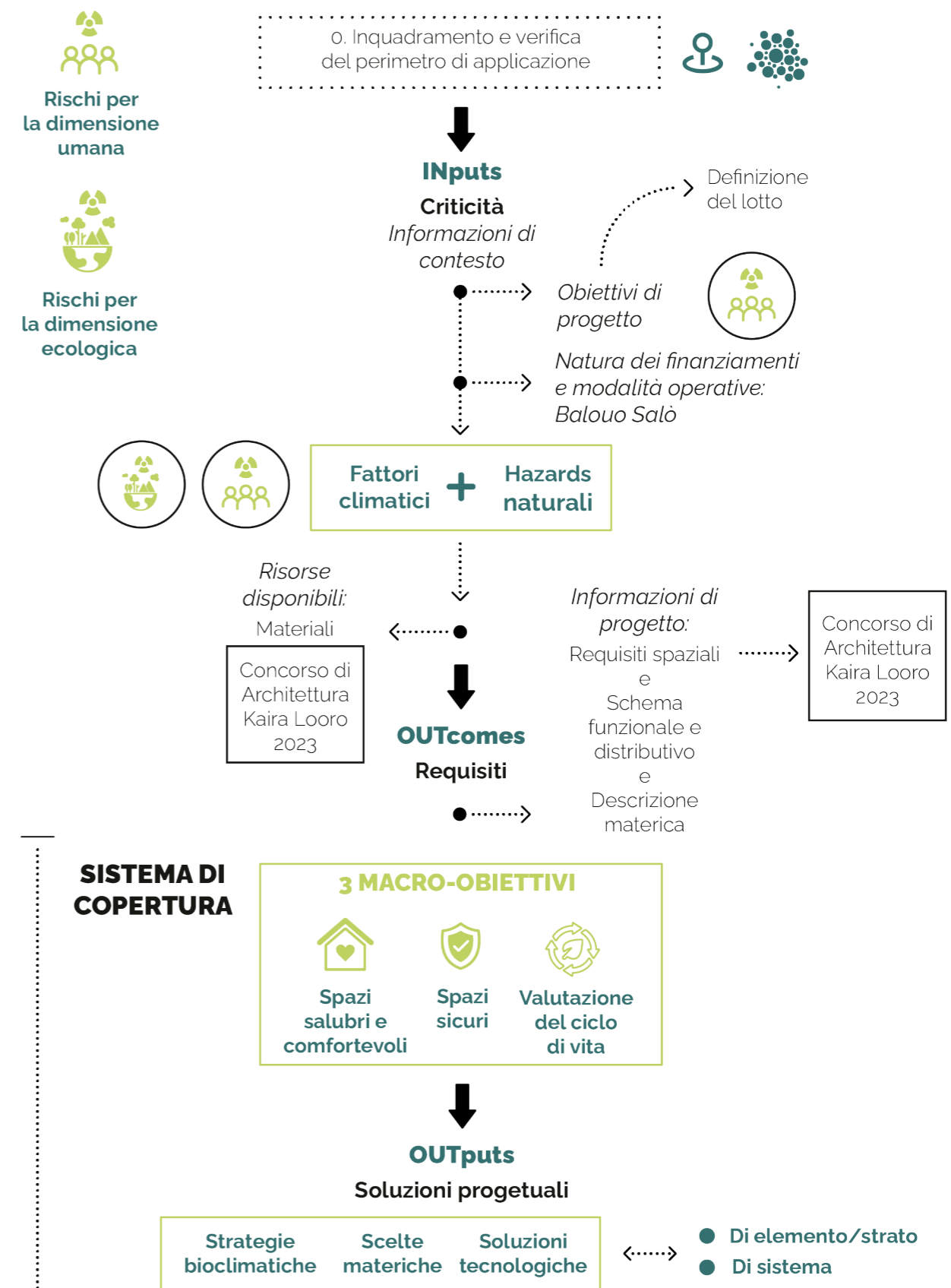


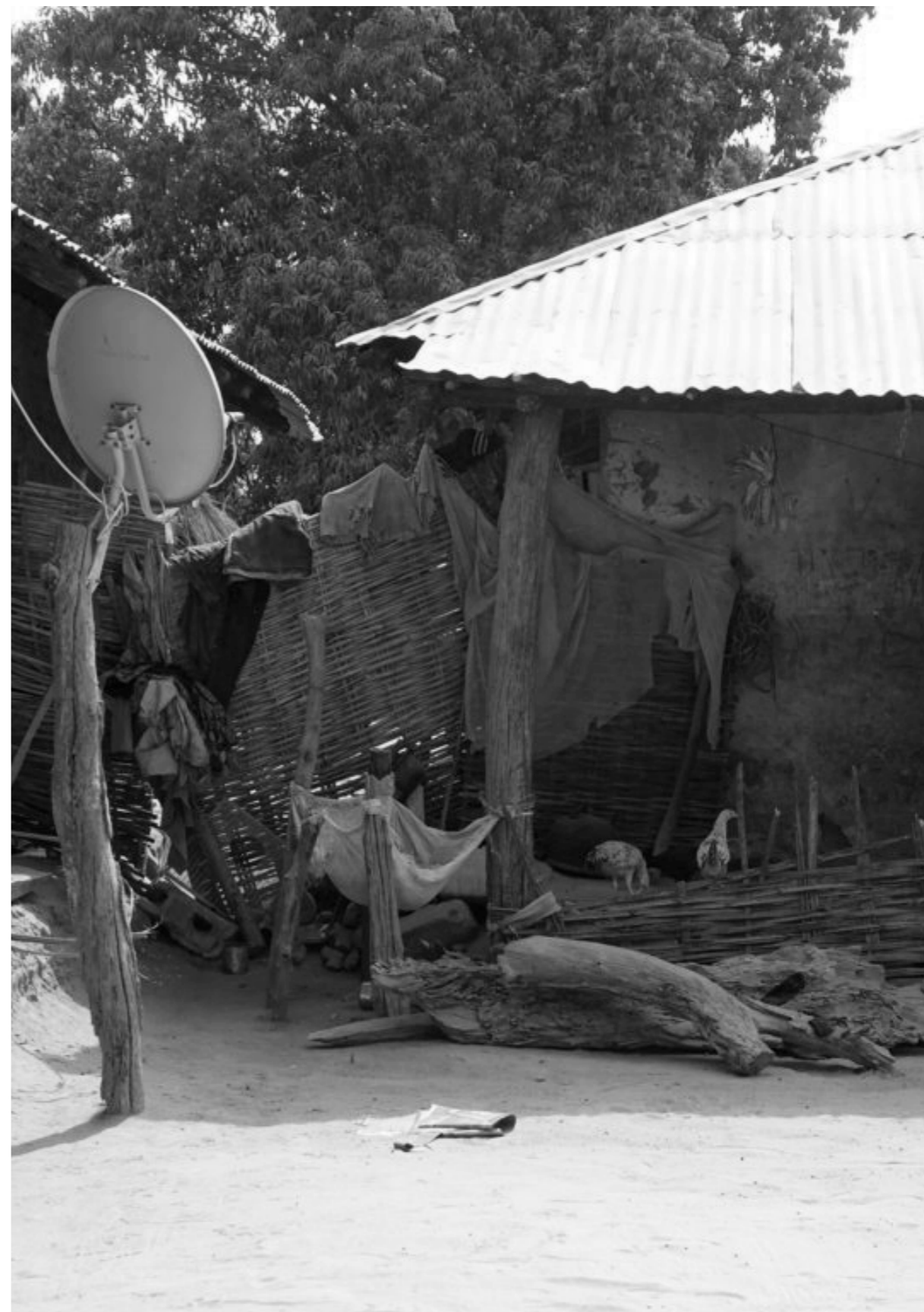
Figura 2: Schema della struttura dello SSP, elaborato dalla tesista

## INPUTS DEL PROGETTO



*In questa ultima fase si testa la validità dello Strumento di Supporto alla Progettazione andando a ripercorrere le tappe dell'iter metodologico.*

*Molti degli INputs riguardanti il contesto tropicale e presentati nel primo capitolo sono validi anche alla zona della Casamance. Tuttavia, segue un'analisi minuziosa delle peculiarità del territorio che potrebbero influenzare le scelte progettuali nella fase successiva.*





### 3.2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E VERIFICA DEL PERIMETRO DI APPLICAZIONE

#### Inquadramento territoriale

Il Senegal è uno stato dell'Africa Occidentale con capitale a Dakar. La **regione della Casamance si colloca nella parte meridionale del Paese**, compresa tra i territori della Gambia e della Guinea-Bissau, e si divide in tre province principali: Ziguinchor, **Sédhiou** e Kolda (**Fig. 3**).

Il lotto di intervento si colloca precisamente nella **cittadina di Marsassoum**, localizzata nell'estremo occidentale della provincia e dipartimento di Sédhiou, vicino al confine con la provincia di Ziguinchor. La provincia si estende su un'area di 7350 km<sup>2</sup>.

La piccola cittadina di Marsassoum dista circa 33 km dalla città di Ziguinchor, raggiungibile tramite la strada nazionale N4 o Transgambiana, mentre a circa 50 km si trova la città di Sédhiou, collegata tramite l'arteria stradale N12.

#### Verifica del perimetro di applicazione

##### a. Popolazione

Marsassoum è una piccola cittadina che conta circa **6.500 abitanti**. Il distretto di Marsassoum comprende poi una serie di villaggi che non superano mai le migliaia di abitanti.

Nonostante Marsassoum sia la città più popolata del distretto, la zona d'intervento nella quale si innesta il progetto ricade in una **cella con grado di urbanizzazione che supera di poco i 300 ab/km<sup>2</sup>**.

Quindi, data la verifica tramite *Copernicus*<sup>2</sup> e la distribuzione a insediamento sparso dei villaggi limitrofi, è possibile affermare che l'area di intervento rispetta i termini del bando e si colloca in una **zona semidensa, prettamente rurale**.

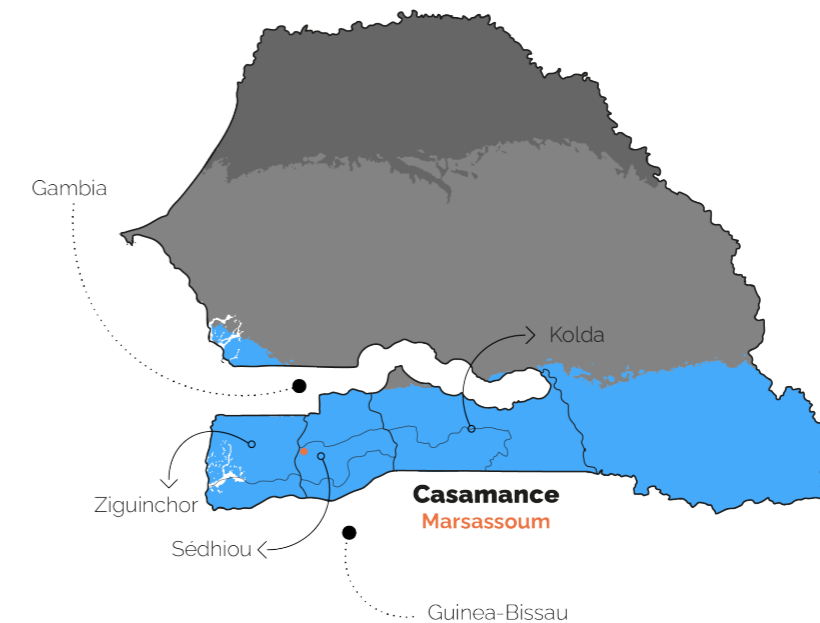
##### b. Zona climatica

L'area di intervento ricade nella **zona climatica Aw, clima tropicale della savana**, con una stagione più arida più lunga e una stagione delle piogge ben definita.

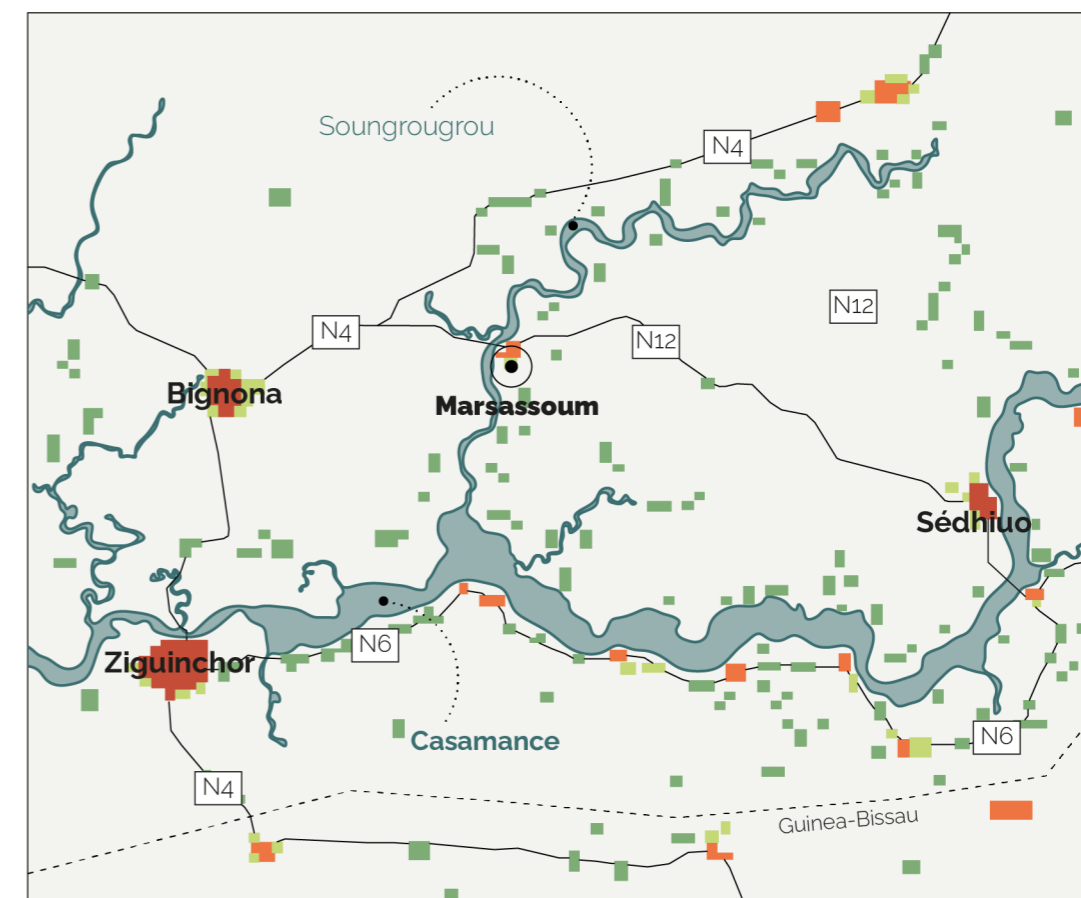
##### c. Fattori idrogeomorfologici

La cittadina di Marsassoum sorge su un'area pianeggiante, precisamente su un rilievo con **altimetria di 15 m s.l.m.**, sulle sponde del **fiume Soungrougrou**, affluente del fiume Casamance che attraversa quasi per intero la regione meridionale del Senegal.

I fattori relativi alla verifica del perimetro di applicazione sono riportati in **Figura 4**.



**Figura 3:** Beck et al., Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, Scientific Data 5:180214, rielaborato dalla tesista



**Figura 4:** verifica del perimetro di applicazione e infrastrutture principali, estratto da Copernicus, rielaborato dalla tesista

<sup>2</sup> <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/visualisation.php> (ult. cons. 20/06/2024)



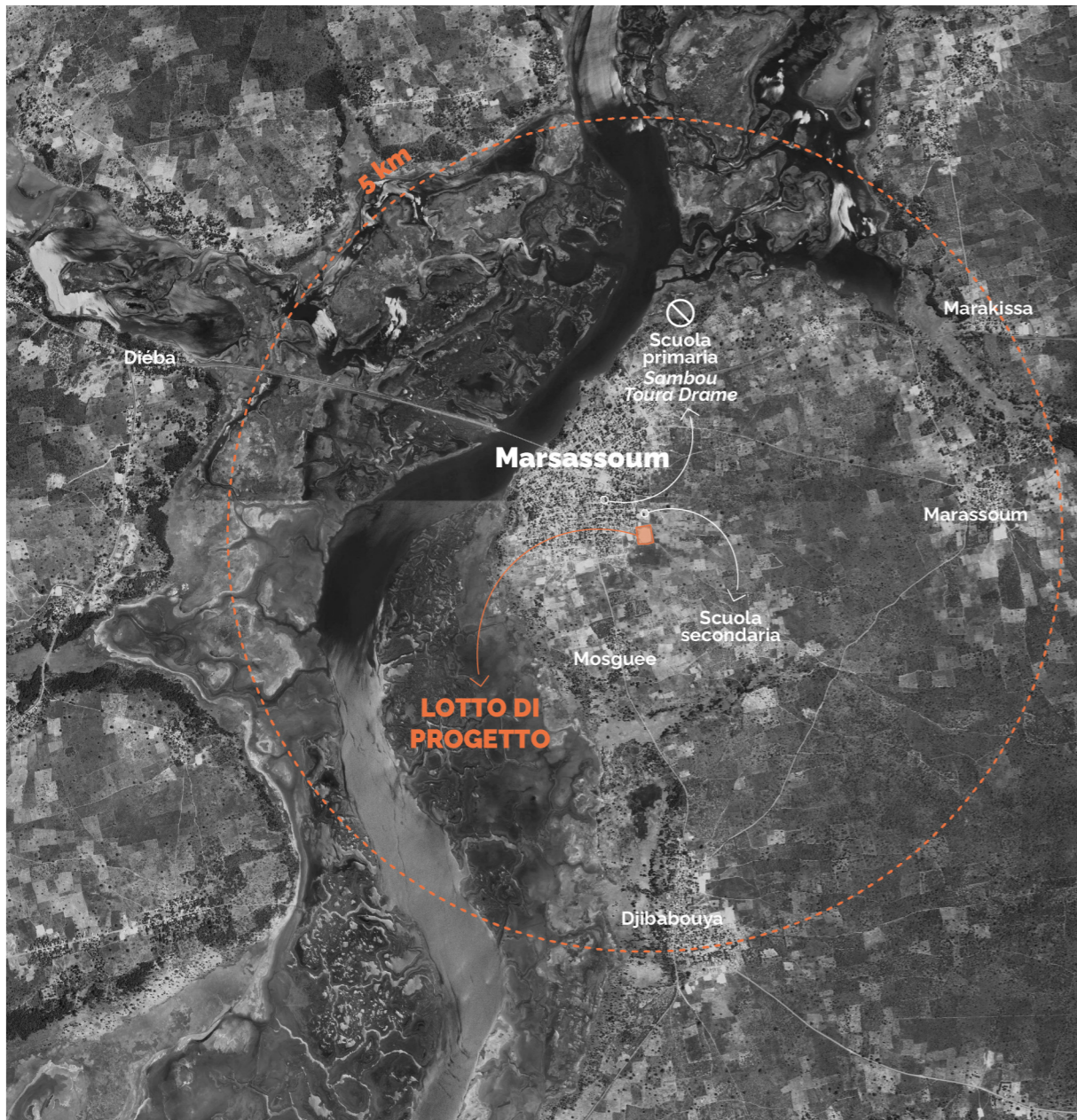


Figura 5: Definizione del lotto di progetto e raggio di influenza, estratto da Google Earth



Figura 6: Stato di fatto del costruito delle scuole, immagini offerte dal bando di concorso

### Obiettivi di progetto: definizione del lotto

Gli obiettivi di progetto si costruiscono sulle necessità della zona di riferimento. Nella cittadina di Marsassoum, la **scuola primaria di Sambou Toura Drame esistente versa in pessime condizioni ed è costruita in pareti di bambù e tetti di zinco (Fig.6)**. Le aule raramente sopravvivono alla stagione delle piogge e difficilmente sono adeguatamente dimensionate per il numero di studenti sempre crescente. In ambienti così fatti è difficile stimolare la psiche degli studenti e sviluppare i loro pieni potenziali, nonché tutelare il loro diritto all'istruzione, alla vita e alla salute.

Lo stato dell'istituto scolastico Sambou Toura Drame ha portato alla chiusura dell'edificio<sup>3</sup> ed alla conseguente perdita di molti anni accademici per gli studenti.

<sup>3</sup> <https://www.archstorming.com/info-l-bms.html> (ult. cons. 20/06/2024)

Le condizioni degli istituti scolastici non varia nei villaggi limitrofi, nei quali spesso il problema riguarda la **mancaza totale di una struttura educativa**.

Data la posizione strategica della cittadina, dovuta sia al passaggio di due importanti arterie stradali che all'**attraversamento diretto del fiume**, a collegamento con il distretto di Bignona, si procede ipotizzando come lotto di progetto l'area inquadrata in **Figura 5**.

L'area di progetto si innesta nelle immediate vicinanze della scuola secondaria di Marsassoum ed è adatta ai requisiti spaziali imposti dal bando e si presta ad un eventuale ipotesi di **ampliamento**.

Il raggio di influenza della scuola copre le necessità degli abitanti della cittadina e dei villaggi limitrofi. Come testimoniato dall'associazione Balouo Salò, molto spesso i bambini che abitano questa regione sono costretti a camminare fino a 3 ore per raggiungere gli istituti scolastici. Questo influisce notevolmente sulla mobilità indipendente e riduce la frequenza delle presenze scolastiche.

Il raggio di influenza ipotizzato per il progetto, invece, **copre una distanza massima di 5 km** e, data la sua posizione strategica, riesce circa a dimezzare il tempo di percorrenza casa-scuola degli studenti provenienti dai villaggi vicini.

### Natura dei finanziamenti e modalità operative: Balouo Salò

La natura dei finanziamenti ipotizzata per il progetto nella Casamance riprende **le modalità operative dell'organizzazione umanitaria Balouo Salò**, promotrice del Concorso di Architettura Kaira Loro 2023.

Balouo Salò è un ente umanitario di beneficenza, avente **stato di ETS (Ente del terzo settore)**. L'organizzazione è nata nel 2013 dall'incontro tra le competenze tecnico-scientifiche di **Raoul Vecchio**, ingegnere edile e architetto, e la conoscenza diretta del territorio di **Moulaye Diabate**<sup>4</sup>. Quest'ultimo è originario di Baghere, un piccolo villaggio rurale situato nella vallata di Tanaff,

<sup>4</sup> <https://www.balouosaloo.com/> (ult. cons. 20/06/2024)





**Figura 7:** Costruzione del centro polivalente di Tanaff (in corso). Fonte immagine: <https://www.balouosalo.com/architetture.html> (ult. cons. 20/06/2024)

localizzata nella provincia di Sédhiou, nel dipartimento di Goudomp.

Attraverso studi e indagini scientifiche condotte direttamente sul territorio, **l'organizzazione ha rilevato una serie di gravi deficit strutturali** che rendono l'area particolarmente soggetta a emergenze sociali (**Fig. 7**). Le pessime condizioni di vita, legate al trentennale conflitto che ha colpito l'area della Casamance<sup>5</sup>, e la mancanza di organizzazioni attive in questo territorio ha portato Balouo Salò a concentrarsi in questo contesto specifico per la maggior parte del suo operato.

Le **modalità operative di Balouo Salò** risentono fortemente della struttura interna dell'organizzazione, che condiziona la sua **autonomia economica**. Infatti, **gli interventi sono supportati da raccolte fondi e finanziamenti privati**. La soluzione operativa garantisce indipendenza dagli interessi degli enti pubblici locali, che complicherebbero la governance dei progetti. Questo è dovuto alle **differenze etniche** presenti sul territorio (Diola, Wolof, Mandinga, Pulaar) le quali creano maggioranze e minoranze che condizionano le decisioni politiche ed amministrative. In aggiunta, l'associazione riesce a svincolarsi dagli interessi del finanziatore privato assumendo la gestione della movimentazione delle risorse economiche.

L'approccio di **Balouo Salò** si avvale della dimensione locale e **viene supportato nei suoi interventi sia dall'Italia**, con un team che si occupa di progettazione, supervisione, rendicontazione, report e contabilità, **sia in loco** da una serie di comitati composti da esperti di diversi settori. I responsabili dei comitati, che possono essere figure locali o meno, stabiliscono la gerarchia degli interventi da portare sul territorio, le strategie ed i principi guida. Tutti gli altri partecipanti agli interventi di autocostruzione sono persone del posto. **L'organizzazione non opera con volontari** che non siano del posto **per non pregiudicare i principi di responsabilità e auto-determinazione**, che spingono le comunità a impegnarsi attivamente nella risoluzione delle problematiche locali.

L'organizzazione si impegna perché la propria azione sia conforme ai principi espressi in due documenti, il **Codice Etico (CEBS)** e il **Quadro di Sviluppo Sostenibile (BSFSD)**, al fine di favorire la sostenibilità ambientale, sociale ed economica<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Aïssatou Fall, **Understanding The Casamance Conflict: A Background**, Training for peace, KAIPTC MONOGRAPH No. 7, Dicembre 2010

<sup>6</sup> Renée Serale, **Concorso di architettura umanitaria Kaira Loo-ro 2023: applicazione di strategie bioclimatiche per la progettazione di una scuola elementare in Casamance (Senegal)**, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, Luglio 2023

### 3.2.2 FATTORI CLIMATICI

In questa sezione si studiano i fattori climatici del contesto specifico tramite l'analisi delle singole **variabili meteorologiche**, scelte e descritte nel capitolo precedente, e di **come queste si influenzino tra loro**.

- **Radiazione solare**

La lunghezza del giorno non cambia sostanzialmente durante l'anno, e rimane entro i 49 minuti di 12 ore. Il **periodo più sereno** dell'anno inizia circa a **Novembre** e finisce a **Giugno**, dopodiché, **in estate**, quando inizia la stagione delle piogge, **la percentuale di copertura nuvolosa aumenta drasticamente**, andando ad influenzare la radiazione solare diretta (Fig. 8).

- **Precipitazioni**

Il sistema di classificazione climatica di Köppen, adotta una soglia quantitativa, per i climi tropicali, per distinguere la stagione delle piogge dalla stagione secca. Imponendo la **soglia a 60 mm di precipitazioni medie mensili**, si può affermare che la stagione delle piogge si concentra nel periodo estivo, da inizio Giugno a metà Ottobre (Fig.8).

- **Temperatura**

Le **temperature medie giornaliere rimangono** più o meno costanti e **sopra i 17 °C durante tutto l'anno**. La stagione calda è inquadrata tra fine Febbraio a fine Maggio. Durante il **periodo delle piogge**, invece, **la temperatura a bulbo secco si abbassa**, mentre rimane **costante la temperatura dell'aria** (linea tratteggiata), corrispondente alla temperatura percepita. Questo dato è influenzato dall'aumento delle precipitazioni medie mensili e dall'aumento dei livelli di umidità. Le **temperature medio orarie** dimostrano che, sempre nella **stagione delle piogge**, lo **sbalzo termico tra giorno e notte si riduce** a causa dell'aumento dei livelli di umidità, mentre **nella stagione secca**, quando si massimizza la radiazione solare diretta, **le temperature percepite aumentano** anche per effetto dell'irraggiamento solare pomeridiano (Fig 9).

- **Vento**

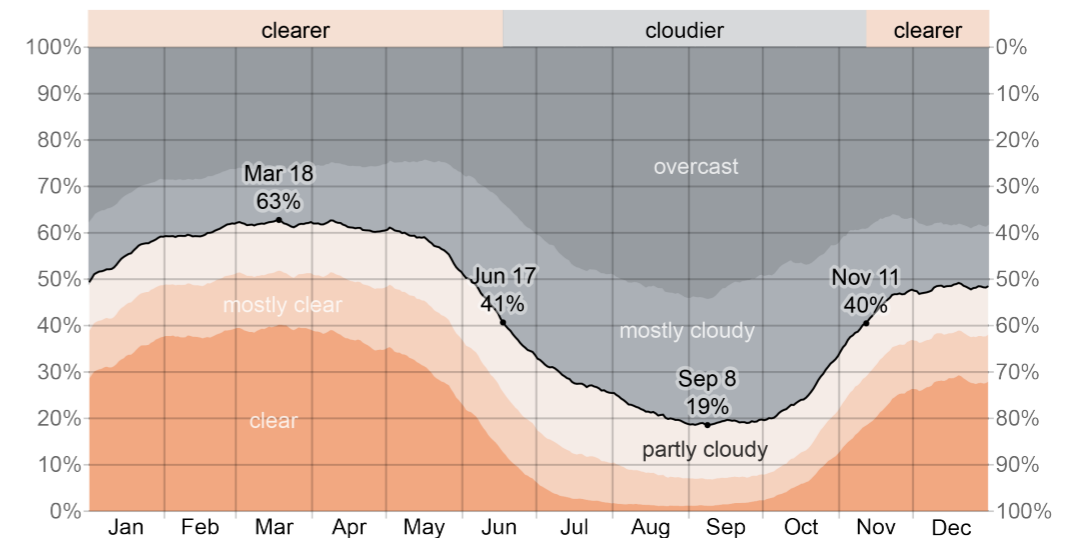
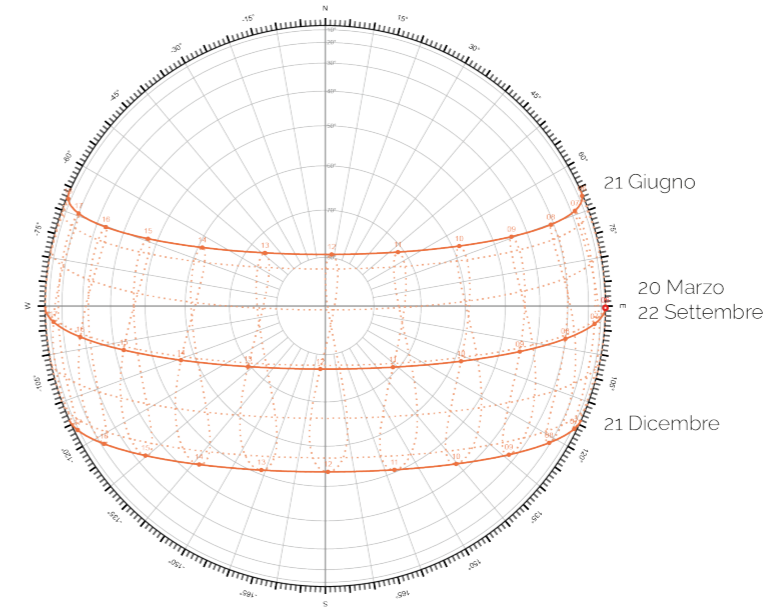
La velocità media del vento registrata nella zona di Marsassoum non supera mai i 10 km/h. Secondo la rosa dei venti, si osserva che i venti prevalenti nella regione sono i **monsoni estivi provenienti da Ovest** e gli **Alisei provenienti da Sud-Ovest**, i quali soffiano aria umida proveniente dall'Oceano Atlantico e massimizzano le precipitazioni ed i livelli di umidità. In inverno, invece, l'area di progetto risente degli effetti degli **Alisei provenienti da Nord-Est** (Harmattan), che soffiano aria calda proveniente dal Sahara. L'Harmattan può abbassare l'umidità, ma anche causare visibilità ridotta a causa della polvere (Fig. 10).

- **Umidità**

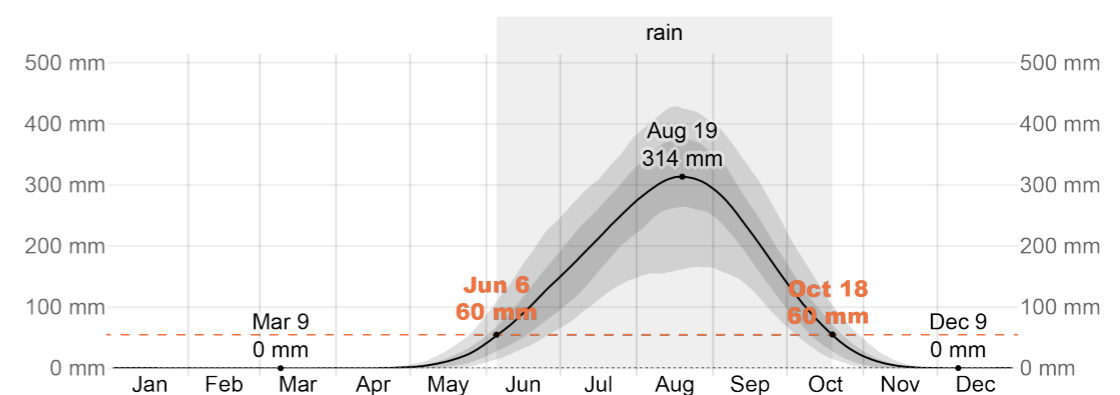
I livelli di comfort di umidità riportati in **Figura 9** si basano sul **punto di rugiada**, che cambia. I livelli di umidità percepita aumentano nella stagione delle piogge e diminuiscono nella stagione secca, per gli effetti descritti in precedenza.

#### Percorso solare

Fonte immagine: <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html> (ult. cons. 20/06/2024)



Categoria di copertura nuvolosa



Pioggia

Figura 8: Variabili meteorologiche. Fonte immagini: <https://weatherspark.com/y/31652/Average-Weather-in-Marsassoum-Senegal-Year-Round> (ult. cons. 20/06/2024), rielaborato dalla tesista



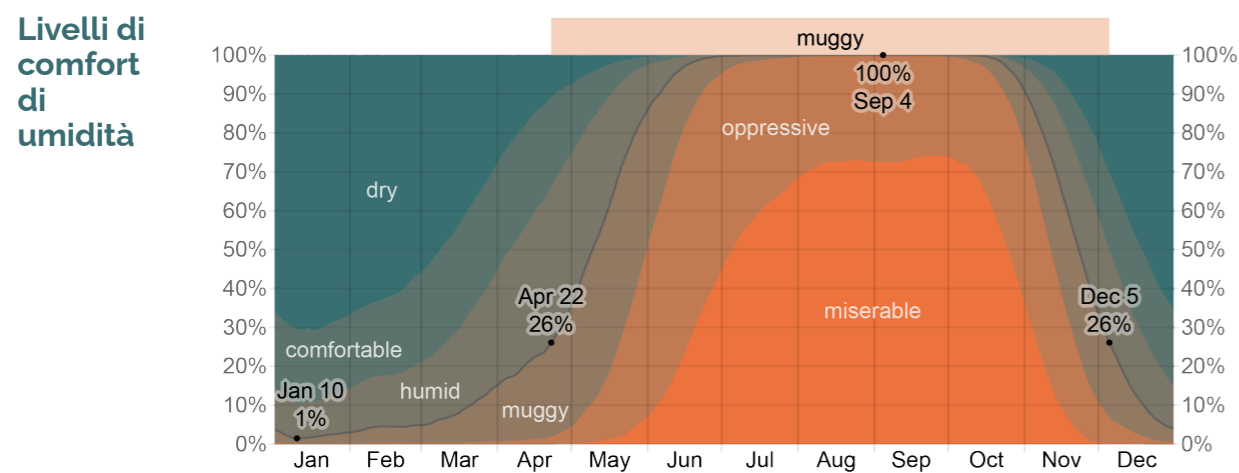
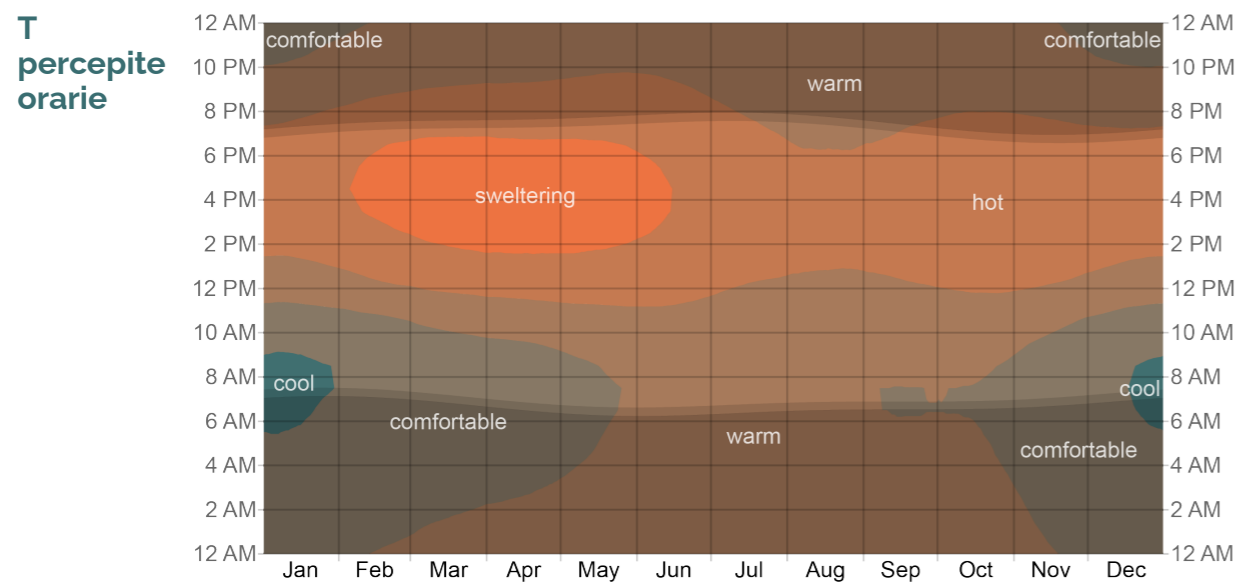
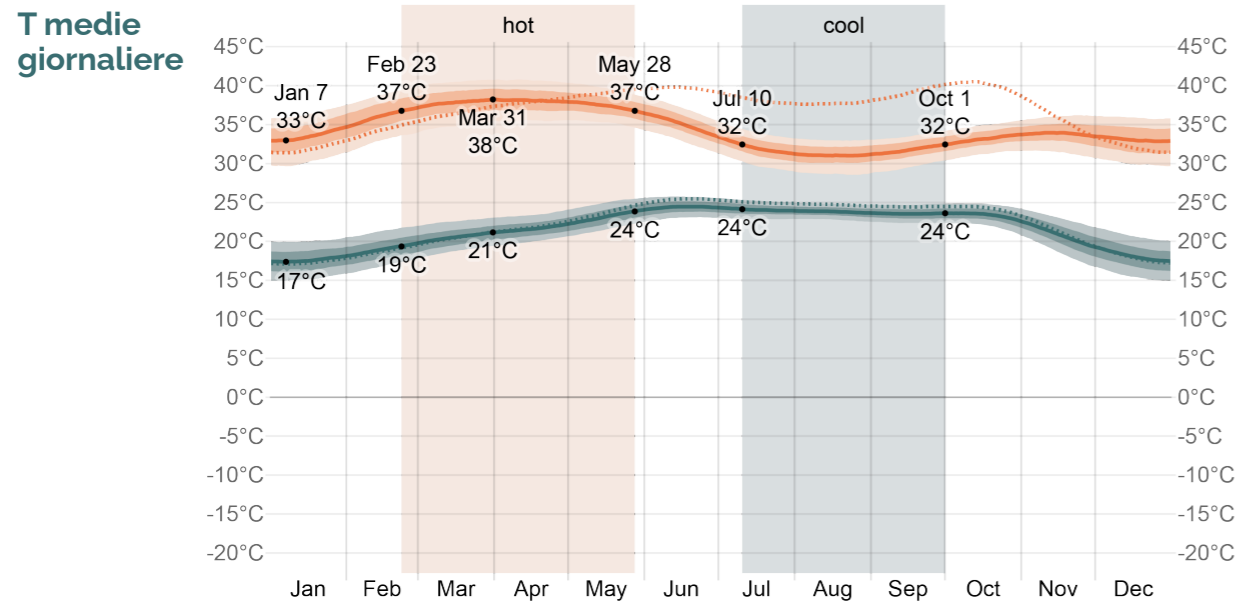
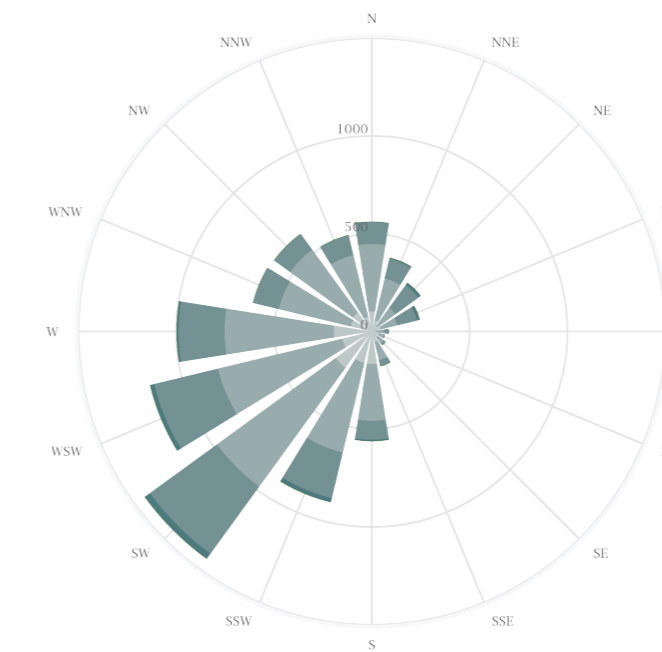
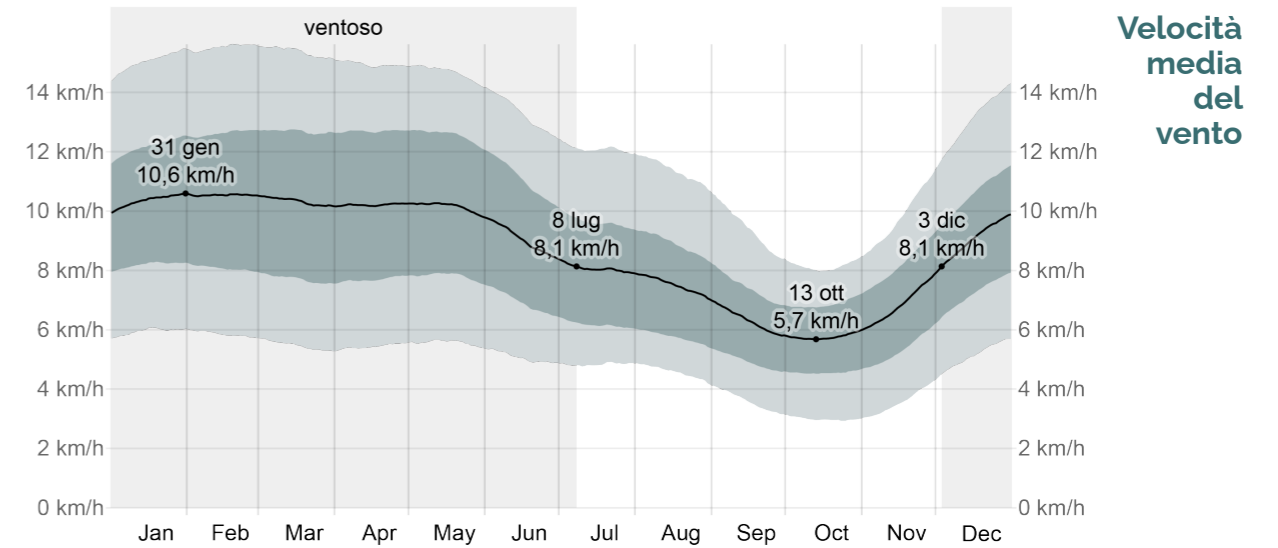


Figura 9: Variabili meteorologiche. Fonte immagini: <https://weatherspark.com/y/31652/Average-Weather-in-Marsassoum-Senegal-Year-Round> (ult. cons. 20/06/2024), rielaborato dalla tesista



Rosa dei venti  
Fonte immagine: [https://www.meteo-blue.com/it/tempo/settimana/marsassoum\\_senegal\\_2248777](https://www.meteo-blue.com/it/tempo/settimana/marsassoum_senegal_2248777) (ult. cons. 20/06/2024)

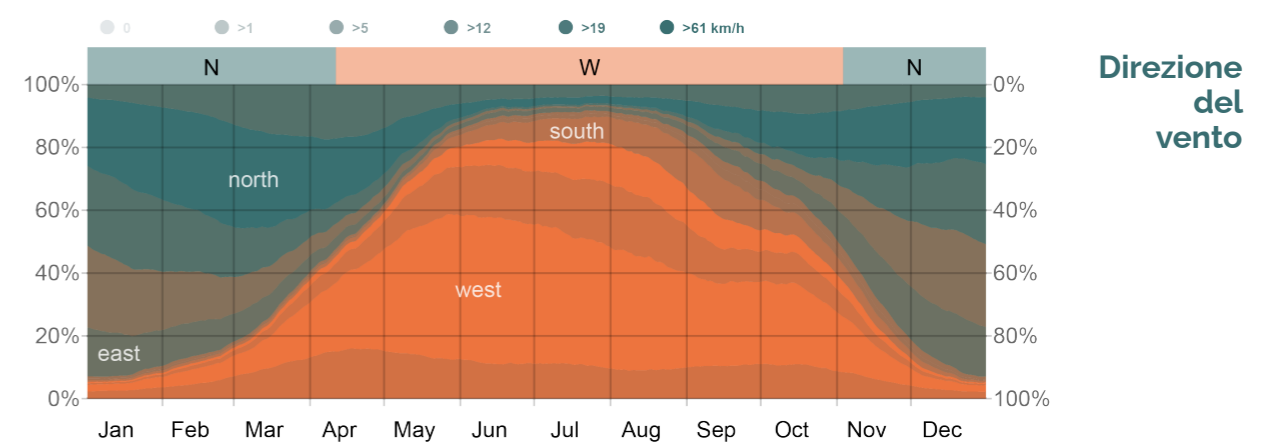


Figura 10: Variabili meteorologiche. Fonte immagini: <https://weatherspark.com/y/31652/Average-Weather-in-Marsassoum-Senegal-Year-Round> (ult. cons. 20/06/2024), rielaborato dalla tesista

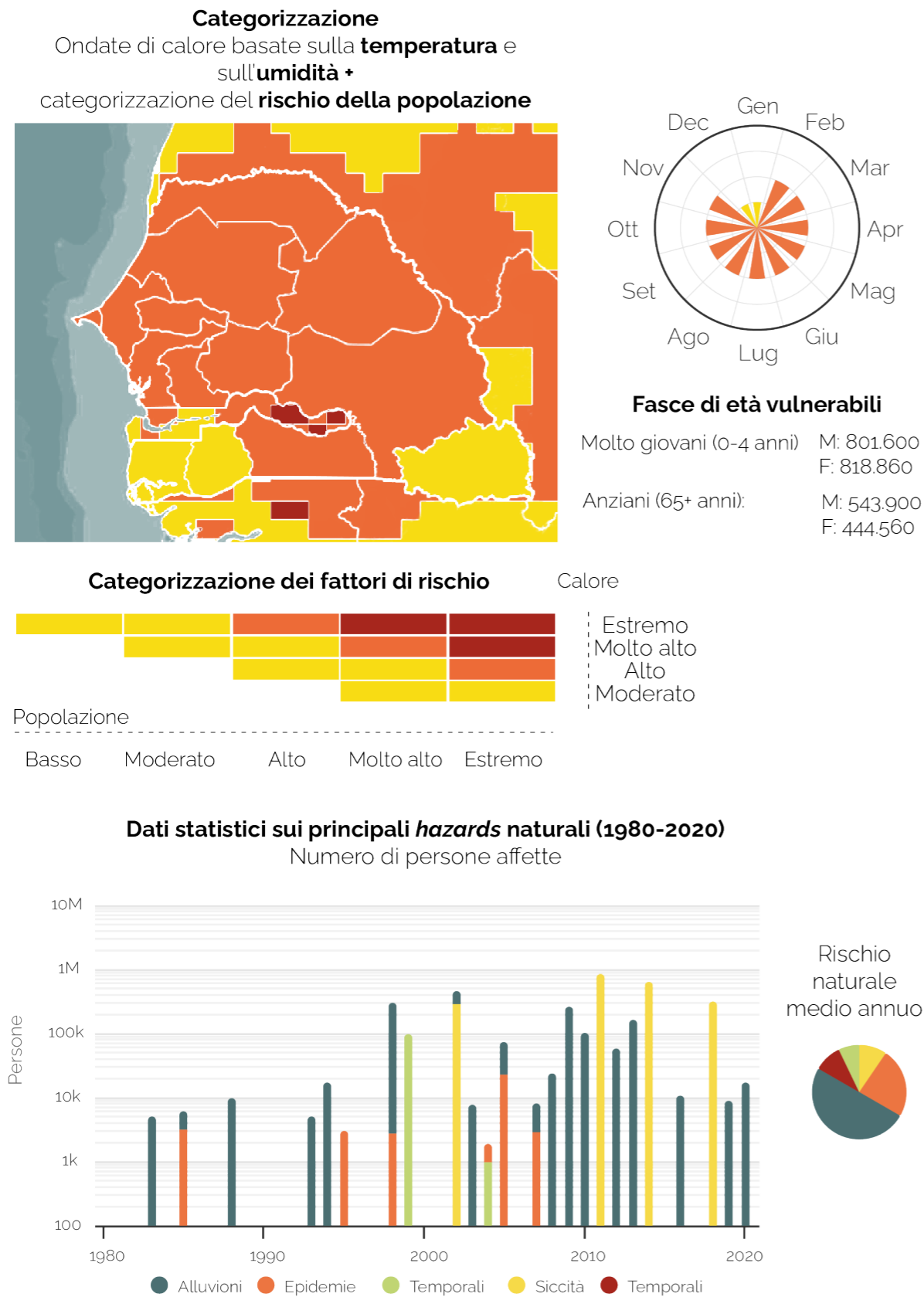


Figura 11: Rischi legati alle ondate di calore e agli hazards naturali, Senegal

### 3.2.3 HAZARDS NATURALI

La valutazione dei rischi connessi agli *hazards* naturali del Senegal aiuta a definire gli impatti socio-economici del Paese ed i fattori riguardo l'esposizione dei sistemi naturali.

La **valutazione del rischio di ondate di calore** e degli **hazards naturali**, nel contesto di tesi, suggerisce successivamente quali siano le strategie dello SSP sulle quali focalizzarsi in fase di progetto.

- **Rischio di ondate di calore**

Il rischio legato alle ondate di calore è presentato in **Figura 11** e riporta la frequenza del rischio composto legato al calore ed all'umidità ed alla categorizzazione del rischio della popolazione. Il rischio composto si estende su un periodo di tempo che va dal 2020 al 2039.

Dalla mappa si osserva che **la provincia di Sédhiou presenta una minor frequenza di rischio legato alle ondate di calore rispetto alla fascia Nord del Senegal**. Una delle cause riguarda l'aumento della frequenza delle precipitazioni medie mensili<sup>7</sup>, che impattano positivamente sulle temperature. Tuttavia, rimangono elevati i numeri riguardo le fasce vulnerabili di popolazione rispetto a questo fattore.

- **Hazards naturali**

Dalla **Figura 11** si osserva che il Senegal si trova ad affrontare una serie di rischi legati agli *hazards* naturali. **Siccità, inondazioni, innalzamento del livello del mare, l'erosione costiera e**, nello specifico contesto di progetto, la conseguente **l'intrusione salina**<sup>8</sup> sono attualmente i rischi naturali che rappresentano la minaccia maggiore per gli obiettivi di sviluppo del Paese<sup>9</sup>.

Come si evince dal grafico a torta, i rischi più frequenti che hanno un impatto maggiore sulla popolazione riguardano le **alluvioni, in parte connesse all'aumento della frequenza delle precipitazioni medie mensili**. Data la vicinanza al fiume del sito di progetto, questo dato, insieme ai **temporali**, sottolinea l'importanza del macro-obiettivo **"Spazi sicuri"** dello Strumento di Supporto alla Progettazione.

Invece, i **rischi naturali legati alla siccità ed alle epidemie suggeriscono di porre particolare attenzione agli indicatori sull'acqua**. In particolare, assumo importanza gli indicatori riguardo la raccolta<sup>10</sup> e la corretta evacuazione delle acque meteoriche. Il corretto deflusso delle acque tocca il tema delle epidemie, in quanto assicura che non ci siano ristagni d'acqua in copertura e nelle immediate vicinanze dell'edificio, che potrebbero attirare i vettori della malaria<sup>11</sup>. In aggiunta, anche gli **indicatori riguardo il degrado dei materiali** assumono particolare importanza.

I rischi antropogenici connessi agli infortuni vari toccano in parte i **rischi legati allo stato delle infrastrutture**, quindi pongono l'accento sulle probabili difficoltà legate alla localizzazione ed al trasporto delle materie prime.

7 Nébié et al., *Food Security and climate shocks in Senegal: Who and where are the most vulnerable households?*, Global Food Security 29 (2021)

8 <https://www.cnr.it/it/news/6489/acqua-e-societa-di-fronte-ai-cambiamenti-climatici-nel-bacino-della-casamance> (ult. cons. 22/06/2024)

9 <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/vulnerability> (ult. cons. 21/06/2024)

10 Eno-obong et al., *Evaluation of the effect of different conventional roof types and industrial activity on harvested rainwater in Southern Nigeria*, Discover Water, 2023

11 Chavez et al., *A thermal assessment for an innovative passive cooling system designed for flat roofs in tropical climates*, Energy Procedia 91 (2016)



**ABACO DEI MATERIALI**


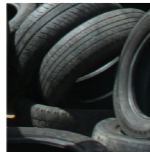








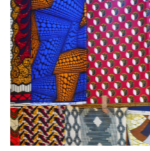






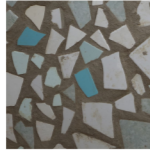
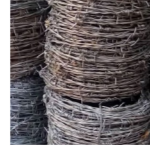

 <b>Conchiglie</b> Strade e decorazioni Ø 4 cm, s 0,5 cm	 <b>Pneumatici</b> - 40 cm	 <b>Mattoni di cemento</b> Recinti e pareti portanti s 15, lar. 35, lun. 20 cm	 <b>Paglia</b> Rivestimento del sistema di copertura lun. 1,5 m
 <b>Mangrovie</b> Strade e calcestruzzo Ø 5 cm, 2 m	 <b>Pietre grandi lateritiche</b> Strade Ø 30 cm	 <b>Travi di palissandro</b> Struttura portante del sistema di copertura s 5 cm, lar. 8 cm, lun. 2 m	 <b>Tronchi di palma</b> Struttura portante edifici Ø 30 cm, lun. 4 m
 <b>Pannello in palissandro</b> Mobilio s 3 cm, lar. 20 cm, lun 20 cm	 <b>Mattoni in argilla</b> Recinti e pareti portanti s 15, lar. 35, lun 20	 <b>Tessuti</b> Vestiti e decorazioni lar. 1,5 m, lun. 5 m	 <b>Argilla nera</b> Agricoltura -
 <b>Pietre piccole lateritiche</b> Strade e calcestruzzo Ø 5 cm	 <b>Bambù Vulgarisa</b> Mobilio Ø 15 cm, lun. 5 m	 <b>Barre d'acciaio</b> Calcestruzzo armato Ø 8 mm, lun. 6 m	 <b>Sacchi di juta</b> Strade e agricoltura lar. 60 cm, lun. 90 cm
 <b>Rifiuti</b> -	 <b>Piastrille rotte</b> Pavimentazioni -	 <b>Filo spinato</b> Recinti lun. 80 m	 <b>Stecche di bambù</b> Recinti Ø 5 cm, 5 m

Figura 11: Rischi legati alle ondate di calore e agli hazards naturali, Senegal

**3.2.4 RISORSE DISPONIBILI**

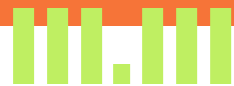
Qui di seguito si riporta la **lista dei materiali offerti dal Concorso di Architettura Kaira Looro 2023**, che rappresentano un inventario non esaustivo delle risorse disponibili ed impiegabili nella regione della Casamance (Fig. 12). In questa fase, si procede riportando, il **tipo di materiale**, le **dimensioni standard** reperibili sul territorio e la **tipologia funzionale della singola risorsa**. Le caratteristiche dei materiali vengono presentate in seguito nello SSP e saranno espresse in funzione delle soluzioni progettuali adottate.

Il concorso impone anche un costo totale dei soli materiali da costruzione, ma, data la natura degli argomenti di tesi, questo aspetto non verrà indagato.

 <b>Sabbia</b> Mattoni -	 <b>Lastre in acciaio ondulato</b> Rivestimento del sistema di copertura dimensioni	 <b>Pannelli in legno samba</b> Struttura portante del sistema di copertura s 30 cm, lar. 20 cm, lun. 4 m
 <b>Fibre di bambù intrecciate</b> Recinti lar. 3 m, lun. 1,5 m	 <b>Lastre di metallo</b> Recinti lar. 1,2 m, lun. 1,5 m	 <b>Travetti in legno samba</b> Struttura portante del sistema di copertura s 5 cm, lar. 8 cm, lun. 2 m
 <b>Travi in legno samba</b> Struttura portante s 20 cm, lar. 40 cm, lun. 2 m	 <b>Profili in acciaio</b> Struttura portante e recinzioni -	 <b>Travi IPE in acciaio</b> Struttura portante del sistema di copertura -
 <b>Terra rossa</b> Mattoni -		



## OUTCOMES E OUTPUTS DEL PROGETTO



*In questo paragrafo conclusivo si entra nel merito del progetto di tesi. Quindi si presentano le caratteristiche spaziali, funzionali e distributive; di seguito si evidenziano le soluzioni progettuali integrate nel progetto tramite i macro-obiettivi e gli indicatori dello Strumento di Supporto alla Progettazione.*





### 3.3.1 INFORMAZIONI DI PROGETTO

#### *I requisiti spaziali del Concorso di Architettura Kaira Looro 2023*

1. **Classi.** Dovranno esserci 6 classi con una media di 25 studenti ciascuno.
2. **Uffici.** Dovranno esservi gli uffici per la direzione e una sala riunioni per il corpo insegnanti.
3. **Area laboratoriale.** Dovrà esserci uno spazio flessibile per l'organizzazione di attività ludico-ricreative e laboratori per gli studenti.
4. **Infermeria.** Ci sarà un ambiente destinato a trattare infortuni o malesseri degli studenti.
5. **Mensa.** Uno spazio dovrà essere destinato alla preparazione e fornitura di pasti per gli studenti meno abbienti.
6. **Deposito.** Dovrà esserci un deposito per il materiale e attrezzature scolastiche.
7. **Servizi igienici.** Dovranno prevedersi dei servizi per gli studenti e il personale scolastico<sup>12</sup>.

Le caratteristiche richieste dal bando impongono una **superficie massima al chiuso di 650 m<sup>2</sup>** per le aree suddette ed **un solo piano terra (Fig. 13)**.

#### **Superfici di progetto**

- Superficie del lotto di progetto: 22.000 m<sup>2</sup>
- Superficie lorda calpestabile: 950 m<sup>2</sup>
- **Superficie netta calpestabile al chiuso: 447 m<sup>2</sup>**
- Superficie netta di un aula: 37 m<sup>2</sup>

Le metrature degli altri ambienti scolastici sono riportati in Figura 13.

#### **Utenti**

- 150 alunni
- 6 insegnanti
- 1 preside
- 1 infermiere
- 2 addetti mensa
- 1 segretario

#### **Condizioni d'uso e modelli di occupazione**

- Densità di occupazione prevista per le aule scolastiche: 25 alunni (bambini/e dai 6 agli 11 anni) + 1 insegnante in 37 m<sup>2</sup> = circa 0,77 n° occupanti/m<sup>2</sup>
- Modello di occupazione previsto:
  - annuale:* 15 Ottobre - 30 Giugno
  - giornaliero:* 8:00 - 13:00 / 14:00 - 19:00

#### **Descrizione funzionale e distributiva del progetto**

L'impianto **planivolumetrico** e le **destinazioni d'uso** si articolano in relazione agli **accessi** ed ai **relativi flussi**.

I volumi principali si articolano in **tre blocchi quadrati**, affacciati sul prospetto Sud, destinati ai **servizi della scuola**, mentre gli spazi destinati alla **didattica** sono inquadrati nei **volumi rettangolari**, qui le aule sono accoppiate e scandite dagli ingressi (**Fig. 14 e 15**).

Gli **accessi principali al complesso scolastico** si trovano sul **prospetto Nord e Sud**. I due accessi tramite rampe sul prospetto Nord permettono agli studenti ed agli insegnanti di accedere velocemente ai blocchi aule, mentre l'accesso Sud-Est rappresenta l'ingresso principale alla scuola, segnato da due cancelli e posto vicino alla segreteria e all'aula per gli insegnanti.

La disposizione spaziale della segreteria e del cortile di fronte creano un filtro naturale tra lo spazio pubblico e privato della scuola, al quale gli utenti esterni alla scuola possono accedere per chiedere informazioni e dove le entrate e le uscite degli alunni possono essere facilmente controllate.

Il **prospetto Sud ha una dimensione pubblica**, infatti quest'area coperta ma aperta si relaziona con l'intorno e diventa un **punto di riferimento per la comunità**, che là può incontrarsi, stabilire dei mercati temporanei ed accedere, al di fuori dell'orario scolastico, all'aula polifunzionale tramite un ingresso secondario apposito. Nella zona Sud-Ovest, l'ingresso secondario alla cucina ed al deposito è destinato agli addetti della mensa. Questo ingresso è direttamente collegato ad una zona di sosta per i mezzi pesanti, utile per il carico e scarico merci.

Tornando all'ingresso principale Sud-Est, gli studenti accedono all'ingresso scolastico, passando di fronte ai bagni ed all'infermeria, fino ad arrivare al lungo **transetto coperto ma aperto che percorre l'istituto da Est ad Ovest e separa lo spazio aule dagli ambienti destinati alle attività collettive**.

Proseguendo lungo questo percorso, dopo aver superato l'ufficio del preside, si trova il blocco che ospita l'aula polifunzionale, centro ideologico e spaziale della scuola. Infine, l'ultimo blocco quadrato è riservato alla mensa.

I **tre blocchi sono scanditi da due corti aperte**: la prima è di dimensioni ridotte, molto verde e intima, mentre la seconda è volutamente più grande, libera, dedicata alle attività ludico-ricreative all'aperto e filtrata verso Sud da una quinta scenica verde (**Fig. 16**).

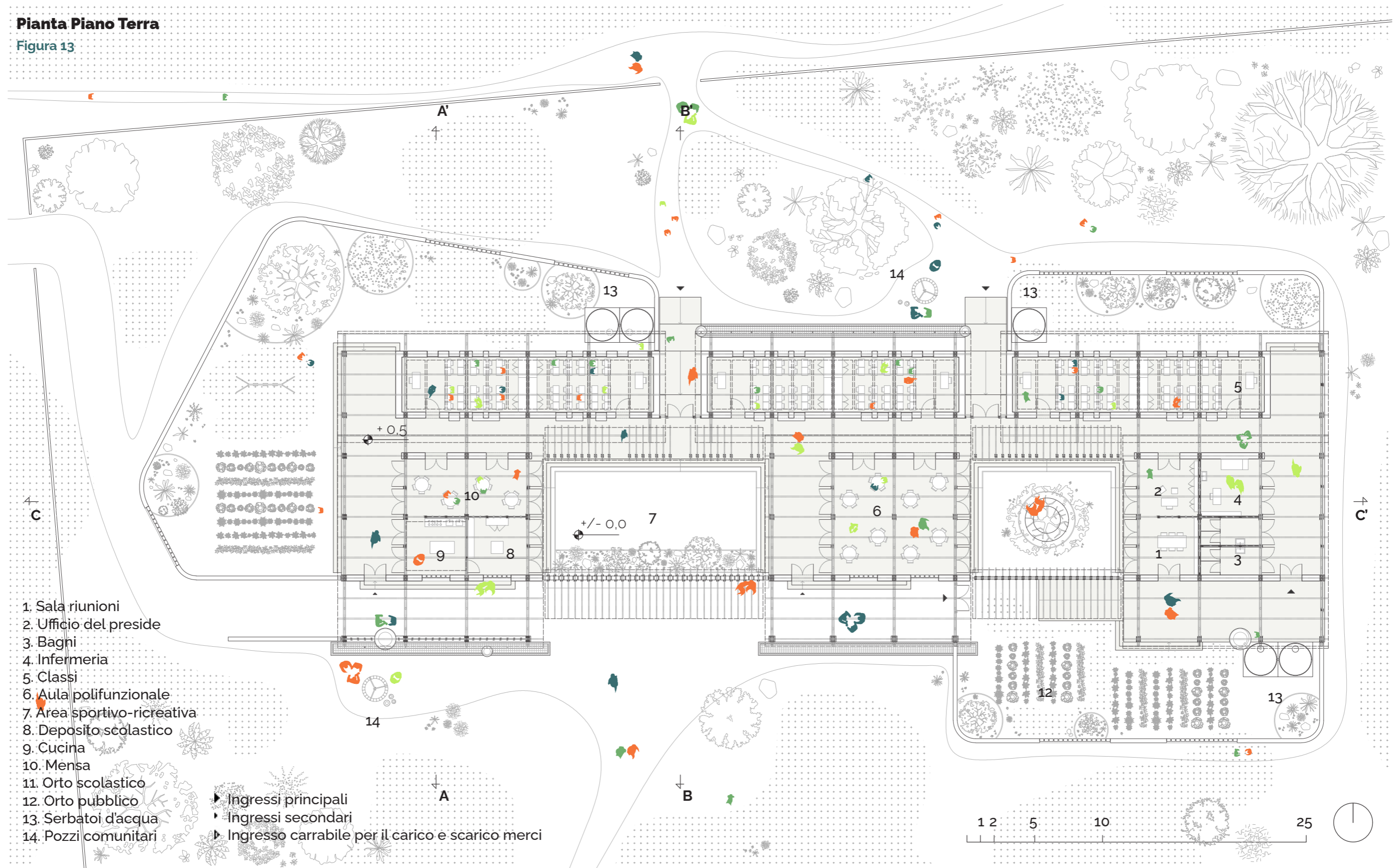
Grazie alle zone naturali, che intervallano orizzontalmente la scuola, in tutti gli spazi chiusi si mantiene il contatto diretto con il verde. La tensione che si instaura verso il mondo vivente diventa strategia progettuale orientata a stimolare l'interconnessione, l'apprendimento e la collaborazione di tutti gli utenti, nonché il loro interesse sui processi vitali del mondo naturale.

La **dimensione agricola** nel quale si innesta il progetto di tesi si ribalta anche all'interno degli spazi scolastici; infatti, la mensa e la cucina affacciano direttamente su un orto ad uso esclusivo degli utenti scolastici, sfruttabile anche per attività didattiche, mentre l'orto all'ingresso Sud-Est è riservato ad usi pubblici.

<sup>12</sup> **Dispense** offerte dall'associazione Baulou Salò per la **partecipazione al Concorso di Architettura Kaira Looro 2023**

**Pianta Piano Terra**

Figura 13



- 1. Sala riunioni
- 2. Ufficio del preside
- 3. Bagni
- 4. Infermeria
- 5. Classi
- 6. Aula polifunzionale
- 7. Area sportivo-ricreativa
- 8. Deposito scolastico
- 9. Cucina
- 10. Mensa
- 11. Orto scolastico
- 12. Orto pubblico
- 13. Serbatoi d'acqua
- 14. Pozzi comunitari

- ▶ Ingressi principali
- ▶ Ingressi secondari
- ▶ Ingresso carrabile per il carico e scarico merci



**Sezione AA'**

Spazio pubblico e scolastico ●●  
Scala 1:250



Figura 14

**Sezione BB'**

●● Spazio pubblico e scolastico  
Scala 1:250

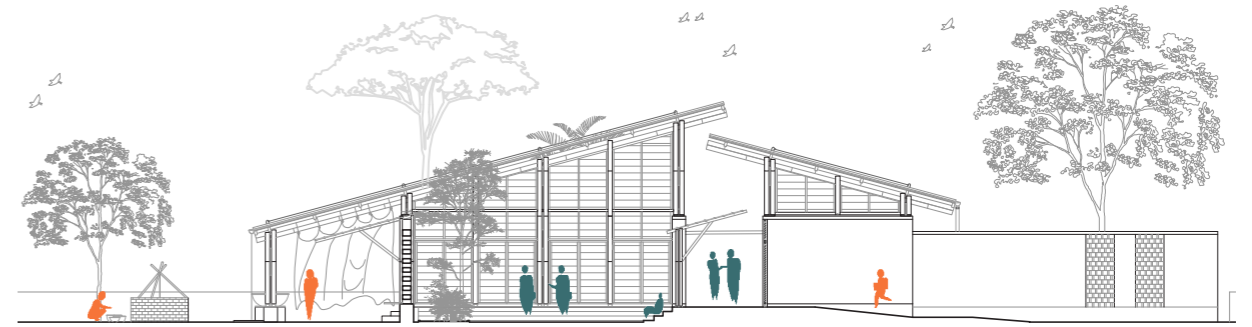


Figura 15

**Sezione CC'**

Il verde di progetto ●  
Scala 1:250



Figura 16







### Sezione tecnologica

Scala 1:50

1. Lamiera ondulata in acciaio zincato
2. Viti autofilettanti metalliche
3. Pannello isolante in argilla e lolla di riso
4. Struttura di supporto in legno sambra
5. Orditura secondaria in legno di palissandro
6. Fazzoletto in metallo inbullonato
7. Doppia orditura primaria in legno di palissandro
8. Elemento schermante in legno sambra
9. Pannello isolante in argilla e lolla di riso stabilizzato
10. Struttura di supporto in legno di palissandro
11. Pilastro in legno di palissandro
12. Linea vita in acciaio
13. Elemento di chiusura in stecche di bambù intrecciato e struttura in legno sambra
14. Pannello in legno di palissandro
15. Cordolo di chiusura in calcestruzzo
16. Gronda in lamiera
17. Infitto in legno sambra
18. Cordolo di supporto in cemento
19. Parete portante in terra battuta stabilizzata
20. Foglio di lamiera
21. Basamento in pietra locale e cemento
22. Strato in calcestruzzo
23. Pavimentazione in piastrelle rotte e limo
24. Strato in argilla e sabbia
25. Strato in terra battuta e ghiaia

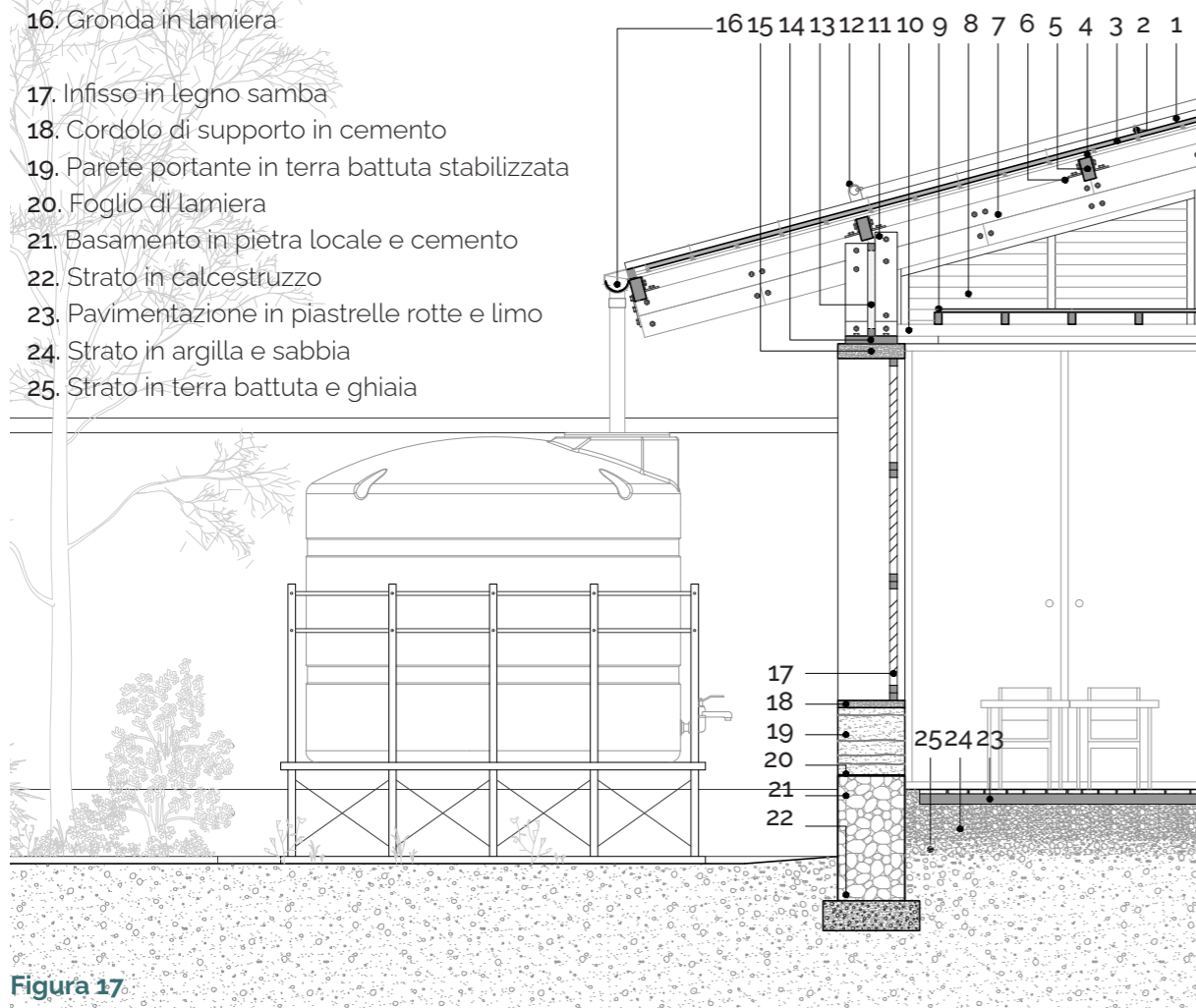


Figura 17

### Descrizione materica dell'edificio

Il complesso scolastico è costituito da **pareti portanti in terra battuta stabilizzata** con una ridotta percentuale di cemento. Le pareti portanti poggiano su un **basamento continuo in calcestruzzo** con aggregato costituito da pietre lateritiche.

Sul fronte Sud e in alcuni punti della recinzione, la terra compressa messa in opera con la tecnica del pisé è intervallata da **pareti in mattoni di argilla locale compressa**, stabilizzata con polvere di conchiglie.

Il solaio controterra rialzato di 50 cm è costituito da **terra pressata e ghiaia**, mentre lo strato superficiale è formato da una **miscela pressata di sabbia e limo** ed un rivestimento in **piastrelle rotte**.

Le pareti dei fronti Est-Ovest dei blocchi quadrati sono costituite da sistemi schermanti in **legno sambra**, così come le porte e le finestre dell'edificio. Le partizioni interne verticali che suddividono gli ambienti interni, sia nei blocchi aule che nei volumi quadrati, sono costituite da una struttura portante in **legno di palissandro** e pannelli di **argilla locale e bucce di riso**.

Le pareti perimetrali sono chiuse superiormente da un cordolo in **cemento** (Fig. 17).

### SISTEMA DI COPERTURA

I **sistemi di copertura monofalda**, che separatamente sottendono i singoli volumi, **sono discontinui, non isolati e ventilati**. Tutti i sistemi di copertura sono costituiti da una struttura portante in travi a sezione composta in **legno di palissandro locale**, incastrati e imbullonati ad un sistema di pilastri, anch'essi a sezione composta in legno di palissandro, che poggiano e si agganciano tramite piastre metalliche ai cordoli delle pareti perimetrali o direttamente alle fondazioni, in alcune zone continue ed in altre puntiformi.

La struttura del tetto separa nettamente l'elemento di chiusura interno dal rivestimento esterno; quest'ultimo è costituito da un rivestimento in **lamiera ondulata in acciaio zincato ed uno strato di argilla, bucce di riso e fibre naturali intrecciate**, mentre lo strato di chiusura interno, al di sopra degli spazi chiusi, è composto da una struttura portante in legno di palissandro che sorregge uno strato di pannelli di argilla e bucce di riso, stabilizzati con una ridotta percentuale di cemento.

L'intercapedine che si crea tra i due strati viene chiusa lateralmente da una rete in stecche di bambù incrociate e da sistemi schermanti in legno locale sambra.

La struttura secondaria di pannelli e legno sottende le aule scolastico, il modulo mensa ed il blocco servizi ad Est.

I sistemi di copertura che sottendono gli ambienti chiusi sono intervallati da strutture leggere in legno di palissandro e **stecche di bambù**, a copertura dei passaggi esterni dentro l'istituto scolastico e sul fronte Sud.

Le soluzioni progettuali applicate al sistema di copertura saranno indagate e presentate tramite lo Strumento di Supporto alla Progettazione.

L'obiettivo consiste nel testare il linguaggio costruito sull'iter metodologico. Questo significa che ogni scelta progettuale andrà a soddisfare bisogni specifici del territorio tramite strategie bioclimatiche, materiche e tecnologiche. Questo processo ha l'obiettivo di limitare e guidare gli interventi volti a migliorare le prestazioni del sistema di copertura.

### 3.3.2 SPAZI SALUBRI E COMFORTEVOLI

#### 1.A COMFORT TERMO-IGROMETRICO

Nel sistema edificio, le diverse unità tecnologiche operano in stretta collaborazione per garantire il rispetto dei requisiti di progetto. Per comprendere le funzioni assolute dal sistema edificio e di conseguenza il ruolo della copertura all'interno di questo sistema, per questa sezione si segue l'iter metodologico preliminare in **tre step**, proposto dallo SSP. Si riporta quindi la (Fig. 18), elaborata sui dati climatici della zona di Marsassoum.

Dopo aver riconosciuto la stagione delle piogge e dopo aver distribuito stagionalmente le tendenze delle variabili meteorologiche, è possibile **stabilire le funzioni bioclimatiche stagionali sulla distribuzione delle temperature e dell'umidità del diagramma psicrometrico**.

Si riporta di seguito le funzioni bioclimatiche stagionali e come il sistema edificio le garantisce. Per **"sistema edificio"** si intende **tutte le unità tecnologiche del complesso scolastico, escluso il sistema di copertura**, che verrà analizzato successivamente tramite le strategie bioclimatiche e le scelte materiche proposte dallo Strumento (Fig. 19).

#### ● Stagione secca

- *Ventilazione naturale permanente*

Il sistema edificio garantisce la **ventilazione trasversale** grazie alle aperture in linea delle classi. Questo sistema massimizza la velocità dell'aria interna sfruttando gli effetti del **flusso convogliato**<sup>13</sup>, direzionando le aperture verso i venti prevalenti, provenienti da Nord-Est. Le aperture sono formate da elementi schermanti con lamelle regolabili che, se direzionate verso il basso, producono un **flusso d'aria diffuso e diretto** verso i banchi degli studenti<sup>13</sup>. Rispetto al progetto proposto per il concorso, le aule sono state separate a coppie di due. Questa soluzione abbatta le temperature degli ambienti interni sfruttando i benefici dell'**effetto traccia**<sup>13</sup>, grazie al quale si creano delle **turbolenze ai lati dell'edificio**, su cui impatta la corrente d'aria.

I venti Harmattan che si registrano nella stagione secca, sono caldi in quanto provengono dal Sahara. Di conseguenza, la recinzione adotta il sistema di mattoni in argilla sfalsati in linea con le aperture delle aule per aumentare la permeabilità ai venti, in più, la **vegetazione** posta in corrispondenza delle

13 Salvatore De Pascalis, **Progettazione Bioclimatica**, D.Flaccovio, 2001, Palermo, pp 110, 76

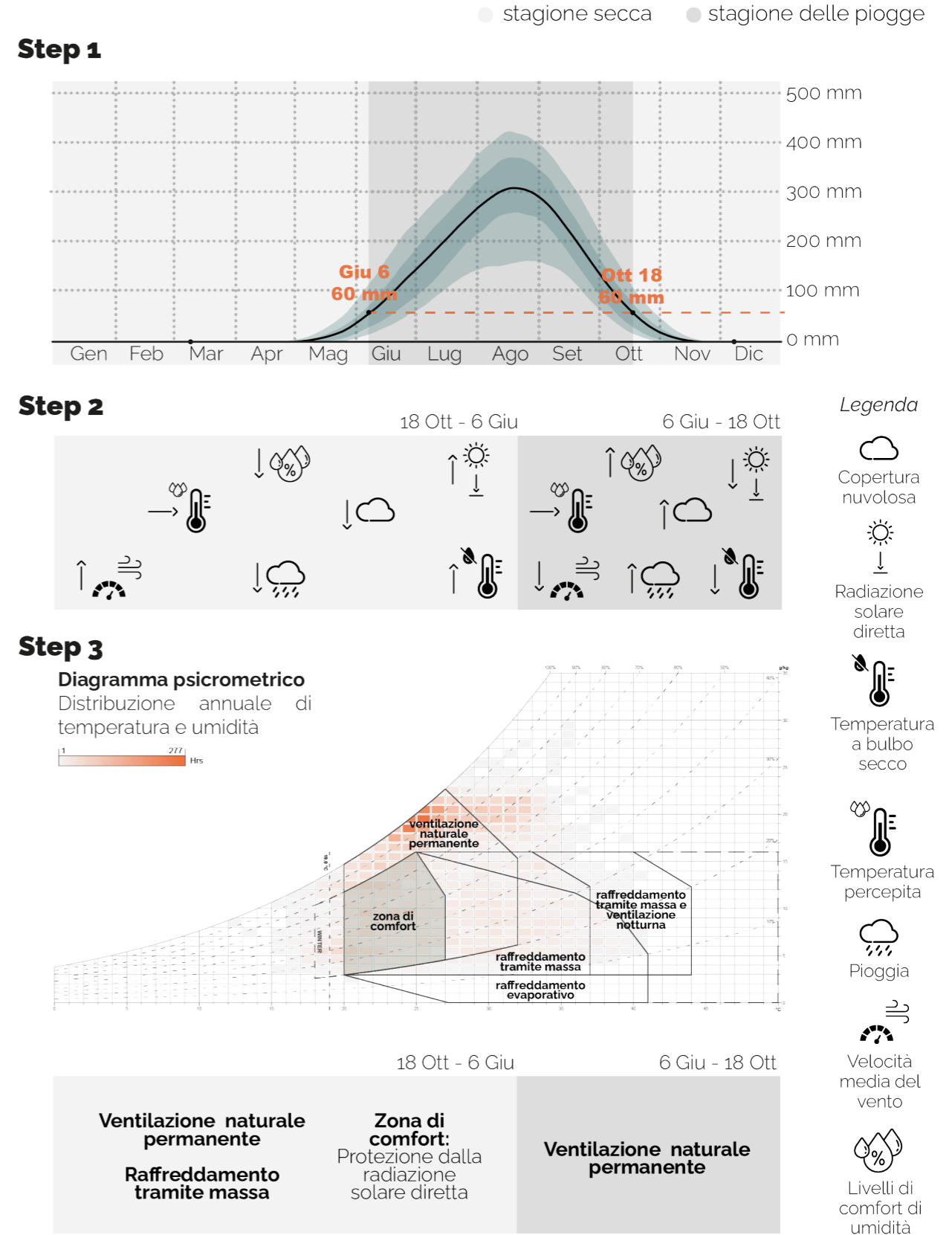


Figura 18: Iter metodologico preliminare con i dati di Marsassoum, Senegal; elaborato dalla tesista



aule aiuta a **massimizzare e raffrescare il flusso d'aria** all'interno degli ambienti. Questo effetto combinato aiuta ad abbattere le temperature interne delle aule durante l'anno scolastico.

Gli effetti positivi della ventilazione proveniente da Nord si distribuiscono anche nei blocchi quadrati grazie alle aperture in linea ed alle pareti in mattoni di argilla sul fronte Sud.

• *Raffreddamento tramite massa*

Nel contesto caldo umido della Casamance, come dimostrato dal diagramma psicrometrico, la funzione principale rimane la ventilazione naturale permanente; di conseguenza, si consigliano **edifici a bassa densità estremamente permeabili alle correnti d'aria**<sup>14</sup>.

Tuttavia, nella stagione secca, occorre garantire un **raffreddamento tramite massa termica**. Questa funzione viene assolta dalle pareti portanti in terra battuta delle aule e del prospetto Sud.

Le pareti portanti tendono a **schermare le alte temperature nelle ore più calde** e, per effetto dello **sfasamento termico**, rilasciano il calore accumulato durante il giorno nelle ore notturne. Ciò nonostante, le aperture delle aule e le pareti leggere Est-Ovest dei blocchi quadrati riducono gli effetti negati dello sfasamento termico. Questo significa che, essendo la scuola un edificio ad uso diurno, **il calore rilasciato dalle pareti durante la notte non si accumula negli ambienti interni, grazie all'estrema permeabilità dell'edificio**.

• *Zona di comfort: protezione dalla radiazione solare diretta*

La **protezione dalla radiazione solare**, per quanto riguarda i blocchi quadrati, è garantita sui **fronti Est ed Ovest** dalle **pareti frangisole**. Questa struttura schermante si attacca direttamente ai pilastri, alle pareti portanti ed al sistema di copertura e, grazie all'**inclinazione delle lamelle**, aiuta a schermare gli ambienti interni dalla radiazione solare diretta quando il sole sorge e tramonta.

Per quanto riguarda le aule, le pareti portanti in terra battuta assolvono questa funzione.

● **Stagione delle piogge**

• *Ventilazione naturale permanente*

**Nella stagione delle piogge, la velocità dell'aria diminuisce per effetto dell'umidità crescente**. Di conseguenza, **massimizzare la ventilazione naturale permanente in direzione dei Monsoni provenienti da Sud-Ovest** è fondamentale per ottimizzare il comfort termo-igrometrico.

Quando il vento proviene da Sud, la ventilazione è garantita dalle strategie presentate precedentemente per la stagione secca, mentre quando i venti provengono da Ovest, la ventilazione permanente è assicurata per i blocchi centrali dalle pareti frangisole. Le corti verdi che scandiscono orizzontalmente l'istituto scolastico, massimizzano il flusso d'aria e raffrescano le correnti calde prima che queste facciano il loro ingresso negli spazi interni.

Gli OUTPUTs sono riportati in **Figura 20**.

14 Victor Olyay, **Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico**, Franco Muzzio & c. editore, 1981

**Esploso  
assonometrico**

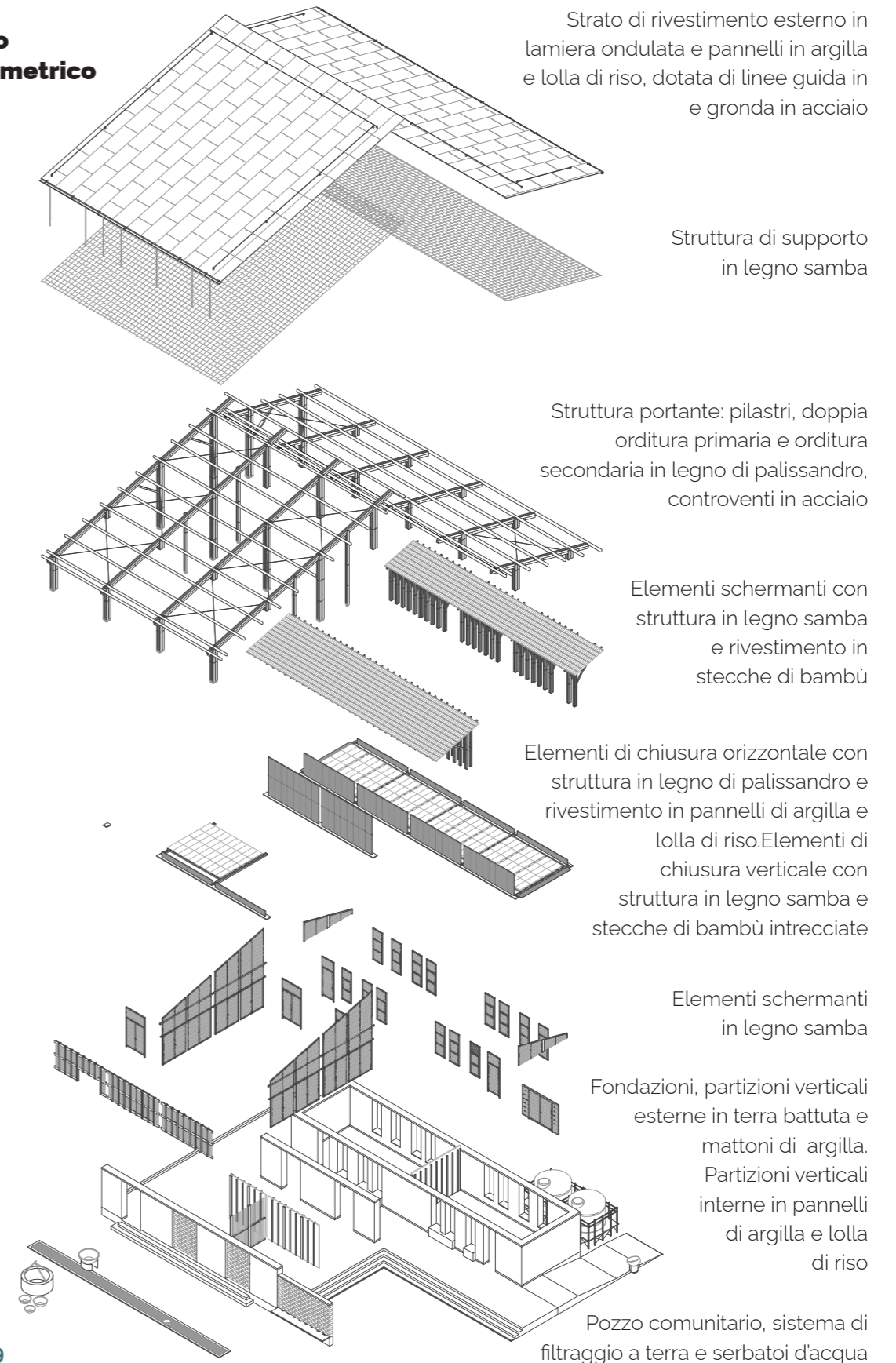
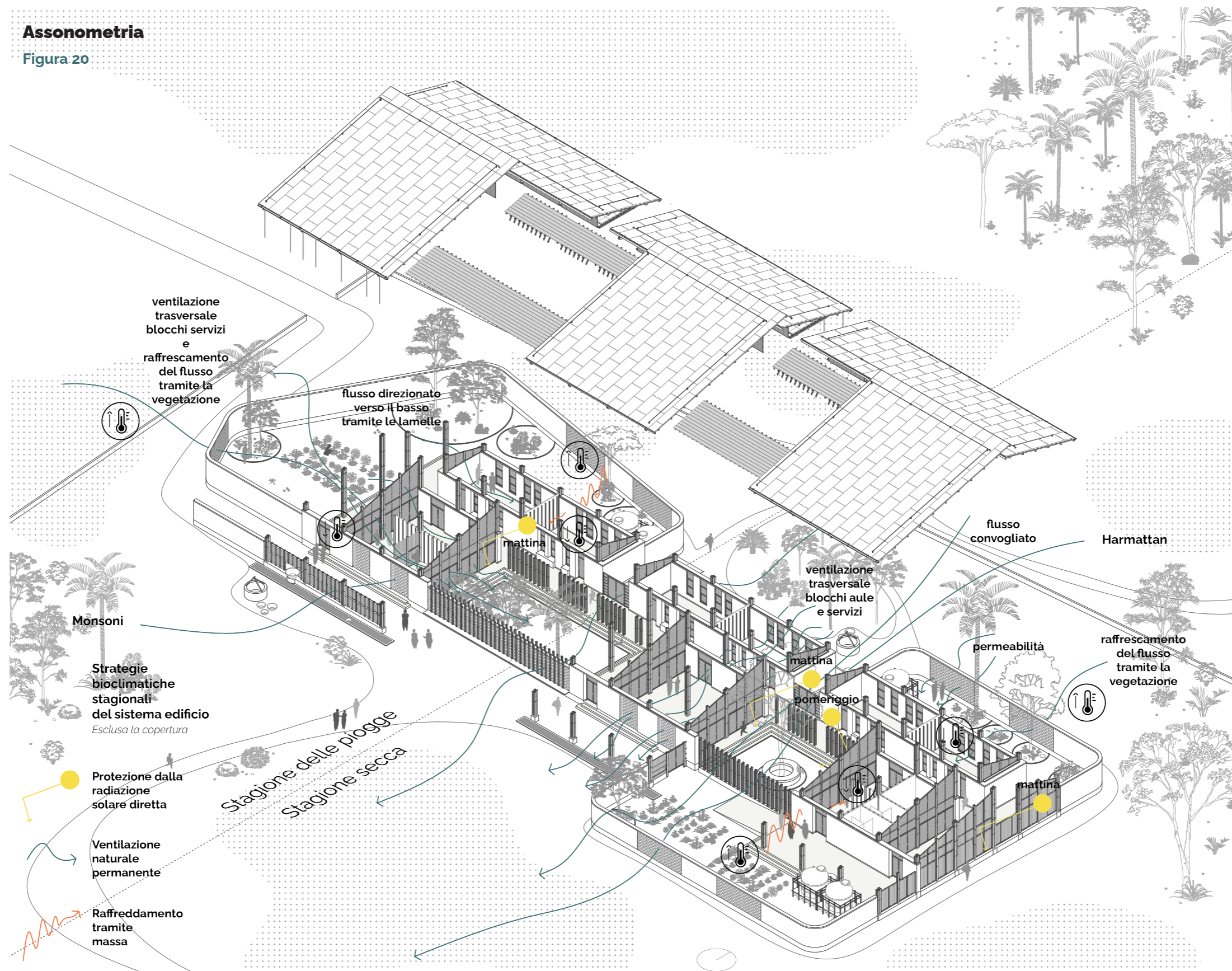


Figura 19



### Assonometria

Figura 20





■ **Strategie bioclimatiche: protezione dalla radiazione solare diretta**  
*Sistema di copertura*

L'orientamento, la forma e l'inclinazione dei sistemi di copertura sono stati studiati in funzione del percorso solare per **ridurre al minimo la radiazione solare diretta incidente**.

I tetti dei blocchi quadrati sono caratterizzati da un **profondo aggetto in direzione Sud**, che protegge le pareti in terra cruda dalla radiazione solare diretta e crea uno spazio aperto ombreggiato per gli utenti esterni alla scuola. L'aula polifunzionale ed il corpo mensa e cucina sono caratterizzati da un **profondo aggetto in direzione Ovest**, che riduce la radiazione solare incidente e la limita alle ore in cui tramonta il sole, mentre l'**aggetto Est** del blocco quadrato con la segreteria scherma la radiazione solare diretta nelle ore mattutine. I corpi aule, invece, sono costantemente schermati dalla radiazione solare diretta, sul lato Sud grazie alla struttura leggera in legno di palissandro e stecche di bambù e sul lato Nord dall'aggetto della copertura in lamiera.

In questo modo, gli effetti del raffrescamento per massa termica delle pareti in terra battuta si massimizza, perché ombreggiate nelle ore più calde della giornata.

L'inclinazione delle coperture dei volumi destinati a servizi non riduce il quantitativo di radiazione solare diretta incidente. Invece, **la falda inclinata a Nord delle aule riduce il quantitativo di radiazione solare incidente** durante il periodo scolastico. Inoltre, la falda dei blocchi destinati a servizi, più alta della falda dei volumi delle aule, ombreggia in parte i blocchi aula.

■ **Scelte materiche: capacità di riflettere la radiazione solare incidente**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

■ **Strategie bioclimatiche: tetti ventilati**  
*Sistema di copertura*

Il **rivestimento esterno in lamiera in acciaio zincato è caratterizzato da un alto albedo**. Questo significa che la radiazione solare diretta viene riflessa con una percentuale dell'85%.

Il metallo è un buon conduttore termico; di conseguenza, per ridurre gli effetti della trasmissione termica, l'intercapedine ventilata è caratterizzata da uno spessore che varia dai 2,5 m ai 0,5 m.

La forma del sistema di copertura è studiata per **massimizzare la ventilazione**. Infatti, l'intercapedine d'aria tra il rivestimento esterno e lo strato di chiusura consente di **sdoppiare il flusso d'aria**: l'aria fredda tenderà a passare trasversalmente negli ambienti interni, mentre i flussi d'aria calda tenderanno a passare dall'intercapedine del sistema di copertura. Nella stagione delle piogge, quando i venti provengono principalmente da Sud, l'**aria calda tenderà a passare dall'intercapedine ed a uscire nella zona sottovento** che si

crea **tra le due falde sfalsate**. Questo sistema riesce a mantenere quasi totalmente la velocità del flusso d'aria entrante.

■ **Scelte materiche: ridurre l'inerzia termica e la massa termica, valutare l'impiego di isolanti termici**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Elemento di chiusura*

Per ridurre gli effetti dello sfasamento termico delle pareti in terra battuta, l'elemento di chiusura del sistema di copertura non chiude totalmente gli ambienti interni, ma è rialzato dal cordolo delle pareti perimetrali di circa 15 cm. Le **aperture perimetrali garantiscono la fuoriuscita di aria calda grazie ai moti convettivi ascensionali**.

I **pannelli**, ideati con la collaborazione tra ARUP e TAMassociati<sup>15</sup>, presentano un **buon potere isolante**. Infatti, la miscela di argilla e bucce di riso inserita al di sotto della lamiera in copertura riesce a ridurre gli effetti della trasmissione del calore della lamiera, andando a ridurre la trasmissione di calore agli ambienti sottostanti. Inoltre, l'elemento di chiusura ulteriore, sempre in pannelli di **argilla** e bucce di riso, contribuisce a ridurre l'umidità degli ambienti interni grazie alle sue **proprietà igroscopiche**.

Gli OUTPUTs sono rappresentati in **Figura 21**.

**15 Material Playbook for community re-sourced insulation materials in emerging economies**, a research collaboration with TAMassociati and ARUP, 2019, pp 70





## 1.B QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

### ■ **Strategie bioclimatiche: favorire la ventilazione trasversale e facilitare i moti convettivi ascensionali e l'"effetto camino"**

*Sistema di copertura*

L'evacuazione dell'accumulo dell'anidride carbonica e la riduzione di fenomeni condensativi negli ambienti interni sono garantite dagli **effetti della ventilazione** descritti nell'indice precedente.

### ■ **Scelte materiche: materiali che non hanno un impatto nocivo sulla salute umana, resistenza agli agenti biologici**

*Sistema di copertura*

Gli elementi impiegati nel sistema di copertura non presentano colle o materiali che possono emettere composti organici volatili (VOC) durante la loro vita utile. I **materiali del sistema** di copertura **devono necessariamente resistere agli agenti biologici**. L'elemento di chiusura è costituito dalla **lolla di riso**, proveniente dalle piantagioni di riso abbondanti nella zona paludosa della Casamance e da **argilla nera locale**.

La **bucce di riso** sono scarti da lavorazioni agricole locali e resistono molto bene agli **attacchi degli insetti**, invece, l'**argilla nera locale**, ricca di sostanze organiche, potrebbe attrarre agenti biologici, muffe o funghi. Per questo motivo, i pannelli sono trattati con **oli naturali** e stabilizzati con una ridotta percentuale di cemento per ridurre la porosità. Il **legno di palissandro è estremamente duro** ed è l'unica specie legnosa proposta dal bando e rilevata sul territorio in grado di **resistere agli attacchi delle termiti e di altri insetti**. Per queste sue caratteristiche, è stato scelto per la funzione strutturale del sistema di copertura. La **lamiera**, invece, per sua natura, **resiste bene agli agenti biologici**.

### ■ **Soluzioni tecnologiche: protezione dell'intercapedine**

*Sistema di copertura*

L'intercapedine d'aria è protetta dall'intrusione di animali sia dai frangisole che da rete di stecche di bambù incrociate.

## 1.C ILLUMINAZIONE E COMFORT VISIVO

### ■ **Strategie bioclimatiche: massimizzare il contributo della luce diurna**

*Sistema di copertura*

Il comfort visivo legato alla protezione dalla radiazione solare diretta è riportato all'indice 1.A. Per quanto riguarda la radiazione solare diffusa, le fessure

date dall'**interruzione dei pannelli in argilla e le due falde sfalsate dei blocchi servizi ed aule, garantiscono l'ingresso di luce naturale diffusa**, favorendo il comfort visivo in tutti gli ambienti scolastici.

### ■ **Scelte materiche: alta riflettanza percentuale**

*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

Per **favorire il comfort visivo all'interno delle aule scolastiche**, è stata aumentata la **riflettanza percentuale** dei pannelli in argilla scura. Lo strato inferiore dei pannelli presenta una finitura superficiale a base di calce, caratterizzata da un **pigmento biancastro** ottenuto dalla **frantumazione e polverizzazione di conchiglie locali**.

## 1.D ACUSTICA E PROTEZIONE CONTRO IL RUMORE

### ■ **Scelte materiche: impiegare materiali fonoisolanti in copertura**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante*

### ■ **Strategie bioclimatiche: studiare gli effetti dell'intercapedine d'aria**

*Sistema di copertura*

### ■ **Strategie bioclimatiche/Scelte materiche: geometria e impiego di materiali fonoassorbenti sui soffitti**

*Elemento/Strato: Elemento di chiusura*

Il **pannello in bucce di riso ed argilla** ideato da TAMassociati ed ARUP mira ad integrare anche la **funzione di isolamento acustico**.

La sua posizione all'interno del progetto è orientata principalmente ad isolare acusticamente gli ambienti interni ed a ridurre la propagazione e la riflessione del rumore prodotto dal parlato. Gli ambienti scolastici che necessitano di isolamento acustico interno, volto a favorire il lavoro, la concentrazione e la privacy, sono: le aule scolastiche, la cucina, l'aula insegnanti, l'ufficio del preside ed i bagni.

La natura porosa del pannello, connessa alle proprietà fisiche dell'argilla, e la sua caratteristica isolante legata alle bucce di riso lo rendono un buon **materiale fonoassorbente**.

I pannelli in argilla e bucce di riso inseriti al di sotto della lamiera svolgono la funzione di strato antivibrante. Questi pannelli riducono la propagazione del rumore da impatto legato alle piogge. La posizione strategica all'interno del dettaglio tecnologico fa sì che i rumori non vengano trasmessi alla struttura portante, ma siano bloccati immediatamente al di sotto del rivestimento esterno in lamiera.

Gli OUTputs sono riportati in **Figura 22**.









### 3.3.3 SPAZI SICURI

#### Forma e struttura

Il sistema di copertura è caratterizzato da una **struttura bidimensionale monofalda**.

L'**orditura primaria** si compone di **travi in legno di palissandro a sezione composta** formate da due elementi più snelli laterali con lunghezza massima 1,5 m, accoppiati e sfalsati verticalmente e tenuti insieme da un blocco centrale più spesso, posto all'interruzione di ogni tavola. **Tutti gli elementi** che compongono la trave sono **imbullonati** tra loro e sono incastrati e imbullonati ai pilastri, anch'essi a sezione composta.

L'**orditura secondaria** delle aule, del blocco servizi ed Est e del modulo cucina è costituita da travi a **sezione piena**, composte quindi di un singolo elemento e giuntate insieme tramite bulloni passanti per **piastre di collegamento metalliche**.

La **struttura secondaria** che sorregge i pannelli in argilla e bucce di riso **contribuisce alla stabilità della struttura portante**. Anche in questo caso, l'orditura primaria è costituita da travi in palissandro a sezione composta con lunghezza massima di 2 m, costituita da due elementi giuntati insieme da un blocco e bulloni ad ogni interruzione. La struttura secondaria è costituita da elementi a sezione piena, connessi tramite piastre.

#### 2.A RESISTENZA AI CARICHI STATICI

- **Scelte materiche: Elevato limite di snervamento, adeguata rigidità, ridotto peso specifico, resistenza agli sforzi flessionali**

*Elemento/Strato: Struttura portante*

Il **legno di palissandro** utilizzato per la struttura portante appartiene alla specie endemica dell'Africa Occidentale *Pterocarpus erinacues*<sup>16</sup> e si classifica come legno duro. Le sue proprietà fisiche e meccaniche gli assicurano un **buon comportamento elastico** ed una **ridotta deformabilità**, rispetto agli altri legni proposti dal bando di concorso. Tuttavia, rispetto alle altre specie è caratterizzato da **elevata** pesantezza, dovuta alla sua **densità**, che si aggira intorno agli 800 kg/m<sup>3</sup><sup>16</sup>.

Per garantire resistenza agli sforzi flessionali, le tavole sono ottenute dalla **sezione radiale del tronco**, in questo modo, gli elementi ottenuti avranno una **buona resistenza a trazione e compressione // alle fibre**. Inoltre, data la ridotta dimensione degli elementi che compongono la trave, è possibile effettuare una selezione delle **tavole prive di nodi** per aumentarne la stabilità.

<sup>16</sup> Edward R. Rhodes e Hymood Naser, *Natural Resources Management and Biological Sciences, Chapter 16: Challenges of conservation and sustainable management of african rosewood in West Africa*, London, 2021 pp 289, 298

#### 2.B RESISTENZA E PROTEZIONE DAGLI AGENTI ATMOSFERICI

- **Strategie bioclimatiche: Resistenza all'azione del vento**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante*

Per contrastare l'azione del vento, sono stati inseriti dei **tiranti** ad X connessi alle travi principali in corrispondenza dei nodi trave-pilastro all'estremità Est ed Ovest di tutti i sistemi di copertura.

Per **evitare il sollevamento delle lastre in lamiera** in copertura, la posa dei fogli è direzionata nel senso opposto rispetto alla direzione dei Monsoni estivi provenienti da Ovest.

- **Scelte materiche: Resistenza agli urti da pioggia**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

- **Scelte materiche: Elevata tenuta all'acqua**

*Sistema di copertura*

I **fogli di lamiera in acciaio zincato** hanno una **buona resistenza agli urti** ed un'elevata tenuta all'acqua.

Gli altri materiali naturali scelti per il sistema di copertura presentano una ridotta tenuta all'acqua. Ciò nonostante, i pannelli in riso e argilla sono **stabilizzati con una ridotta percentuale di cemento**, che **migliora la resistenza agli agenti atmosferici**.

La struttura portante in legno di palissandro presenta una buona resistenza agli agenti atmosferici, data l'elevata densità del legno, che ne riduce i pori. Tuttavia, essendo un materiale naturale, il legno viene trattato con **oli naturali** che ne aumentano la resistenza agli agenti atmosferici.

- **Strategie bioclimatiche: pendenza della falda per il deflusso delle acque meteoriche**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno*

Nel contesto tropicale, la corretta pendenza della falda per il deflusso delle acque meteoriche è un requisito progettuale che ha guidato le modifiche al progetto presentato per il Concorso di Architettura Kaira Loro 2023. Tutte le falde dei sistemi di copertura, infatti, presentano una **pendenza di 15°**<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*, Roma, 2011

- **Strategie bioclimatiche: resistenza agli shock termici**

*Elemento/Strato: Rivestimento esterno + Struttura portante*

La resistenza agli shock termici è garantita dalle **connessioni meccaniche**, che assicurano una **tolleranza alla contrazione e dilatazione dei materiali**.

I fogli in lamiera sono fissati alla struttura di supporto tramite viti. I fori hanno un diametro maggiore di 2 cm rispetto a quello delle viti. Questo consente



alla lamiera di dilatarsi e di contrarsi.

Anche la **struttura portante è fissata tramite bulloni e piastre metalliche**. Nonostante il **palissandro** sia un legno duro ed abbia quindi un **ridotto coefficiente di dilatazione lineare**, rimane un materiale naturale soggetto a variazioni dimensionali; quindi i sistemi di collegamento a secco contribuiscono a migliorare la stabilità strutturale.

## 2.C SICUREZZA AL FUOCO

### ■ Soluzioni tecnologiche: compartimentazione Sistema di copertura

I **sistemi di copertura** ideati per il complesso scolastico sono **elementi separati ed indipendenti**. Questa soluzione progettuale potrebbe limitare i danni e **ridurre la velocità di propagazione** in caso di incendio.

### ■ Scelte materiche: reazione al fuoco Sistema di copertura

La **lamiera** ed i **pannelli** in argilla e riso sono materiali con una **buona reazione al fuoco** che non contribuiscono alla propagazione delle fiamme.

Invece, il **legno è materiale altamente infiammabile** che potrebbe mettere in pericolo l'incolumità degli occupanti.

Nel contesto di tesi, le **vernici ignifughe** sono disponibili come finiture a base di **olio ed acqua**. Una soluzione ignifuga economica può essere preparata da fosfato diammonico e solfato di ammonio di qualità fertilizzante<sup>17</sup>. Questa soluzione ritarda l'accensione e la propagazione delle fiamme.

Occorre specificare il **legno di palissandro** è un legno duro che presenta una **ridotta velocità di carbonizzazione**.

Le scelte progettuali sono state riportate schematicamente in **Figura 23**, mentre gli OUTPUTs sono riportati in **Figura 22**.

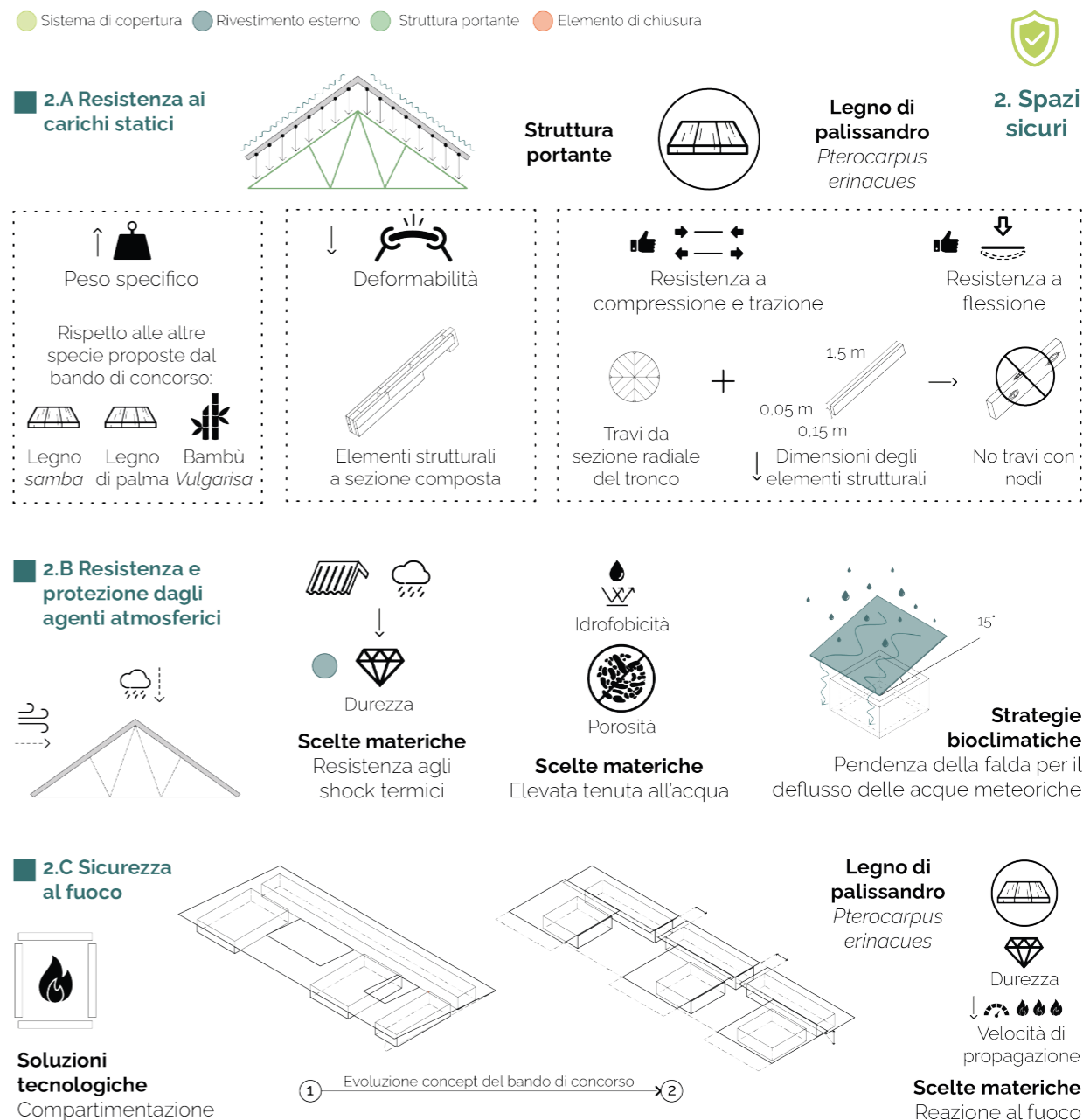


Figura 23







### 3.3.4 SALVAGUARDIA AMBIENTALE

#### 3.A FASE DEL PRODOTTO E FASE DI COSTRUZIONE

In questa fase, si procede riportando le caratteristiche riguardo i materiali principali impiegati per il sistema di copertura: la **lamiera ondulata in acciaio zincato**, il **legno di palissandro** ed i **pannelli in argilla e bucce di riso** (Fig. 25).

- **Embodied energy e embodied carbon**  
Sistema di copertura

La **lamiera ondulata in acciaio zincato** è una risorsa che presenta un'**alta impronta di carbonio e di energia**. Le emissioni legate a questo materiale dipendono principalmente dal processo di produzione.

Fatta eccezione per l'acciaio zincato, come dimostrato dai grafici riportati nel capitolo precedente, il **legno locale di palissandro**, il legno samba e l'**argilla** impiegata per il sistema di copertura sono **materiali eco-compatibili**.

- **Localizzazione e trasportabilità**  
Sistema di copertura

La **lamiera ondulata in acciaio zincato** è una **risorsa disponibile**, prodotta sul territorio nazionale<sup>18</sup> e **facilmente trasportabile** nella Casamance.

La lamiera viene prodotta nel Nord del Paese più industrializzato e distribuita su tutto il territorio del Senegal. Di conseguenza, è possibile trovarla nei market e trasportarla facilmente, grazie anche alle ridotte dimensioni delle lastre disponibili.

Il **legno di palissandro è una risorsa abbondante e disponibile localmente**. Tuttavia, la specie endemica è molto pregiata e per questo soggetta a traffico illegale. In particolare, la **tratta illegale** del legno si concentra al confine tra la Casamance ed il Gambia<sup>19</sup>, espandendosi anche con traffici intercontinentali verso l'Asia<sup>20</sup>.

Occorre puntualizzare che la *governance* delle risorse locali non è un aspetto che viene indagato nel contesto di tesi, inoltre, nell'analisi dei casi studio, si nota che nella **scuola secondario Cem Kamanar**, situata vicino alla cittadina di Bignona, si fa **uso di legno di palissandro locale** avvalendosi dell'aiuto e della disponibilità degli artigiani locali.

Quindi, si può affermare che gli elementi in legno di palissandro impiegati nel progetto provengono dalle **foreste locali** e possono essere facilmente trasportati date le ridotte dimensioni.

Le altre specie legnose sono state scartate perchè vulnerabili agli attacchi degli insetti<sup>18</sup>. Invece, le riserve locali di bambù stanno diminuendo e necessitano di autorizzazioni e procedimenti burocratici complessi per poter essere utilizzate<sup>18</sup>. Per questo motivo, la struttura portante del sistema di copertura impiegata nel progetto di concorso è stata sostituita con il legno di

palissandro nel progetto di tesi. L'**argilla e le bucce di riso**, data l'estrema vicinanza al fiume ed alle piantagioni di riso vicine<sup>21</sup>, sono **risorse altamente disponibili e trasportabili** anche senza l'ausilio di mezzi.

Occorre puntualizzare che la scelta dei materiali da costruzione e delle **tecnologie di progetto** mira a **ridurre la necessità di acqua**. **Nel contesto di tesi, l'acqua è una risorsa scarsa** che dovrebbe essere preservata per usi igienici, potabili e agricoli.

L'acqua sotterranea rilevata nel distretto di Sédhiou ha una buona qualità<sup>21</sup> tuttavia il suo impiego presuppone la disponibilità di mezzi pesanti per la realizzazione dello scavo e del pozzo. Invece, l'acqua del fiume Soungrougrou non è direttamente utilizzabile a causa del fenomeno di **intrusione salina** che affligge la rete idrogeologica della regione.

- **Lavorabilità**  
Sistema di copertura

Dato che le lastre in lamiera non dovranno subire modifiche dimensionali, si procede valutando la **lavorabilità del legno e dell'argilla**.

Il legno di palissandro è un legno duro che ha bisogno di strumenti affilati, quindi la sua **lavorazione** presuppone il **coinvolgimento di falegnami locali**, mentre l'**argilla locale presenta elevata plasticità ed elasticità**. Questa caratteristica la rende lavorabile per tutti gli eventuali volontari coinvolti nella fase di cantiere.

- **Compatibilità culturale**  
Sistema di copertura

La **compatibilità culturale** all'interno del progetto **guarda alle lavorazioni coinvolte nel processo costruttivo**. Le tecniche impiegate fanno riferimento all'**architettura vernacolare locale** ed all'**artigianato locale**.

La **zona di Sédhiou** ha una secolare **tradizione legata alla falegnameria** dovuta alle foreste sul territorio. Per questo motivo, per quasi tutti i villaggi e città della regione, si testimonia la presenza di almeno una figura professionale specializzata nella carpenteria.

La tradizione riguardo le **tecniche di lavorazione del palissandro** si specializza nell'intaglio di **mobili e piccole statue**. Ciò nonostante, l'associazione umanitaria Balou Salò testimonia la presenza di figure competenti per la realizzazione di travi per sistemi di copertura.

L'**architettura vernacolare locale** si lega indiscutibilmente ai **gruppi etnici presenti sul territorio**. Infatti, la popolazione è composta principalmente da Mandingo, Fulani, Balantes, Diolas, Mandiacks, Mancagnes, Wolof e Sérère<sup>21</sup>. Queste popolazioni hanno una lunga tradizione costruttiva legata alla terra. I **pannelli in argilla e bucce di riso** impiegati nel progetto sono caratterizzati da **lavorazioni analoghe alla tecnica del "wattle and daub"**, utilizzata per

<sup>21</sup> BRL ingénierie, *Final Report: Strategic Environmental and Social Assessment*, 2023

<sup>18</sup>Dispense offerte dall'associazione Balou Salò per la **partecipazione al Concorso di Architettura Kaira Loro 2023**

<sup>19</sup>Martin Evans, **Insecurity, Informal Trade and Timber Trafficking in the Gambia/Casamance Borderlands**, Journal of Borderlands Studies, 37:2, 273-294, 2022

<sup>20</sup><https://issafri-ca.org/iss-today/the-silent-destruction-of-senegal-last-forests> (ult. cons. 23/06/2024)

22 Pelmoine et al., *Ver-nacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choices*, Journal of Material Culture, 2020

23 *Material Playbook for community resourced insulation materials in emerging economies*, a research collaboration with TA-Massociati and ARUP, 2019, pp 70

la realizzazione di muri portanti<sup>22</sup>.

I **pannelli** sono realizzati all'interno di uno stampo in legno di scarto, utilizzato per la realizzazione dei basamenti dell'edificio. Prima di tutto, per evitare che il materiali si attacchi allo stampo e per aumentare la robustezza del pannello in caso di rottura, viene sistemato uno strato in fibre naturali intrecciate. Successivamente viene inserita una griglia in stecche di bambù di supporto, con diametro massimo di 12 mm. Dopodiché, si versa la miscela umida composta da 80% di argilla, 20% di limo, bucce di riso<sup>23</sup> ed una piccola percentuale di cemento per stabilizzare il pannello ed aumentarne la resistenza agli agenti atmosferici. Dopo averlo fatto essiccare all'ombra, il pannello è pronto per essere scasserato ed utilizzato.

Lo stesso procedimento avviene anche per lo strato inferiore alla lamiera in argilla e lolla di riso, solo che, in questo caso, lo stampo è costituito dalla lamiera stessa.

**Le tecniche di lavorazione impiegate per la realizzazione dei pannelli possono essere affiancate ad altre figure professionali locali.** Sul territorio si testimonia la presenza di **vasai**, abili nei lavori con l'argilla, e di **sarte**, qualificate nell'**arte dell'intreccio**, sia di tessuti che di fibre naturali.

Gli OUTputs sono riportati in **Figura 24**.

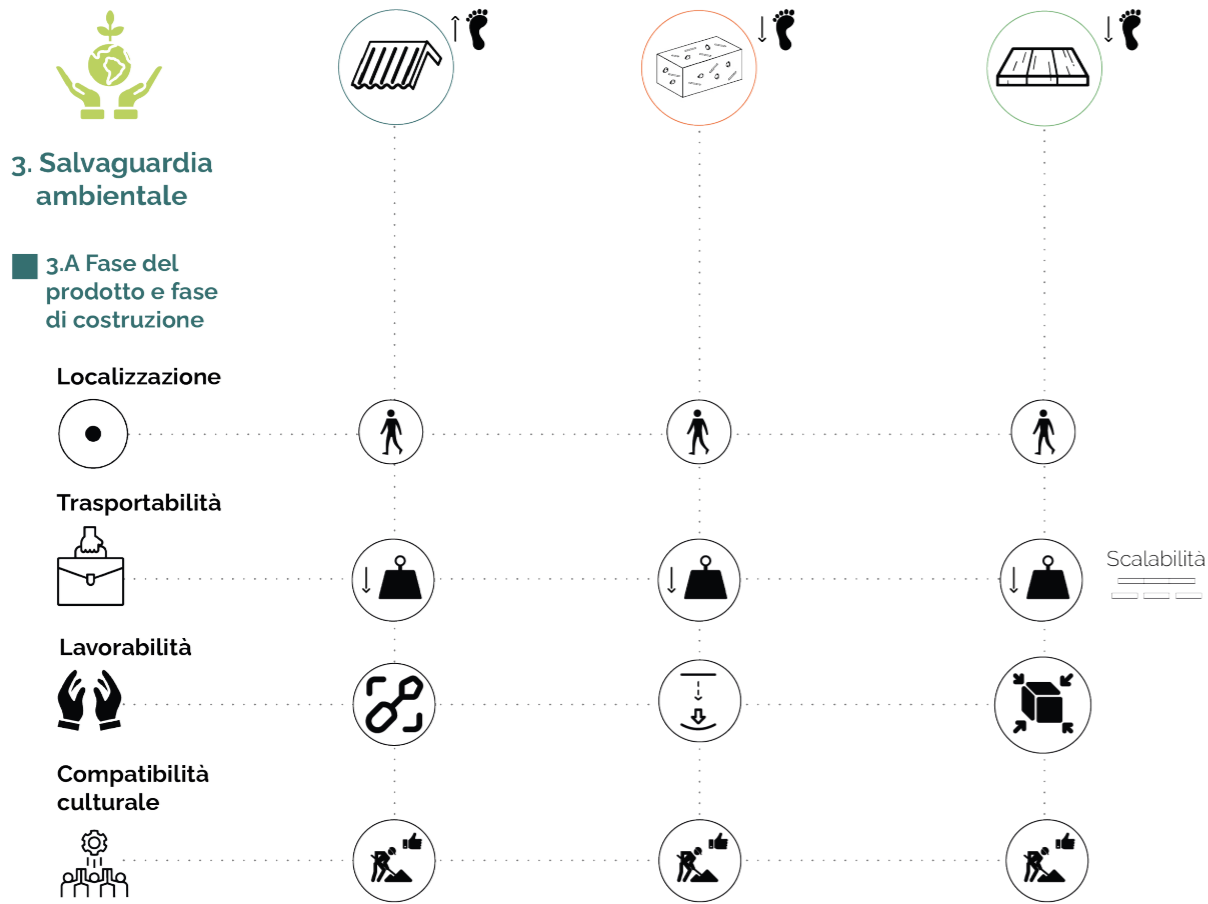


Figura 24

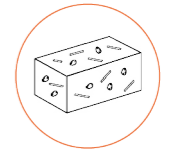
**Esploso assonometrico del sistema di copertura**

Elementi salvavita, gronda e catene in acciaio



Lamiera ondulata in acciaio

Struttura di supporto in legno samba



Struttura portante con tiranti in acciaio e nodi fondazione-pilastro in acciaio

Pannelli in argilla e lolla di riso

Elementi schermanti con struttura in legno samba e rivestimento in stecche di bambù



Elemento di chiusura in stecche di bambù intrecciato e struttura in legno samba

Legno di palissandro *Pterocarpus erinacues*

Figura 25



### 3.B MATERIALI: QUANTITÀ E VITA UTILE

#### ■ Soluzioni tecnologiche: controllo della forma e riduzione della massa strutturale

Elemento/Strato: Struttura portante

La **maglia spaziale a moduli quadrati** impostata per il progetto di tesi prevede una **luce massima di 4,5 m**. In questo modo, è stato possibile non ricorrere a capriate o strutture spaziali e quindi impostare una struttura portante con semplici travi.

Inoltre le **travi principali a sezione composta aiutano a ridurre la massa strutturale**, quindi il quantitativo di legno di palissandro nel progetto si riduce.

La modularità degli elementi che compongono il progetto segue le **dimensioni standard disponibili localmente**. Questo aspetto massimizza la sostituibilità degli elementi.

#### ■ Soluzioni tecnologiche: accessibilità e sicurezza

Sistema di copertura

Per **favorire l'accessibilità e facilitare la manutenzione delle componenti del sistema di copertura**, sono state adottate diverse soluzioni tecnologiche per il rivestimento esterno e per lo strato di chiusura in pannelli di argilla.

I **controsoffitti in pannelli di argilla** sono stati stabilizzati con una ridotta percentuale di cemento e sono sorretti da una struttura in legno di palissandro. La struttura portante e la resistenza a compressione del pannello lo rendono quindi **calpestabile e quindi manutenibile**. Per accedere all'intercapedine delle aule e del blocco servizi Est, è stato realizzato un **passaggio laterale**: uno dei moduli in stecche di bambù che costituiscono le chiusure verticali dell'intercapedine può essere temporaneamente rimosso.

Per quanto riguarda l'accessibilità delle falde esterne, data la pendenza della copertura, sono state progettate le **linee vita del sistema di copertura**. Le falde presentano dei punti di ancoraggio laterali continui fissati alla struttura portante della copertura<sup>24</sup> che collegato il manutentore al punto più alto della falda. Qui, parallelamente al colmo, corrono i punti di ancoraggio metallici a cui agganciarsi e connessi tramite tiranti metallici. Questo sistema migliora la sicurezza per la manutenzione del tetto.

#### ■ Scelte materiche: pulibilità

Sistema di copertura

La pendenza della falda assicura l'evacuazione delle acque meteoriche in copertura e quindi riduce l'eventuale accumulo di sporco sulla lamiera ondulata. Per quanto riguarda il **legno di palissandro**, la **superficie liscia e dura respinge lo sporco e le impurità**, richiedendo poche operazioni di pulizia per mantenerla in condizioni ottimali.

L'**argilla locale** è un materiale naturale altamente poroso che necessiterebbe di **pulizia frequente**. Lo **strato in argilla al di sotto della lamiera è protetto** superiormente dalle lastre in acciaio e inferiormente da uno strato di fibre naturali intrecciate che lo proteggono dallo sporco. Invece, i **pannelli sul controsoffitto** sono **stati stabilizzati con il cemento**, questo riduce la porosità del materiale e aumenta l'autopulibilità del materiale.

#### ■ Soluzioni tecnologiche: integrazione di materiali riciclati o scarti di altre lavorazioni

Elemento/Strato: Elemento di chiusura

Come già precedentemente anticipato, i pannelli in argilla integrano la **lolla di riso, scarto agricolo** per eccellenza nella zona della Casamance, per le sue proprietà isolanti. All'occorrenza, è possibile **sostituire** la buccia del riso con scarti provenienti da **altri sottoprodotti cerealicoli locali**<sup>21</sup>.

Le scelte progettuali sono riportate schematicamente in **Figura 26**.

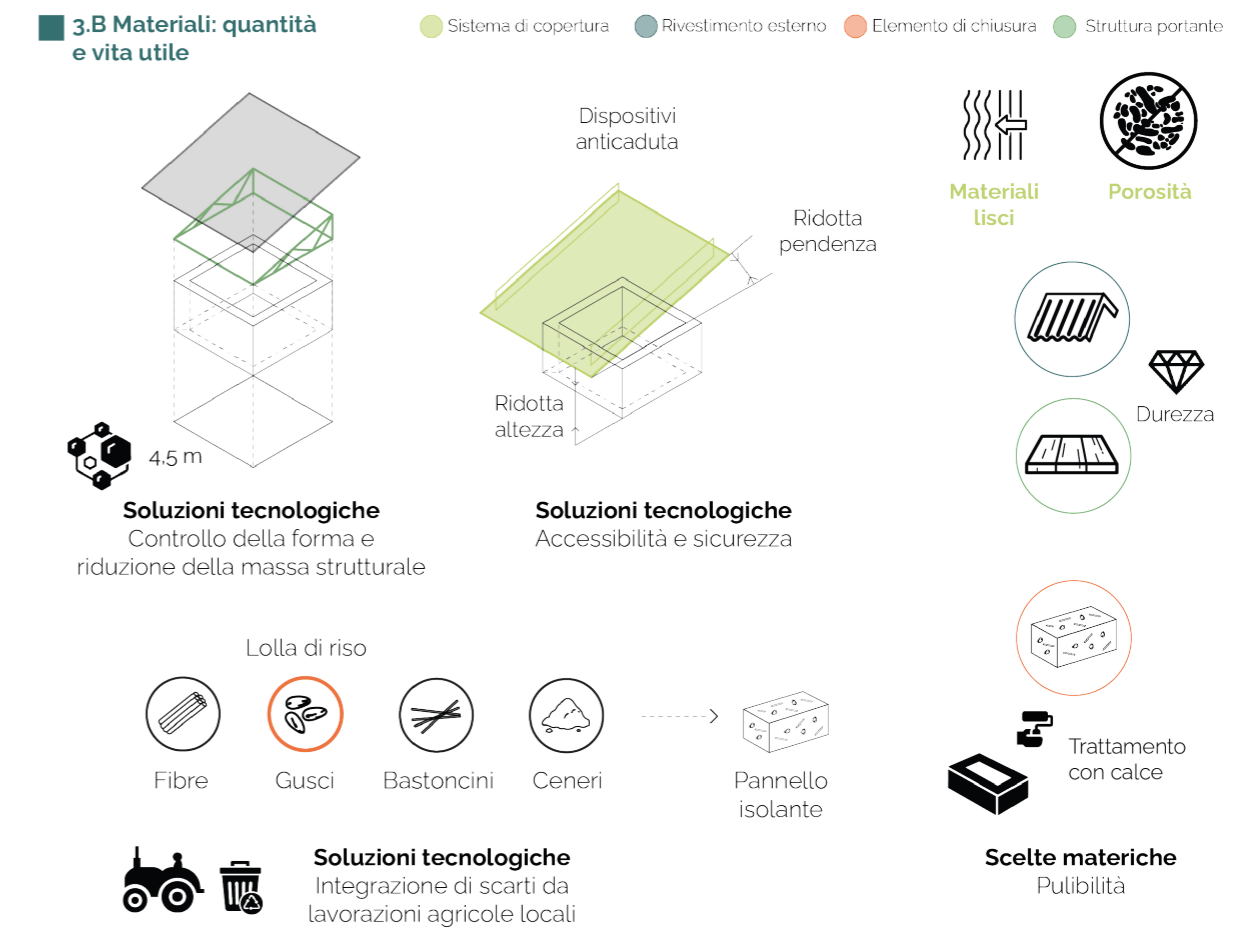


Figura 26

<sup>24</sup>L'ospedale pediatrico infantile realizzato da EMERGENCY a Entebbe, in Uganda, integra sistemi di caduta laterali per la sicurezza alla manutenzione. L'ospedale è frutto della collaborazione tra gli architetti Renzo Piano e TAMas-sociati. Fonte: Zintek S.r.l., *Monograph: Children Surgical Hospital, Entebbe-Uganda*, 2021, Venezia

### 3.C PROGETTARE AI FINI DI ADATTABILITÀ E RISTRUTTURAZIONE

#### ■ **Soluzioni tecnologiche: modularità, flessibilità spaziale e scalabilità**

*Sistema di copertura*

La **modularità e flessibilità di progetto** si ottiene dalla **maglia strutturale** e dall'**indipendenza che si instaura tra i volumi di progetto**.

Ogni spazio chiuso è sotteso da un proprio sistema di copertura che si innesta sulle pareti portanti e su pilastri in una maglia regolare. Questa caratteristica favorisce l'**espandibilità del complesso scolastico** e non impone combinazioni precise sulla disposizione dei volumi.

#### **Integrabilità dei servizi**

##### 1. Pannelli fotovoltaici

#### ■ **Strategie bioclimatiche: inclinazione e orientamento dei pannelli fotovoltaici**

*Sistema di copertura*

<sup>25</sup>[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (ult. cons. 24/06/2024)

In questa sezione, si riportano le **simulazioni del software PVGIS<sup>25</sup>** per verificare l'inclinazione e l'orientamento ottimale per massimizzare la produzione di energia elettrica, nel caso di integrazione di fonti di energia rinnovabili.

I dati specifici estratti dal software suggeriscono che nella zona di Marsasoum, l'inclinazione dei pannelli dovrebbe avere un angolo di 15° ed un orientamento con angolo azimutale di -4°. Le scelte progettuali sulla ventilazione e la raccolta delle acque meteoriche suggeriscono invece di orientare la scuola verso Sud-Ovest (**Allegato A**).

Per questo motivo, si decide di mantenere **l'orientamento Est-Ovest con angolo azimutale di 0°**. Dai valori riportati sui grafici si può osservare che la produzione elettrica diminuisce di soli 0,5 kW/h.

<sup>26</sup>Si assumono i fabbisogni stimati dalla fonte: Renée Serale, **Concorso di architettura umanitaria Kai-ra Looro 2023: applicazione di strategie bioclimatiche per la progettazione di una scuola elementare in Casamance (Senegal)**, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, Luglio 2023

Occorre considerare che i valori riportati nei grafici non tengono conto della variabilità della copertura nuvolosa, che aumenta in estate e diminuirebbe ulteriormente l'energia prodotta nella stagione delle piogge.

Nel progetto sono stati inseriti ipoteticamente 7 pannelli fotovoltaici<sup>26</sup>.

#### ■ **Scelte materiche: facilità di fissaggio**

*Sistema di copertura*

I **pannelli fotovoltaici** potrebbero essere fissati alla lamiera tramite una **struttura di supporto metallica**, costituita da due guide verticali poggiate sulla lamiera e imbullonate alle estremità alle travi secondarie in legno tramite elementi di collegamento metallici.

### 2. Utilizzo efficiente delle risorse idriche: sistema di raccolta delle acque meteoriche

#### ■ **Strategie bioclimatiche: inclinazione della falda in direzione dei venti prevalenti**

*Sistema di copertura*

#### ■ **Scelte materiche: alto coefficiente di deflusso**

*Sistema di copertura*

#### ■ **Soluzioni tecnologiche: premiare sistemi di raccolta aerei**

*Sistema di copertura*

La **raccolta** ed il **drenaggio delle acque meteoriche** hanno guidato le **scelte progettuali** riguardo l'inserimento di un **canale di gronda aereo** oppure un **sistema di raccolta o filtraggio a terra** (**Fig. 27**).

In base alla disposizione volumetrica ed alla distribuzione delle funzioni delle corti interne al complesso scolastico, si è deciso di inserire un **canale di gronda sulle coperture in prossimità dei serbatoi d'acqua** riportati all'interno del progetto. L'acqua raccolta dai due serbatoi<sup>27</sup> sul lato Sud-Est e Nord-Ovest sarà utilizzata per **irrigare i giardini e gli orti** e, all'occorrenza, per **usi igienici**, mentre la gronda al di sopra del singolo serbatoio nella corte Nord-Est verrà utilizzato per irrigare il giardino.

La gronda si appoggia ed attacca all'orditura secondaria della copertura tramite piastre metalliche e si collega ai serbatoi tramite tubi con flusso deviato verso le aperture superiori dei sistemi di raccolta.

Le **gronde** inserite sul lato Sud-Ovest e Nord presentano **più aperture con collegate catene che direzionano il flusso in canali di drenaggio a terra** riempiti di ghiaia.

In questo caso, il flusso viene deviato in direzione di due **pozzi esterni ad uso comunitario, connessi ad una cisterna di raccolta interrata**.

In corrispondenza degli ingressi principali alle aule, alla scuola ed alla mensa, sono stati inseriti **vasi in in terracotta** di produzione locale riempiti o tramite il flusso convogliato dalla catena nei giorni piovosi o tramite un rubinetto connesso al serbatoio di acqua.

Questo sistema **fornisce un servizio** e soddisfa il bisogno legato alla scarsità di **acqua per usi sanitari** agli utenti scolastici ed esterni alla scuola.

Per quanto riguarda le **corti interne chiuse**, è stato necessario dimensionare il limite del sistema di copertura delle falde quadrate sui sistemi di drenaggio in ghiaia che circondano il basamento della scuola. Questo sistema facilita la rapida **evacuazione** delle acque meteoriche nella stagione piovosa e riduce il rischio legato alle alluvioni, connesso anche alla ridotta permeabilità del terreno. La stessa soluzione è stata adottata anche per il tetto al di sopra dell'aula polifunzionale.

Gli OUpouts dell'indicatore 3.B e 3.C sono riportati in **Figura 28**.

<sup>27</sup>In base all'intensità delle precipitazioni e tramite lettura delle schede tecniche, si è deciso di inserire i **serbatoi di raccolta delle acque** riportati nella fonte: <https://enduramaxx.co.uk/enduramaxx/7000-litre-water-tank-non-potable/> (ult. cons. 15/05/2024)



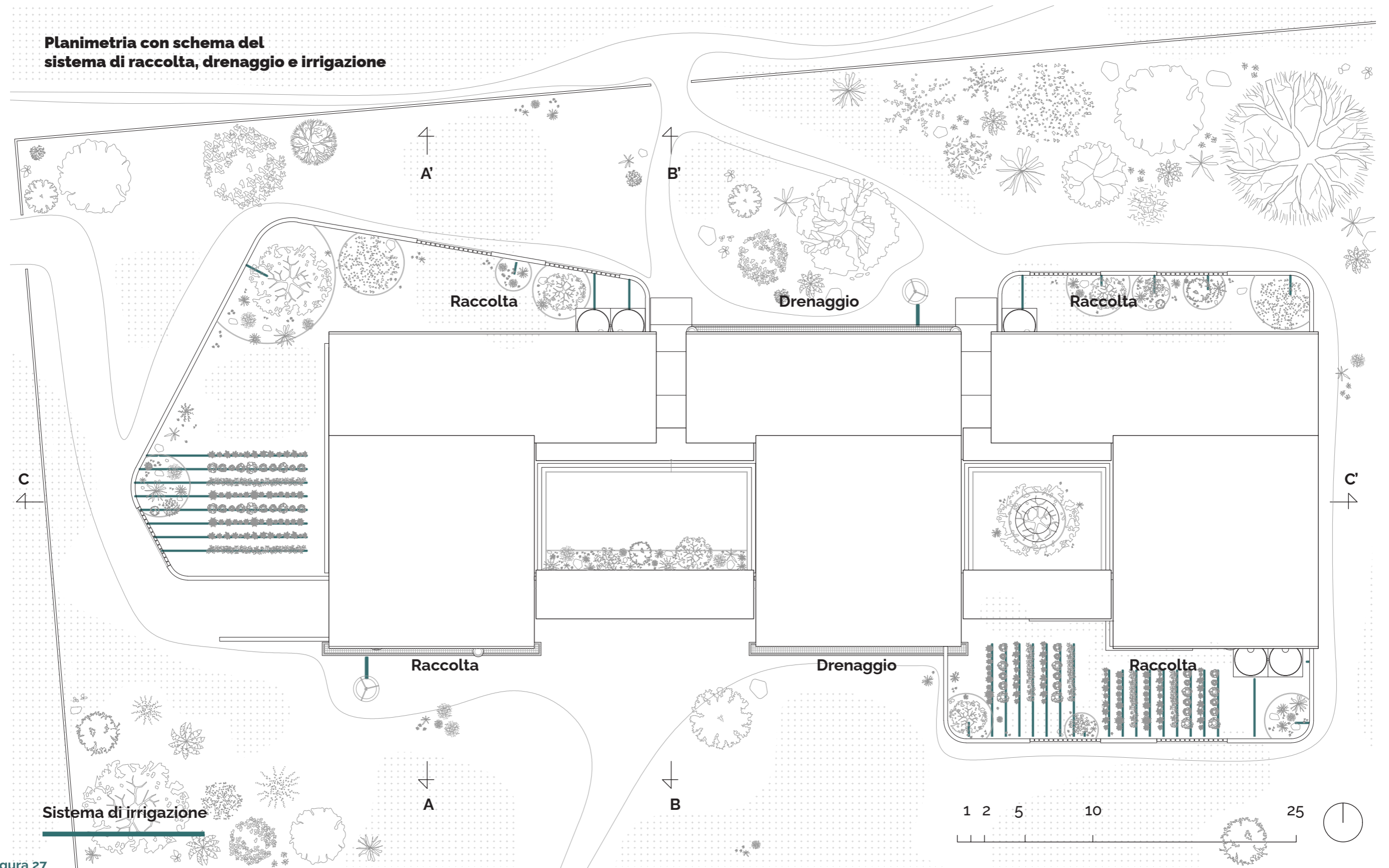


Figura 27

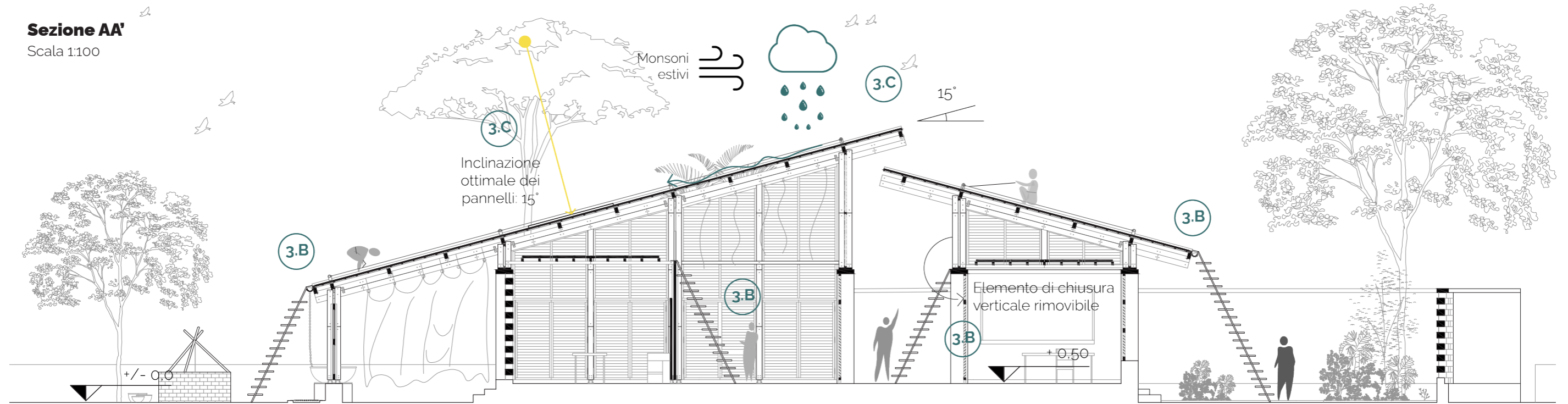


Figura 28



### 3.D PROGETTAZIONE A FINI DI SMANTELLAMENTO E RIUTILIZZO

L'ultimo indicatore dello Strumento di Supporto alla Progettazione si concentra sulle strategie riguardo il **disassemblaggio degli elementi che compongono il sistema di copertura**.

Considerare l'**edificio** come una **banca di risorse** massimizza la vita utile delle singole unità e flexibilizza il progetto in funzione delle necessità urgenti del territorio.

■ **Soluzioni tecnologiche: separabilità, connessioni meccaniche e reversibili**  
Sistema di copertura

Le soluzioni progettuali adottate per lo smantellamento ed il possibile riutilizzo delle unità che compongono il sistema di copertura sono riconducibili alla **modularità** ed alla **scalabilità dei singoli elementi** ed alla **tecnologia a secco** che li connette.

Le **lastre in lamiera** possono essere **facilmente smantellate e riutilizzate** per altre funzioni in quanto connesse con semplici bulloni alla struttura di supporto in legno. In più, per **facilitare il distacco dello strato in argilla e lolla di riso**, è stato inserito un **tessuto in fibre naturali intrecciate** tra la lamiera e lo strato in argilla. Evitando l'uso delle colle, è garantita la separabilità dei singoli strati.

Le **travi principali a sezione composta**, che coprono tutta la pendenza delle coperture quadrate, si interrompono in corrispondenza dei pilastri; quindi, nonostante possa sembrare un elemento unico, **la trave è componibile e quindi scomponibile in elementi lunghi quanto la campata libera**. Questo sistema favorisce la movimentazione manuale e facilita i processi di autocostruzione. Dato il pregio del legno di palissandro, è possibile recuperare i singoli elementi in legno e reimpiegarli in un ulteriore processo.

I pannelli in argilla e lolla di riso orizzontali possono essere separati dalla struttura in palissandro e riutilizzati per altri usi. Non è possibile ottenere un processo reversibile dei materiali utilizzati per la miscela.

**Tutti gli elementi sono connessi tra loro tramite bulloni e piastre metalliche**, che garantiscono la separabilità degli elementi di progetto.

Gli OUTPUTs dell'indicatore 3.D sono riportati negli schemi in **Figura 29**.

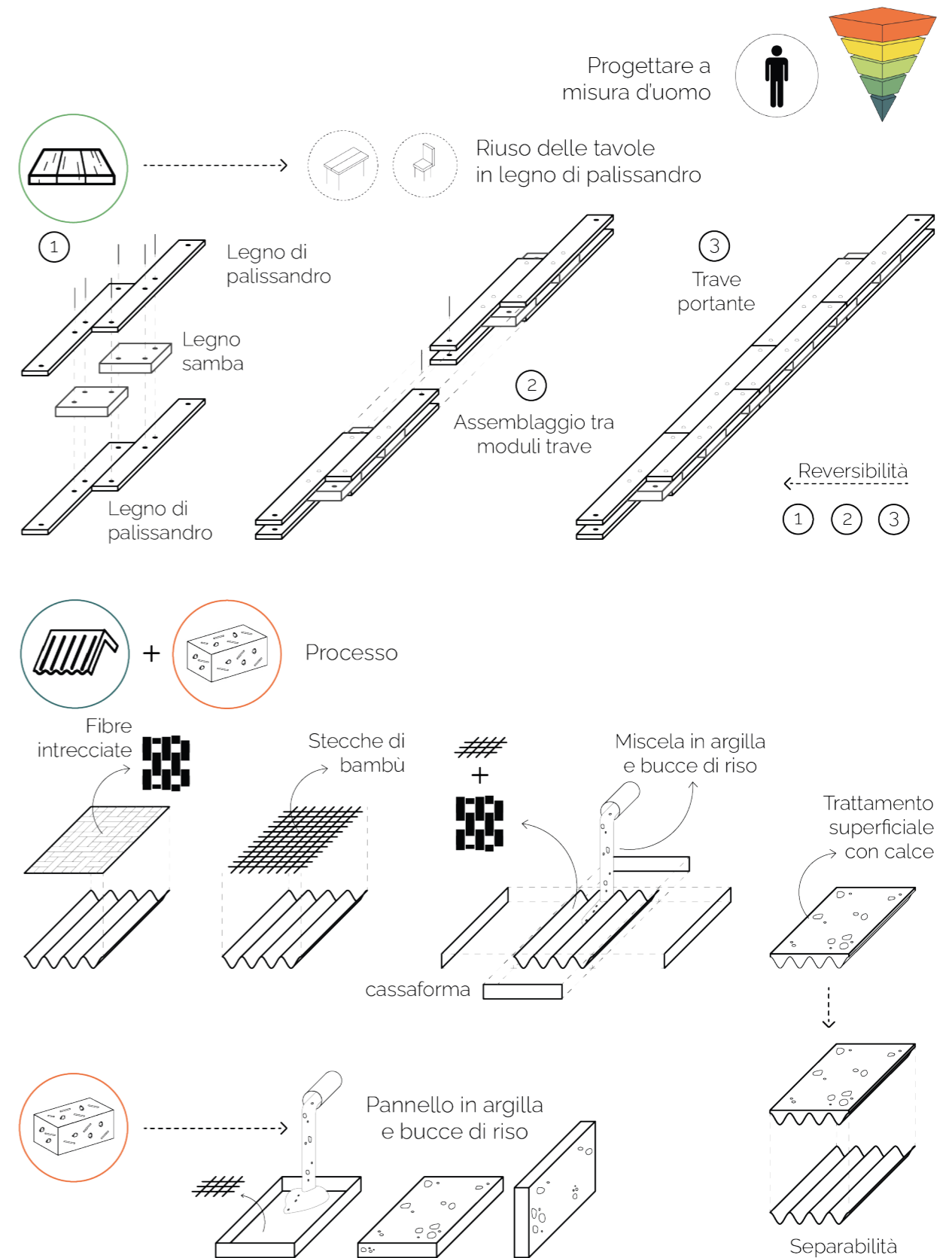
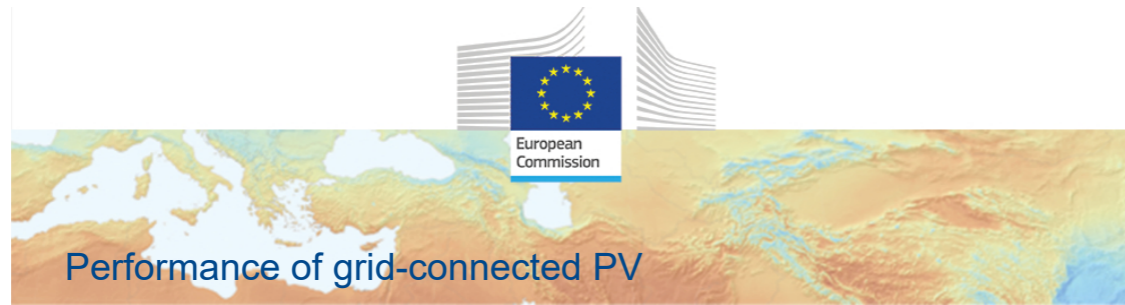


Figura 29

# ALLEGATO A

Simulazioni tramite software on line PVGIS  
link: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)



## PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

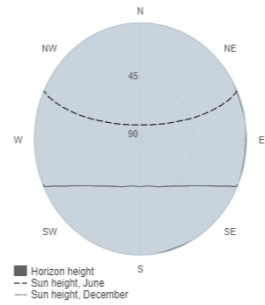
### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 12.829,-15.974  
Horizon: Calculated  
Database used: PVGIS-SARAH2  
PV technology: Crystalline silicon  
PV installed: 1 kWp  
System loss: 14 %

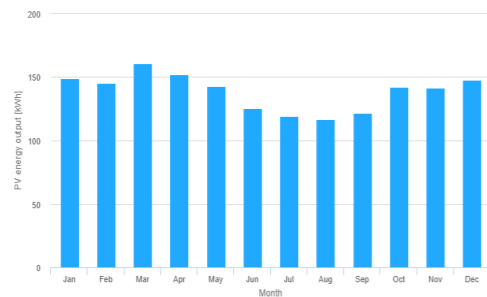
### Simulation outputs

Slope angle: 15 (opt) °  
Azimuth angle: -4 (opt) °  
Yearly PV energy production: 1665 kWh  
Yearly in-plane irradiation: 2280.93 kWh/m<sup>2</sup>  
Year-to-year variability: 25.25 kWh  
Changes in output due to:  
Angle of incidence: -2.62 %  
Spectral effects: 0.41 %  
Temperature and low irradiance: -13.19 %  
Total loss: -27 %

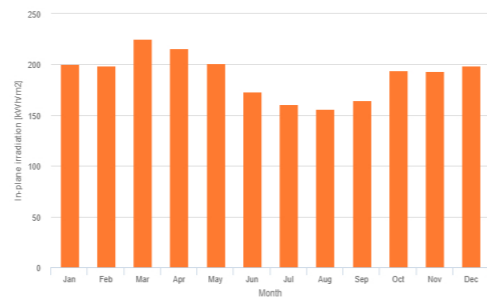
### Outline of horizon at chosen location:



## Monthly energy output from fix-angle PV system:



## Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



## Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	148.9	200.5	8.2
February	145.3	198.7	5.2
March	161.0	225.1	3.7
April	152.1	215.5	3.1
May	142.7	201.0	6.0
June	125.5	173.2	5.5
July	119.3	160.9	3.6
August	116.7	155.9	4.2
September	122.0	164.5	6.1
October	142.1	193.8	5.6
November	141.8	193.0	6.6
December	147.6	198.7	8.6

E\_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].  
H(i)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.  
It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.  
For more information, please visit [https://ec.europa.eu/info/legal-notice\\_en](https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en)

PVGIS ©European Union, 2001-2024.  
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2024/06/25



## PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

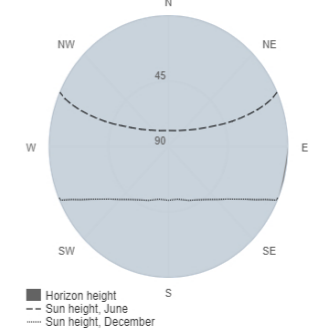
### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 12.829,-15.975  
Horizon: Calculated  
Database used: PVGIS-SARAH2  
PV technology: Crystalline silicon  
PV installed: 1 kWp  
System loss: 14 %

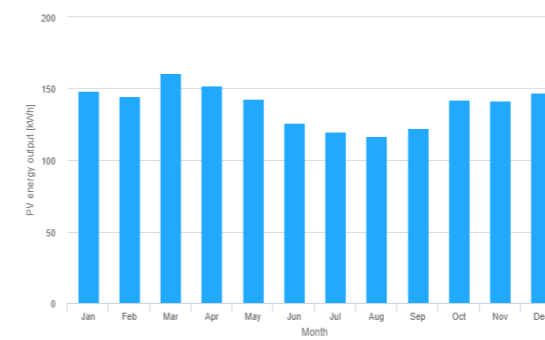
### Simulation outputs

Slope angle: 15 °  
Azimuth angle: 0 °  
Yearly PV energy production: 1664.82 kWh  
Yearly in-plane irradiation: 2281.05 kWh/m<sup>2</sup>  
Year-to-year variability: 24.88 kWh  
Changes in output due to:  
Angle of incidence: -2.62 %  
Spectral effects: 0.41 %  
Temperature and low irradiance: -13.2 %  
Total loss: -27.02 %

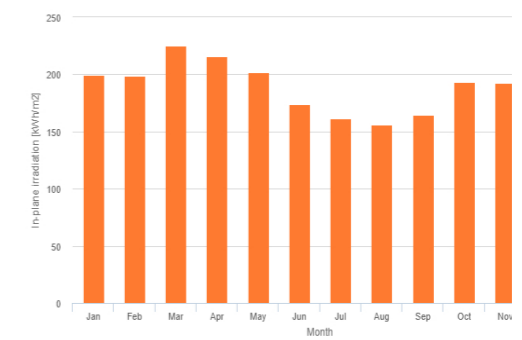
### Outline of horizon at chosen location



## Monthly energy output from fix-angle PV system:



## Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



## Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	148.4	199.9	8.1
February	145.0	198.4	5.1
March	160.9	225.1	3.8
April	152.3	215.9	3.1
May	143.2	201.6	6.0
June	125.9	173.8	5.6
July	119.6	161.3	3.7
August	116.8	156.1	4.2
September	122.1	164.6	6.1
October	142.0	193.7	5.5
November	141.5	192.6	6.6
December	147.1	198.1	8.6

E\_m: Average monthly electricity production from the defined system [kWh].  
H(i)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

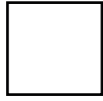
The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them. However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.  
It is our goal to minimise disruption caused by technical errors. However, some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.  
For more information, please visit [https://ec.europa.eu/info/legal-notice\\_en](https://ec.europa.eu/info/legal-notice_en)

PVGIS ©European Union, 2001-2024.  
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2024/06/25

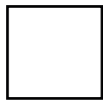






## BIBLIOGRAFIA

- Victor Olyay, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & c. editore, 1981
- Salvatore De Pascalis, *Progettazione Bioclimatica*, D.Flaccovio, 2001, Palermo
- Aïssatou Fall, *Understanding The Casamance Conflict: A Background*, Training for peace, KAIPTC MONOGRAPH No. 7; 2010
- Food and Agriculture of the United Nations (FAO), *Rural Structures in the Tropics. Design and development*, Roma, 2011
- Chavez et al., *A thermal assessment for an innovative passive cooling system designed for flat roofs in tropical climates*, Energy Procedia 91 (2016)
- *Material Playbook for community resourced insulation materials in emerging economies*, a research collaboration with TAMassociati and ARUP, 2019
- Pelmoine et al., *Vernacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choices*, Journal of Material Culture, 2020
- Nébié et al., *Food Security and climate shocks in Senegal: Who and where are the most vulnerable households?*, Global Food Security 29 (2021)
- Edward R. Rhodes e Hymood Naser, *Natural Resources Management and Biological Sciences, Chapter 16: Challenges of conservation and sustainable management of african rosewood in WEst Africa*, London, 2021
- Zintek S.r.l., *Monograph: Children Surgical Hospital. Enteebe - Uganda*, 2021, Venezia
- Martin Evans, *Insecurity, Informal Trade and Timber Trafficking in the Gambia/Casamance Borderlands*, Journal of Borderlands Studies, 37:2, 273-294, 2022
- Renée Serale, *Concorso di architettura umanitaria Kaira Looro 2023: applicazione di strategie bioclimatiche per la progettazione di una scuola elementare in Casamance (Senegal)*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il progetto sostenibile, Politecnico di Torino, Luglio 2023
- Eno-obong et al., *Evaluation of the effect of different conventional roof types and industrial activity on harvested rainwater in Southern Nigeria*, Discover Water, 2023
- BRL ingénierie, *Final Report: Strategic Environmental and Social Assessment*, 2023



## SITOGRAFIA

- <https://enduramaxx.co.uk/enduramaxx/7000-litre-water-tank-non-potable/> (ult. cons. 15/05/2024)
- <https://human-settlement.emergency.copernicus.eu/visualisation.php> (ult. cons. 20/06/2024)
- <https://www.balouosalo.com/> (ult. cons. 20/06/2024)
- <https://www.archstorming.com/info-lbms.html> (ult. cons. 20/06/2024)
- <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html> (ult. cons. 20/06/2024)
- [https://www.meteoblue.com/it/tempo/settimana/marsassoum\\_senegal\\_2248777](https://www.meteoblue.com/it/tempo/settimana/marsassoum_senegal_2248777) (ult. cons. 20/06/2024)
- <https://ophi.org.uk/publications/mpi-methodological-notes/> (ult. cons. 21/06/2024)
- <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/vulnerability> (ult. cons. 21/06/2024)
- <https://www.cnr.it/it/news/6489/acqua-e-societa-di-fronte-ai-cambiamenti-climatici-nel-bacino-della-casamance> (ult. cons. 22/06/2024)
- <https://issafrica.org/iss-today/the-silent-destruction-of-senegals-last-forests> (ult. cons. 23/06/2024)
- [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (ult. cons. 24/06/2024)

Il lavoro di tesi analizza come le **caratteristiche del contesto territoriale possano influenzare la pratica progettuale**.

Il progetto realizzato per il Concorso di Architettura Kaira Loro 2023 ha rappresentato un punto di partenza per riflettere ed avvicinarsi alle dinamiche del contesto tropicale rurale africano. In particolare, l'esercizio progettuale e l'analisi dello stato del costruito sono stati utili per focalizzare l'attenzione sui sistemi di coperture. **La scelta del tema di tesi deriva da un'analisi critica dello stato di fatto** e ha rappresentato un'occasione per lavorare sulle attuali trasformazioni del panorama edilizio. L'analisi dello stato dell'arte evidenzia come il **tema di tesi e gli aspetti prestazionali siano ancora scarsamente indagati nel contesto climatico di riferimento**.

Nella prima fase del lavoro di tesi, nasce l'esigenza di interconnettere le criticità di contesto tropicale rurale africano con il sistema di copertura. Ciò che si ottiene è una classificazione degli *hazards* naturali sui rischi per la salute, il benessere e la sicurezza degli occupanti e degli *hazards* antropogenici sui rischi legati alla sostenibilità ambientale, tutto questo in funzione dei mancati aspetti prestazionali dei sistemi di copertura con rivestimento in lamiera. Di conseguenza, il **risultato della ricerca sulle criticità** si esplica in un **cruscotto di aspetti legati alle prestazioni del sistema di copertura**, che si traduce in macro-obiettivi e indicatori nella fase successiva.

Tuttavia, il lavoro preliminare svolto sulle criticità di contesto non riesce ad elaborare un **iter metodologico per lo Strumento di Supporto alla Progettazione con il quale valutare e stabilire una classifica della gravità degli impatti** degli *hazards* naturali ed antropogenici. Questo limite è dovuto alla difficoltà nello stabilire un valore per i rischi climatici ed antropogenici, a causa della mancanza di dati quantitativi certi e validi sulla frequenza e sull'intensità dei danni nel contesto di riferimento. Di conseguenza, **lo strumento non aiuta a stabilire una priorità dei requisiti prestazionali dei sistemi di copertura, ma lascia libera scelta al progettista**.

Lo **SSP raggiunge lo scopo di tradurre le esigenze del contesto di ricerca in requisiti specifici prestazionali per il sistema di copertura**, tramite i macro-obiettivi e gli indicatori e le soluzioni tecnologiche, bioclimatiche e materiche, espresse in funzione dell'intero sistema di copertura o del singolo elemento tecnico che la compone.

La principale difficoltà nell'elaborazione della struttura dello SSP è stata quella di rispettare l'approccio olistico al tema della copertura e quindi di riuscire a clusterizzare e interconnettere i campi tematici affrontati nella prima fase di ricerca. L'affidabilità e la validità delle soluzioni proposte è garantita dalle fonti di riferimento assunte in fase di ricerca, che propongono soluzioni tipologiche per il contesto tropicale e rurale. Ciò nonostante, **manca una quantificazione dell'efficacia delle soluzioni proposte**, in quanto ci si limita a restituire soltanto informazioni qualitative.

Il lavoro sui casi studio aiuta, in primo luogo, a tradurre le soluzioni proposte dallo strumento in esempi concreti di buone e cattive pratiche all'interno del

## CONCLUSIONI



perimetro di ricerca.

L'**analisi delle trasformazioni progettuali nell'esperienza di Gando testimonia**, inoltre, **riscontri positivi sulla validità dello strumento**. Infatti, la valutazione cronologica tramite indicatori dei progetti realizzati nel complesso scolastico evidenzia come alcuni aspetti prestazionali, carenti nelle prime aule realizzate, sono stati poi corretti nel progetto di ampliamento degli ambienti scolastici costruiti successivamente.

Questo fatto conferma che lo **SSP può essere utile per valutare in fase preliminare le conseguenze positive o negative delle scelte progettuali** che il progettista desidera adottare.

La struttura dello Strumento di Supporto alla Progettazione e gli esempi pratici dei casi studio sono stati riutilizzati per la fase finale di tesi, volta a riprendere il progetto presentato per il concorso e modificarlo a monte del lavoro di ricerca.

Le **modifiche al progetto sono frutto di scelte progettuali personali, modulate sull'analisi delle criticità ed i bisogni del contesto specifico della Casamance**, in Senegal, e sulle soluzioni tipologiche proposte dallo strumento. Ciò che si ottiene è una visione chiara delle conseguenze prestazionali, positive e negative, di tali scelte. Anche in questo caso, il limite dell'efficacia delle modifiche apportate è dovuto alla natura qualitativa delle informazioni.

In conclusione, la fase di tesi ha rappresentato un'occasione per indagare un approccio progettuale basato sullo studio delle variabili climatiche e sulle capacità di un territorio, che mi ha aiutato ad **arricchire il bagaglio culturale e tecnico personale**.

Le prospettive proposte per il tema di tesi si concentrano sull'implementazione dello Strumento di Supporto alla Progettazione. Gli **sviluppi futuri** consistono nell'elaborare un iter metodologico con il quale applicare le soluzioni, quindi di riuscire a **stabilire una priorità delle soluzioni progettuali basata sulle criticità di contesto** e di **fissare dei range quantitativi per gli indicatori**, che validino l'efficacia delle singole soluzioni proposte.

## **GRAZIE A...**

A conclusione di questo elaborato, vorrei ringraziare le persone che mi hanno accompagnato nel percorso di studi, che ho intrapreso e portato a termine grazie al loro supporto.

Prima di tutto, vorrei citare il mio relatore Francesca De Filippi, che mi ha aiutato ed insegnato a interfacciarmi eticamente e praticamente al tema di tesi sulle risorse scarse. Ringrazio la mia correlatrice Simonetta Pagliolico per aver seguito il lavoro con interesse e per le sue correzioni puntuali e scrupolose. Il collaboratore Roberto Pennacchio, di cui ho apprezzato i consigli e gli spunti di riflessione che mi hanno indirizzato nel percorso di tesi.

Ringrazio la mia famiglia per l'appoggio costante, per avermi sostenuta nel mio cambio di rotta e per avermi lasciato libera di costruirmi sulle mie passioni ed interessi. Grazie per la fiducia in me in tutte quelle fasi di vita in cui si "ripassa dal via", il vostro supporto è un punto di partenza stabile e immutabile.

Un grazie a tutti i miei amici a Torino, con i quali ho ricreato una famiglia da fuori sede. Grazie per gli spaccati di vita che, negli ultimi tre anni, abbiamo condiviso a 360°, perché mi hanno aiutato quotidianamente ed emotivamente a concludere il percorso accademico.

A tutte quelle persone lontane a cui voglio bene e che mi vogliono bene, amici e familiari, a tutte quelle a casa mia, in Italia o nel mondo. Grazie per l'energia che mi avete trasmesso in presenza ed a distanza, perché mi ha incoraggiato a lavorare sempre con impegno e con uno scopo.

Grazie a tutti per il supporto pratico ed emotivo, perché sono riuscita a fare della mia passione per l'architettura prima un percorso di studi e in futuro un cammino professionale.





