



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BRESCIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
ARCHITETTURA, TERRITORIO, AMBIENTE E
MATEMATICA

*Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico
in Ingegneria Edile-Architettura*

Tesi di Laurea

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
SOSTENIBILE DI UN MODELLO DI SCUOLA
PRIMARIA PER LE AREE RURALI DEL SUD DEL
SENEGAL: TERANGA LO SPAZIO CHE UNISCE

Relatore: Prof.ssa Barbara Angi

Correlatori: Prof. Marco Preti
Ing. Elisa Masserdotti

Laureanda:
Sveva Brignani
Matricola n. 720233

Anno Accademico 2022/2023.

Indice

Introduzione.....	1
Capitolo 1 Analisi del contesto geografico, urbanistico, naturale, economico, sociale e culturale.....	4
1.1 Inquadramento geografico e urbanistico del Senegal	6
1.1.1 Servizi e mobilità	11
1.1.2 Contesto naturale.....	14
1.2 Quadro economico e politico	26
1.3 Storia e popoli	29
1.3.1 Quadro socio-economico	29
1.3.2 Etnie e struttura delle comunità locali.....	32
1.3.3 Religione	37
1.3.4 Storia	38
1.3.5 Lingua	42
1.4 Posizionamento del Paese rispetto ai “Sustainable Development Goals” (SDGs)	43
1.5 Sistema educativo.....	49
1.5.1 Sviluppo educativo in Africa: stato di fatto e prospettive.....	51
1.5.2 Situazione attuale in Senegal	59
Capitolo 2 L’habitat e le sue declinazioni: dalle culture indigene, ai CIAM, all’attualità.....	66

2.1	Tecnologie indigene	67
2.2	L'esperienza dei CIAM	94
2.2.1	Gli ultimi CIAM e il lavoro di Aldo Van Eyck	97
2.3	PREVI e Aravena: due progetti pioneristici nel Sud-America	103
2.3.1	Il progetto PREVI	103
2.3.2	L'intervento di Aravena a Iquique, Cile	107
2.4	UN-Habitat, gli interventi dell'ONU	110
2.4.1	Obiettivi generali.....	110
2.4.2	UN-Habitat in Senegal	112
Capitolo 3 Architettura bioclimatica ed efficienza energetica degli edifici in Senegal.....		115
3.1	Il clima.....	118
3.1.1	Il Clima in Senegal.....	118
3.1.2	Dati climatici specifici per la città di Kolda.....	124
3.2	Il comfort nelle zone tropicali	132
3.2.1	Il diagramma bioclimatico	133
3.2.2	Il comfort igrotermico	136
3.2.3	Gli altri comfort sensoriali e i parametri corrispondenti.....	142
3.3	Principi generali di progettazione	143
3.3.1	Disposizioni generali.....	147
3.3.2	Ventilazione e tenuta all'aria	160
Capitolo 4 Teranga: Analisi del caso studio		166

4.1	Suggerimenti progettuali.....	166
4.2	Il Concept	174
4.3	Morfologia ambiente e territorio	176
4.3.1	Il sito	176
4.3.2	Il paesaggio	177
4.4	Programma funzionale	179
4.4.1	L'orientamento	179
4.4.2	I confini	179
4.4.3	Funzioni	180
4.4.4	Gli Accessi	181
4.4.5	I percorsi.....	183
4.4.6	Masterplan di progetto	183
4.5	Progetto architettonico	184
4.5.1	Percezione e spazio	184
4.5.2	Parametri dimensionali.....	195
4.5.3	Sezione	197
4.6	Materiali, tecniche e fasi costruttive di progetto	199
4.6.1	Materiali utilizzati	200
4.6.2	Dal fango ai mattoni.....	213
4.7	Architettura bioclimatica nel caso studio	219
4.7.1	Architettura bioclimatica: applicazioni.....	219

4.7.2	Altri comfort sensoriali	224
4.8	Valutazione economica	226
Capitolo 5	Organizzazione strutturale.....	230
5.1	Quadro normativo di riferimento	230
5.2	Caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati	230
5.2.1	Legno.....	230
5.3	Azioni e carichi di progetto	235
5.3.1	Analisi dei carichi	239
5.3.2	Azione del vento	240
5.4	Descrizione dell'intervento strutturale	247
5.4.1	Descrizione generale	247
5.4.2	Predimensionamento e verifica elementi lignei	253
5.4.3	Verifiche travetti lignei	254
5.4.4	Predimensionamento e verifica travi in legno.....	260
5.4.5	Tirante	270
5.4.6	Verifiche pilastri in legno.....	271
5.5	Collegamenti	275
5.5.1	Collegamenti con viti	275
	Conclusioni e sviluppi futuri.....	281
	Appendice A. Il cambiamento climatico	291
A.1	Il cambiamento climatico in Senegal	292

A.2 I pericoli naturali	299
Appendice B. I materiali.....	302
Indice delle figure	ii
Indice delle tabelle	xxxi
Bibliografia.....	xxxiii
Bibliografia	xxxiii
Sitografia	xxxvii

Introduzione

«We can look to the past to design the future. Design needs to disrupt the neo-colonial approach to tackling climate change adaptation. Designers should argue for a rebuilding of knowledge through explorations of indigenous philosophies capable of generating new knowledge and dialogues to inform our thinking on sustainability and climate change».

WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, 2022

Senso di appartenenza, connessioni e comunità diventano all'interno di *Teranga* i principi guida per il naturale processo di sviluppo e apprendimento dei bambini nelle aree rurali del Senegal. La scuola supera lo *status* di luogo prettamente scolastico e diventa un'infrastruttura sociale in grado di garantire un'educazione multidisciplinare, capace di adattarsi e svilupparsi all'interno del contesto rurale del sud del Paese. È un luogo di aggregazione e di unità, uno spazio vitale di cui l'intera comunità può beneficiare e in cui può riconoscersi. Un luogo unico e simbolico, ma al tempo stesso semplice, in cui ogni bambino può rispecchiarsi e iniziare a costruire il proprio futuro.

Il risultato del lavoro, oggetto della presente tesi, è stato presentato in occasione del concorso internazionale di architettura *Kaira Looro – Primary School in Africa* che ha proposto la progettazione di un modello architettonico di scuola elementare nel contesto rurale del sud del Senegal che potesse innalzare il livello dell'istruzione dei minori, assicurare il diritto allo studio e alla salute e porre tutti nelle condizioni psico-fisiche e sanitarie migliori per sviluppare le potenzialità di ciascun soggetto.¹

Gli obiettivi manifestati dai curatori e perseguiti all'interno della fase progettuale sono stati:

- la facilità realizzativa tramite tecnologie sostenibili e adattabili all'autocostruzione, che pertanto non richiedono l'uso di mezzi pesanti e attrezzature complesse;
- l'uso di materiali naturali e/o di riciclo, disponibili sul territorio, in modo da limitare l'impatto economico-ambientale e generare redditività sul territorio stesso;

¹ KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022 p. 18 [PDF file].

- il corretto inserimento paesaggistico all'interno di un contesto rurale.



Figura 0.1: Copertina del progetto presentato in sede del concorso internazionale di architettura Kaira Looro dal gruppo composto da Sveva Brignani e Matteo Rota.

La tesi è volta a ripercorre il lavoro di ricerca svolto per arrivare alla definizione del progetto *Teranga*, con l'obiettivo di sottolineare le motivazioni che hanno portato alla definizione di determinate scelte progettuali.

Entrando nello specifico della ricerca, in un primo capitolo si delineerà il contesto geografico, urbanistico, naturale, economico, sociale e culturale in cui viene a localizzarsi l'intervento. Questo permetterà di ottenere una visione il più possibile completa e integrata dell'ambito africano, con particolare attenzione alla situazione specifica del Senegal. La descrizione di questi fattori critici e dei valori che influenzano le condizioni dell'intervento è fondamentale per comprendere la totalità della realtà locale e le sfide che si presentano.

Nel secondo capitolo, verranno esaminati gli studi su un argomento di grande importanza per l'architettura, ovvero *l'habitat* umano. Una tematica cruciale che ha suscitato interesse

in ogni periodo storico, pertanto, si analizzerà il suo sviluppo, partendo dalle antiche tecniche indigene, passando alle discussioni del secolo scorso all'interno dei CIAM e arrivando fino all'attualità. Queste ricerche ci consentiranno di approfondire aspetti fondamentali del processo di progettazione, come l'autocostruzione, la creazione del senso di appartenenza tra gli utenti e la simbiosi con l'ambiente in cui si progetta.

Successivamente, si affronteranno tematiche riguardanti il clima, l'architettura bioclimatica e il *comfort* nelle zone tropicali. Saranno poi analizzati i principi fondamentali di progettazione che consentono di adattare l'edificio alle specifiche condizioni climatiche della regione. In particolare, si studieranno le caratteristiche del clima nelle zone tropicali, in termini di temperatura e precipitazioni e verranno esplorate le strategie bioclimatiche che consentono di sfruttare al meglio le risorse naturali, riducendo al contempo l'impatto ambientale e migliorando il *comfort* degli occupanti.

Si procederà poi alla definizione del caso studio, restituendo planimetrie, prospetti e riflessioni che hanno portato allo sviluppo del progetto.

Infine, nell'ultimo capitolo si restituirà una definizione preliminare degli elementi strutturali di progetto, esplicitando le scelte che hanno condotto a tale conformazione statica.

Per concludere si evidenzieranno le conseguenze sugli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e gli sviluppi futuri di tale prototipo all'interno del contesto mondiale, sottolineando la natura flessibile e facilmente adattabile del progetto.

In aggiunta, in una prima appendice si delineano le modalità con cui il cambiamento climatico si sta manifestando in Senegal, mentre in una seconda si riportano tutti i materiali da costruzione presenti nell'area d'intervento.

Capitolo 1

Analisi del contesto geografico, urbanistico, naturale, economico, sociale e culturale.

Nel presente capitolo, verrà presentato il contesto geografico, urbanistico, naturale, economico, sociale e culturale al fine di inquadrare le condizioni in cui il progetto viene sviluppato. Si mostreranno tutti quegli elementi che si sono ritenuti importanti e necessari per la comprensione dell'area d'interesse, partendo da un quadro più generale riguardante l'intera Nazione ed entrando progressivamente nel dettaglio, prima nel Senegal, successivamente in Casamance, area meridionale del Paese, e infine nel villaggio di Sine Bilali, situato nei pressi della città di Kolda.

Verranno analizzati gli aspetti geografici, come la posizione del Senegal nel continente africano e più nello specifico dell'area di progetto, il paesaggio e le risorse naturali disponibili, evidenziando tutti quegli aspetti legati al contesto naturale, tra cui l'orografia, l'idrologia, la flora e la fauna, le aree protette e il suolo. Mentre l'analisi urbanistica esplorerà l'organizzazione amministrativa dello Stato, le caratteristiche delle città e dei centri abitati, la distribuzione della popolazione e delle infrastrutture, fornendo una prospettiva sulla struttura urbana e sull'accessibilità ai servizi.

Il quadro economico prenderà in considerazione indici come HDI² e GNI³ per capita, le principali attività economiche, il tasso di disoccupazione e altre informazioni rilevanti riguardanti il sistema economico del Paese.

Successivamente si concentrerà sugli aspetti sociali, come le dinamiche demografiche e i flussi migratori, proseguendo poi con gli elementi culturali e tradizionali che distinguono l'identità del Senegal, incluse le etnie, i costumi, la storia, le pratiche religiose e le lingue parlate.

² Human Development Index.

³ Gross National Income per capita.

Nel quinto paragrafo si analizzerà il posizionamento del Paese rispetto ai *Sustainable Development Goals* (SDGs), ripercorrendo i progressi conseguiti verso la realizzazione dei 17 obiettivi.

Nel paragrafo finale del primo capitolo di ricerca, si svolgerà un'analisi approfondita del sistema educativo africano, concentrandosi in particolare sulla situazione specifica del sistema educativo senegalese e, infine, sull'area d'intervento individuata per il progetto. L'analisi del sistema educativo africano includerà una panoramica delle principali caratteristiche e sfide generali che affronta il continente nel campo dell'istruzione. Saranno prese in considerazione statistiche riguardanti la scolarizzazione, il tasso di alfabetizzazione, l'accesso all'istruzione, i livelli d'istruzione raggiunti e altre informazioni pertinenti. Successivamente, l'attenzione si sposterà sul sistema educativo senegalese, in cui saranno analizzate le politiche e le riforme adottate dal governo nel settore dell'istruzione, la struttura del sistema scolastico e le risorse disponibili per l'istruzione. Infine, verrà dedicata un'analisi specifica all'area d'intervento del progetto. Saranno esaminati gli aspetti educativi dell'area, inclusi la qualità dell'infrastruttura scolastica, le sfide locali legate all'istruzione e le opportunità di miglioramento. Quest'ultima sezione del capitolo fornirà una prospettiva dettagliata sulla situazione educativa nell'area d'intervento, consentendo una comprensione completa dei bisogni, delle carenze e delle potenzialità in termini di istruzione.

Tutte queste informazioni saranno essenziali per fornire un quadro approfondito dell'ambito africano in cui si svolgerà l'intervento, offrendo al lettore una base solida per comprendere le opportunità e le sfide che si presentano nel contesto senegalese.

1.1 Inquadramento geografico e urbanistico del Senegal

Il Senegal è uno Stato dell’Africa nord-occidentale, si trova tra i 12° 20’ e i 16° 42’ di latitudine nord e gli 11° 30’ e i 17° 30’ di longitudine ovest, comprendo un’area di 196722⁴ km².

Il fiume Senegal costituisce la frontiera settentrionale e lo separa dai territori della Mauritania, il suo affluente Falemé costituisce invece confine ad est verso il Mali, a sud gli Stati confinanti sono la Guinea e la Guinea-Bissau mentre verso ovest si affaccia all’Oceano Atlantico per ca. 600 km.⁵ Nella sezione meridionale la continuità del territorio del Senegal è parzialmente interrotta per l’interposizione dello Stato del Gambia, una stretta e lunga enclave che si estende in direzione ovest-est seguendo la valle dell’omonimo fiume, eredità della colonizzazione, poiché il Senegal era francese mentre il Gambia inglese.

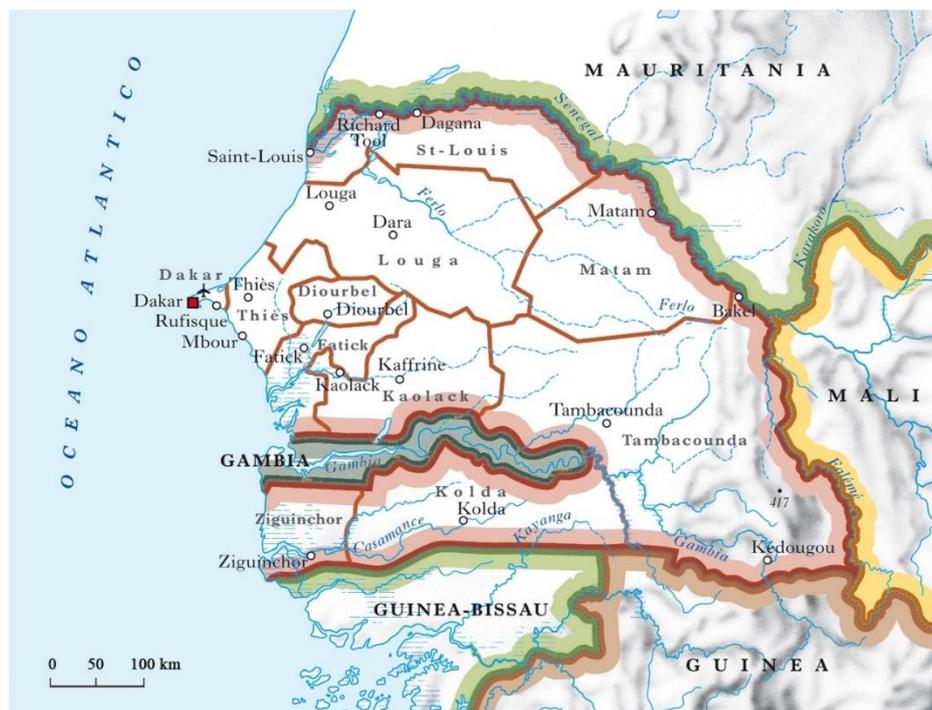


Figura 1.1 : Cartina politica del Senegal con evidenziati i confini dello Stato (fonte dati: Treccani, <Senegal nell’Enciclopedia Treccani>, ultima consultazione: 18/07/2023).

⁴ PROGETTO FORMA, *Scheda Senegal*, 8 gennaio 2018, p. 1 [PDF file]. Disponibile su <https://progettoforma.eu/wp-content/uploads/2018/01/scheda-senegal.pdf> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁵ Treccani, < Senegal nell’Enciclopedia Treccani> (ultima consultazione: 18/07/2023).

Il Senegal è suddiviso sul piano amministrativo in quattordici regioni che prendono il nome dal loro capoluogo, le città più importanti dello Stato: Dakar, Diourbel, Fatick, Kaffrine, Kaolack, Kédougou, Kolda, Louga, Matam, Saint-Louis, Sédhiou, Tambacounda, Thiès, Ziguinchor⁶. Un governatore e un'assemblea regionale amministrano la regione, a sua volta suddivisa in dipartimenti e distretti rurali. Il Senegal è attualmente una Repubblica semipresidenziale con un sistema politico multipartitico.

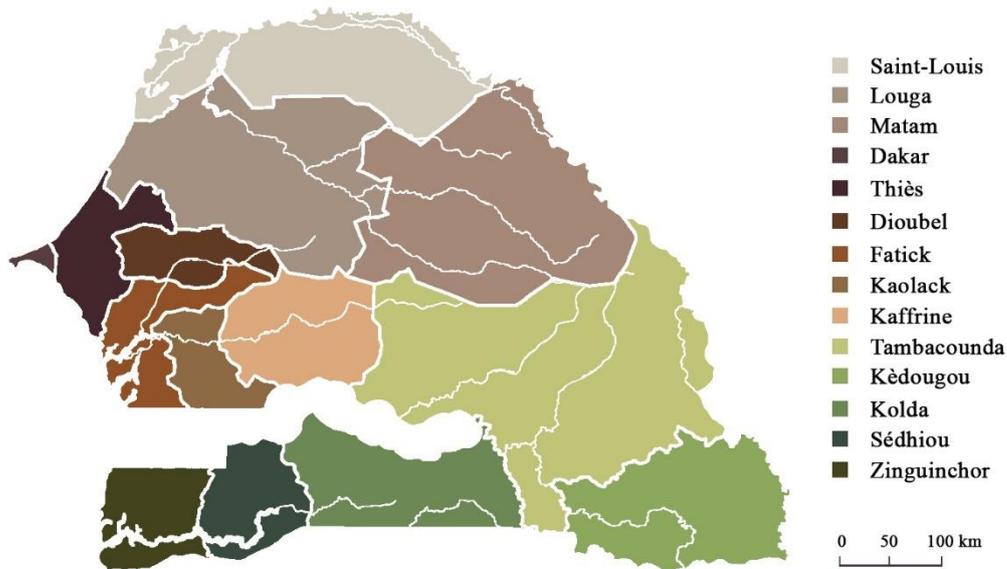


Figura 1.2: Cartina politica del Senegal che evidenzia la suddivisione amministrativa del Paese in 14 regioni (fonte dati: Treccani, <Senegal nell'Enciclopedia Treccani>, ultima consultazione: 18/07/2023).

La tesi in particolare prende in considerazione la regione meridionale della Casamance che si estende per ca. 28 350 km², percorsa dall'omonimo fiume e separata geopoliticamente dal restante parte del Paese, dal piccolo stato-enclave anglofono del Gambia.

Dal 1° giugno 1944⁷ la Casamance è suddivisa in 5 sotto regioni (Ziguinchor, Oussouye, Bignona, Sédhiou, Kolda e Vélingara) organizzate in tre entità: la Casamance superiore, tra l'alta valle del fiume e i confini del Senegal orientale, la Casamance intermedia corrispondente al medio corso del fiume e la Casamance inferiore, zona di mangrovie e

⁶ PROGETTO FORMA, *Scheda ...*, cit., p. 1.

⁷ PIROVANO DANIELA, *Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*, tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, pp. 16-18.

paludi all'altezza della foce del fiume. Tali entità sono amministrativamente composte dalle regioni di Kolda, Sédhiou e Ziguinchor, come riportato in figura 1.3.

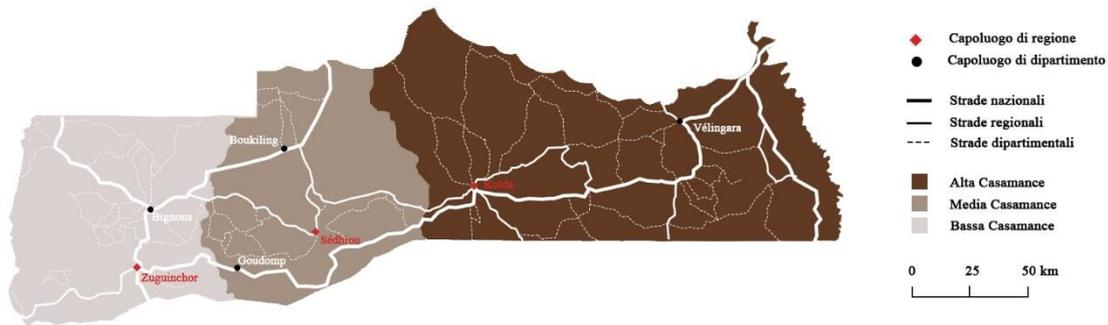


Figura 1.3 Organizzazione amministrativa della Casamance (fonte immagine base: Google Maps, < <https://www.google.it/maps/search/casamance/@13.1003182,-15.8300263,8.69z?entry=ttu> >, ultima consultazione 24/07/2023).

Nel 1984 la Casamance fu divisa in due regioni amministrative: la regione di Ziguinchor che corrispondeva alla Casamance inferiore e che comprende i dipartimenti di Ziguinchor, Bignona e Oussouye e la regione di Kolda che copriva la media e alta Casamance, integrando i dipartimenti di Sédhiou, Kolda e Vélingara.

Nel 2010, un'altra suddivisione ha portato alla separazione della regione di Kolda per dare vita alle attuali regioni amministrative di Sédhiou (media Casamance) e Kolda (dipartimenti di Kolda e Vélingara). Questa riorganizzazione amministrativa della Casamance in tre entità distinte è frutto di un tentativo di risposta politica al conflitto armato che ha afflitto la regione per più di trent'anni⁸.

Le tre entità territoriali si distinguono per le loro dimensioni storiche e geografiche caratterizzate da specificità culturali e sociali:

- ad oriente, l'alta Casamance, corrispondente all'attuale regione di Kolda, è popolata da pastori e agricoltori di miglio Fulani;
- la media Casamance è l'attuale regione di Sédhiou dove predominano le etnie Manding e Balante, situati rispettivamente a nord e sud del fiume Casamance. La coltivazione del riso viene praticata nelle piccole valli adiacenti al fiume Casamance e alle insenature. In questa regione il riso riveste una parte più

⁸ *Ibidem.*

importante nella dieta della popolazione rispetto alla precedente regione, equiparabile al miglio.

- la bassa Casamance è una vasta area geografica che comprende le risaie e le pianure costiere sparse tra Gambia e Guinea-Bissau e limitate ad est dalla valle Soungrougrou, oltre la quale inizia il distretto amministrativo di Sedhiou. L'importanza delle piogge e la presenza della rete idrografica rendono l'acqua un agente essenziale nella costruzione dei paesaggi di quest'area. Questa parte è popolata principalmente da Diola. È l'area dei mangrovieti e pianure adatte alla creazione di risaie.

Nel 1992, Cormier-Salem ha affermato che tale divisione corrisponde a tre grandi aree di insediamento delle etnie Peul, Manding e Diola⁹. Questa organizzazione, risalente al 1912, fu mantenuta anche dopo l'indipendenza del Senegal; tuttavia, le tre entità furono incluse in un'unica regione amministrativa.

Sebbene il progetto presentato in fase concorsuale non avesse un lotto stabilito, in fase di tesi si è scelto di adottarne uno specifico, in linea con i desiderata del concorso, ciò ha permesso di studiare in modo mirato le problematiche e le peculiarità legate al sito. L'ubicazione precisa dell'area di intervento offre la possibilità di approfondire la conoscenza di questo contesto specifico, includendo fattori geografici, sociali, culturali ed economici unici. Questo livello di dettaglio permetterà una valutazione accurata delle esigenze educative locali e delle sfide specifiche che possono emergere in un contesto rurale e distante dalla città principale. L'area oggetto di studio è localizzata nell'alta Casamance, a 10 km dalla città di Kolda, nel paese rurale di Sine-Bilali.

⁹ *Ibidem.*



Figura 1.4: Localizzazione del sito d'intervento (fonte immagine base: Google Maps, > <https://www.google.it/maps/search/casamance/@13.1003182,-15.8300263,8.69z?entry=ttu> >, ultima consultazione 24/07/2023).

La posizione in alta Casamance e l'appartenenza al paese rurale di Sine-Bilali comportano peculiarità nell'accesso all'istruzione, nella disponibilità di infrastrutture scolastiche, nelle pratiche educative e nelle tradizioni culturali. Pertanto, il progetto di tesi avrà l'opportunità di esplorare come affrontare queste specifiche circostanze e come adattare l'architettura scolastica per incontrare le esigenze della comunità locale.



Figura 1.5: In rosso il sito d'intervento (fonte: Google Maps, <<https://www.google.it/maps/place/Sine+Bilali,+Senegal/@12.8538815,-15.0072285,746m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xee5e26aa9123d4d:0x9aea0cdbde687837!8m2!3d12.851818!4d-15.009223!16s%2Fg%2F1tmplw7v?entry=ttu> > ultima consultazione 19 luglio 2023).



Figura 1.6: Fotografia del villaggio di Sine Bilali (fonte: Google Maps, <<https://www.google.it/maps/@12.8530994,-15.0092156,3a,75y,173.11h,99.27t/data=!3m6!1e1!3m4!1sHARBZWw1uC0WidqI-j-Gdg!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu>> ultima consultazione: 19 luglio 2023).

1.1.1 Servizi e mobilità

La rete ferroviaria è stata realizzata nel 1895 e la stazione di Dakar è la più antica del Senegal; inizialmente offriva una sola destinazione, ovvero la capitale del Mali Bamako, poiché il collegamento con Saint-Louis era riservato al trasporto delle merci. La tratta Dakar-Bamako fu realizzata per donare uno sbocco a mare al Mali e potenziare il porto di Dakar, attualmente il secondo più importante dell’Africa occidentale. Nel 2019, la stazione è stata rinnovata, permettendo il collegamento di Dakar con l’Aeroporto Internazionale Blaise Diagne di Diass passando per la città di Diamniadio¹⁰ e nello stesso anno ha raggiunto un’estensione totale di 906 km¹¹. Nel 2023 è stata confermata la dotazione di

¹⁰ PATRICK NDUNGUDU, *Sénégal: réception du TER ed inauguration de la gare de Dakar rénovée*, in «African Shapers», gennaio 2019. Disponibile su *Sénégal : réception du TER et inauguration de la gare de Dakar rénovée - African Shapers*

¹¹ Index mundi, <*Senegal Linee ferroviarie - Trasporti (indexmundi.com)*> (ultima consultazione: 18/07/2023)

nuovi convogli per la rete di treni espressi regionali (Ter) che collegano Dakar alla periferia¹².

La rete di trasporti si è sviluppata principalmente nell'ovest del paese, nell'area di Dakar, Saint-Louis e Kaolack e si degrada andando in profondità nel Paese. La rete dei trasporti è ben sviluppata nelle grandi città con taxi, autobus o le "auto rapide" (*cars rapides*), ovvero taxi collettivi o carretti presenti nelle periferie e nelle piccole città. Inoltre, il 1° agosto 2013 è stata aperta un'autostrada a pedaggio tra Dakar e Diamniadio.¹³

Il governo di Dakar ha adottato un piano di trasporto urbano per la capitale del Paese (*Plan directeur d'urbanisme Dakar et environs-Pdup*) che si estende al 2025, proponendo l'obiettivo di una mobilità sostenibile e inclusiva, mirando a un trasporto pubblico elettrico.¹⁴

Il porto di Dakar è l'unico porto internazionale del Paese, mentre quelli delle città di Kaolack e Ziguinchor si occupano principalmente di gestire il traffico marittimo locale. Il trasporto fluviale è concentrato sui corsi dei fiumi Sénégal, Casamance e Saloum.

Tra le altre infrastrutture realizzate figurano:

- il nuovo aeroporto internazionale Blaise Diagne, inaugurato il 7 dicembre 2017¹⁵;
- lo sviluppo di Saint-Louis per la realizzazione di un porto per cabotaggi¹⁶;
- ammodernamento del porto di Ziguinchor per la ricezione di container¹⁷.

Le reti sono più dense a ovest del Paese lungo il litorale ma la circolazione delle merci e delle persone è particolarmente difficile verso Dakar e la penisola di Capo Verde. Le infrastrutture sono più scarse nel Senegal orientale e l'apertura di queste regioni costituisce una sfida perché i mezzi di trasporto rimangono spesso all'interno del Paese.

¹² ITA, <SENEGAL: RETE FERROVIARIA DAKAR PRESTO DOTATA DI NUOVI CONVOGLI (ice.it)> (ultima consultazione: 18/07/2023)

¹³ BINETA DIAGNE, *Sénégal: inauguration de l'autoroute à péage reliant Dakar à Diamniadio*, in «Radio France internationale», 2 agosto 2013. Disponibile su Sénégal: inauguration de l'autoroute à péage reliant Dakar à Diamniadio - Afrique économie (rfi.fr)

¹⁴ Africa e Affari, <Senegal: Sotto i riflettori la mobilità sostenibile nel piano di trasporto di Dakar | Africa e Affari> (ultima consultazione: 18/07/2023)

¹⁵ *Si inaugura oggi l'aeroporto Blaise Diagne a Diamniadio*, in «InfoAfrica», 7 dicembre 2017.

¹⁶ *Sénégal: Saint-Louis – Habib Sy annonce un port dans la zone du canal*, in «All Africa», 30 luglio 2017. Disponibile su Sénégal: Saint-Louis - Habib Sy annonce un port dans la zone du canal - allAfrica.com

¹⁷ *Inauguration des quais du port de Ziguinchor*, in «Ambassade de France à Dakar», 11 ottobre 2006. Disponibile su https://sn.ambafrance.org/article.php3?id_article=668

L'Aeroporto di Dakar-Léopold Sedar Senghor è il principale punto d'ingresso aereo verso il Senegal.

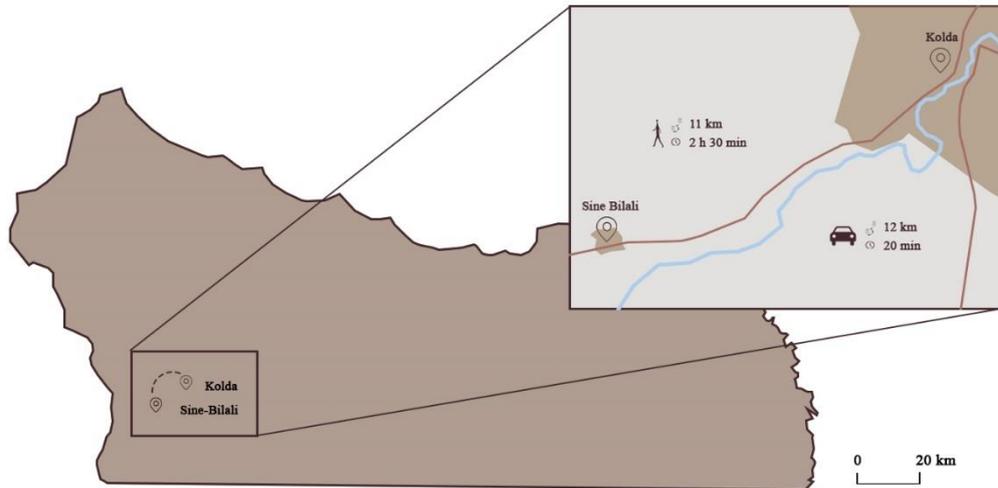


Figura 1.7: Distanze da Sine-Bilali a Kolda.

La presenza di collegamenti infrastrutturali con la vicina città di Kolda è un aspetto importante per il villaggio di Sine-Bilali, questo è infatti situato a una decina di chilometri dalla città, a cui è collata tramite la strada regionale R11 asfaltata, ciò permette ai residenti di accedere ai principali servizi essenziali, come l'ospedale e la scuola, oltre al fatto che facilita la mobilità delle persone e delle merci tra il villaggio e la città, agevolando lo scambio di risorse e contribuendo allo sviluppo economico locale.

L'aeroporto "Kolda North Airport" costituisce un importante collegamento diretto con Dakar, la capitale del Senegal. Questo offre una connessione a livello nazionale e internazionale, consentendo ai residenti di viaggiare verso altre destinazioni o di ricevere visitatori da altre regioni del Senegal e da Paesi stranieri.



Figura 1.8: Servizi nella città di Kolda (fonte dati: Google Maps, <<https://www.google.com/search?q=scuole+a+kolda+senegal&udm=1&sa=X&ved=2ahUKewiIwrHR3qeAAxUAYPEDHRPTDuEQjGp6BAgaEAE&cshid=1690215365400463&biw=1536&bih=746&dpr=1.25>>, ultima consultazione 24/07/2023).

1.1.2 Contesto naturale

Nel complesso il Senegal si configura come un territorio prevalentemente pianeggiante, marcato dalla presenza del fiume Sénégal a nord e dal corso del fiume Casamance a sud. Sulla punta rocciosa della penisola di Capo Verde, emergono le colline vulcaniche delle Mammelle, e nell'angolo sud-orientale del Paese, dove giungono le pendici settentrionali del massiccio guineano del Futa Gialon, si registra il punto di massima altitudine, 525 m s.l.m.¹⁸, nei pressi di Népen Diakha. Ai piedi di queste alture si trova il grande parco nazionale di Niokolo-koba.

¹⁸ ARECCHI ALBERTO, *L'estremo occidente dell'Africa*, CESVI, Bergamo 1995, p. 5.



Figura 1.9: Fotografia del paesaggio della Casamance © COPYRIGHT BY BALOUOSALO.

1.1.2.1 Idrografia

Il Sénégal è il fiume più importante (1450 km; bacino di 440.000 km²)¹⁹ ed è formato da due rami il Bafing e il Bakov, ingrossato dal Baoulé, che confluiscono a Bafoulabé nel Mali; il Bafing nasce nell'altopiano del Fouta Djallon in Guinea e percorre i massicci fino a raggiungere il territorio senegalese in direzione nord-ovest e riceve importanti affluenti, tra cui, il principale, il Falémé, attraversa quindi la regione arida dove non è più accresciuto da tributari importanti. Piega successivamente a ovest e quindi viene deviato a sud-ovest da un cordone sabbioso-limoso fino a raggiungere Dagana, dove forma il cosiddetto “falso delta” o *Oualo*, che alimenta il lago Guier; l'inizio della vera regione deltizia, caratterizzata da un labirinto di isole e banchi separati da canali, è invece a Richard-Toll, per poi sfociare nell'oceano Atlantico a 16 km a sud dell'isola su cui è situata la città di Saint-Louis.²⁰ Durante la stagione estiva è soggetto a piene violente, variabili negli anni.

¹⁹ Treccani, < Senegal nell'Enciclopedia Treccani > (ultima consultazione: 18/07/2023).

²⁰ GHIRELLI MASSIMO, *Scheda approfondita: Senegal*, pp. 1 [PDF file]. Disponibile da <http://massimoghirelli.net/documents/Scheda.paese.Senegal.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).



Figura 1.10: Il fiume Senegal (fonte: Easyviaggio, <https://www.easyviaggio.com/senegal/il-fiume-senegal-3145>, ultima consultazione 24/07/2023).

Nella parte meridionale del Paese si snoda invece per 300 km ca. il Casamance, da cui prende il nome la regione omonima, tributario dell'Oceano Atlantico in cui sfocia con un profondo estuario a nord di capo Roxo. Differentemente dal precedente ha dimensioni più contenute ed è navigabile fino a Ziguinchor da navi di grosso tonnellaggio e fino a Sédhiou da piccole imbarcazioni. Il bacino idrografico del Casamance è un'area di lieve rilievo topografico; il punto più elevato si trova a est di Vélingara e la sua altitudine è di 80 m s.l.m.. La morfologia dell'area è quella tipica delle zone costiere alluvionali, con piane di marea solcate da una fitta rete di canali mareali nella zona di foce e terrazzi sopraelevati di qualche metro al lato delle piane alluvionali principali. Il fiume Casamance è formato dalla confluenza di molti piccoli affluenti che sono spesso asciutti durante la stagione secca (da ottobre ad aprile); lungo l'asta principale, il deflusso diviene perenne nel tratto a valle di Fafa Kourou. La confluenza del fiume Casamance con il suo principale affluente, il fiume Soungrougrou che nasce nei dintorni di Adeane.

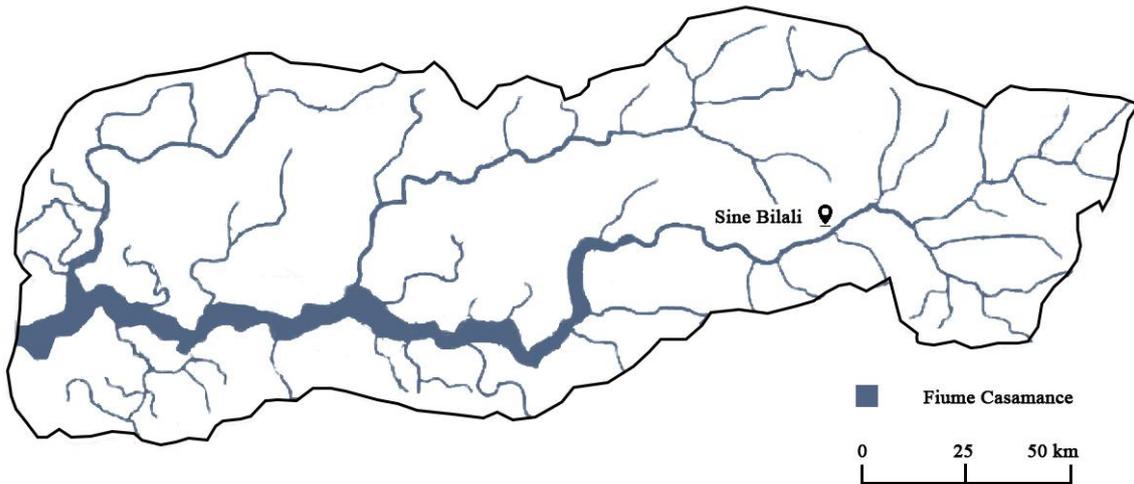


Figura 1.11 Geomorfologia dell'alveo del fiume Casamance.



Figura 1.12: Il letto del fiume Casamance (fonte: Kanaga Africa tours, < I verdi paesaggi della Casamance e del Sine-Saloum - Kanaga Africa Tours (kanaga-at.com)>, ultima consultazione 24/07/2023).



Figura 1.13. Il fiume Casamance (fonte: © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).

1.1.2.2 Flora

La vegetazione risente delle diversità climatiche, tanto che, dal punto di visto ecologico, è possibile suddividere il Paese in sei²¹ zone ecogeografiche:

- la zona forestale meridionale della Casamance;
- la zona orientale del Senegal;
- la fascia costiera con la zona di Niayes;
- il bacino delle arachidi;
- la zona silvopastorale del Ferlo;
- la vallata del fiume Senegal.

²¹ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE DIRECTION DES PARCS NATIONAUX, *Quatrième rapport national sur la mise en Œuvre de la convention sur la diversité biologique*, Novembre 2010 pp. 18 [PDF file]. Disponibile da <https://www.cbd.int/doc/world/sn/sn-nr-04-fr.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

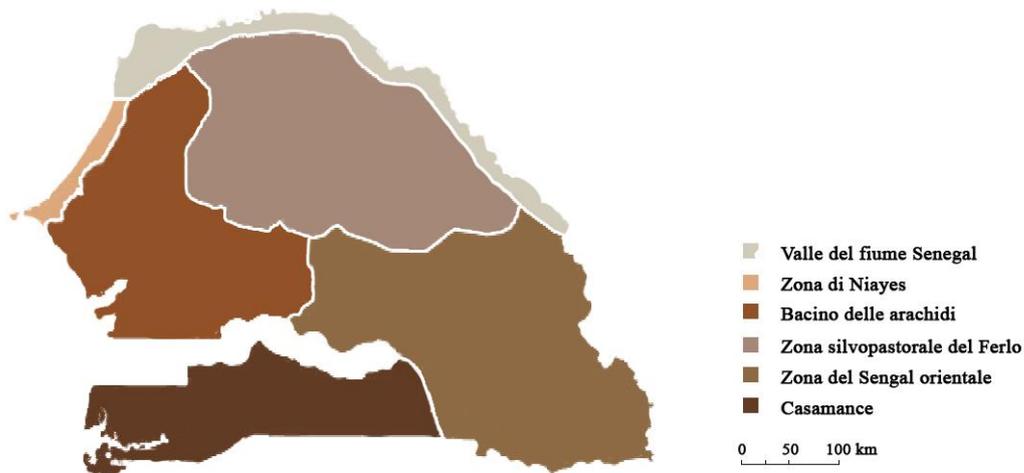


Figura 1.14 Discretizzazione delle zone ecogeografiche.

Con quattro ecosistemi principali: forestale, prateria della savana, che copre circa un terzo del Paese, fluviale e lacustre, marino e costiero, il Senegal ha una grande diversità di flora e fauna. Tuttavia, l'aumento delle attività umane e i cambiamenti nei modelli meteorologici, che includono un aumento delle carenze nelle precipitazioni, stanno influenzando e degradando gli habitat naturali. Questa tendenza è evidenziata dall'estensione delle foreste, che in cinque anni, dal 2005 al 2010, ha riscontrato una perdita 40.000 ettari l'anno²².

La Casamance in particolare è inserita nella fascia a savana verdeggiante di tipo guineano, con tratti di foresta tropicale.²³ Risulta inoltre la maggior soggetta a piovosità e si caratterizza per l'importanza e la varietà della sua vegetazione, che rappresenta la più grande riserva forestale del Senegal anche grazie ad una piovosità media annua superiore a 1200 mm. Tale zona è dominata dalla presenza di specie quali *Sterculia setigera*, *Lannea acida*, *Sclerocarya birrea*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa*, *Terminalia macroptera* e *Daniellia oliveri*, è inoltre comune individuare acacie e baobab insieme al *Khaya senegalensis*, conosciuto come il “mogano africano”. In queste formazioni vegetali, lo strato erbaceo è caratterizzato da specie dei generi *Andropogon*, *Hyparrhenia*, *Digitaria*.

²² Convention on Biological Diversity, <Dettagli principali (cbd.int)> (ultima consultazione: 19/07/2023).

²³ ARECCHI A., *L'estremo...*, cit., p. 6.

Il sistema fluviale, come riportato in dettaglio nel sottoparagrafo 1.2.2.1, è costituito da un ricco reticolo di corsi d'acqua permanenti e stagionali, mentre nella zona litoranea, i "bolong", bracci di mare, sono contraddistinti dalla presenza di mangrovie. Ciò rende la Casamance una zona favorevole alla coltura del riso, del miglio, delle palme da olio, dell'arachide e degli alberi da frutto (mango, banano, arancio)²⁴; tali coltivazioni sono messe in crisi dall'attuale regime pluviometrico, in quanto la valle del fiume Casamance è colpita dall'intrusione di acqua di mare che causa salinizzazione e acidificazione del terreno soprattutto nelle zone di bassopiano. La costa, bassa e sabbiosa, è modellata dalla presenza della corrente delle Canarie e dai *bolong*, estuari salati caratterizzati da isole e foreste di mangrovie, numerosi soprattutto nella regione del Sine-Saloum. La zona a nord-ovest è invece caratterizzata dalla presenza di un tipo di suolo dal color giallo oca ricco di ossido di ferro, fonte di ricchezza del Paese e adatto a numerose coltivazioni.

Per quanto concerne la restante parte del Senegal è possibile individuare nella metà settentrionale la presenza di arbusti e tratti di steppa e savana con rari alberi, la cui copertura erbacea è verde e fitta durante la stagione delle piogge e pressoché nulla nella stagione secca. Baobab (*Adansonia digitata*), l'albero-simbolo del Paese, ed acacie, tra cui quella da cui si ricava la gomma arabica, sono comuni in questa zona; altrettanto diffuso è il *fromager*, *Ceiba pentadra*.

Nella zona costiera di Niayes, una striscia di terra costiera tra Dakar e Saint Louis dove una linea di laghi si estende dietro le dune sabbiose costiere, la vegetazione predominante è la palma da olio (*Elaeis guineensis*) insieme alla Mesquite africana e al fico del Capo²⁵.

L'estremo sud-ovest è invece dominato da dense foreste tropicali e paludi, ricche di mangrovie, kapoc (*Bombax buonopozense*), palme da olio, da raffia (*Raphia sudinaca*) e la parma dalle foglie a ventaglio (*Borassus aethipum*) caratterizzata da un legno molto duro e fibroso, con un fusto slanciato e sottile con un rigonfiamento in sommità²⁶.

²⁴ *Ivi*, p.7.

²⁵ Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Senegal> (ultima consultazione: 18/07/2023).

²⁶ *Ibidem*.

Alla fine del 2018 in Senegal erano state registrate circa 5.213 specie, sottospecie e varietà di piante vascolari, di cui 515 tra alberi e piante legnose.²⁷

1.1.2.3 Fauna

Il babuino di Guinea, l'alcefafo del Senegal, l'alcefalo occidentale, l'orice scimitarra, l'antilope roana e diverse specie di gazzella, sono solo alcune delle specie che avevano una distribuzione capillare e che hanno subito la perdita del proprio habitat a causa della persecuzione da parte degli agricoltori e dei cacciatori, obbligandoli a essere limitati all'interno del Parco nazionale.²⁸

Il degrado dell'*habitat* ha causato una forte diminuzione delle popolazioni di Colombo rosso occidentale, elefanti, leoni e molte altre specie.²⁹ La sottospecie occidentale dell'eland gigante è in grave pericolo di estinzione, l'unica popolazione conosciuta rimasta si trova nel Parco Nazionale Niokolo-Koba; il rapido declino del numero di questa antilope è stato attribuito al bracconaggio.³⁰

Altri mammiferi diffusi nel Paese sono la scimmia verde, il gerbillo della Guinea e il tipo d'erba del Senegal.³¹

Ad aprile 2019 in Senegal erano state registrate circa 674 specie di uccelli³², tra cui il tropico dal becco rosso, l'otarda araba, il piviere egiziano, il succiacapre dorato, il gruccione dalla gola rossa, lo storno dal ventre castano, il grillo, l'allodola del Kordofan e il passero dorato del Sudan.³³

²⁷ GBIF, <Sistema Nazionale Senegalese di Informazione sulla Biodiversità - SENBIO-INFOS (gbif.org)> (ultima consultazione: 19/07/2023).

²⁸ MALLON DAVID P., HOFFMANN MICHEAL, MCGOWAN PHILIP J.K., *An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and Central Africa*, 2015, pp.26-36. Disponibile su An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and ... - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

²⁹ Convention on Biological Diversity, <Dettagli principali (cbd.int)> (ultima consultazione: 19/07/2023).

³⁰ Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Senegal> (ultima consultazione: 18/07/2023).

³¹ KINGDOM JONATHAN, HAPPOLD DAVID, BUTYNSKI THOMAS, HAPPOLD MEREDIT, KALINA JAN, *Mammals of Africa*, vol. I, Bloomsbury, Londra 2013, p. 447. Disponibile su Mammals of Africa - Jonathan Kingdon, David Happold, Thomas Butynski, Michael Hoffmann, Meredith Happold, Jan Kalina - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

³² Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Senegal> (ultima consultazione: 18/07/2023).

³³ WHEATLEY NIGEL, *Where to watch birds in Africa*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 2014, pp. 292-295. Disponibile su Where to Watch Birds in Africa - Nigel Wheatley - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

Il Djoudj National Bird Sanctuary sul lato sud del delta del fiume Senegal è un sito importante per la migrazione e lo svernamento degli uccelli acquatici. Circa tre milioni di uccelli migratori trascorrono l'inverno in queste zone.³⁴ Gli uccelli che si riproducono nel delta del fiume includono il fenicottero minore, l'anatra marmorizzata e la gru coronata nera.³⁵ Più a sud si trova il Saloum Delta National Park che si trova sulla East Atlantic Flyway, lungo la quale migrano ogni anno circa 90 milioni di uccelli.³⁶ Alcuni uccelli che nidificano o svernano nel Parco sono la sterna reale, il fenicottero maggiore, il spatola euroasiatica, il piro piro, il voltapietre rossiccio e il piccolo stint.³⁷ Un'altra importante zona umida è il Niayes, che è un importante centro per uccelli acquatici e rapaci; qui è stato registrato un'elevata quantità di nibbi bruni.³⁸

Ad aprile 2019 erano state registrate circa 244 specie di pesci marini al largo delle coste del Senegal.³⁹ Alcune specie di pesci d'acqua dolce sono state colpite dalla creazione di dighe nel delta del fiume Senegal e dalla proliferazione di alcune piante come la tifa meridionale.

1.1.2.4 Aree protette

Il Parco Nazionale Niokolo-Koba è un sito Patrimonio dell'Umanità e una vasta area naturale protetta nel sud-est del Senegal, vicino al confine con la Guinea-Bissau. Il parco è caratterizzato dalla vegetazione tipica della savana boschiva del Paese. In quest'area si trovano una trentina di specie di alberi, principalmente delle famiglie *Fabaceae*, *Combretaceae* e *Anacardiaceae*, e circa mille specie di piante vascolari. Le parti più secche sono dominate dall'albero kino africano e dal *Combretum glutinosum*, mentre le foreste a galleria accanto a fiumi e torrenti, molti dei quali si prosciugano stagionalmente, sono in gran parte formate da *Erythrophleum guineense* e *Pseudospondias microcarpa*,

³⁴ Convention on Biological Diversity, <Dettagli principali (cbd.int)> (ultima consultazione: 19/07/2023).

³⁵ MALLON DAVID P., HOFFMANN MICHEAL, MCGOWAN PHILIP J.K., *An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and Central Africa*, 2015, pp.26-36. Disponibile su An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and ... - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

³⁶ BOERE GERARD C., GALBRAITH COLIN A., STROUD DAVID A. (eds), *Waterbirds around the world*, The Stationery Office, Edinburgh, UK, 2006, pp. 541-542 Disponibile su Waterbirds Around the World: A Global Overview of the Conservation ... - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

³⁷ Ramar, <Parc national du Delta du Saloum | Ramsar Sites Information Service> (ultima consultazione: 18/07/2023).

³⁸ Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Senegal> (ultima consultazione: 18/07/2023).

³⁹ *Ibidem*.

inframmezzate da palme e ciuffi di bambù. Le depressioni nel terreno si riempiono d'acqua nella stagione delle piogge e supportano un'ampia gamma di vegetazione acquatica.⁴⁰

Altri parchi nazionali sono il Parco Nazionale del delta del Saloum di oltre 76.000 ettari di ampiezza, istituito nel 1976 e si trova nel delta del fiume Saloum, e il santuario nazionale degli uccelli di Djoundj⁴¹. Quest'ultimo è localizzato sulla riva sud-orientale del fiume Senegal a nord-est di Saint-Louis; comprende habitat di vario tipo, acquatici e terrestri, che ospitano numerose specie di uccelli migratori, molti dei quali attraversano il deserto del Sahara per raggiungerlo. Nel 1971 è stato inserito tra i patrimoni dell'umanità dell'UNESCO. Il sito è stato dichiarato "in pericolo" nel 2000 a causa dell'introduzione della felce acquatica invasiva *Salvinia molesta*, che rischiava di soffocare la vegetazione nativa; nonostante tutto venne rimosso da tale lista nel 2006.⁴²

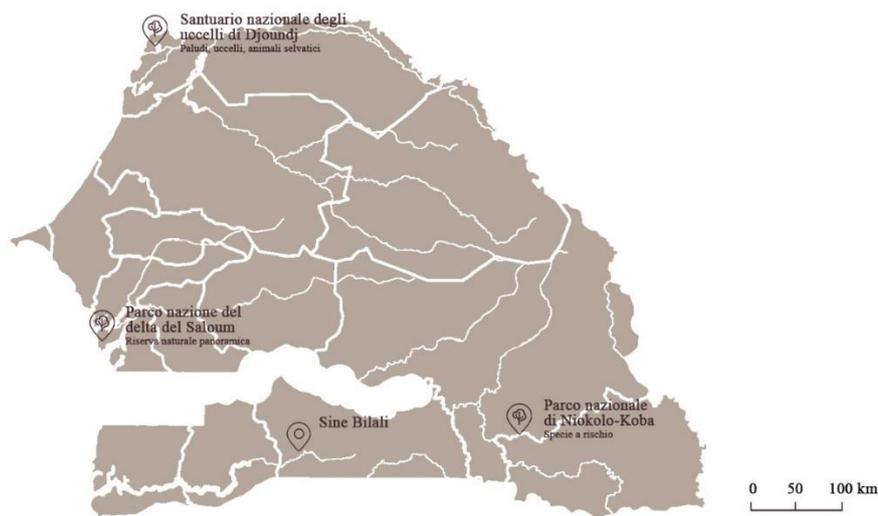


Figura 1.15: Localizzazione dei tre parchi nazionali principali (fonte: Google Maps, <<https://www.google.com/maps/search/parchi+nazionali+senegal/@14.7025465,-15.6657995,7.26z?hl=it&entry=ttu>>, ultima consultazione 24/07/2023).

⁴⁰ MADSEN J.E., DIONE D., TRAORÉ A.S., SAMBOU B., *The Biodiversity of African Plants*, Atti del XIV AETFAT Congress, Wageningen (Netherlands) 22-27 Agosto 1994, a cura di Van der Maesen L.J.G., Van der Burgt X.M. Van Medenbach de Rooy J.M., Kluwer Academic Publishers, Londra, UK, 1996, pp. 214-217 Disponibile su *The Biodiversity of African Plants: Proceedings XIVth AETFAT Congress 22-27 ...* - Google Libri (ultima consultazione 19/07/2023).

⁴¹ Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Parco_nazionale_del_delta_del_Saloum> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁴² Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Santuario_nazionale_degli_uccelli_di_Djoudj> (ultima consultazione: 18/07/2023).

1.1.2.5 Il suolo

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche della Casamance sono il prodotto di sedimentazione mesozoica-cenozoica lungo il margine continentale atlantico (Bacino Senegalese-Mauritano-Guineano) che registra una lunga serie di trasgressioni e regressioni frutto di variazioni climatiche, circolazione oceanica e tettonismo distensivo.⁴³

Conseguenza di questa storia geologica è la natura e l'attuale distribuzione spaziale dei diversi tipi di suolo. Le principali tipologie di suolo presenti in Casamance sono rappresentate in figura 1.16.

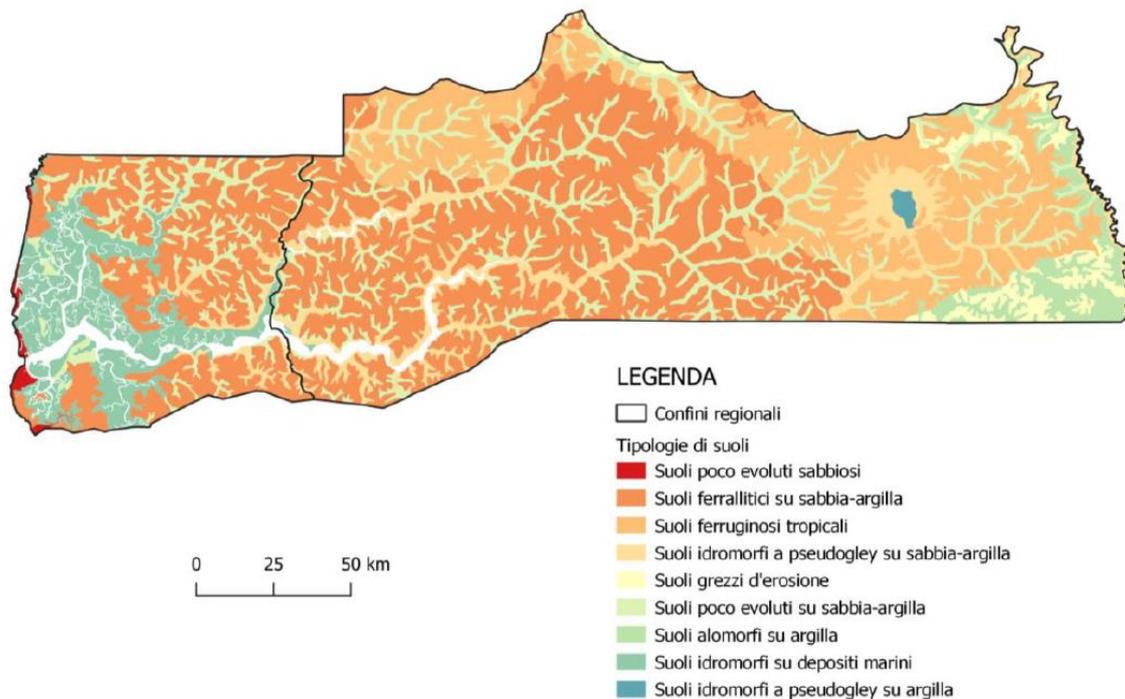


Figura 1.16: Classificazione e distribuzione dei suoli nella regione della Casamance, secondo i dati acquisiti dal Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia. SENSOTER ver. 1.0 (fonte: PIROVANO DANIELA, *Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*, tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, p.33

⁴³ PIROVANO D., *Deterioramento...*, cit., p. 33.

La mappa è ricavata dai dati pedologici contenuti nel Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia (SENSOTER ver. 1.0) e dal database dei profili del suolo ISRIC-WISE.⁴⁴

Ogni tipologia di suolo è caratterizzata da un profilo-tipo codificato secondo la classificazione FAO-UNESCO (1988).⁴⁵ In particolare, possono distinguersi i seguenti profili:

- suoli grezzi d'erosione;
- suoli poco evoluti su sabbia e argilla;
- suoli poco evoluti su sabbia;
- suoli ferruginosi tropicali;
- suoli ferrallitici su sabbia-argilla;
- suoli alomorfi su argilla;
- suoli idromorfi;
- suoli idromorfi a pseudogley su argilla;
- suoli idromorfi a pseudogley su sabbia-argilla.

D'elevato interesse per il caso studio è la tipologia di suolo ferrallitico su sabbia-argilla, tali terreni sono morfologicamente caratterizzati da un profilo poco differenziato, si tratta di suoli molto spessi (a volte più di 10 metri), di varie colorazioni con predominanza del rosso e giallo accesi. Le alterazioni del substrato sono molto intense e conducono alla scomparsa quasi completa dei minerali delle rocce madri, lasciando il posto ad una miscela di proporzioni variabili, caolinite, sesquiossidi di ferro e alluminio, quarzo più o meno alterato e minerali pesanti particolarmente resistenti.⁴⁶

⁴⁴ Il database del suolo e del terreno per i dati primari del Senegal e del Gambia (versione 1.0), in scala 1:1 milioni (SOTER_Senegal_Gambia), è stato compilato con informazioni sul suolo migliorate nell'ambito del programma della FAO Land Degradation Assessment in Drylands (LADA). I dati primari sul suolo e sul terreno per il Senegal sono stati ottenuti tramite l'Institut National de Pédologie Dakar; la mappa digitale del suolo del Centre de Suivi Ecologique. Gli aggiustamenti effettuati da Daniela Pirovano nell'ambito della tesi magistrale "Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche" nelle unità SOTER si basavano sulle interpretazioni dei dati derivati da SRTM-DEM.

⁴⁵ *Ivi*, p. 33.

⁴⁶ *Ivi*, pp. 35-36

1.2 Quadro economico e politico

Il Senegal è classificato tra i Paesi meno sviluppati dalle Nazioni Unite⁴⁷. Con un indice di sviluppo umano (HDI)⁴⁸ di 0.511 nel 2021, il Paese si colloca al 170° posto su 188 Paesi in termini di sviluppo umano⁴⁹.

Nel 2018, è stato stimato che il 9,3%⁵⁰ della popolazione vive con meno di 2,15 USD al giorno. Dal 2000, GNI per capita⁵¹ a parità di potere d'acquisto è diminuito da 1.490 USD a 1.370 USD nel 2021.

Gross national income (GNI) per capita*

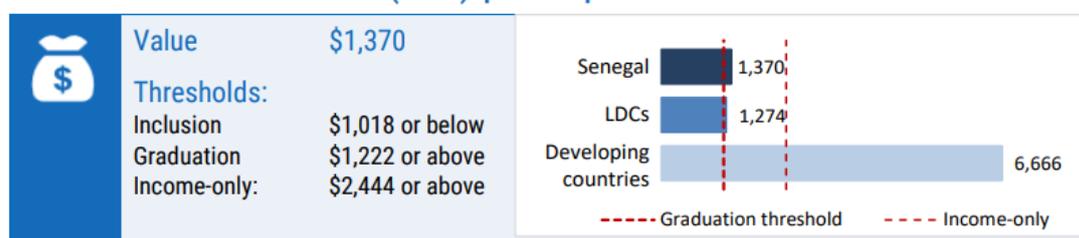


Figura 1.17: *Gross national income (GNI) per capita*. (fonte: United Nations, <<https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html>>, ultima consultazione: 18/07/2023).

⁴⁷ United Nations <Paese meno sviluppato Categoria: Senegal Profilo | Dipartimento degli affari economici e sociali (un.org)> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁴⁸ Il Programma delle Nazioni Unite per lo sviluppo (UNDP) compila l'Indice di sviluppo umano, (HDI_ *Human Development Index*) di 191 paesi nel Rapporto annuale sullo sviluppo umano. È un indice comparativo dello sviluppo dei vari Paesi calcolato tenendo conto dei diversi tassi di aspettativa di vita, istruzione e del reddito nazionale lordo pro-capite. È divenuto uno strumento standard per misurare il benessere di un paese. È usato per dividere i paesi sviluppati, in via di sviluppo o sotto-sviluppati e viene confrontato nel tempo per vedere se una certa politica economica riesce a migliorare la qualità della vita. Gli stati sono ordinati in base al loro indice di sviluppo umano (ISU) e divisi in quattro gruppi in base al quartile di appartenenza: molto alto, alto, medio, o basso.

⁴⁹ UNITED NATION DEVELOPMENT PROGRAMME, *Human development Report 2021-2022: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World*, 8 settembre 2022, pp. 272-276 [PDF file]. Disponibile da Wayback Machine (archive.org) (ultima consultazione: 19/07/2023).

⁵⁰ THE WORLD BANK, <Tasso di povertà a \$ 2,15 al giorno (2017 PPA) (% della popolazione) - Senegal | Dati (worldbank.org)> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁵¹ Lo GNI pro capite, è il rispettivo italiano dell'RNL (Reddito Nazionale Lordo) abbreviazione di "Prodotto Interno Lordo (PIL) nominale pro capite", rappresenta il Prodotto Interno Lordo di un paese diviso per la sua popolazione. Pertanto, il RNL pro capite è una misura utile per valutare l'andamento dell'economia di un paese e confrontare il tenore di vita medio della sua popolazione con altri paesi. Va notato che il RNL pro capite da solo non fornisce una panoramica completa del benessere di una nazione, poiché non considera variabili come la distribuzione del reddito, l'indice di sviluppo umano e altre misure sociali ed economiche che possono influenzare il benessere complessivo della popolazione.

Sempre allo stesso anno è riferito l'indice HAI (*Human Assets index*) stimato a 66.4⁵². Tale indicatore consente di valutare il capitale umano di un determinato Paese, andando oltre al semplice reddito pro capite (PIL) e introducendo indicatori specifici per capire meglio il benessere e la sostenibilità a lungo termine. I componenti tipici sono il tasso di mortalità materna, il tasso di mortalità sotto i cinque anni, la prevalenza dell'arresto della crescita, in quanto indice di una malnutrizione cronica, il tasso di completamento dell'istruzione secondaria, il tasso di alfabetizzazione degli adulti e l'indice di parità di genere nel completamento dell'istruzione secondaria inferiore. Affronta quindi tematiche importanti, dalle conseguenze della salute sulle condizioni sociali, economiche e ambientali di un Paese alle ricadute dell'analfabetismo sulle risorse umane necessarie per lo sviluppo.

Human assets index (HAI)*

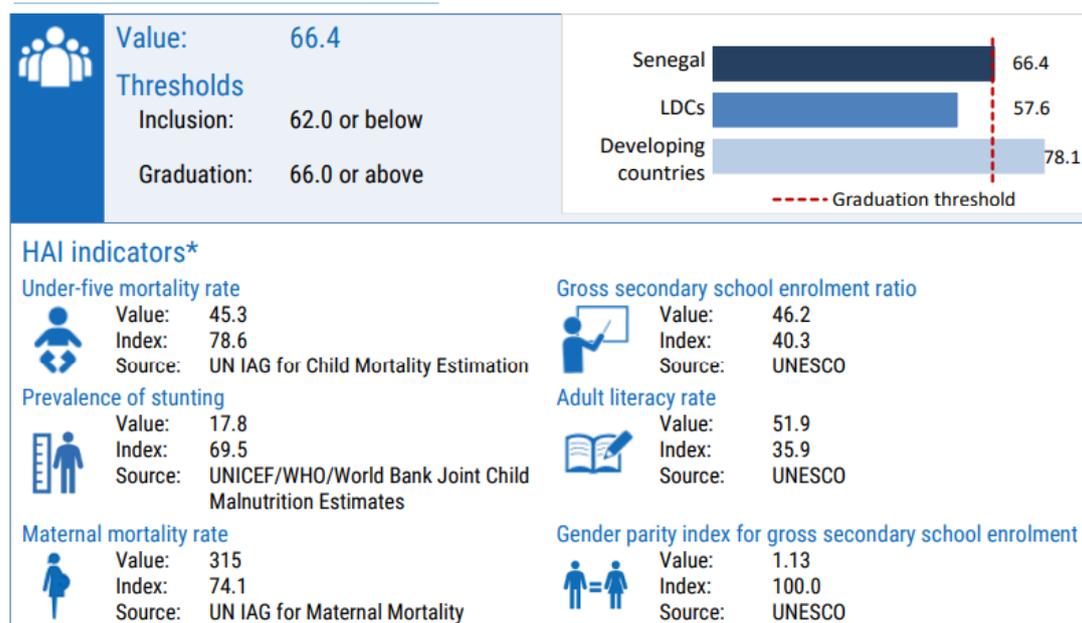


Figura 1.18: *Human Assets Index* (HAI). (fonte: United Nations, <<https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html>>, ultima consultazione: 18/07/2023).

Il Senegal ha pochissime risorse minerarie e petrolifere. Con il ricorso a numerose riforme strutturali, che, tuttavia, hanno avuto pesanti costi sociali e ripercussioni sulle condizioni di vita della popolazione, quasi la metà dei senegalesi vive ancora sotto la

⁵² United Nations, < <https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html> > (ultima consultazione: 18/07/2023)

soglia di povertà, ILOSTAT⁵³ stima al 49,5%⁵⁴ il tasso di occupazione della nazione, di cui il 23%⁵⁵ lavora all'interno del settore primario e rappresenta il 16,1%⁵⁶ del GDP⁵⁷ mentre il 24,1%⁵⁸ nelle industrie e il 55,8%⁵⁹ della forza lavoro è impiegata nel settore dei servizi; i dati riportati si riferiscono all'annualità 2022.

Le industrie principali sono legate al turismo, alla pesca e alla coltivazione delle arachidi e si concentrano nell'area di Dakar e Thiès. Infine, le rimesse dei migranti sono molto importanti in Senegal, tanto da superare gli aiuti esteri. Nel 2022, è stato stimato che rappresentassero il 9,8%⁶⁰ del GDP⁶¹ (*Gross Domestic Product*), mentre ODA⁶² (*Official development assistance*) costituiva il 5,1 dello GNI nell'anno precedente.

Dal punto di vista del mercato del lavoro, il Senegal è fortemente polarizzato fra l'economia rurale e quella urbana. A ciò corrisponde una distribuzione disomogenea della popolazione all'interno del paese, con una concentrazione di quasi metà della popolazione nelle regioni centrali e occidentali (Dakar, Kaolack e Thiès), e in particolare nei centri urbani.

La Casamance è una delle aree meno sviluppate del Paese con un tasso medio di urbanizzazione nelle aree rurali pari all'8%⁶³. L'indirizzo è prettamente agricolo e i villaggi rurali hanno una media di 1500 abitanti; in queste aree la qualità della vita è tra le peggiori del Senegal a causa di numerosi fattori quali il mancato sviluppo economico,

⁵³ ILOSTAT è il Dipartimento di Statistica dell'ILO è il punto focale delle Nazioni Unite per le statistiche sul lavoro. Sviluppano standard internazionali per una migliore misurazione delle questioni del lavoro e una maggiore comparabilità internazionale e aiutano gli Stati membri a sviluppare e migliorare le loro statistiche sul lavoro.

⁵⁴ International Labour Organization, <Statistiche sull'occupazione - ILOSTAT>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁵⁵ *Ibidem*.

⁵⁶ THE WORLD BANK, <Agricoltura, silvicoltura e pesca, valore aggiunto (% del PIL) - Senegal | Dati (worldbank.org)> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁵⁷ PIL in Italiano.

⁵⁸ International Labour Organization, <Statistiche sull'occupazione - ILOSTAT>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁵⁹ *Ibidem*.

⁶⁰ THE WORLD BANK, < Rimesse personali ricevute (% del PIL) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁶¹ Il *Gross Domestic Product* (GDP), o Prodotto Interno Lordo (PIL) in italiano, è un indicatore economico che consente di misurare il valore monetario totale di tutti i beni e servizi prodotti da un Paese durante un determinato periodo di tempo e rappresenta l'output economico di una nazione.

⁶² In italiano APS, Aiuto Pubblico allo Sviluppo, è definito come un aiuto governativo destinato a promuovere lo sviluppo economico e il benessere dei Paesi in via di sviluppo.

⁶³ KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022 p. 12 [PDF file].

la mancanza delle risorse e delle infrastrutture, oltre al fatto che i cambiamenti climatici incidono fortemente sulle attività agro-pastorali, le quali costituiscono la fonte primaria di autosufficienza. In questa area la povertà raggiunge il 97% della popolazione, l'88% delle famiglie non ha accesso all'acqua potabile, il 60% della popolazione vive in abitazioni senza accesso diretto all'elettricità e il 98% delle abitazioni non possiede la rete idrico-sanitaria, inoltre il 60% dei ragazzi lascia la scuola prima del liceo.⁶⁴

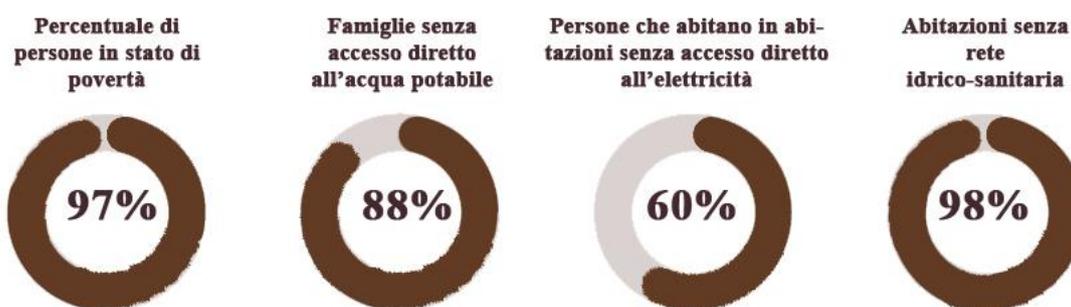


Figura 1.19: Alcuni dati sulla situazione delle abitazioni in Casamance.

1.3 Storia e popoli

1.3.1 Quadro socio-economico

Il Senegal ha una popolazione giovane e in rapida crescita, composta da 17 316 449⁶⁵ persone al 2021, di cui il 41%⁶⁶ di età inferiore ai 14 anni. L'evoluzione demografica e l'espansione urbana in Africa stanno portando un notevole aumento della popolazione nelle città. Nel 2009, la popolazione urbana ammontava a 400 milioni di persone, ma si prevede una crescita fino a 1 miliardo nel 2040. Nel 2015, il Senegal contava 13,9 milioni di abitanti, con una crescita annuale stimata al 2,6%⁶⁷ con un tasso di fertilità di 4,4⁶⁸ figli per donna, ciò comporterebbe una popolazione di 18,9 milioni entro il 2030. Dakar, che è attualmente la quindicesima città più popolata in Africa, potrebbe aumentare la sua

⁶⁴ *Ibidem*.

⁶⁵ THE WORLD BANK, <Population, total - Senegal | Data (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁶⁶ THE WORLD BANK, <Popolazione di età 0-14 (% della popolazione totale) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁶⁷ THE WORLD BANK, <Crescita demografica (%) annua - Senegal | Dati (worldbank.org)> (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁶⁸ THE WORLD BANK, <Tasso di fertilità totale (nascite per donna) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

popolazione da 3,5 milioni di abitanti nel 2015 a 5 milioni nel 2025, mostrando un aumento del 70% in soli 10 anni.

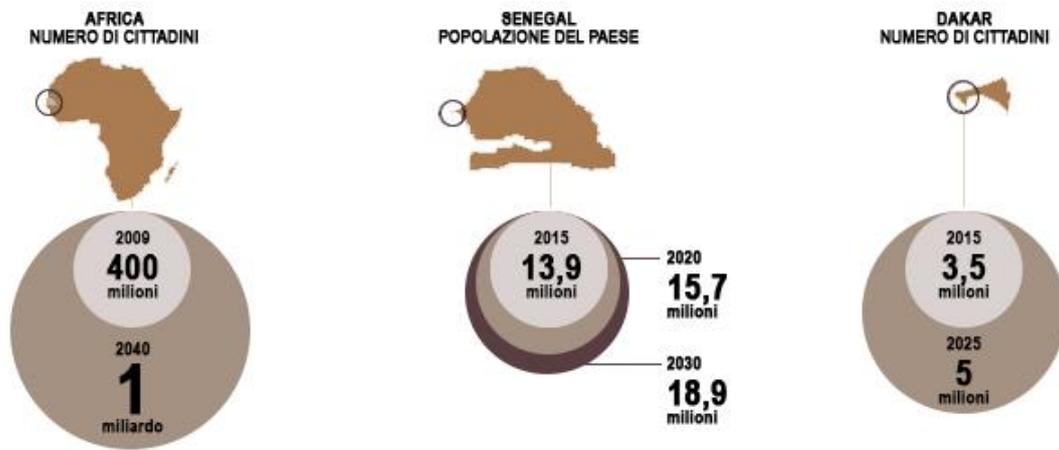


Figura 1.20: Stima evoluzione popolazione (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, Gennaio 2017 [PDF file]).

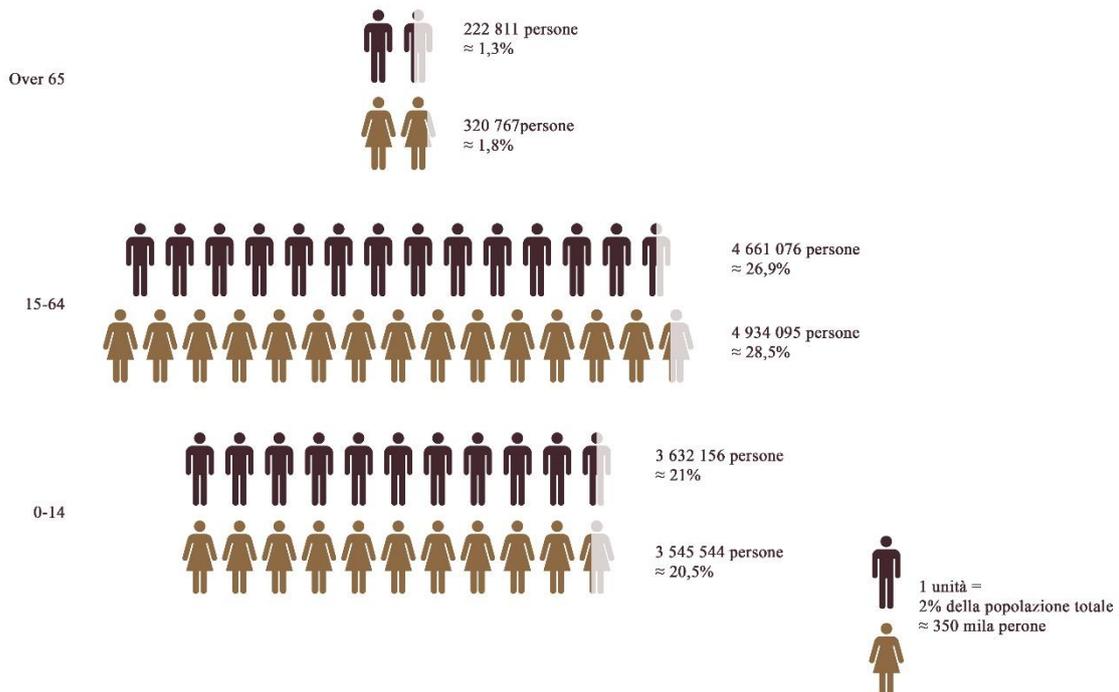


Figura 1.21 Piramide della popolazione del Senegal. La popolazione è distribuita lungo l'asse verticale, suddivisa per fascia d'età e per sesso. La forma della piramide della popolazione si evolve gradualmente nel tempo in base alla fertilità, alla mortalità e alle tendenze migratorie internazionali, quella riportata fa riferimento ai dati raccolti nell'anno 2022 (fonte dati: THE WORLD BANK, <<https://data.worldbank.org/country/senegal>>, ultima consultazione: 18/07/2023).

La fecondità rimane elevata a causa del continuo desiderio di famiglie numerose e del basso uso di contraccettivi; solo il 26%⁶⁹ delle donne sposate al 2019 usa la contraccezione moderna. La mancanza di accesso, in particolare per le donne più giovani, gioca un ruolo importante con il 22%⁷⁰ delle giovani donne sposate che ha un bisogno insoddisfatto di contraccezione. Inoltre, solo il 7% delle donne in età fertile al 2017, prendono le proprie decisioni informate in materia di rapporti sessuali, uso di contraccettivi e assistenza sanitaria riproduttiva. È stato dimostrato in altri contesti che la domanda di contraccezione è diversa per donne e uomini, con le donne che hanno meno probabilità di usare la contraccezione quando è coinvolto il marito, e il fatto che la maggior parte delle donne in Senegal non può sceglierne liberamente l'uso spiega, in parte, gli alti tassi di fertilità⁷¹. Tutto ciò, è indirettamente legato all'alto tasso di analfabetismo del Paese (oltre il 40%⁷²), all'elevata disoccupazione (anche tra i laureati) e alla diffusa povertà, i giovani senegalesi hanno scarse prospettive e le donne sono particolarmente svantaggiate.

Più della metà della popolazione vive nelle aree rurali, ma sempre più persone nel tempo migrano verso i centri urbani, tanto che la percentuale della

Figura 1.22: Dati sulla popolazione del Senegal (fonte: PROGETTO FORMA, *Scheda Senegal*, 8 gennaio 2018, [PDF file]. Disponibile da <https://progettoforma.eu/wp-content/uploads/2018/01/scheda-senegal.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).



⁶⁹ THE WORLD BANK, < Prevalenza contraccettiva, qualsiasi metodo moderno (% delle donne sposate di età 15-49) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁷⁰ THE WORLD BANK, <Necessità contraccettiva insoddisfatta (% delle donne sposate di età compresa tra 15 e 49 anni) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁷¹ Le Nestour Alexis, *Demand for schooling in rural Senegal*, tesi di Dottorato in Filosofia, University of Otago, Sunedin, New Zealand, Giugno 2018, p.13.

⁷² WFB, <Senegal - The World Factbook (cia.gov)>, (ultima consultazione: 19/07/2023).

popolazione che vive nelle zone rurali è diminuita dal 60% nel 2000 al 51% nel 2022⁷³.

A 67 anni⁷⁴, l'aspettativa di vita è relativamente alta per gli standard africani, ma il tasso di mortalità infantile rimane alto con 29 decessi ogni 1.000 nati vivi⁷⁵.

1.3.2 Etnie e struttura delle comunità locali

In Senegal si possono contare circa 20 diversi gruppi etnici. Le persone della stessa etnia condividono la stessa lingua, cognomi e abitudini e di solito vivono nella stessa zona. Ad esempio, i Wolof, il gruppo etnico dominante che rappresenta il 39,7%⁷⁶ della popolazione, sono più diffusi a nord-est di Dakar e sulla zona costiera. Altre due etnie importanti per diffusione sono i Fula, detti anche *Fulani*, *Fulbe* e *Peul*, ricoprono circa il 27,5%⁷⁷ della popolazione e vivono come nomadi nel deserto del nord del Paese, ma si possono trovare anche vicino al corso del fiume Senegal, e i Serer, circa il 16%⁷⁸ della popolazione. Questo gruppo costituisce il terzo gruppo etnico e sono concentrati nelle zone boschive di Thiès e del Sine-Saloum e coltivano la terra. Per quanto questi gruppi etnici tendano ad assumere un certo grado d'indipendenza è comunque possibile riscontrare più di un gruppo etnico che vive nella stessa comunità e inoltre le unioni interetniche sono comuni.

1.3.2.1 Distribuzione della popolazione in Casamance

I Diola dominano la Bassa Casamance, i Fulani l'Alta Casamance, i Manding e il Balant la Media Casamance e i Manjaag e Mancagne l'area al confine con la Guinea-Bissau. Sebbene i Diola considerino la Casamance la loro patria, l'insediamento primitivo della regione fu apparentemente formato dai Balant che si erano stabiliti attorno al sito della città di Ziguinchor. I Manding, Peul, Manjaag, Mancagne e Sérère emigrarono in tempi

⁷³ THE WORLD BANK, <Popolazione rurale (% della popolazione totale) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁷⁴ THE WORLD BANK, <Aspettativa di vita alla nascita, totale (anni) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁷⁵ THE WORLD BANK, <Tasso di mortalità infantile (per 1.000 nati vivi) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁷⁶ WFB, <Senegal - The World Factbook (cia.gov)>, (ultima consultazione: 19/07/2023).

⁷⁷ *Ibidem*.

⁷⁸ *Ibidem*.

diversi; i Wolof, invece, hanno sempre avuto difficoltà a farsi accettare dai casamancesi perché sono arrivati nella regione con la colonizzazione francese⁷⁹.

La distribuzione spaziale della popolazione in Casamance ha attirato l'attenzione di numerosi autori (Thomas, 1959, Péliissier, 1958 e 1966, Loquay, 1985, Cormier-Salem, 1992), i quali hanno dimostrato l'esistenza di forti relazioni tra l'occupazione dello spazio e la distribuzione della terra adatta alla coltura del riso⁸⁰.

Un villaggio Diola è infatti organizzato e si sostiene sulla base della risicoltura e della caccia, sono molto attaccati alle tradizioni e mantengono una forte componente animista⁸¹. Questa forma strategica di insediamenti umani nell'area della Casamance e le relative attività agricole hanno contribuito all'importanza relativa delle densità e distribuzione della popolazione.

L'elevata percentuale della popolazione che vive nelle zone rurali, tuttavia, nasconde molte disparità all'interno della regione. In effetti, da un distretto all'altro, le cifre variano in proporzioni talvolta considerevoli che riflettono forti disuguaglianze nell'occupazione umana dello spazio in Casamance⁸².

La mappa⁸³ della densità relativa alla Casamance, ricavata dall'analisi dei censimenti 1976, 1988, 2002 e 2013, (Figura 1.23) rivela un'alta concentrazione umana nel distretto di Ziguinchor, con densità generalmente superiori a 179 abitanti per km², una media concentrazione nei distretti di Kolda e Goudomp e una bassa densità, minore di 57 abitanti per km², nei restanti distretti.

⁷⁹ *Ibidem*.

⁸⁰ PIROVANO D., *Deterioramento...*, cit., p. 23.

⁸¹ ARECCHI A., *L'estremo...*, cit., p. 14

⁸² PIROVANO D., *Deterioramento...*, cit., p. 23.

⁸³ Redatta da Daniela Pivano nel contesto della tesi di laurea Magistrale in rischio ambientale e protezione civile nel 2019 con titolo "*Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*" p. 23.



Figura 1.23: Mappa della densità demografica suddivisa per dipartimenti, realizzata in GIS tramite i dati raccolti dei censimenti (fonte: PIROVANO DANIELA, *Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*, tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, p.23).

In generale, si osserva che lungo gli assi fluviali e vicino alle risaie si localizzano i centri di alta concentrazione umana; questa situazione è conferma l'importanza della coltivazione del riso tra queste popolazioni. Alla periferia degli altipiani si individuano invece corone di grandi villaggi, la cui nascita è presubilmente legata alla natura delle terre, drenate ai bordi della foresta e allagate dove sono predominanti le mangrovie.

Complessivamente si individuano zone più densamente popolate presso gli altipiani che circondano le valli fluviali, le piane mareali e gli agglomerati urbani, mentre gli ambienti insulari e gli altipiani più aridi lontani dall'acqua risultano meno densamente popolati.

Entrando più nello specifico, i principali gruppi etnici nella regione amministrativa di Ziguinchor, la regione più popolata della Casamance, sono, secondo il censimento del gennaio 1990, i Diola (60,7% della popolazione totale della regione), i Manding (9,2%), Peul (6,3%), Wolof (4,5%), Manjaag (3,8%), Mancagne (2,6%), Balant (2,5%) %, Serer (2,4%), Toucouleur (2,3%) e altri (5,7%)⁸⁴.

⁸⁴ *Ivi*, p. 19.

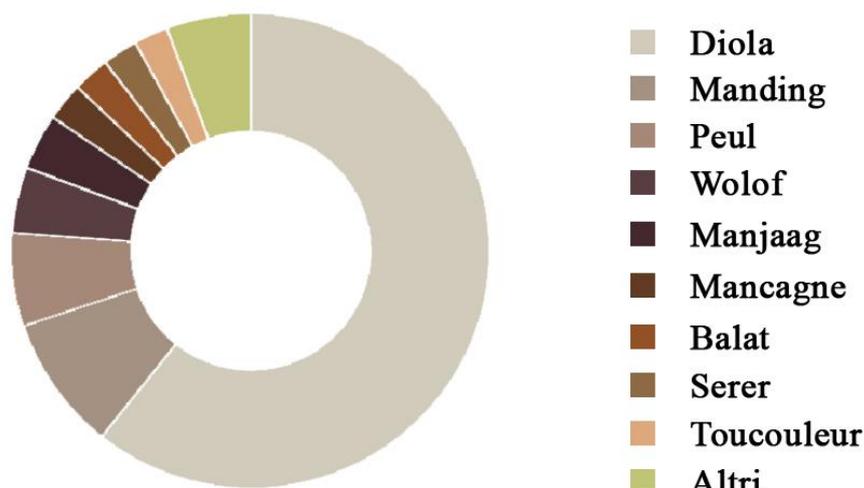


Figura 1.24: Distribuzione della popolazione nella regione di Ziguinchor.

1.3.2.2 Flussi migratori

Con un tasso netto di migrazione al 2021 pari a $-1,0091\%$ ⁸⁵, il Senegal è un paese di emigranti. Grazie agli espatriati il Paese beneficia di un flusso di rimesse pari a 9.8% ⁸⁶ del PIL.

Storicamente, sin dall'epoca del colonialismo, il Senegal era un Paese di destinazione per i migranti economici, ma negli ultimi anni i migranti dell'Africa occidentale usano più spesso il Senegal come punto di transito verso il Nord Africa e talvolta illegalmente verso l'Europa. Il Paese ha anche ospitato diverse migliaia di rifugiati mauritani da quando furono espulsi dalla loro patria durante il conflitto di confine del 1989 con il Senegal⁸⁷.

La crisi economica del Paese, negli anni '70 ha stimolato l'emigrazione; le partenze hanno poi subito un'accelerazione negli anni '90⁸⁸. Diversi sono i fattori che hanno spinto i giovani a spostarsi in cerca di lavoro e opportunità nelle città, in particolare a Dakar,

⁸⁵ THE WORLD BANK, <Saldo migratorio - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁸⁶ THE WORLD BANK, < Rimesse personali ricevute (% del PIL) - Senegal | Dati (worldbank.org)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁸⁷ WFB, <Senegal - The World Factbook (cia.gov)>, (ultima consultazione: 19/07/2023).

⁸⁸ PROGETTO FORMA, *Scheda Senegal*, 8 gennaio 2018, [PDF file]. Disponibile da <https://progettoforma.eu/wp-content/uploads/2018/01/scheda-senegal.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

dando avvio a un fenomeno di esodo rurale, primo fra tutti la crisi dell'economia rurale e con essa del fragile sistema di sussistenza su cui si basava il Paese, ma non meno importante è l'aspetto legato alla costante crescita della popolazione a cui far fronte. A partire dalla fine degli anni '80, inoltre, i piani di aggiustamento strutturale imposti dal Fondo Monetario Internazionale hanno aggravato ulteriormente le condizioni di vita della popolazione⁸⁹.

In questo contesto, sempre più famiglie cominciarono a investire nella migrazione, inviando i propri membri all'estero alla ricerca di lavoro o di condizioni di vita migliori, in un primo momento verso i Paesi vicini e successivamente, a causa del declino economico, dovuto alle guerre civili e alla crescente xenofobia, in Libia e in Mauritania a causa delle loro industrie petrolifere in forte espansione⁹⁰.

La migrazione senegalese si configura così sin dalle sue origini come una migrazione maschile di lavoro. Le donne e i figli tendono a rimanere in Senegal, rappresentando un legame strutturale e la più forte motivazione al ritorno. Si sta tuttavia evidenziando negli ultimi anni un processo di femminilizzazione dei flussi, sia attraverso un graduale ricongiungimento delle donne agli uomini all'estero e alla stabilizzazione di nuclei familiari a destinazione, sia attraverso la diffusione di percorsi migratori autonomi di donne, in particolare a partire da contesti urbani, come quello di Dakar.

Per ragioni storiche e linguistiche, la migrazione senegalese fino agli anni '80 fu diretta verso la Francia. A partire dagli inizi degli anni '90, tuttavia, si comincia ad assistere a una graduale diversificazione delle destinazioni, con una crescente attrazione verso i Paesi del sud Europa, primi fra tutti l'Italia e la Spagna. Durante gli anni '70 e '80, infatti, la migrazione senegalese si trovò al centro di due fenomeni contrastanti. Da un lato la crisi economica e l'arresto degli incentivi politici all'immigrazione in Francia portarono a una chiusura delle frontiere, dall'altro, diverse ondate di siccità che avevano già cominciato a colpire il Senegal sin dagli inizi degli anni '70, aumentando il numero di persone interessate ad emigrare. In questo stesso periodo alcuni Paesi del sud Europa, Italia e Spagna in particolare, presentavano sistemi di ingresso più flessibili e un mercato

⁸⁹ *Ibidem*.

⁹⁰ WFB, <Senegal - The World Factbook (cia.gov)>, (ultima consultazione: 19/07/2023).

del lavoro favorevole all'impiego informale di lavoratori non qualificati a prezzi competitivi, soprattutto nei settori dell'agricoltura e dell'edilizia. Questi fattori attrassero diversi senegalesi a cercare opportunità lavorative e migliori condizioni di vita in tali Paesi.

Inizialmente i senegalesi arrivarono in Italia soprattutto attraverso migrazioni di sponda a partire dalla Francia; successivamente stabilirono canali migratori diretti a partire dal Senegal, costituendovi reti sociali che chiamavano e accoglievano direttamente membri dal Paese di origine. Attualmente, secondo i dati dell'Organizzazione internazionale delle migrazioni (OIM), il Senegal è tra i primi dieci Paesi di origine dei migranti giunti in Italia nel 2016. I giovani senegalesi cercano migliori condizioni di vita per sé stessi e le loro famiglie e vedono nell'Europa una via per un'esistenza dignitosa⁹¹.

1.3.2.3 I Wolof

I Wolof sono l'etnia più diffusa del Senegal e la loro lingua è l'idioma nazionale sia del Senegal sia del Gambia. La società wolof costituisce sin dalle origini una comunità multi-etnica, che comprende tutti gli antichi gruppi etnici del Lebù⁹² ed è composta da uomini liberi (*jambùr*, "borghesi", e *baadolo*, contadini) e di gruppi di casta, considerati inferiori e che non si possono mescolare fra di loro, a questo ceto appartengono i fabbri, i falegnami, gli artigiani del cuoio e i tessitori. I *gêwel* o *griot*, i cantastorie, costituiscono invece una casta speciale, in basso alla scala sociale ci sono gli schiavi, *jaam*, legati alle proprietà dei padroni.

1.3.3 Religione

Il Senegal è ufficialmente uno Stato laico. L'Islam è la religione dominante nel Paese e manifesta una sempre crescente adesione passando dal 90,4% nel 2000 al 90,95%⁹³ della popolazione nel 2022. L'Islam è stato introdotto in Senegal già nell'XI secolo⁹⁴ e una massiccia conversione è avvenuta nel XIX secolo durante la guerra contro il colonizzatore francese. In Senegal, l'Islam è organizzato attorno a confraternite guidate da un leader

⁹¹ PROGETTO FORMA, *Scheda...*, cit., p.2.

⁹² ARECCHI A., *L'estremo...*, cit., p. 32.

⁹³ ARDA, <Profili nazionali | Religione mondiale (thearda.com)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁹⁴ ARECCHI A., *L'estremo...*, cit., p. 27.

religioso (*khalifa*), le tre principali sono: Tijanyyah (49% della popolazione), Muridiyyah (32%) e Qadiriyyah (9%), il resto della popolazione proviene da un'altra confraternita musulmana (6%) o cristiana (4%)⁹⁵. Il muridismo è la confraternita politicamente ed economicamente più attiva ed è presente principalmente nei centri urbani e tra i parlanti wolof. I tijani si trovano in tutto il Senegal ma sono più presenti nelle zone rurali e nel nord del Paese. È noto che le confraternite hanno legami con il potere politico e l'affiliazione a una confraternita può influenzare le opportunità di lavoro, le opinioni politiche o persino le opportunità di migrazione di un individuo.

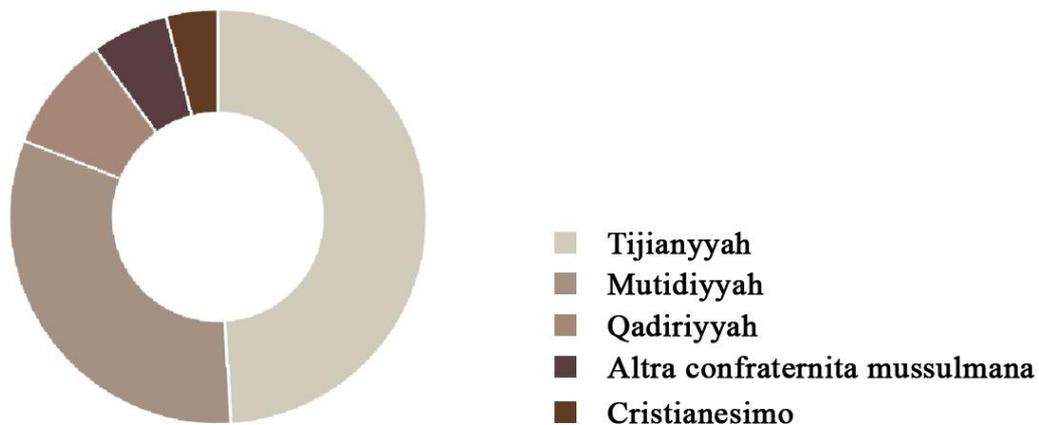


Figura 1.25: Distribuzione del credo religioso.

Altre religioni diffuse ma che accolgono una modesta adesione sono il Cristianesimo, diffuso principalmente in Casamance, con il 5,1%⁹⁶ e gli animisti ovvero gli adepti alle religioni tradizionali che rappresentano invece il 3,5%⁹⁷.

1.3.4 Storia

Il Senegal è un'ex colonia francese ed è diventato indipendente il 20 giugno 1960⁹⁸. Da allora, ha attraversato una serie di significative trasformazioni politiche, economiche e sociali. Inizialmente, per circa 40 anni, è stato gestito dai socialisti sotto un regime

⁹⁵ LE NESTOUR A., *Demand...*, cit., p.15.

⁹⁶ ARDA, <Profili nazionali | Religione mondiale (thearda.com)>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

⁹⁷ *Ibidem*.

⁹⁸ ARECCHI A., *L'estremo...*, cit.,74.

presidenziale, tuttavia, nel 2000, un candidato liberale, Abdoulaye Wade⁹⁹, vinse le elezioni, portando a un cambiamento nella leadership politica.

L'introduzione del multipartitismo nel 1974¹⁰⁰ ha contribuito a garantire una maggiore partecipazione politica e la possibilità di esprimere liberamente le proprie opinioni. Per questo motivo il Paese è considerato uno stato democratico, stabile e uno dei Paesi più pacifici dell'Africa occidentale.

Tuttavia, nelle aree localizzate ai confini settentrionali e meridionali permangono delle tensioni. Nel 1989 si è verificata una disputa tra la Mauritania e il Senegal riguardante i diritti di pascolo nella regione settentrionale; questo ha portato a due anni di tensioni tra le due nazioni e la maggior parte dei mauritani nel territorio sono stati espulsi. Allo stesso tempo 70.000 mauritani del sud sono stati costretti all'esilio in Senegal a causa del loro presunto legame con il Paese. Ad oggi, 20.000 di loro risiedono ancora nel nord della nazione.¹⁰¹

In particolare, la storia della Casamance si sviluppa a partire dal 15° sec. quando i portoghesi commerciavano col *mansa* «re» di Kasa (il nome Casamance deriva dall'espressione *Kasa mansa*) e stabilirono una base a Ziguinchor, ceduta nel 1886 ai francesi. Nel 1903, i francesi occuparono la Casamance e la unirono ai territori senegalesi, rispetto ai quali rimase differenziata da fattori culturali, come la lingua Diola, diffusa anche nei vicini Gambia e Guinea Bissau, i culti tradizionali e il cristianesimo, è riscontrabile infatti un minor grado di islamizzazione.

Dopo il 1980 tale differenza sfociò in una lunga lotta secessionista, tanto che nel 1982 una ribellione separatista provocò la morte di circa 1.000 persone. La situazione nella Casamance è stata quindi oggetto di discussione per il governo senegalese che cercò di stipulare accordi di pace e corridoi di dialogo con i gruppi separatisti al fine di promuovere la stabilità nella regione. Il separatismo Diola ha recentemente preso una "deriva etnica" che spinge gli indipendentisti a scacciare tutti i non-Diola dalla Casamance, in particolare con attacchi che aumentano il grado di terrore.¹⁰²

⁹⁹ PIROVANO D., Deterioramento..., cit., p.19.

¹⁰⁰ *Ibidem*.

¹⁰¹ *Ibidem*.

¹⁰² *Ibidem*.

Il problema del separatismo in Casamance fonda le sue radici a inizio Novecento quando la regione ha visto l'insorgere di numerosi movimenti di resistenza anticoloniali che avevano lo scopo di opporsi alla penetrazione francese sul territorio. Nel 1947, Emile Badiane, Ibou Diallo e Yéro Kandé fondarono il movimento MFDC (*Mouvement des Forces Démocratiques de la Casamance*), con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo dei processi democratici e il miglioramento delle condizioni di vita nell'intera regione.¹⁰³ Inizialmente, il movimento non aveva alcuna spinta indipendentista, ma mirava a garantire l'effettiva parità di trattamento sul piano sia economico che sociale della Casamance all'interno dello stato del Senegal. Questa iniziativa fu avviata a causa della scarsa considerazione data sul tema dello sviluppo di questo peculiare territorio, che necessitava di sostegno per ridurre le disuguaglianze interne. Dopo l'ottenimento dell'indipendenza dalla Francia, il MFDC smise di esistere e fu assorbito nel BDS (*Bloc Démocratique Sénégalais*) di Léopold Sédar Senghor, il futuro presidente del Senegal. Tale fusione non fu gradita da tutti i membri dell'MFDC, tanto che l'ala più radicale si organizzò in una forza autonoma, il MAC (*Mouvement Autonome de la Casamance*), che a causa degli scarsi finanziamenti di cui godeva si limitò ad allacciare contatti con i Paesi confinanti quali il Gambia e la Guinea che, diversamente dal Senegal, erano molto interessati ai prodotti della regione. Secondo François d'Assise Badiane, il presidente Senghor avrebbe attuato, negli anni del suo governo, una politica di accentramento in base alla quale tutte le risorse vennero dirottate su Dakar e la Casamance, considerata da sempre il "granaio del Senegal", venne utilizzata e considerata alla stregua di un "serbatoio da cui attingere liberamente e in qualunque momento".

Il conflitto, che ebbe effettivo inizio nel dicembre del 1983 e che ancor oggi permane, ha portato a conseguenze devastanti sulla popolazione civile che hanno subito violenze e soprusi da entrambi le parti coinvolte. Da un lato i guerriglieri, capeggiati da Augustin Diamacoune Senghor, saccheggiavano senza esitazione i villaggi in cerca di risorse, costringevano bambini e ragazzi ad unirsi alla guerra, privandoli dell'infanzia e dell'istruzione, e nascondevano mine nelle strade più difficili da controllare, causando la perdita di vite umane e gravi mutilazioni. Dall'altro canto, l'esercito governativo senegalese, addestrato nelle accademie militari francesi, ha combattuto contro i ribelli con

¹⁰³ *Ibidem.*

azioni militari mirate a reprimere la rivolta e ristabilire l'autorità dello Stato nella regione, istaurando un'economia di guerra con gravi danni economici e sociali. L'instabilità e le operazioni militari contribuirono a ostacolare lo sviluppo economico, la crescita e l'accesso alle risorse essenziali per la popolazione della Casamance.

Quando nel 2000 Abdoulaye Wade vinse le elezioni presidenziali in Senegal, promise di risolvere il problema della Casamance in cento giorni¹⁰⁴, promessa che tuttavia non riuscì a mantenere. Il 30 dicembre del 2004 il presidente Wade propose a Augustin Diamacoune Senghor un trattato di pace¹⁰⁵ nella speranza di porre fine al conflitto, tale accordo aveva l'obiettivo di convincere i ribelli a sospendere i combattimenti in cambio di vantaggi finanziari e incentivi. Secondo Wade ai guerriglieri che avessero deposto le armi, sarebbe stato garantito un vero e proprio stipendio e incentivi pecuniari. Dopo la stipula dell'accordo, in Casamance regnò un breve periodo di pace, intervallato da sporadici attacchi da parte di banditi.

Il decesso di Augustin Diamacoune Senghor nel 2006 portò a una frattura all'interno del movimento MFDC con l'emergere di diverse fazioni, tra la più radicale, capeggiata da Salif Sadio, responsabile degli attacchi periodici ai danni di villaggi e civili.

Allo stato attuale, la situazione resta tesa, come conferma l'eccidio di Bayotte nel 2018 in cui tredici persone, tra cui alcuni adolescenti, sono rimasti uccisi in un agguato armato. Le accuse riguardanti il mandante di tale strage sono state oggetto di controversia tra l'esercito e l'MFDC. L'esercito senegalese ha incolpato i separatisti armati di essere i responsabili mentre l'MFDC ha respinto tali accuse e ha indicato come autore i contrabbandieri presenti nella regione. L'obiettivo comune è comunque quello di evitare una nuova *escalation* di violenza nella regione; tuttavia, fino a quando non sarà seguito un serio processo di pace, la situazione rimarrà incerta e non si potrà risolvere completamente la crisi.

¹⁰⁴ *Ibidem*.

¹⁰⁵ Molti in Senegal, e soprattutto in Casamance, sono convinti che la pace sia servita solo al presidente Wade per ottenere prestigio internazionale.

1.3.5 Lingua

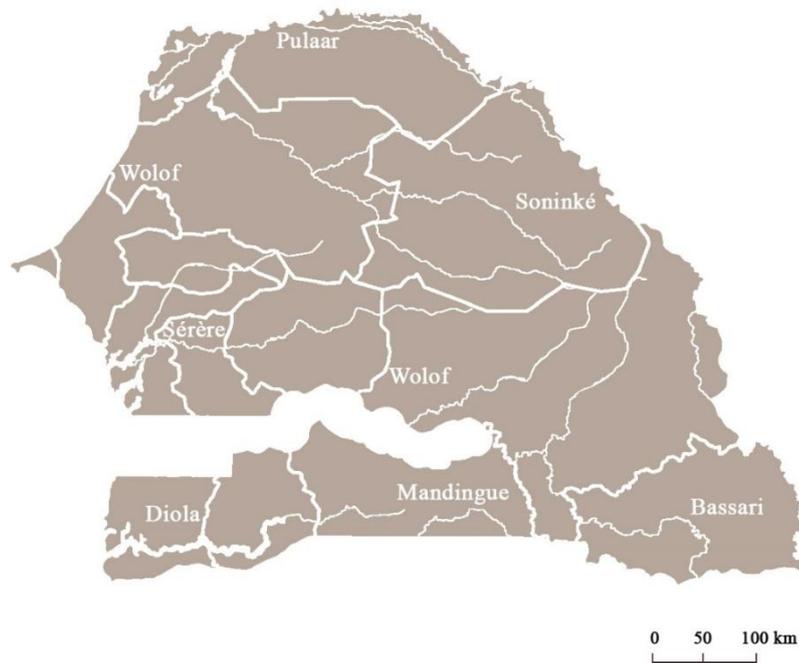


Figura 1.26 Carta delle Lingue.

La lingua maggiormente diffusa è il Wolof, nacque all'origine come lingua dei Lebu¹⁰⁶, popolo che vive lungo il fiume Senegal. Tale diffusione trova le sue radici in fenomeni legati all'urbanizzazione delle terre e alla percentuale di popolazione che riveste l'etnia omonima rispetto alle altre.

Altre lingue diffuse nel Paese e in generale in tutta l'Africa Occidentale sono il Pulaar, il Diola e alcune lingue europee come il francese, l'inglese, il portoghese, reminiscenze della storia coloniale.

Il Pulaar, in tutte le sue varianti, è parlato in tutto da oltre dieci milioni di persone¹⁰⁷ e il ceppo più diffuso in Senegal è il Futa Toro nella regione arida settentrionale. Mentre il Diola è la lingua di una minoranza etnica molto compatta, che ha resistito alla "colonizzazione" culturale e religiosa di etnie più forti, come quella Wolof.

¹⁰⁶ ARECCHI A., *L'estremo...*, cit., p. 22.

¹⁰⁷ *Ivi*, p. 23.

1.4 Posizionamento del Paese rispetto ai “Sustainable Development Goals” (SDGs)

Il Senegal si trova di fronte a una serie di sfide e opportunità nel raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) stabiliti dalle Nazioni Unite. Gli SDGs, noti anche come Agenda 2030, sono una serie di 17 obiettivi globali volti a porre fine alla povertà, proteggere il pianeta e garantire prosperità e pace per tutti entro il 2030, comprendono temi quali la povertà, la fame, la salute, l'istruzione, l'uguaglianza di genere, l'accesso all'acqua pulita, l'energia sostenibile, l'occupazione dignitosa, la protezione dell'ambiente e la promozione della pace e della giustizia.

Il Senegal, come molte altre nazioni in via di sviluppo, si è impegnato a lavorare verso la realizzazione di tali obiettivi, tenendo conto delle sue specificità socio-economiche e delle sfide interne. In particolare, il Paese ha dimostrato un forte impegno¹⁰⁸ e una grande volontà politica nel tradurre gli SDGs in azioni concrete e in politiche nazionali, attraverso l'integrazione di tali obiettivi nel *Plan Sénégal Emergent* (Piano di sviluppo nazionale – PSE).

Il PSE¹⁰⁹ è il nuovo quadro politico del governo del presidente Macky Sall, che mira a portare il Senegal sulla strada dello sviluppo entro il 2035¹¹⁰ e rappresenta una *roadmap* ambiziosa orientata verso la trasformazione del tessuto economico e sociale.

La nazione si posiziona al 121° posto su 166¹¹¹ Paesi aderenti all'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile e di cui si hanno i dati certi inerti il progresso, con un punteggio

¹⁰⁸ SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <<https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal/factsheet>>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

¹⁰⁹ Il PES si basa su tre elementi strategici: la trasformazione del quadro economico, la promozione del capitale umano, il buon governo e lo stato di diritto. In una prima fase (2014-2018) dovrebbero essere stati attuati 27 progetti “faro” e 17 riforme riguardanti tutti i settori con l'obiettivo, in accordo al pensiero politico del presidente Sall, di estirpare la povertà dalla popolazione offrendo in mezzi per autorealizzarsi in autonomia.

¹¹⁰ SENEGAL EMERGENTE, <<https://www.presidence.sn/en/pse/presentation>>, (ultima consultazione: 18/07/2023)

¹¹¹ Le Nazioni aderenti all'Agenda 2030 sono in realtà 193 ovvero i Paesi membro dell'ONU. (fonte: Nazioni Unite, <<https://unric.org/it/agenda-2030/>>, ultima consultazione: 18/07/2023).

nazionale di 61,8¹¹² a scapito di una media regionale più bassa di 53,0 punti e un punteggio di *spillover*¹¹³ pari al 98,4%¹¹⁴.

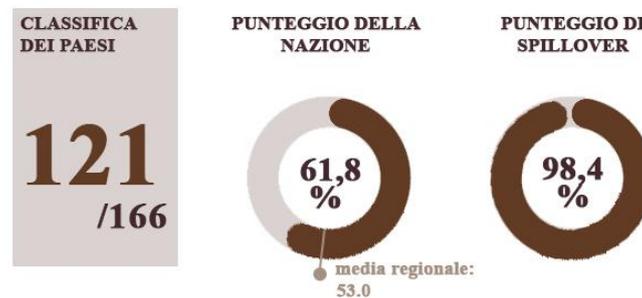


Figura 1.27: Posizionamento e punteggio del Senegal rispetto gli SDGs (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < <https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal> >, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Essere al 121° posto significa che il Senegal ha ancora ampi margini di miglioramento per affrontare le sfide legate alla povertà, all'educazione, alla salute, all'ambiente e ad altre aree cruciali che gli SDGs mirano a coprire. Tuttavia, è importante notare che il fatto che il Senegal partecipi perfettamente all'Agenda 2030 dimostra un impegno a lavorare per uno sviluppo sostenibile e un futuro migliore per il suo popolo che si rispecchia in un andamento positivo crescente nel raggiungimento completo di tutti gli obiettivi.



Figura 1.28: Andamento del progresso complessivo verso il raggiungimento di tutti i 17 obiettivi (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < <https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal> >, (ultima consultazione: 18/07/2023).

¹¹² Il punteggio complessivo misura il progresso totale verso il raggiungimento di tutti i 17 SDG. Il punteggio può essere interpretato come una percentuale del raggiungimento degli SDG. Un punteggio di 100 indica che tutti gli SDGs sono stati raggiunti.

¹¹³ Le azioni di ciascun Paese possono avere effetti positivi o negativi sulla capacità di altri Paesi di raggiungere gli obiettivi. L'Indice Spillover valuta tali ricadute lungo tre dimensioni: impatti ambientali e sociali incorporati nel commercio, economia e finanza e sicurezza. Un punteggio più alto significa che un Paese provoca più effetti di ricaduta positivi e meno negativi.

¹¹⁴ SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < <https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal> >, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Specificatamente allo stato di raggiungimento degli obiettivi, è possibile individuare tre categorie: in peggioramento, con limitati progressi, archiviati o sulla buona strada per l'ottenimento dei risultati desiderati.

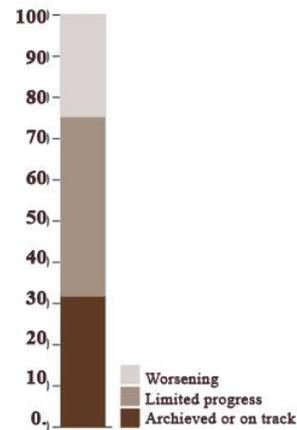


Figura 1.29: Stato degli obiettivi SDG (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <<https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal>>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Dalla figura 1.29 e 1.30 emerge chiaramente come il Senegal abbia conseguito notevoli progressi nel raggiungimento di importanti obiettivi, come l'implementazione di modelli di consumo e produzione sostenibili (SDG 12) e l'adozione di misure urgenti per contrastare il cambiamento climatico (SDG 13). Tuttavia, nonostante questi successi, il Paese deve ancora affrontare diverse sfide importanti riguardanti diverse aree cruciali.

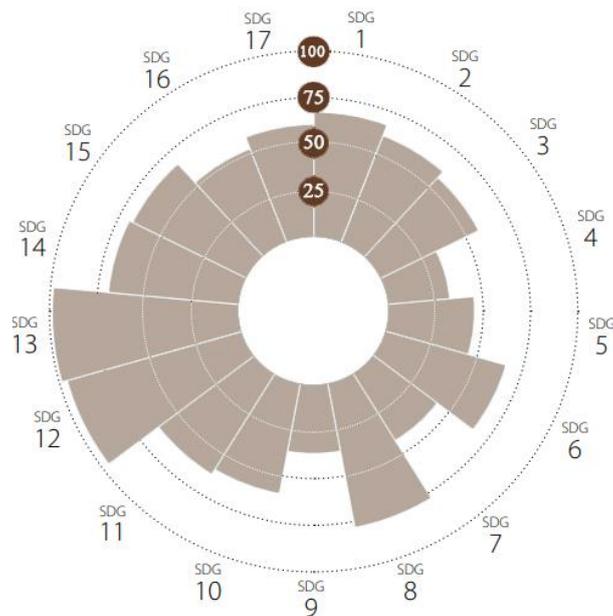


Figura 1.30: Rendimento medio del Senegal rispetto a ogni SDG (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <<https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal>>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Queste sfide includono la lotta contro la fame, il miglioramento del benessere della popolazione, il garantire un'educazione di qualità per tutti e promuovere la parità di genere. Inoltre, il Senegal deve affrontare problematiche legate all'accesso all'acqua pulita e ai servizi igienico-sanitari, alla promozione di un'energia economica e pulita, alla

creazione di città e comunità sostenibili, e alla preservazione degli habitat acquatici e terrestri.

Entrando nel merito dell'SDG 4, l'accesso all'istruzione è stato migliorato attraverso la promozione dell'istruzione primaria gratuita¹¹⁵ e dell'istruzione superiore e ciò ha contribuito a ridurre il tasso di analfabetismo e a fornire una base per la crescita economica futura (per una visione più approfondita sull'argomento si rimanda al *paragrafo §1.5*). Sono stati inoltre compiuti sforzi per affrontare le sfide della salute pubblica, migliorando l'accesso ai servizi sanitari di base e combattendo malattie come l'AIDS, la malaria e la tubercolosi.



Figura 1.31: Dashboard e tendenze degli SDGs in Senegal (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <<https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal>>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Tutti gli obiettivi sono definiti da molteplici indicatori che a seconda del loro stato possono seguire tendenze crescenti, ovvero essere sulla buona strada o mantenere il raggiungimento del goal, moderatamente in miglioramento, stagnanti e, infine, decrescenti, come riportato nelle figure 1.31 e 1.32.

¹¹⁵ CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.6 [PDF file]. Disponibile su *The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantag*" by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023).

SDG – No Poverty	Value	Year	Rating	Trend	SDG9 – Industry, Innovation and Infrastructure	Value	Year	Rating	Trend	
Poverty headcount ratio at \$2.15/day (2017 PPP, %)	6.8	2023	●	↑	Rural population with access to all-season roads (%)	72.8	2022	●	●	
Poverty headcount ratio at \$3.65/day (2017 PPP, %)	28.3	2023	●	↔	Population using the internet (%)	58.1	2021	●	↑	
SDG2 – Zero Hunger					SDG10 – Reduced Inequalities					
Prevalence of undernourishment (%)	7.5	2020	●	↑	Logistics Performance Index: Quality of trade and transport-related infrastructure (worst 1–5 best)	2.2	2018	●	↓	
Prevalence of stunting in children under 5 years of age (%)	17.0	2022	●	↔	The Times Higher Education Universities Ranking: Average score of top 3 universities (worst 0–100 best)	*	0.0	2022	●	●
Prevalence of wasting in children under 5 years of age (%)	8.1	2019	●	↓	Articles published in academic journals (per 1,000 population)	0.1	2021	●	↔	
Prevalence of obesity, BMI ≥ 30 (% of adult population)	8.8	2016	●	↔	Expenditure on research and development (% of GDP)	0.6	2015	●	●	
Human Trophic Level (best 2–3 worst)	2.1	2017	●	↑	SDG11 – Sustainable Cities and Communities					
Cereal yield (tonnes per hectare of harvested land)	1.9	2021	●	↑	Proportion of urban population living in slums (%)	31.6	2020	●	↔	
Sustainable Nitrogen Management Index (best 0–1.41 worst)	1.1	2018	●	↓	Annual mean concentration of particulate matter of less than 2.5 microns in diameter (PM2.5) (µg/m³)	41.6	2019	●	↔	
Exports of hazardous pesticides (tonnes per million population)	0.3	2020	●	●	Access to improved water source, piped (% of urban population)	85.4	2020	●	↔	
SDG3 – Good Health and Well-Being					SDG12 – Responsible Consumption and Production					
Maternal mortality rate (per 100,000 live births)	260.9	2020	●	↔	Municipal solid waste (kg/capita/day)	0.4	2016	●	●	
Neonatal mortality rate (per 1,000 live births)	21.1	2021	●	↔	Electronic waste (kg/capita)	1.2	2019	●	●	
Mortality rate, under-5 (per 1,000 live births)	38.6	2021	●	↔	Production-based SO ₂ emissions (kg/capita)	3.7	2018	●	●	
Incidence of tuberculosis (per 100,000 population)	113.0	2021	●	↑	SO ₂ emissions embodied in imports (kg/capita)	0.5	2018	●	●	
New HIV infections (per 1,000 uninfected population)	0.1	2021	●	↑	Production-based nitrogen emissions (kg/capita)	14.0	2018	●	↑	
Age-standardized death rate due to cardiovascular disease, cancer, diabetes, or chronic respiratory disease in adults aged 30–70 years (%)	19.5	2019	●	↔	Nitrogen emissions embodied in imports (kg/capita)	3.4	2018	●	↑	
Age-standardized death rate attributable to household air pollution and ambient air pollution (per 100,000 population)	146.4	2019	●	●	Exports of plastic waste (kg/capita)	0.2	2021	●	↔	
Traffic deaths (per 100,000 population)	23.5	2019	●	↔	SDG13 – Climate Action					
Life expectancy at birth (years)	68.6	2019	●	↔	CO ₂ emissions from fossil fuel combustion and cement production (tCO ₂ /capita)	0.8	2021	●	↔	
Adolescent fertility rate (births per 1,000 females aged 15 to 19)	71.3	2018	●	●	CO ₂ emissions embodied in imports (tCO ₂ /capita)	0.1	2018	●	↔	
Births attended by skilled health personnel (%)	74.5	2019	●	↑	CO ₂ emissions embodied in fossil fuel exports (kg/capita)	0.0	2021	●	●	
Surviving infants who received 2 WHO-recommended vaccines (%)	85	2021	●	↑	SDG14 – Life Below Water					
Universal health coverage (UHC) index of service coverage (worst 0–100 best)	49	2019	●	↔	Mean area that is protected in marine sites important to biodiversity (%)	36.7	2022	●	↔	
Subjective well-being (average ladder score, worst 0–10 best)	4.9	2022	●	↔	Ocean Health Index: Clean Waters score (worst 0–100 best)	43.8	2022	●	↓	
SDG4 – Quality Education					SDG15 – Life on Land					
Participation rate in pre-primary organized learning (% of children aged 4 to 6)	17.8	2021	●	↔	Mean area that is protected in terrestrial sites important to biodiversity (%)	45.4	2022	●	↔	
Net primary enrollment rate (%)	72.6	2021	●	↓	Mean area that is protected in freshwater sites important to biodiversity (%)	23.9	2022	●	↔	
Lower secondary completion rate (%)	41.8	2021	●	↓	Red List Index of species survival (worst 0–1 best)	0.94	2023	●	↔	
Literacy rate (% of population aged 15 to 24)	76.4	2021	●	↑	Permanent deforestation (% of forest area, 3-year average)	0.3	2021	●	↔	
SDG5 – Gender Equality					SDG16 – Peace, Justice and Strong Institutions					
Demand for family planning satisfied by modern methods (% of females aged 15 to 49)	53.2	2019	●	↔	Homicides (per 100,000 population)	NA	NA	●	●	
Ratio of female-to-male mean years of education received (%)	35.2	2021	●	↓	Unsentenced detainees (% of prison population)	42.1	2017	●	●	
Ratio of female-to-male labor force participation rate (%)	59.4	2022	●	↓	Population who feel safe walking alone at night in the city/area where they live (%)	57	2022	●	↔	
Seats held by women in national parliament (%)	43.0	2021	●	↑	Birth registrations with civil authority (% of children under age 5)	78.7	2019	●	●	
SDG6 – Clean Water and Sanitation					SDG17 – Partnerships for the Goals					
Population using at least basic drinking water services (%)	84.9	2020	●	↔	Government spending on health and education (% of GDP)	7.2	2020	●	↔	
Population using at least basic sanitation services (%)	56.8	2020	●	↔	For high-income and all OECD DAC countries: International concessional public finance, including official development assistance (% of GNI)	NA	NA	●	●	
Freshwater withdrawal (% of available freshwater resources)	11.8	2019	●	●	Other countries: Government revenue excluding grants (% of GDP)	19.8	2018	●	●	
Anthropogenic wastewater that receives treatment (%)	0.5	2020	●	●	Corporate Tax Haven Score (best 0–100 worst)	*	0	2021	●	●
Scarce water consumption embodied in imports (m ³ H ₂ O eq/capita)	418.3	2018	●	●	Statistical Performance Index (worst 0–100 best)	72.2	2022	●	↑	
SDG7 – Affordable and Clean Energy					SDG8 – Decent Work and Economic Growth					
Population with access to electricity (%)	70.4	2020	●	↔	Adjusted GDP growth (%)	-3.2	2021	●	●	
Population with access to clean fuels and technology for cooking (%)	24.2	2020	●	↓	Victims of modern slavery (per 1,000 population)	2.9	2018	●	●	
CO ₂ emissions from fuel combustion per total electricity output (MtCO ₂ /TWh)	1.7	2019	●	↑	Adults with an account at a bank or other financial institution or with a mobile-money-service provider (% of population aged 15 or over)	56.0	2021	●	↑	
Renewable energy share in total final energy consumption (%)	4.6	2019	●	↔	Unemployment rate (% of total labor force, ages 15+)	3.4	2023	●	↑	
SDG8 – Decent Work and Economic Growth					SDG9 – Industry, Innovation and Infrastructure					
Victims of modern slavery embodied in imports (per 100,000 population)	9.0	2018	●	●	Government spending on health and education (% of GDP)	7.2	2020	●	↔	
Adults with an account at a bank or other financial institution or with a mobile-money-service provider (% of population aged 15 or over)	56.0	2021	●	↑	For high-income and all OECD DAC countries: International concessional public finance, including official development assistance (% of GNI)	NA	NA	●	●	
Unemployment rate (% of total labor force, ages 15+)	3.4	2023	●	↑	Other countries: Government revenue excluding grants (% of GDP)	19.8	2018	●	●	
Fundamental labor rights are effectively guaranteed (worst 0–1 best)	0.7	2021	●	↑	Corporate Tax Haven Score (best 0–100 worst)	*	0	2021	●	●
Fatal work-related accidents embodied in imports (per 100,000 population)	0.0	2018	●	↔	Statistical Performance Index (worst 0–100 best)	72.2	2022	●	↑	
Victims of modern slavery embodied in imports (per 100,000 population)	9.0	2018	●	●						

* Imputed data point

Figura 1.32 Rendimento dei singoli indicatori degli SDGs per il Senegal (fonte: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <<https://dashboards.sdindex.org/profiles/senegal>>, (ultima consultazione: 18/07/2023).

L'indice spillover, noto anche come "*SDG Index Spillover Analysis*", è uno strumento analitico che valuta come il progresso di un Paese verso il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) può avere effetti positivi o negativi su altri Paesi, sia a livello regionale che globale. Un esempio di tema interessante nel presente campo è l'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienico sanitari (SDG 6).

Se il Senegal dovesse ottenere risultati significativi nel migliorare l'accesso all'acqua pulita e alle strutture igienico-sanitarie per la popolazione, si potrebbero innescare effetti positivi, non solo sulla qualità di vita dei cittadini senegalesi, ma anche su quelli dei Paesi vicini con cui condividono le risorse idriche. Tale profitto non si limiterebbe al raggiungimento dell'Obiettivo 6 ma avrebbe ricadute anche su tutti quegli SDGs ad esso legati, tra cui la salvaguardia degli ecosistemi acquatici e la mitigazione degli impatti climatici sulla disponibilità dell'acqua nella nazione.

Contrariamente, se il progresso verso gli SDGs è limitato o se ci sono politiche attive che possono provocare effetti negativi sulla povertà, sull'istruzione o l'ambiente, ciò comporterebbe impatti negativi sia a livello nazionale che regionale. Ad esempio, una mancanza di progresso nell'istruzione provocherebbe conseguenze negative sulla forza lavoro e sulla capacità del Paese di adattarsi alle sfide economiche future.

L'indice spillover è quindi in grado di fornire un quadro approssimativo dei punti di forza e delle vulnerabilità del progresso del Senegal verso gli SDGs, suggerendo politiche e azioni mirate a massimizzare i benefici e mitigare gli effetti negativi.

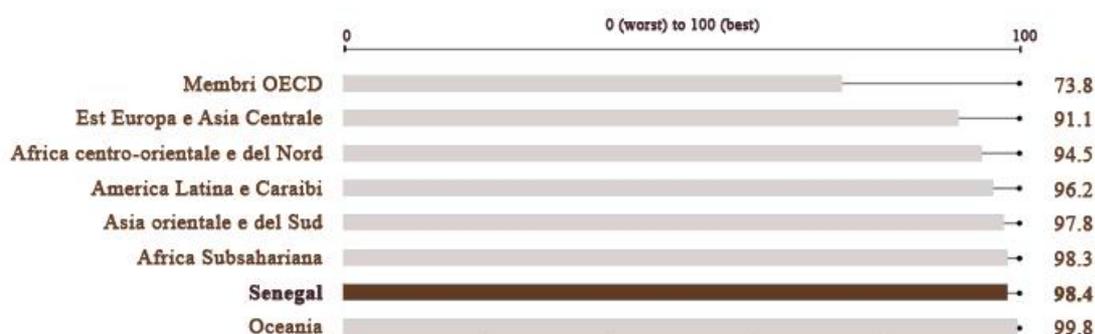


Figura 1.33: Indice spillover, confronto tra la situazione senegalese e gli altri continenti (fonte dati: SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < <https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal> >, (ultima consultazione: 18/07/2023).

Nonostante i successi conservati, rimane ancora molto lavoro da fare per affrontare le sfide in sospeso e garantire un reale impatto positivo sulla vita delle persone e sull'ambiente. La realizzazione di tutti gli obiettivi delle Nazioni Unite per lo sviluppo sostenibile (SDGs) richiede infatti un impegno costante e congiunto da parte del governo, delle istituzioni e della società civile, e solo con uno sforzo collettivo si potrà sperare di realizzare progressi significativi e duraturi verso un futuro migliore per il Senegal e per il mondo.

1.5 Sistema educativo

A livello globale, negli ultimi anni, si sono raggiunti traguardi importanti in merito all'iscrizione nelle scuole. Il livello base di alfabetizzazione è migliorato in maniera significativa ed è stata raggiunta l'uguaglianza tra i sessi nell'istruzione primaria. Tuttavia, pochi Paesi hanno raggiunto questo risultato a tutti i livelli educativi e ancora milioni di bambini nel mondo non godono del diritto allo studio. Nonostante nei Paesi in via di sviluppo l'iscrizione nelle scuole abbia raggiunto il 91%, 57 milioni di bambini ne sono ancora esclusi e più delle metà di questi vive nell'Africa Subsahariana¹¹⁶.

Per fornire una rappresentazione immediata della panoramica globale in



Figura 1.34: Alcuni dati sull'istruzione. (fonte dati: United Nations, < <https://www.undp.org/> >, ultima consultazione: 18/07/2023).

¹¹⁶ KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022 p. 4 [PDF file].

merito alla non frequentazione delle scuole elementari si riportata una mappa appositamente scalata in cui la dimensione del territorio è proporzionale alla popolazione in età scolare (dai 5 ai 10 anni).

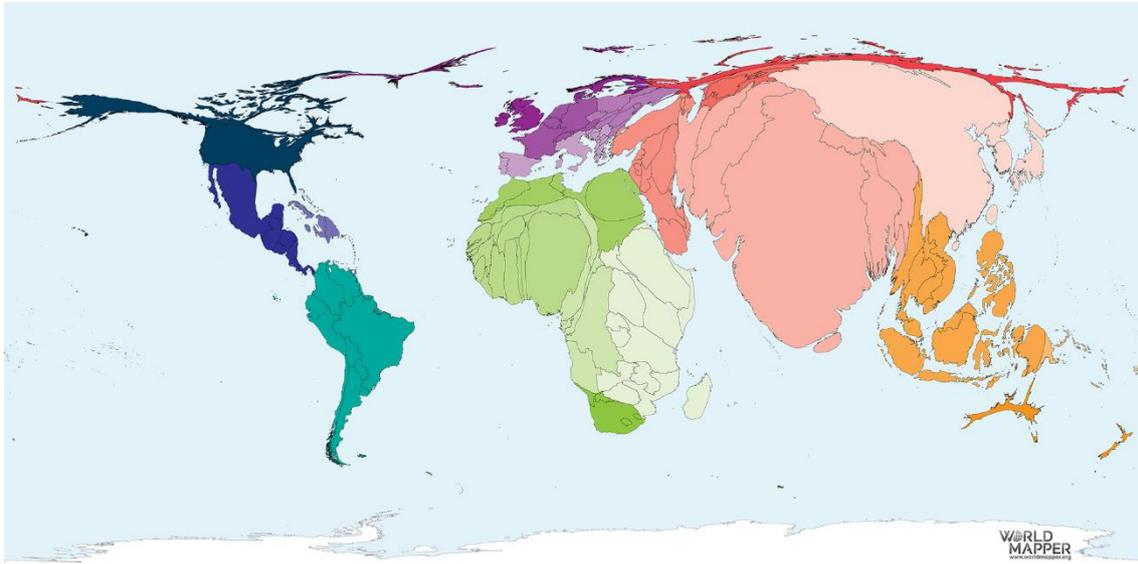


Figura 1.35: Mappa scalata che riporta la dimensioni dei territori in funzione del tasso di non frequentazione delle scuole elementari © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html).

Nigeria, Pakistan e Sudan si collocano ai primi posti della lista di territori con il maggior numero di bambini non iscritti all'istruzione primaria, sebbene il tasso più elevato si localizzi in Eritrea, dove viene iscritto all'incirca un bambino su due, seguito da Gibuti e Sudan rispettivamente con il 66 % e il 70%.

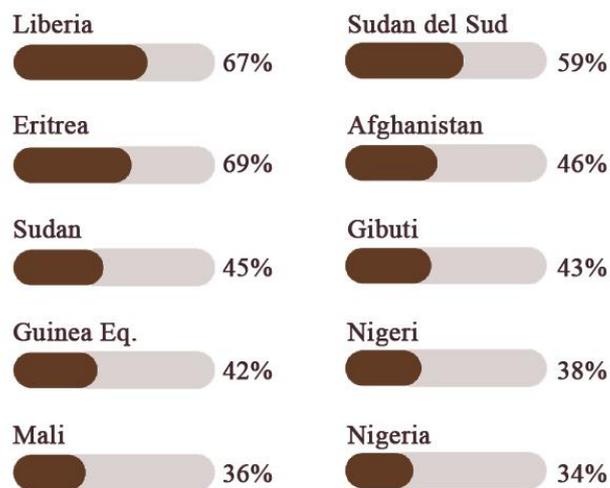


Figura 1.36: Classifica dei primi 10 Paesi in cui l'istruzione è maggiormente negata. (fonte dati: UNICEF, <<https://www.unicef.org/press-releases/10-countries-highest-out-school-rates-40-cent-children-are-not-accessing-basic>>, ultima consultazione: 18/07/2023).

Come appare evidente, l'istruzione è principalmente negata all'interno del continente africano, ciò è conseguenza diretta dell'elevato numero di guerre che si disputano all'interno del continente e della povertà diffusa in ambiente rurale. Infatti, nei Paesi colpiti da guerre i bambini non istruiti hanno maggiore probabilità di essere reclutati come bambini-soldato e nelle nazioni povere di essere impiegati nel lavoro minorile.

1.5.1 Sviluppo educativo in Africa: stato di fatto e prospettive

Con tre persone su cinque sotto i 25 anni, e metà della sua popolazione tra i 3 e i 24 anni, l'Africa ha la popolazione più giovane di qualsiasi continente. Nel 2020, la popolazione sotto i 25 anni era di quasi 800 milioni, di cui 677 milioni avevano tra i 3 e i 24 anni. Inoltre, la popolazione africana non è solo giovane ma anche soggetta a una rapida crescita.

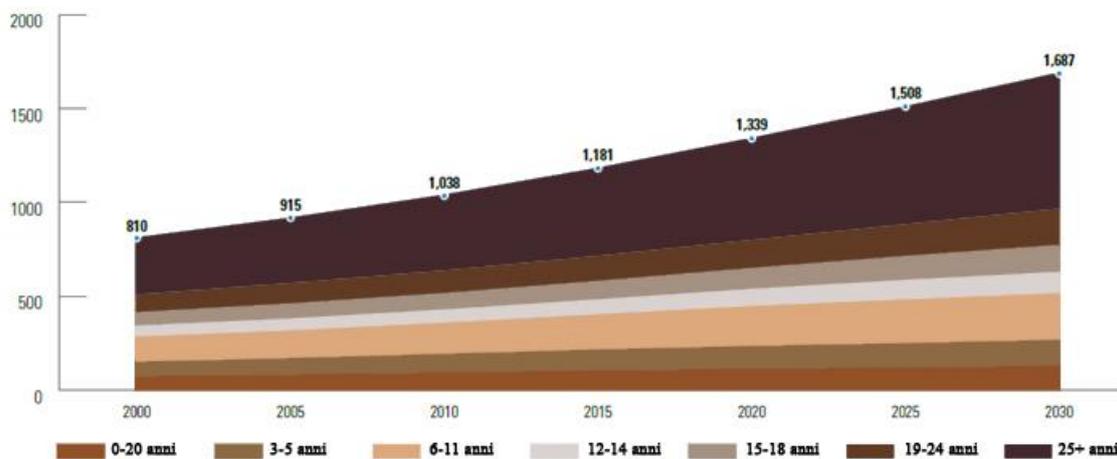


Figura 1.37: Composizione ed evoluzione della popolazione africana, espressa in milioni (fonte dati: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.9 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

Rispetto al 2000, la popolazione compresa tra i 3 e i 24 anni è aumentata del 58% e si stima che aumenti ulteriormente del 22% nel prossimo decennio. Secondo le proiezioni della popolazione redatte dalle Nazioni Unite, nel 2030 l'Africa ospiterà il 28% della popolazione mondiale di età compresa tra 3 e 24 anni, rispetto al 17% del 2000 e al 25%

del 2020. Tra il 2000 e il 2020 gli under 25 aumenteranno dell'82% in Africa centrale e del 68% in Africa occidentale, rispetto al 18% del Nord Africa.¹¹⁷

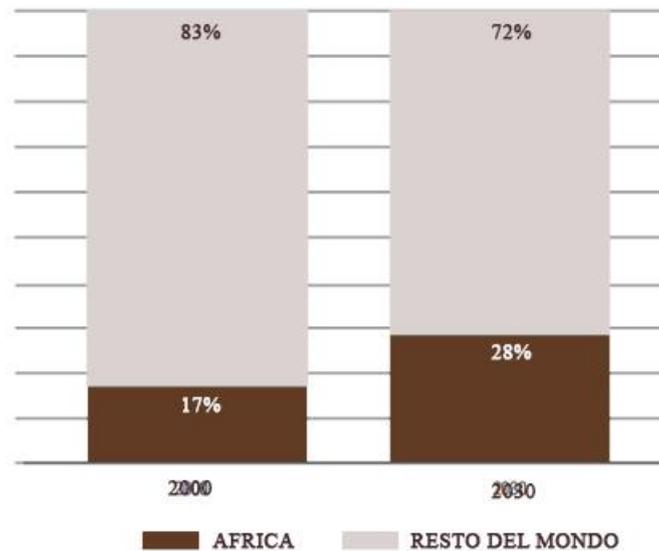


Figura 1.38: La popolazione africana di età compresa tra 3 e 24 anni rispetto a quella mondiale, confronto tra la situazione del 2000 e la stima al 2030 (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.10 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

L'elevata popolazione di giovani e l'alto tasso di crescita, presentano sia un rischio che un'opportunità. Infatti, la pressione che esercita sui sistemi di istruzione e formazione è enorme; eppure, questi giovani possono diventare un motore della crescita economica e di sviluppo, se sono date loro le possibilità e le competenze di cui hanno bisogno.

La conoscenza e le competenze fornite da un'istruzione di qualità aiutano a sviluppare capitale umano, aumentando non solo la produttività e l'occupabilità degli individui, ma anche consentendo di migliorare lo sviluppo complessivo dei Paesi in cui vivono. Altrettanto evidente è l'effetto dell'istruzione nei campi dello sviluppo umano: da una salute migliore, all'emancipazione femminile, dall'impegno civico alla coesione sociale.

¹¹⁷ UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.9 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

Accelerando gli investimenti nell'istruzione e nella formazione per far fronte alla crescita sostenuta del numero di giovani, i Paesi africani possono trarne pieno vantaggio.¹¹⁸

Nonostante i significativi progressi nell'alfabetizzazione nel continente, rimane una gran parte della popolazione africana analfabeta. Nel 2018, circa una persona su tre di età compresa tra i 25 ei 64 anni, e un giovane su cinque di età tra i 15 e i 24 anni, erano analfabeti.

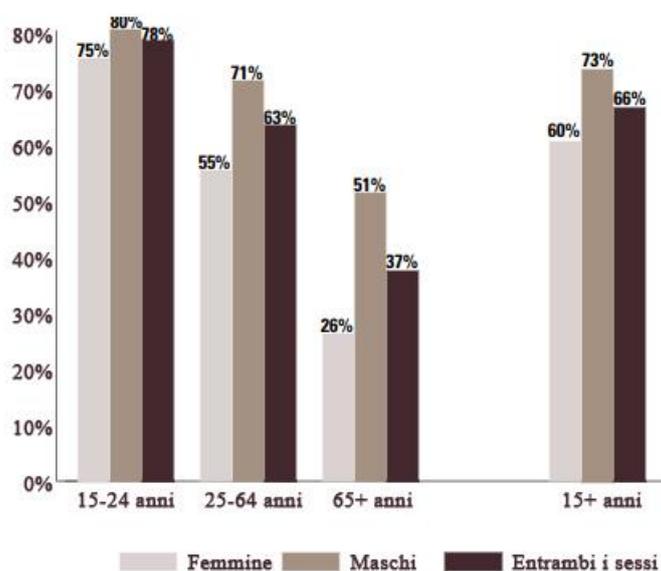


Figura 1.39: Tasso di alfabetismo in Africa scomposto in base ai gruppi d'età e il sesso (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.10 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf> ,ultima consultazione: 19/07/2023).

Il tasso di alfabetizzazione dell'adulto medio nel continente varia dal 52% nell'Africa occidentale al 79% nell'Africa meridionale, in particolare l'Africa occidentale ha quasi un terzo della popolazione adulta analfabeta. L'analfabetismo dei genitori è uno dei fattori che ostacolano la scolarizzazione dei bambini, in particolare tra i gruppi più emarginati.

L'istruzione è anche uno degli aspetti alla base per migliorare la qualità di vita delle persone e delle comunità, e rappresenta lo strumento necessario per renderle

¹¹⁸ *Ivi*, p.10.

autosufficienti. Come visto precedentemente, uno degli obiettivi principali dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, è quello di permettere un'istruzione di qualità a tutti i bambini.

Tabella 1.1 Tasso di alfabetismo e popolazione rurale in Africa, suddivisa in base alla regione (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.11 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

REGIONE	% POPOLAZIONE RURALE, 2019	TASSO DI ALFABETIZZAZIONE NEGLI ADULTI (%), 2018
Africa centrale	46,2	67,5
Africa orientale	64,0	71,1
Nord Africa	36,2	71,8
Sud Africa	56,3	78,7
Africa occidentale	54,1	51,5
Africa	53,6	66,0

Un altro fattore chiave da considerare in questo contesto è la pressione esercitata dalla rapida urbanizzazione sui sistemi educativi. La percentuale della popolazione che vive nelle zone rurali è diminuita gradualmente da una media del 62% nel 2000 al 54% nel 2019. Ciò nonostante, la sfida per i Paesi africani è nell'assicurarsi che l'accesso all'istruzione sia disponibile per una popolazione ancora prevalentemente rurale.

L'Africa ha compiuto importanti progressi nell'incremento della partecipazione scolastica negli ultimi due decenni. Nel 2000, quasi un terzo dei bambini in età scolare, due quinti dei bambini in età da scuola secondaria di primo grado, e tre quinti dei bambini in età da scuola secondaria superiore non andavano a scuola. Queste proporzioni sono diminuite nel corso degli anni e nel 2019, le stime erano rispettivamente del 17%, 33% e 53%.

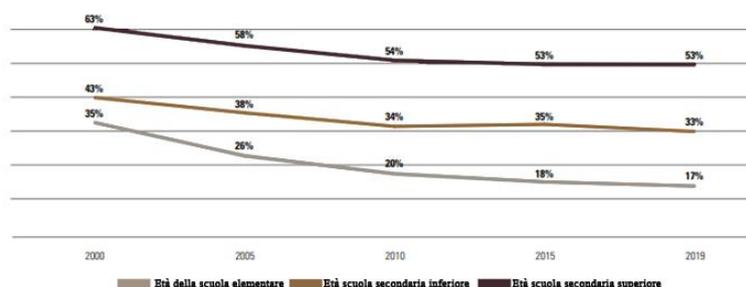


Figura 1.40: Quota di bambini non scolarizzati in Africa, suddivisi per fascia d'età. (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.11 [PDF file]. Disponibile da

<https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf> ,ultima consultazione: 19/07/2023).

Nonostante ciò, la percentuale di bambini che ancora non frequenta la scuola è alta, soprattutto considerando il *trend* di crescita della popolazione. Si stima che il numero di bambini che non vanno a scuola sia in aumento dal 2010. Nel 2019 c'erano 105 milioni di bambini delle elementari e della scuola secondaria che non erano iscritti a scuola, di più rispetto al 2000. In tutto il continente, la situazione per quanto riguarda i bambini non scolarizzati varia in modo significativo, con quasi 42 milioni di bambini, ovvero due su cinque, l'Africa occidentale rimane la regione con il maggior numero di bambini non scolarizzati nel continente.

La necessità di garantire almeno 9-10 anni di istruzione a tutti i bambini è ampiamente accettata, tanto che la comunità internazionale ha dichiarato di raggiungere entro il 2030 il completamento dell'obiettivo di Sviluppo Sostenibile inerente la qualità d'istruzione secondaria da parte di tutti i bambini. I governi si sono impegnati a Incheon per costruire un quadro di azione per l'attuazione dell'SDG 4, ovvero per garantire che tutti i bambini nel mondo abbiano la possibilità di usufruire del servizio scolastico in forma gratuita fino a 12 anni, tutto ciò finanziato con fondi pubblici. I paesi africani, dal loro lato, a Kigali nel settembre 2007, si sono impegnati a realizzare un ambiente favorevole e un quadro giuridico per un'istruzione di base gratuita e obbligatoria di almeno nove anni, e il completamento dell'istruzione secondaria per tutti. Oggi, oltre la metà, il 53%, dei paesi in Africa dispone di un quadro giuridico che stabilisce almeno nove anni di scuola dell'obbligo. Allo stesso modo, il 57% dei Paesi ha incorporato nel proprio quadro normativo la scolarizzazione gratuita di almeno nove anni.

Nonostante tutti questi sforzi, i tassi di completamento faticano a raggiungere i livelli previsti. Dopo un aumento costante tra il 2000 e il 2010, durante il quale i tassi sono aumentati in media di un punto percentuale all'anno, questi sono poi progrediti molto lentamente. Nel 2019, il *gross intake ratio* (tasso di ammissione lordo – GIR) per l'ultimo anno dell'istruzione primaria era del 73%, due punti percentuali in più rispetto al 2010.

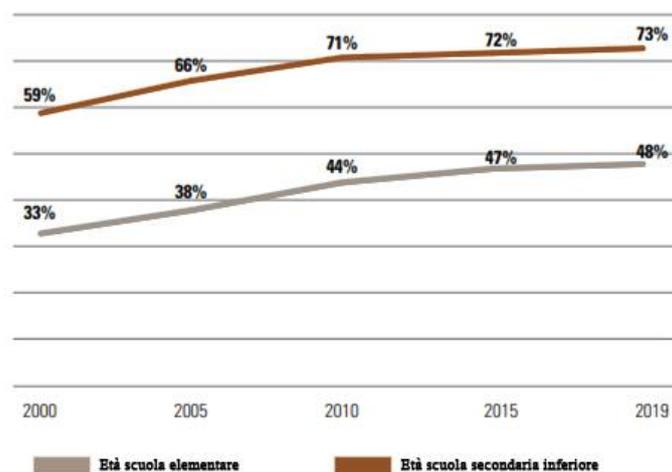


Figura 1.41: Andamento del tasso di ammissione lordo dal 2000 al 2019 per la scuola primaria e secondaria inferiore (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.14 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

Una misura più precisa della percentuale di bambini che completano l'istruzione primaria e secondaria, basato su indagini condotte presso le famiglie, mostra un quadro ancora più preoccupante. La media di completamento per Paese è del 65% a livello di istruzione primaria, il 41% al livello secondario inferiore e solo il 23% al livello secondario superiore. La situazione varia notevolmente da Paese a Paese e da Regione a Regione: l'Africa settentrionale, seguita dall'Africa meridionale presenta tassi più elevati rispetto all'Africa occidentale, dove il tasso medio di completamento della scuola primaria è solo del 53%, contro l'83% dell'Africa settentrionale¹¹⁹.

Tabella 1.2: Tassi di completamento della scuola ai vari livelli in Africa (fonte: UNICEF, African Union Commission, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.15 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

REGIONE	SCUOLA ELEMENTARE	SCUOLA SECONDARIA INFERIORE	SCUOLA SECONDARIA INFERIORE
Africa centrale	65	37	17
Africa orientale	64	37	22
Nord Africa	83	64	36
Sud Africa	73	50	29
Africa occidentale	53	33	18
Africa	65	41	23

¹¹⁹ *Ivi*, p.15.

Ad aggravare la situazione è inoltre da considerare il fattore riguardante la mancanza di materiali didattici adeguati e infrastrutture compatibili, con un bisogno educativo in crescita, e adeguate ai bisogni specifici degli studenti. È il caso della Casamance, in cui le strutture scolastiche non sono attrezzate per apportare un sostegno alimentare e sanitario. La maggior parte delle scuole sono infatti prive di bagni, spogliatoi e mense, e l'infrastruttura scolastica è ridotta a una successione di muri e classi.

Un terzo delle scuole nel mondo non dispone di servizi di base

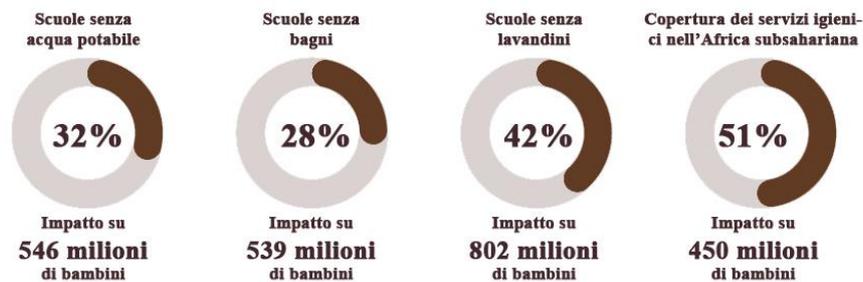


Figura 1.42: Alcuni dati sui servizi delle scuole. (fonte dati: UNICEF, < <https://www.unicef.org/> >, ultima consultazione: 18/07/2023).

A causa della mancanza di infrastrutture e materiale scolastico, di instabilità politica ed economica e carenza di personale, molti studenti, specialmente nell'Africa subsahariana, non acquisiscono sufficiente competenza nella lettura e in matematica, con conseguenze che si ripercuotono nel lavoro e nella vita privata.

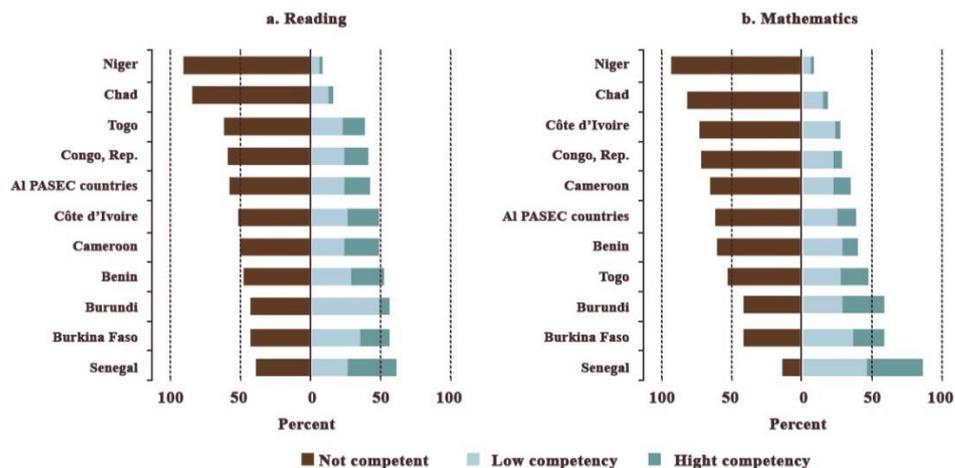


Figura 1.43: Percentuale di studenti che acquisiscono competenze in lettura e matematica, suddivisi in base ai Paesi subsahariani (fonte dati: WORLD BANK GROUP, *World development report. Learning to realize education's promise*, 2018 [PDF file]).

È necessario un aumento significativo dei finanziamenti per raggiungere l'SDG 4. Il Quadro d'azione per lo sviluppo sostenibile riconosce la diversità dei contesti nazionali, ma raccomanda i seguenti parametri di riferimento nazionali per l'istruzione: destinare almeno il 4% del prodotto interno lordo (PIL) all'istruzione e/o all'educazione e almeno il 15-20% della spesa pubblica. In media, un governo africano spende il 4,1% del prodotto interno lordo per l'istruzione, questa cifra è vicina alla media globale del 4,3%. In tutte le regioni del continente, il dato varia dal 3,1% dell'Africa centrale al 5,9% dell'Africa meridionale.¹²⁰

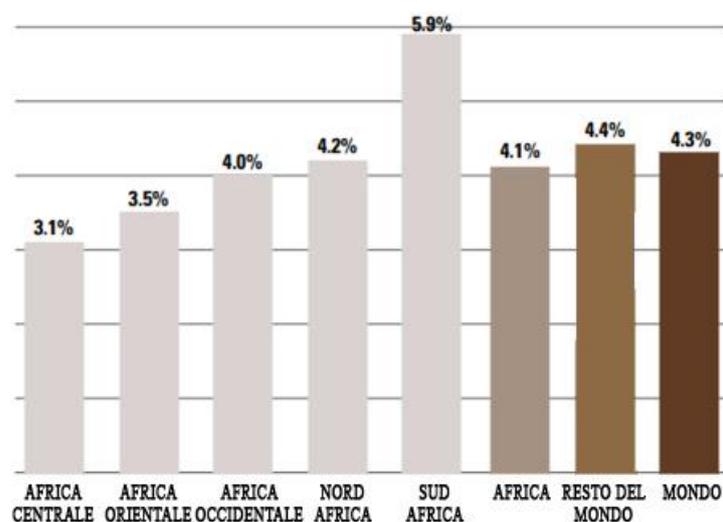


Figura 1.44: Spesa pubblica per l'istruzione in % del PIL in Africa, 2018 (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, p.22 [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf>, ultima consultazione: 19/07/2023).

Secondo i dati a livello nazionale, tuttavia, esistono enormi disparità. La spesa pubblica in percentuale del PIL varia da circa l'1% della Repubblica Centrafricana all'8% della Sierra Leone. È inoltre importante notare che, anche per i Paesi che hanno raggiunto il parametro di riferimento del 4% del PIL, il volume dei finanziamenti pubblici rimane piuttosto moderato. In effetti, l'ampia percentuale di popolazione in età scolare e l'arretratezza accumulata in termini di accesso all'istruzione inclusiva e di qualità, significano che i Paesi africani devono ancora effettuare ingenti investimenti per

¹²⁰ *Ivi*, p.21.

migliorare le condizioni di apprendimento dei bambini a scuola e, in secondo luogo, per soddisfare la domanda in continua crescita.

1.5.2 Situazione attuale in Senegal

Nonostante l'ottenimento dell'indipendenza nel 1960 e l'introduzione recenti riforme sull'istruzione che mirano a creare un curriculum nazionale, il Senegal adotta ancora il modello educativo francese, seguendo le disposizioni della Legge nazionale sull'orientamento scolastico del 1991¹²¹. Di conseguenza, la lingua d'insegnamento predominante è il francese.

Alcuni elementi significativi della riforma richiesta dagli Etats Généraux includono l'adozione di libri di testo pubblicati in Senegal e basati sull'esperienza senegalese, per poi essere distribuiti gratuitamente agli studenti, e l'insegnamento nelle lingue madri durante i primi anni dell'istruzione primaria e l'introduzione dell'educazione religiosa nelle scuole pubbliche.¹²²

In conformità al modello francese, la scuola primaria in Senegal è composta da cinque fasi.

Table 1: *École élémentaire* (Primary school)

Age	Grade	Abbreviation
6-7 yrs	Cours préparatoire	CP / 11ème
7-8 yrs	Cours élémentaire première année	CE1 / 10ème
8-9 yrs	Cours élémentaire deuxième année	CE2 / 9ème
9-10 yrs	Cours moyen première année	CM1 / 8ème
10- 11 yrs	Cours moyen deuxième année	CM2 / 7ème

Figura 1.45: Organizzazione del sistema educativo elementare (fonte: CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.31 [PDF file]. Disponibile su *The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantag*" by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023).

¹²¹ WORLD BANK GROUP, *SABER Country Report 2016. Senegal*, 2016, p.7 [PDF file].

¹²² CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.5 [PDF file]. Disponibile su *The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantag*" by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023).

I bambini iniziano a frequentare la scuola primaria tra i sei e i sette anni, a livello di *Cours préparatoire* (corsi preparatori – CP). A questi seguono in ordine consecutivo, il *Cours élémentaire première année* (corso elementare del primo anno – CE1), il *Cours élémentaire deuxième année* (corso elementare del secondo anno – CE2), il *Cours moyen première année* (corso medio del primo anno – CM1), *Cours moyen deuxième année* (corso medio del secondo anno – CM2). L'anno scolastico è suddiviso in tre periodi, inizia a ottobre e termina a giugno e una settimana media è composta da circa trenta ore di lezione¹²³. A ciascuno di questi livelli, accanto all'istruzione pubblica, è presente anche il settore privato, che negli ultimi anni è diventato molto più diversificato e sviluppato.¹²⁴

Durante i primi anni della scuola primaria, si dedica un'ampia percentuale di tempo a insegnare ai bambini il francese, che costituirà la principale lingua di insegnamento per la maggior parte della loro educazione. In questa fase gli studenti sono introdotti anche alla lettura, alla scrittura e all'aritmetica. Mentre, negli anni successivi, iniziano a ricevere lezioni di storia, geografia, scienza della Terra, musica, arte ed educazione fisica.

La dimensione della classe è in media di settanta studenti per classe nelle scuole urbane e quarantotto per classe nelle zone rurali¹²⁵. Nonostante il divario tra iscrizione femminile e maschile si sia ridotto dall'indipendenza del Senegal, con un numero equiparabile di studenti maschi e femmine nelle aree urbane, persiste una disparità.

Per quanto riguarda l'istruzione prescolare, destinata ai bambini dai 3 ai 5 anni, le scuole materne e le "*Case de tout-petits*" (asili nido) sono le istituzioni più comuni, e spesso queste strutture sono gestite dal settore privato. Tuttavia, la loro presenza è maggiormente concentrata nelle zone urbane e nelle principali città. Ad esempio, Dakar ospita il 32% di tutte le strutture del Paese. D'altra parte, nelle regioni più svantaggiate, come quelle al sud e agli estremi ovest del Senegal, la percentuale di queste strutture è molto bassa, mediamente intorno al 2-3% del totale nazionale. Questa disparità evidenzia una differenza significativa nell'accesso all'istruzione prescolare tra le aree urbane più

¹²³ *Ibidem*.

¹²⁴ KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022 p. 14 [PDF file].

¹²⁵ CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.5 [PDF file]. Disponibile su *The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantages* by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023)..

sviluppate e le regioni rurali meno favorite, a causa delle difficoltà igienico-sanitarie ed economiche.¹²⁶

L'istruzione elementare è la fase scolastica con la maggiore adesione nel Paese. Alla fine del ciclo di studi elementare lo studente ottiene, sotto esame, il *certificat des études primaires élénebtaures* (Certificato di fine studi elementari – CFEE), un test standardizzato che valuta le conoscenze dello studente in scrittura, lettura, matematica, storia, geografia e scienze applicate. Gli studenti che superano questo test possono quindi sostenere *l'examen d'entrée en sixième*, un esame di selezione altamente competitivo. Nel Paese si contano quasi 10.000 strutture di cui il 15% sono di natura privata, di cui 30% delle strutture sono localizzate nella capitale. Il tasso di iscrizione medio è oggi pari all'86% e il tasso di riuscita nell'ottenimento del CFEE è massimo a Dakar (64%) e minimo a Diourbel (48%).¹²⁷ Questa distinzione è riconducibile alle scarse condizioni socioeconomiche in ambiente rurale.

Le stesse strutture si presentano frequentemente, in particolare nelle zone rurali e periferiche, in condizioni non adeguate a garantire la tutela igienico-sanitaria degli studenti e a favorire le migliori condizioni psico-fisiche per l'apprendimento, infatti: solo il 70% delle scuole dispone di bagni e di punti di accesso all'acqua (il massimo 90% a Dakar, il minimo 35% a Kedougou), il 30% ha accesso all'elettricità (il massimo 90% a Dakar, il minimo 12% a Sedhiou), il 50% hanno un muro di chiusura (il massimo 93% a Dakar, il minimo 20% a Kolda).¹²⁸

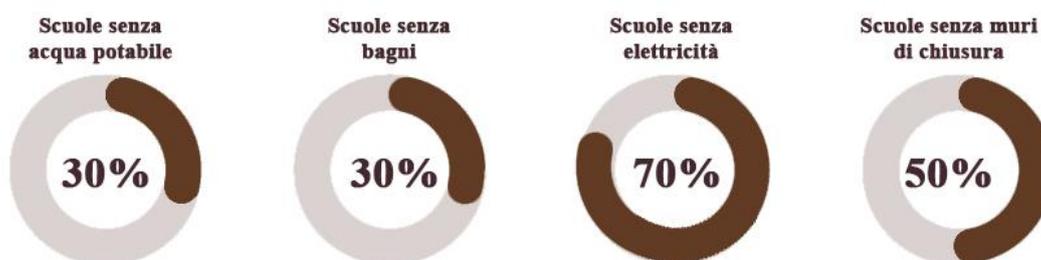


Figura 1.46: Dati inerenti le infrastrutture scolastiche.

¹²⁶ KAIRA LOORO, *Concorso...*, cit., p. 14.

¹²⁷ AGENCE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE LA DEMOGRAPHIE, *Situation économique et sociale du Senegal 2017-2018*, luglio 2020 [PDF file].

¹²⁸ *Ibidem*

Dopo aver ottenuto il *Certificat de Fin d'Études Élémentaires* è possibile proseguire con l'insegnamento medio e ottenere il *Brevet de Fin d'Études Moyennes* (Brevetto di fine studi medi – BFEM) che consente, infine, di passare agli studi secondari e conseguire il *Baccalaureat*. Nel Paese si contano circa 2.500 strutture di insegnamento medio e 1.000 di insegnamento secondario. Tuttavia, nella transizione tra la scuola elementare e la istruzione media, si verifica una dispersione scolastica compresa tra il 35% (Dakar) e il 60% (Sedhiou). In media il 60% degli studenti che completano la scuola media si iscrivono alle scuole secondarie, che sono suddivise in insegnamento generale o tecnico-professionale. L'ottenimento dei esami finali raggiunge il massimo a Louga (42%) e il minimo a Sedhiou (26%).¹²⁹

Sebbene non tutti i bambini abbiano la possibilità di seguire un percorso d'istruzione formale, sin dai primi anni in Senegal iniziano ad apprendere i costumi e le tradizioni della propria società. Dall'età di cinque o sei anni molti bambini sono rivestiti dalle responsabilità familiari, e in giovane età iniziano a ricevere una formazione professionale formale. La maggior parte dei gruppi etnici senegalesi adotta un sistema formale di apprendistato, in cui conoscenze, abilità e aspettative sono trasmesse di generazione in generazione. Questo processo di trasmissione avviene attraverso l'insegnamento delle madri alle figlie e dei padri ai figli. L'apprendistato gioca un ruolo cruciale nell'infondere le tradizioni culturali, le competenze artigianali, le abilità agricole e altre conoscenze specifiche della comunità, contribuendo così alla conservazione e alla continuità delle identità culturali e delle pratiche locali.¹³⁰

1.5.2.1 Scuole elementare nel Sud del Senegal.

Nelle zone rurali e meridionali del Senegal le scuole elementari sono realizzate in mattoni prodotti in sito con sabbia e cemento, oppure, nelle aree meno abbienti, in mattoni di terra cruda. L'architettura si sviluppa normalmente su un unico volume composto da una successione di classi disposte in parallelo e aventi tutte ingresso all'esterno. Le coperture sono principalmente in lamiera senza isolanti e le finestre spesso sono prodotte

¹²⁹ *Ibidem*

¹³⁰ CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.5 [PDF file]. Disponibile su *The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantages* by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023).

localmente in ferro, oppure realizzate con cornici in legno e lamiera. Il pavimento, ove presente, è un massetto di sabbia e cemento. Molte scuole sono prive di finitura con i mattoni lasciati a vista, e ove presente, è realizzata con sabbia e cemento e, di rado, verniciata con vernici ad olio.

Pochissime scuole hanno l'allaccio alla rete idrica, in quanto nelle aree rurali questa è spesso assente. L'acqua viene talvolta raccolta in bidoni da pozzi prossimi alla scuola, oppure da pozzi comunitari posti nelle vicinanze, le cui acque sono spesso contaminate. I bagni, in assenza di rete idrica fognaria, sono fosse scavate nel terreno distanti decine di metri dalle classi.

Inoltre, non tutte le scuole dispongono di un ambiente per la direzione e in media sono composte da 2 o 3 classi, le quali contengono dai 40 agli 80 studenti. Molte scuole sono in sovrannumero e le comunità locali si adoperano per realizzare classi provvisorie in lamiera o in canne di miglio e bambù, con coperture in lamiera o paglia. Tali classi, seppur provvisorie, diventano permanenti in mancanza di risorse per realizzare nuove classi in mattoni. Infine, non esistono cortili al coperto, sale laboratoriali, aule magne, mense o infermerie.



Figura 1.47: Tipologia scolastica diffusa nell'Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO <https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html> , ultima consultazione: 02/03/2023).



Figura 1.48: Tipologia scolastica diffusa nell'Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO <https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html> , ultima consultazione: 02/03/2023).



Figura 1.49: Tipologia scolastica diffusa nell'Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO <https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html> , ultima consultazione: 02/03/2023).



Figura 1.50: Esempio di latrine presente nelle scuole rurali del Senegal © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO <https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html> , ultima consultazione: 02/03/2023).

Capitolo 2

L'habitat e le sue declinazioni: dalle culture indigene, ai CIAM, all'attualità

Nel seguente capitolo si esplorerà una delle tematiche che ha dominato le riflessioni nel campo dell'architettura negli ultimi anni: il concetto di habitat. Il termine, originariamente utilizzato in biologia, si riferisce al luogo in cui un organismo sceglie di stabilire la propria dimora. Questo contesto soddisfa tutte le esigenze ambientali affinché l'organismo possa prosperare e riprodursi con successo.¹³¹

Habitat e *habitus*, condividono la stessa radice latina e sono concetti distinti ma strettamente correlati. Entrambi si riferiscono al rapporto tra gli individui e il loro ambiente, ma si concentrano su aspetti diversi di questa relazione. L'*habitat*, come menzionato in precedenza, si riferisce al luogo fisico in cui un organismo, inclusi gli esseri umani, stabilisce la propria dimora, è il contesto ambientale che fornisce le condizioni necessarie per la sopravvivenza e il benessere.

D'altra parte, l'*habitus* si riferisce alle abitudini, alle pratiche e al comportamento di un individuo che si sviluppa in risposta all'ambiente circostante e alle esperienze di vita. Queste abitudini diventano parte integrante dell'identità di una persona e sono influenzate dal contesto sociale, culturale ed economico in cui vive. In altre parole, l'*habitus* riguarda l'interazione che si instaura fra *habitat* e abitante e come le sue abitudini si sviluppano in risposta a questo ambiente.

Nel caso degli esseri umani, le abitudini e le pratiche quotidiane di un individuo sono fortemente influenzate dalla cultura, dal contesto sociale e dalla storia personale, tutte componenti dell'*habitus*. Queste abitudini possono variare ampiamente da persona a persona, ma riflettono in definitiva la complessa relazione tra un individuo e il suo ambiente.

¹³¹ National Geographic, <Habitat (nationalgeographic.org) > (ultima consultazione 17/08/2023).

L'habitat contemporaneo in cui l'essere umano ha scelto di vivere sembra ormai essere quello della città, complessi nei quali vive più di metà della popolazione globale. Qui si produce il 70% del PIL mondiale ed esse sono responsabili del 70% dei gas serra prodotti a fronte dell'occupazione del solo 2% di suolo globale¹³². Pare evidente come sia indispensabile incentivare politiche di sviluppo volte a rendere sostenibile il complesso *habitat* urbano di cui ad oggi si palesano limiti e deficit strutturali. Servono modelli innovativi per accrescere adattabilità e capacità di risposta, e questi non possono che essere ottenuti da altri *habitat* umani, non dalle città ma da forme di insediamento altrettanto complesse, nelle quali tradizione e tecnologia trovano la loro unione più profonda.

Il prossimo paragrafo, riferendosi al libro *Lo-TEK. Design by Radical Indigenism* di Julia Watson¹³³, cercherà di analizzare questi habitat alternativi e intrisi di tradizione, riportandone le caratteristiche principali ed i punti di forza.

A seguire, si esploreranno le discussioni e le posizioni all'interno dei CIAM, i grandi congressi di architettura del secolo scorso dove la tematica dell'habitat è stata ampiamente discussa e alla quale si è cercato di dare una difficile risposta.

Successivamente, l'attenzione sarà rivolta a due esempi virtuosi di architetture residenziali in divenire, nelle quali, cioè, si è cercato di prevedere e guidare, tramite specifici accorgimenti progettuali, possibili ampliamenti e sviluppi futuri.

L'ultimo paragrafo riporta il focus all'attualità e a come l'ONU interviene in Africa, e più specificatamente nel Senegal, per consentire lo sviluppo sostenibile e proficuo del Paese.

2.1 Tecnologie indigene

Un'interessante risposta alla definizione di *habitat* può essere ricercata nella già citata opera di Julia Watson, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, in cui l'architetta australiana affronta in modo approfondito, continuando la conversazione sull'architettura

¹³² AA. VV., *New Urban Agenda, Proceedings of United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III)*, Quito, Ecuador, 20 Ottobre 2016.

¹³³ Julia Watson, nata nel 1977, è un'autrice, ricercatrice, docente e paesaggista australiana con sede a New York City. Watson è un'esperta di tecnologie indigene basate sulla natura e concentra il suo lavoro sull'intersezione tra antropologia, ecologia e innovazione. È la fondatrice e direttrice di Julia Watson Studio, uno studio di progettazione paesaggistica e urbana, e co-direttrice di A Future Studio, un collettivo di designer eco-consapevoli. Watson è l'autrice di *Lo-TEK: Design by Radical Indigenism* e insegna alla Columbia University Graduate School of Architecture, Planning and Preservation di New York.

vernacolare resa popolare nella mostra «*Architecture Without Architects*» di Bernard Rudofsky al MoMA nel 1964, il tema del design e dell'architettura attraverso una lente innovativa: il *radical indigenism*, che mette in risalto il sapere tradizionale e le pratiche delle culture indigene in tutto il mondo e il modo in cui queste pratiche possono essere applicate in contesti contemporanei per affrontare sfide ambientali e sociali.

L'autrice, Julia Watson, è un'architetta e docente che ha dedicato anni di ricerca a studiare come le popolazioni indigene abbiano sviluppato soluzioni creative e sostenibili per la costruzione, la produzione alimentare, la gestione delle risorse idriche e molte altre sfide ambientali. Nel suo libro, Watson esplora una vasta gamma di esempi provenienti da tutto il mondo, dimostrando come queste antiche pratiche possano offrire ispirazione e soluzioni per affrontare problemi contemporanei legati alla sostenibilità, al cambiamento climatico e alla conservazione dell'ambiente. Si evidenzia inoltre come l'elemento cardine che accomuna tutte queste pratiche è il forte legame che esiste fra le popolazioni indigene e il proprio territorio. Un legame che porta nel risultato finale accorgimenti e strategie paragonabili solo agli adattamenti che ogni specie animale o vegetale dimostra nel proprio *habitat* originario, ossia nel luogo in cui queste creature vivono e prosperano di generazione in generazione.

"Lo-TEK" è un'abbreviazione di "*Low- Traditional Ecological Knowledge*", che fa riferimento all'uso di tecnologie semplici e tradizionali da parte delle culture indigene per creare soluzioni adattate all'ambiente locale. Altro concetto cardine della trattazione è quello del *radical indigenism* che prende il nome dalla derivazione latina della parola "radicale": *radix*, che significa "radice". Come riportato dalla stessa autrice:

Questo movimento Lo-TEK riempie un vuoto all'intersezione tra innovazione, architettura, urbanistica, conservazione e indigenismo. Una volta ibridate e ridimensionate, queste tecnologie indigene potrebbero offrire un nuovo percorso per ridurre esponenzialmente l'impronta ecologica dell'umanità e mitigare il collasso previsto. Sebbene l'azione degli individui sia importante, è l'azione a livello di infrastrutture, progettate con una mitologia che collega gli individui a un ecosistema, che può catalizzare un cambiamento globale¹³⁴.

¹³⁴ WATSON JULIA, *il potere di Lo-TEK: un movimento di design per ricostruire la comprensione della filosofia indigena e dell'architettura vernacolare*, 21/06/2019. Disponibile da <

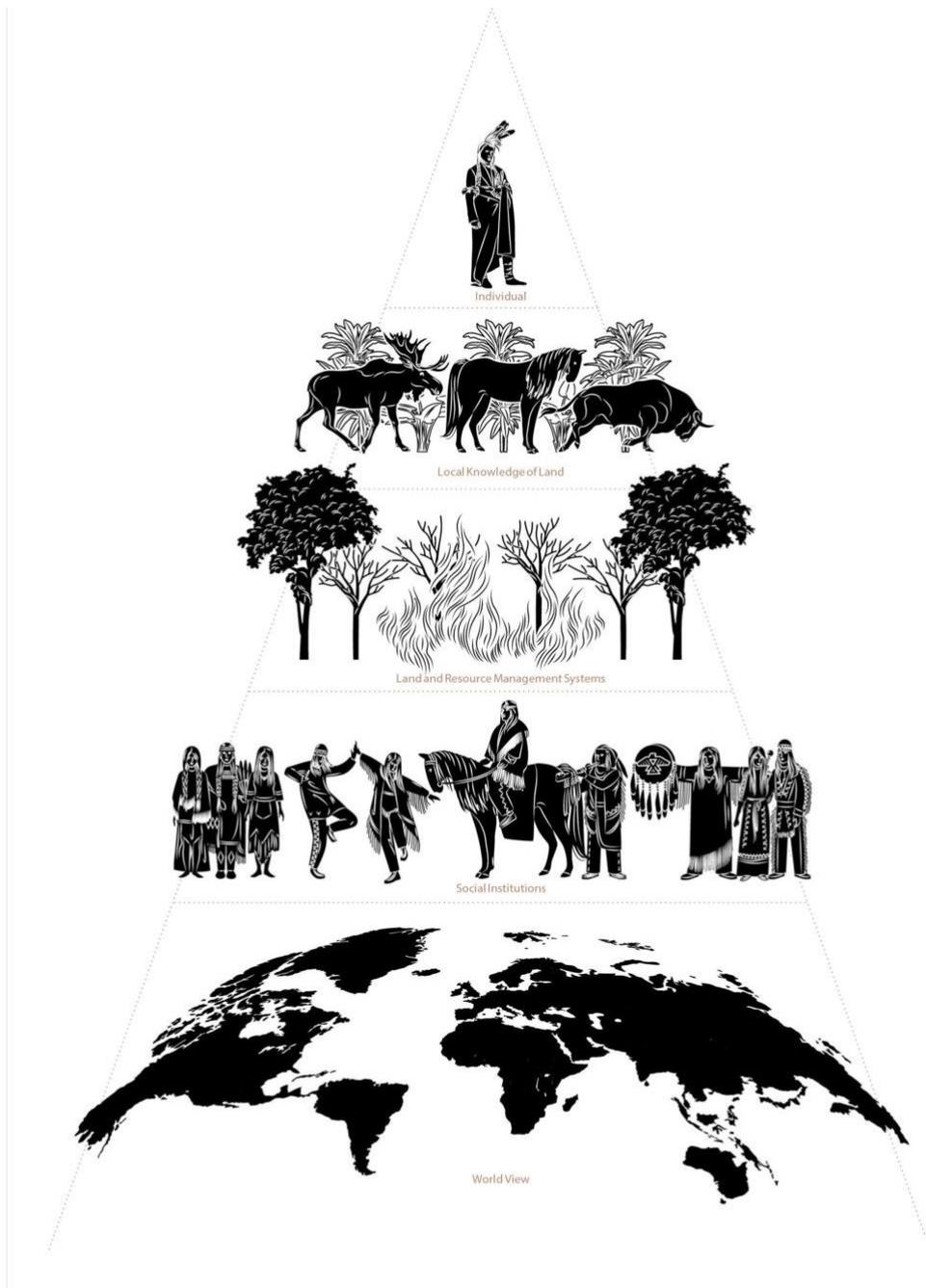


Figura 2.1: TEK è tradotto in un quadro scientifico occidentale e descritto come quattro livelli interconnessi dal Complesso Conoscenza-Pratica-Credenza (fonte: WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 19).

L'era geologica attuale viene definita da svariati studiosi come Antropocene¹³⁵ un periodo della storia del mondo nettamente diviso dagli altri al pari di un'era geologica, un'era

<https://commonedge.org/the-power-of-lo-tek-a-design-movement-to-rebuild-understanding-of-indigenous-philosophy-and-vernacular-architecture/> >, ultima consultazione 21/08/2023.

¹³⁵ Zanichelli, < Antropocene: la specie umana come forza geologica - Aula di Scienze (zanichelli.it)> (ultima consultazione 17/08/2023).

modellata e influenzata dall'essere umano e la cui evoluzione avviene in un tempo infinitamente minore rispetto alle normali ere geologiche.

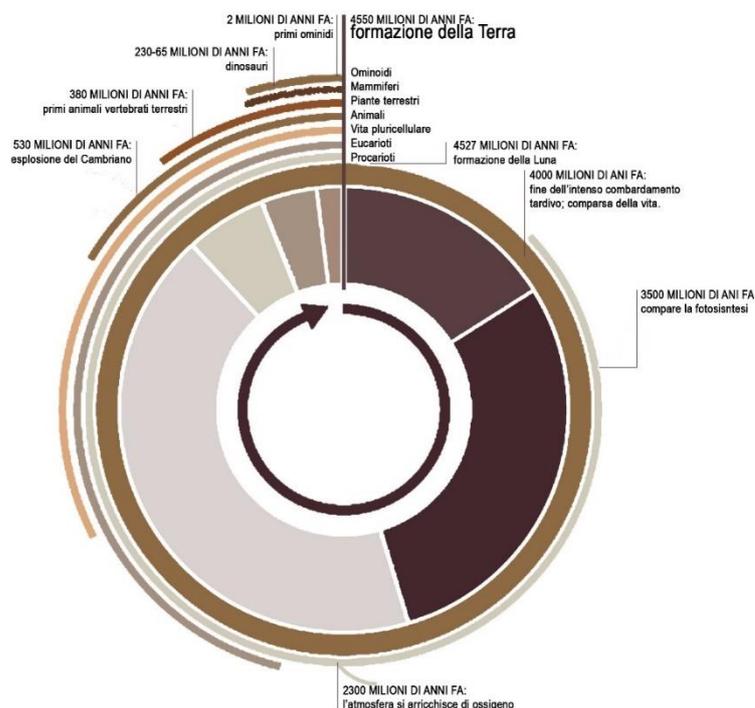


Figura 2.2: Orologio geologico: una proiezione dei 4,5 miliardi di anni della Terra sotto forma di orologio (Fonte: Zanichelli, <Antropocene: la specie umana come forza geologica - Aula di Scienze (zanichelli.it)> ultima consultazione 17/08/2023).

L'impatto dell'attività umana su scala planetaria in termini di ambiente e sistemi diventa ormai sempre più palese ed è compito della nostra generazione e di quelle future gestirne e guidarne le conseguenze.

Questi cambiamenti possono essere fatti risalire, secondo la Watson, all'Illuminismo¹³⁶, un movimento ideologico e culturale, nato nel XVIII secolo, inteso a portare i lumi della ragione in ogni campo dell'attività umana, con lo scopo di rinnovare non soltanto gli studi e le varie discipline, ma la vita sociale, la cultura e le istituzioni, combattendo tutto ciò che impediva il progresso della civiltà.

Da queste premesse emerge anche il mito della tecnologia¹³⁷ come unico mezzo capace di migliorare la qualità della vita umana. Di conseguenza, vengono eliminate tradizioni, conoscenze e innovazioni precedenti, considerate obsolete, e le tecnologie indigene vengono marginalizzate e abbandonate.

¹³⁶ Sapere.it, <illuminismo su Enciclopedia | Sapere.it> (ultima consultazione 17/08/2023).

¹³⁷ WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 17.

Watson reputa necessario riscoprire queste antiche usanze tramite la corrente di pensiero Lo-TEK, definito come:

Un movimento di design per ricostruire una comprensione della filosofia indigena e dell'architettura vernacolare che genera infrastrutture sostenibili e resilienti al clima.¹³⁸

Di conseguenza, è stato essenziale approfondire e prendere come riferimento le architetture vernacolari, che sono intrinsecamente legate a uno stile architettonico locale, prevalentemente destinato all'uso domestico e non finalizzato a scopi monumentali, ma piuttosto progettate per adempiere a funzioni specifiche.

Questo concetto è stato precedentemente espresso da Bernard Rudofsky nella sua installazione al MoMA nel 1964 intitolata: *Architettura senza architetti*.

L'architettura vernacolare non passa attraverso i cicli della moda. È quasi immutabile, anzi, non migliorabile, poiché serve al suo scopo alla perfezione. Di norma, l'origine delle forme di costruzione indigene e dei metodi di costruzione si perde nel lontano passato.¹³⁹



Figura 2.3: Villaggio in Svanezia, Georgia, 1920 (Fonte: RUDOLFSKY BERNARD, *Architecture without architects*, Dumbleday & Co, New York 1964).

La *Non-Pedigreed-Architecture* per il maestro austriaco è vernacolare, anonima, spontanea, indigena e rurale.

¹³⁸ *Ivi*, p. 21.

¹³⁹ MOMA CATALOGUE, *Architecture without architects*, 1964, [PDF file]. Disponibile da *Architecture without architects*, an introduction to nonpedigreed architecture (moma.org) (ultima consultazione: 17/08/2023).

Altro concetto fondamentale in questo contesto è quello di simbiosi, un'interazione tipica delle creature viventi che collaborano per ricevere dei vantaggi reciprocamente. Queste architetture, infatti, sono profondamente in simbiosi con il territorio in cui si trovano, e sono indissolubilmente legate alla natura circostante e, pertanto, sono sostenibili sotto ogni aspetto.

Si inserisce in questo tipo di studi il Lo-TEK. Il termine richiama fortemente Lo-Tech ossia *low technology*, una tecnologia semplice e non sofisticata, in diretta contrapposizione all'high tech, una tecnologia che omogenizza e uniforma, andando perciò contro la natura stessa che è eterogenea e complessa in tutti i suoi ecosistemi. Come detto precedentemente, La T di TEK indica la tradizione, quell'insieme di conoscenze, pratiche e credenze che da generazioni vengono trasmesse da un popolo¹⁴⁰. Le architetture Lo-TEK sono locali, non costose, autoconstruite e facili, e, come disse Le Corbusier, questa conoscenza è primordiale e conosciuta da tutti noi¹⁴¹.

Un ostacolo significativo nelle ricerche di questa natura è sicuramente la mancanza di documentazione, sia visiva che scritta. Molte tradizioni e pratiche sono andate perdute nel corso del tempo, insieme alle persone che le praticavano, il che significa che gli unici esempi e casi di studio disponibili sono quelli giunti fino ai giorni nostri in uno stato pressoché intatto.

Nel seguito verranno ripresi alcuni design e innovazioni indigene, riportate nel libro WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022.

¹⁴⁰ J. WATSON, *Lo-TEK ...*, cit., p. 20.

¹⁴¹ LE CORBUSIER, *Towards a New Architecture*, Dover Publications, New York 1986.

WARU WARU
AGRICULTURAL TERRACE
 popolo Inca, Perù

Localizzazione	Lago Titicaca, Perù
Popolo	Inca
Tecnologia	Waru Waru. Terrazze rialzate e canali.
Altitudine	3000-3850 m
Origine	6000 a.C.

Il popolo Inca costruì un complesso sistema di canalizzazione sul lago Titicaca in Perù intorno al 6000 a.C, creando uno dei principali centri di produzione agricola per le civiltà precolombiane a un'altitudine di 4000 metri. Il bacino del lago fu così alterato attraverso la creazione di campi irrigati interconnessi tramite canali, sfruttando in modo sinergico le variazioni climatiche. Questi canali erano progettati infatti per catturare e utilizzare le acque provenienti dai tributari del lago durante le stagioni di pioggia, migliorando così le condizioni per la coltivazione.

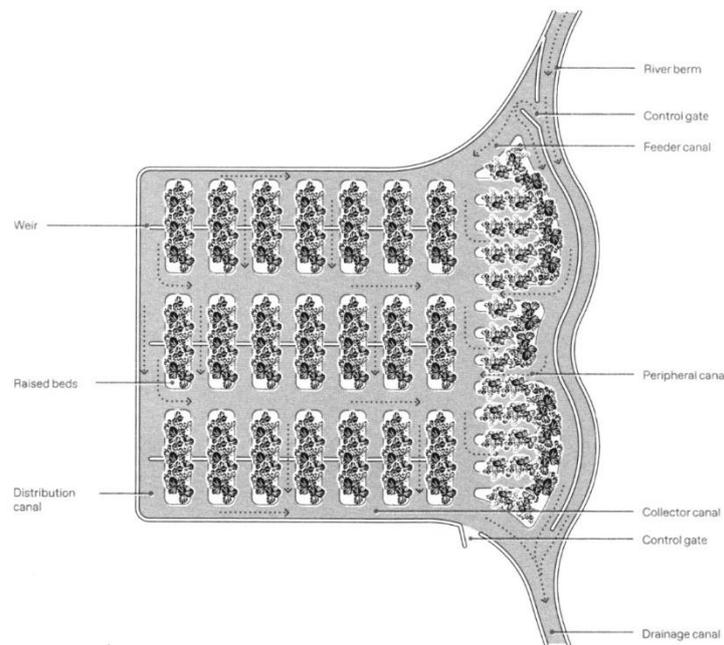


Figura 2.4: Il flusso idrologico nei campi Waru Waru alimentati dal fiume (fonte: WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 34).



Figura 2.5: Vista paesaggistica di letti di terreno alternati a canali (Fonte: flickrs < <https://www.flickr.com/photos/giahs/7555810470/in/photostream/> >, ultima consultazione: 17/08/2023).

Tra il 300 e il 1500 d.C. 130'000 ettari sono stati trasformati alternando letti di terra per il grano e canali, sfruttati per la pesca e l'irrigazione. Questo sistema, chiamato *Waru Waru*, è in continua evoluzione e si sviluppa rispettando le caratteristiche topologiche del terreno. I principali vantaggi sono l'arricchimento del suolo, la sua areazione e drenaggio; inoltre, la presenza di acqua fa da termoregolatore mitigando le temperature più estreme, in tal modo si crea un *habitat* ideale per pesci, uccelli e piante.

L'elevata biodiversità presente in questa zona contribuisce, a sua volta, alla depurazione dell'acqua aumentandone i nutrienti. Infatti, il fertilizzante naturale prodotto dagli organismi presenti viene successivamente raccolto dal fondo dei canali e reinserito nel terreno per utilizzarlo nelle coltivazioni.

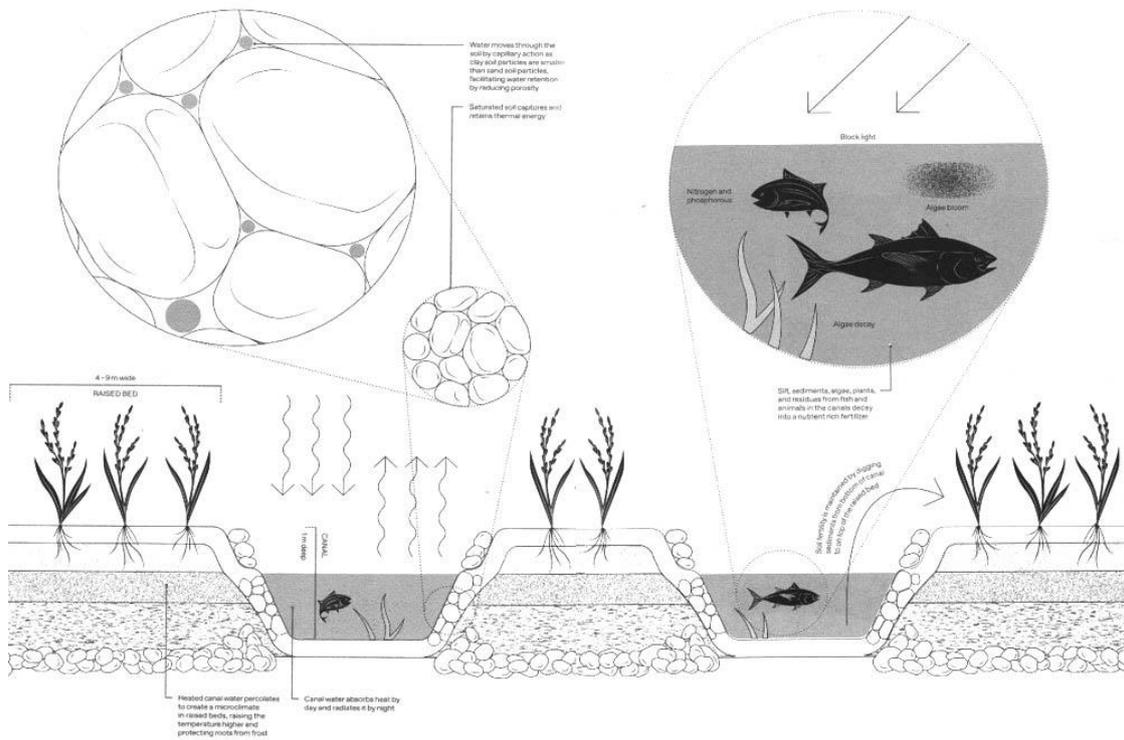


Figura 2.6: La microtopografia del taglio e del riempimento dei letti rialzati e dei canali protegge le coltivazioni dalla siccità, dalle inondazioni e dal gelo (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 38).

A causa delle conquiste spagnole, molti dei canali furono abbandonati, sostituiti da tecniche agricole straniere che si dimostrarono inefficienti e non sostenibili. Questo cambiamento fu accompagnato da un considerevole spopolamento e l'assenza di manodopera portò molte terre ad essere convertite in pascoli. A partire dagli anni '60, la popolazione ha manifestato un rinnovato interesse per queste terre abbandonate, che stanno gradualmente tornando a essere utilizzate per l'agricoltura. La tecnica "*Waru Waru*" si è dimostrata particolarmente adatta alle caratteristiche della zona, soggetta a cicli di inondazione e siccità; tuttavia, la sua implementazione è stata ostacolata dalla limitata competitività sul mercato.

MILPA FOREST GARDENS

popolo Maya, Messico

Localizzazione	Messico
Popolo	Maya
Tecnologia	Milpa Forest Garden
Altitudine	1500-2840 m
Origine	2500 a.C.

La *Milpa* è una pratica agricola di policoltura tradizionale in Messico, adottata dalle popolazioni Maya sin dal 2500 a.C. Essa si concentra sulla coltivazione del mais, alternato alla vegetazione forestale, seguendo un ciclo di 10-25 anni, al fine di ripristinare la fertilità del suolo e la biodiversità.

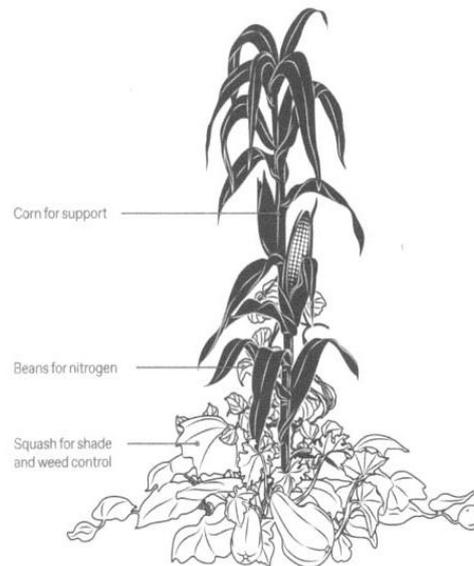


Figura 2.7: Le “Tre Sorelle” (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, pp. 134-135).

La procedura può essere suddivisa nelle seguenti quattro fasi:

- I. La foresta viene sottoposta a un processo di bruciatura controllata per preparare il terreno alla coltivazione. Questo fuoco viene gestito con attenzione, mantenendo temperature basse per evitare danni allo strato organico del suolo e favorire la rigenerazione delle specie più resistenti, di cui vengono ripiantati i semi. Inoltre,

questo processo arricchisce il terreno. In quest'area vengono poi coltivate le "Tre Sorelle" - mais, fagioli e zucche. Queste piante interagiscono tra loro in modo sinergico, producendo sostanze utili reciprocamente e contribuendo a una dieta equilibrata per chi le consuma. Oltre a queste, vengono coltivati anche tuberi ed erbe per prevenire malattie e migliorare la fertilità del terreno.

- II. Si piantano alberi da frutto, tra cui banani e papaie che fruttificano in breve tempo, insieme ad altri alberi che richiedono circa cinque anni prima di iniziare a dare frutti, come manghi e guave.
- III. Le piante da frutto crescono e forniscono un'ombreggiatura naturale al terreno sottostante, rendendo necessario lo spostamento delle colture di mais e delle altre piante erbacee poiché non ricevono una quantità sufficiente di luce solare per svilupparsi adeguatamente.
- IV. Infine, si procede con la piantagione di alberi destinati alla produzione di legname, consentendo alla foresta di riacquistare le sue caratteristiche naturali originali. In questo modo, il ciclo ricomincia in un'area diversa.

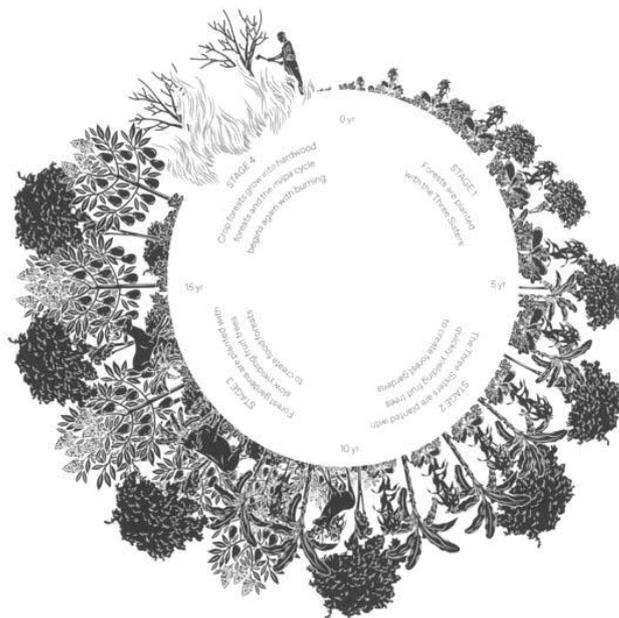


Figura 2.8: Le quattro fasi del ciclo delle coltivazioni nella foresta. Le quattro fasi (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 130).

SURANGAM UNDERGROUND

AQUEDUCTS

popolo Malayali, India

Localizzazione	Kerala, Indi
Popolo	Malayali
Tecnologia	Surangam Underground Aqueduct
Altitudine	20-1000 m
Origine	600 d.C.

In alcune regioni dell'India meridionale la topografia del territorio e le caratteristiche del terreno, in gran parte costituito da laterite, impediscono lo stoccaggio delle abbondanti piogge monsoniche; perciò, l'unica risorsa disponibile risulta essere quella contenuta nel terreno stesso. La *surangam* è un tunnel scavato orizzontalmente per raccogliere l'acqua che filtra dal terreno e trasferirla all'esterno per essere poi utilizzata.¹⁴² I tunnel sono scavati a mano, quindi, su misura di chi li costruisce, e per i più lunghi sono necessari anche pozzi verso l'esterno per il ricambio d'aria.

Il funzionamento di tali sistemi è strettamente connesso alla conservazione delle foreste in cui sono situati, creando così una relazione simbiotica. Inoltre, per evitare le perdite d'acqua, vengono implementati sistemi per gestire le inondazioni, che vengono canalizzate e conservate. La manutenzione di questi sistemi richiede sforzi considerevoli, ma è più sostenibile rispetto alla recente introduzione delle tecniche di pompaggio che richiedono un notevole dispendio di energia e causano il prosciugamento della falda acquifera.

¹⁴² CSE, <Qanats, Surangams (cseindia.org)> (ultima consultazione 17/08/2023).

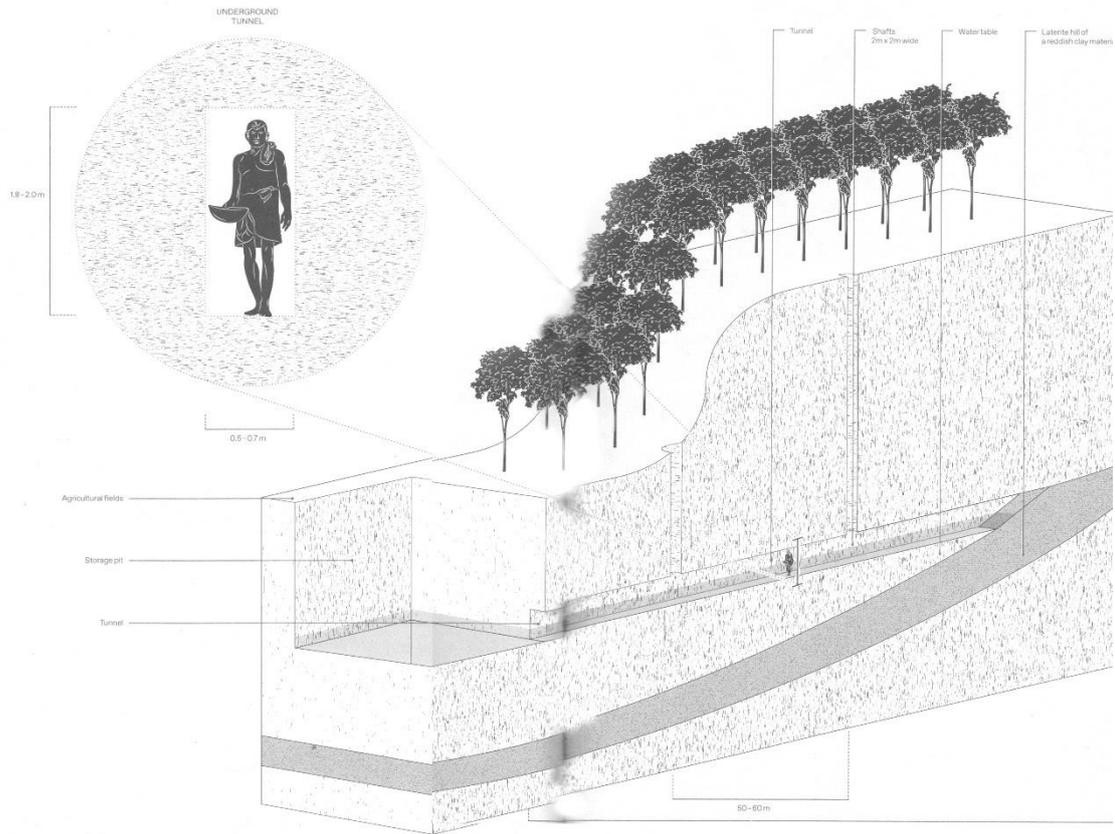


Figura 2.9: Costruzione di un pozzo *Surangam* in roccia lateritica (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, pp. 156-157).

QANAT UNDERGROUND

AQUEDUCTS

popolo persiano, Iran

Localizzazione	Iran
Popolo	Persiani
Tecnologia	Qanat Underground Aqueduct
Altitudine	0-1755 m
Origine	500 a.C.

I *Qanat* sono complessi sistemi di canali e tunnel realizzati dai persiani per trasportare l'acqua dalle montagne fino a Teheran, ciò consentì per secoli di coltivare anche nei periodi di siccità traendo acqua dal sottosuolo, e fino al 1970 era la principale fonte di approvvigionamento idrico della regione.¹⁴³ Sono costruzioni molto precise con poco margine di errore, costituite da un lungo canale sotterraneo inclinato costantemente di due o tre gradi per mantenere l'acqua in movimento, e pozzi verticali per l'approvvigionamento.

In genere, i pozzi non vengono direttamente collegati al canale principale al fine di evitare interferenze con il flusso d'acqua o perdite eccessive. Attualmente, a causa della contaminazione delle falde e della pericolosità manutentiva, questi sistemi vengono impiegati principalmente per scopi agricoli.

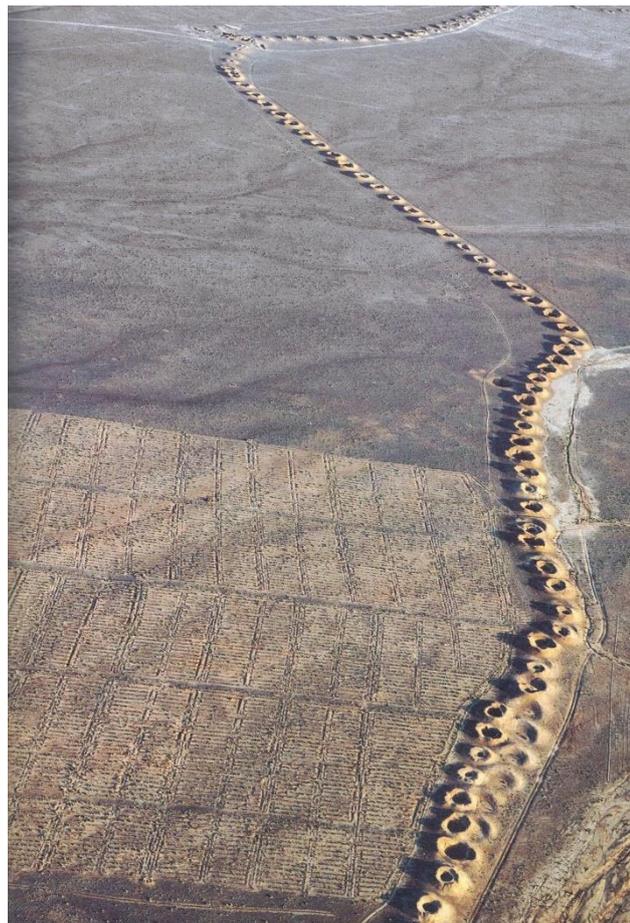


Figura 2.10: Vista aerea di un Qanat in Iran (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 237).

¹⁴³ *Ibidem*.

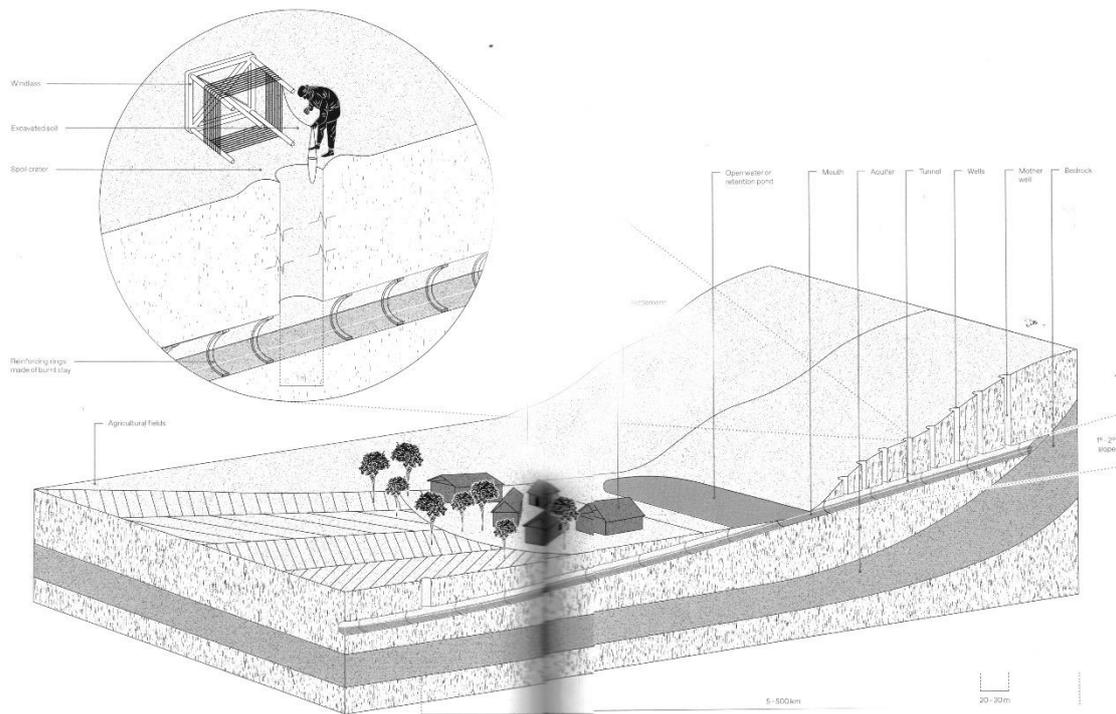


Figura 2.11: Costruzione di un *qanat* (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, pp. 240-241).

WAFFLE GARDENS

popolo Zumi, USA

Localizzazione	Nuovo Messico, USA
Popolo	Zumi
Tecnologia	Waffle Garden
Altitudine	1830-2440 m
Origine	1000 d.C.

Gli Zumi, una delle numerose comunità indigene dell'America, risiedono nelle zone aride dell'Arizona dal 2000 a.C. e per adattarsi alla vita in queste regioni desertiche e ostili, hanno sviluppato diverse strategie per conservare l'acqua. Tra queste strategie, ci sono i "waffle gardens", celle di terreno circondate da pareti in terra cruda che mantengono l'acqua attorno alla pianta per periodi prolungati, oltre che a proteggerle dal vento e dal calore e limitare l'evaporazione¹⁴⁴.

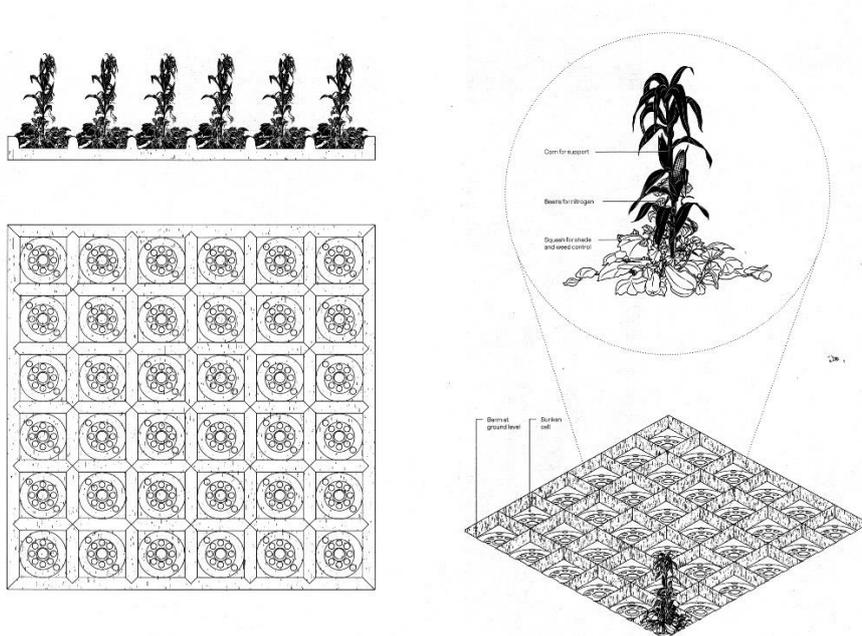


Figura 2.12: Il ciclo delle tre sorelle integrato al metodo *waffle garden* (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 208).

¹⁴⁴ J. WATSON, *Lo-TEK ...*, cit., p. 208

Le celle vengono scavate nel terreno per avvicinarsi alla falda e garantire una temperatura più moderata. Inoltre, si studia la stratigrafia del terreno, disponendo strati di rocce per far percolare l'acqua al di sotto e trattenerla, evitando dispersioni. La piantumazione tradizionale delle tre sorelle non viene più praticata e rimane solo a uso residenziale.



Figura 2.13: Realizzazione dei giardini 1910-1920 circa (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 208).

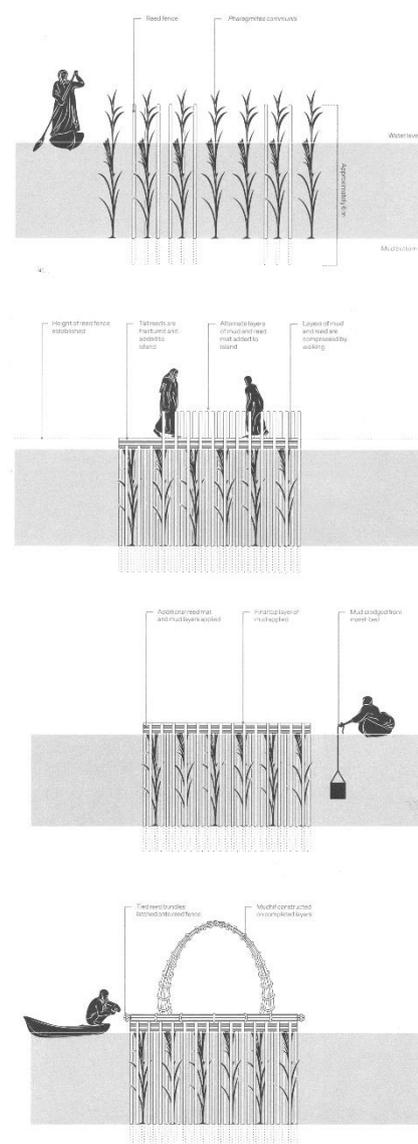
AL-TAHLA FLOATING ISLAND

Popolo Ma'san, Iraq

Localizzazione	Zona umida del sud dell'Iraq
Popolo	Ma'dan
Tecnologia	Qasab reed floating island
Altitudine	30 m
Origine	4000 a.C.

Queste particolari costruzioni sorgono nell'antica culla dell'umanità, la Mesopotamia, nelle zone paludose comprese tra il Tigri e l'Eufrate su isole artificiali. La loro realizzazione inizia con il raggruppamento di canne vive, ancora radicate al fondale, con canne secche per creare una fondazione solida. Successivamente, strati di canne e fango vengono alternati a seconda della funzione dell'edificio che dovranno sostenere. Gli edifici sono costruiti utilizzando una speciale varietà di erba gigante simile al bambù, nota come *Qasab*, che può crescere fino a 7,6 metri. Queste abitazioni vengono progettate in varie forme e dimensioni, con una copertura ad archi realizzata intrecciando le canne. Inoltre, se il livello del fiume aumenta eccessivamente, queste strutture sono facilmente smontabili, spostabili su terreni più elevati e rimontabili in una sola giornata di lavoro.

Figura 2.14: Le quattro fasi costruttive: (I) un gruppo esistente di canne è racchiuso da una recinzione di canne; (II) ulteriori strati vengono aggiunti per creare un'isola temporanea chiamata *kibasha*; (III) un ultimo strato viene aggiunto per creare un'isola permanente, o *dibin*; (IV) il villaggio, o *mudhif*, viene costruito sull'isola di insediamento, o *al-tahla* (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, pp. 298-299).



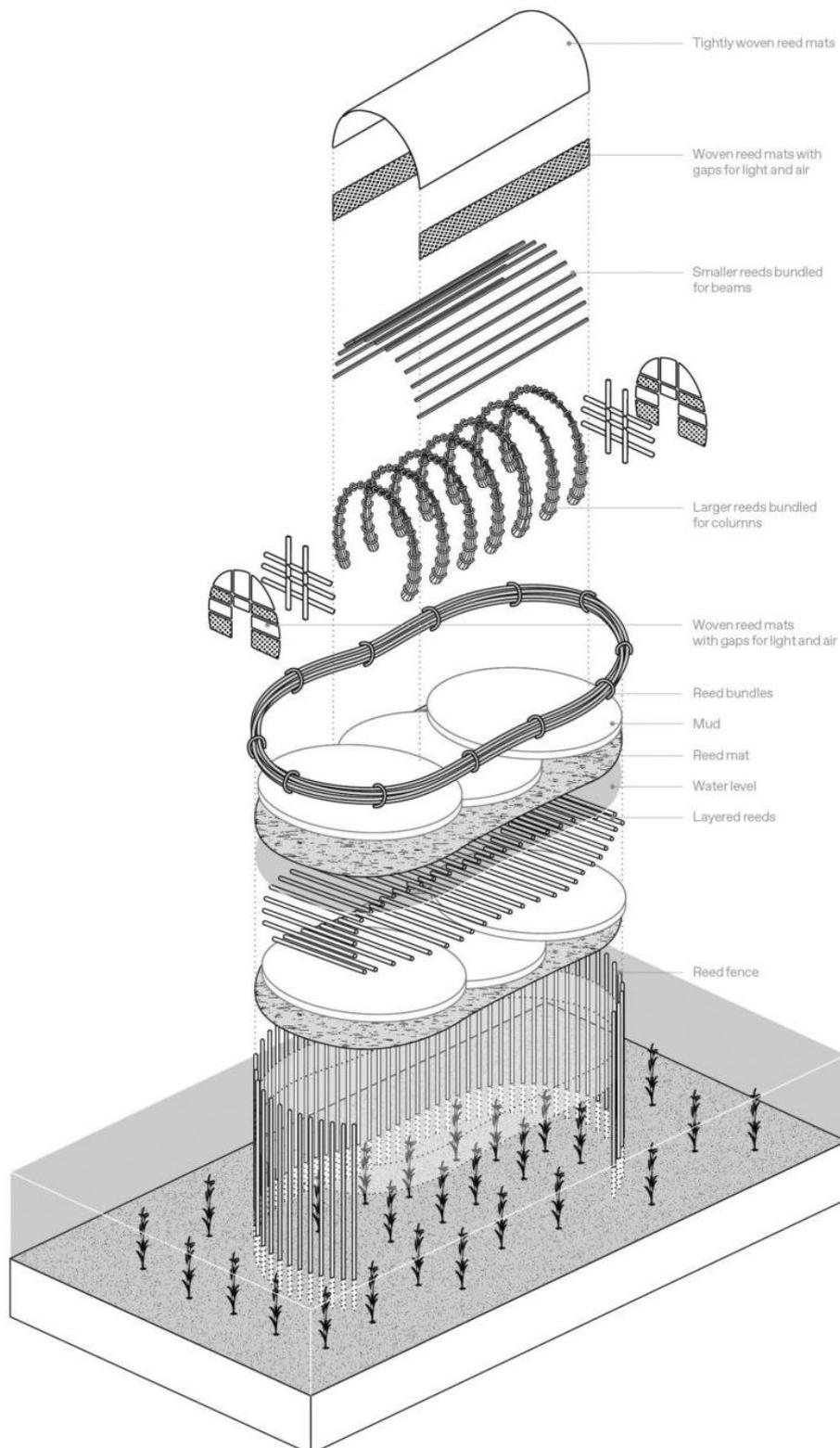


Figura 2.15: Esploso assometrico della costruzione in canne e fango (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 302).

Verso la fine del XX secolo, durante il regime di Saddam Hussein, i Ma'dan furono oggetto di persecuzioni a causa del sospetto che le paludi e le case galleggianti offrirono ospitalità ai dissidenti politici. Di conseguenza, le paludi furono prosciugate, causando una carestia che obbligò il popolo Ma'dan ad abbandonare le loro case. Solo recentemente, grazie all'abbattimento delle dighe costruite da Saddam, le zone acquitrinose sono state ripristinate. Si stima che, nel nuovo millennio solo 1.600 del quasi mezzo milione di arabi delle paludi registrati nel 1950 vivano ancora in abitazioni tradizionali.¹⁴⁵ Attualmente, il programma "Ad Nature Iraq" sta collaborando con il supporto finanziario proveniente da Stati Uniti, Canada, Giappone e Italia per rivitalizzare queste terre.



Figura 2.16: Costruzione di un Al-Tahla (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 303).

¹⁴⁵ ZME Science, <[Thttps://www.zmescience.com/ecology/world-problems/mesopotamian-venice-lost-floating-homes-iraq/](https://www.zmescience.com/ecology/world-problems/mesopotamian-venice-lost-floating-homes-iraq/)> (ultima consultazione: 17/08/2023).

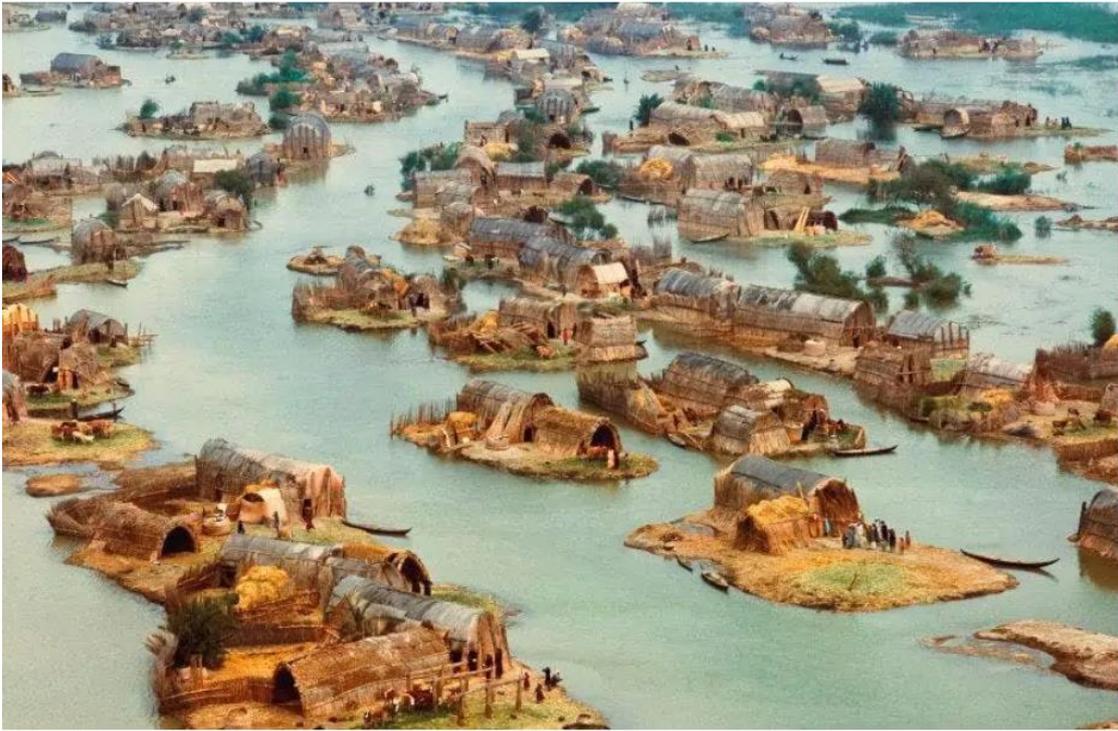


Figura 2.17: Vista aerea delle abitazioni Ma'dan (fonte: ZME Science, <<https://www.zmescience.com/ecology/world-problems/mesopotamian-venice-lost-floating-homes-iraq/>>, ultima consultazione: 17/08/2023).

BOMA CORRALS
popolo Maasai, Kenya

Localizzazione	Kenya del Sud e nord della Tanzania
Popolo	Maasai
Tecnologia	Boma Acacia Corrals
Altitudine	1500-2180 m
Origine	300 a.C.

I Masai sono un popolo nomade del Kenya e il bestiame è molto importante nella loro cultura; latte e carne sono, quindi, alimenti fondamentali nella loro dieta. In passato, il loro stile di vita si basava esclusivamente sull'allevamento del bestiame, ma oggi i Masai hanno integrato anche la pratica dell'agricoltura. La struttura del villaggio, conosciuta come *boma*, è molto organizzata e spesso questi insediamenti temporanei vengono protetti tramite trincee costituite da acacia con spine. Queste protezioni naturali sono strutturate in diversi layers; il primo è in *leleshwa*, una pianta comune che resiste all'attacco di termiti e altri insetti, poi viene realizzata una struttura d'appoggio lignea a cui si aggrappa l'acacia. Per il sostentamento dei villaggi, vengono coltivate attorno ad esse piante di vario genere che forniscono riparo, cibo e legname.



Figura 2.18: Vista area di un Boma (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 220).

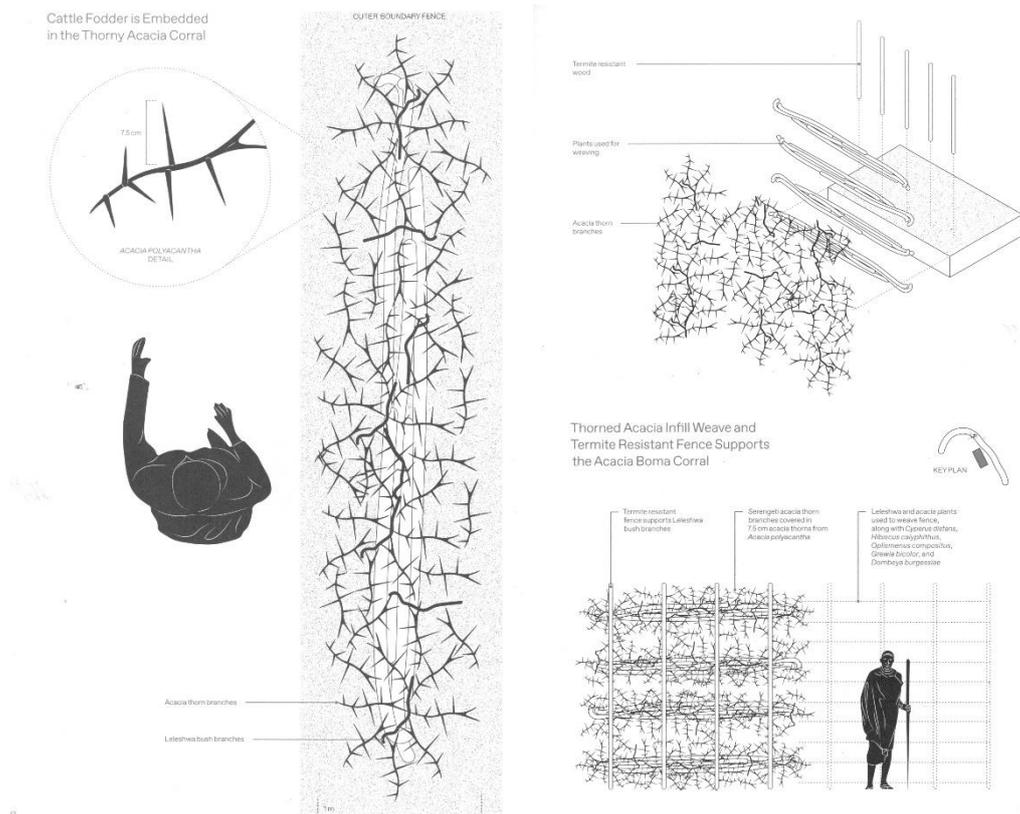


Figura 2.19: Schema della protezione di un Boma (fonte: Watson Julia, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022, p. 222-223).

Una volta esauriti i pascoli vicino all'insediamento, questo viene abbandonato e la migrazione ricomincia; ciò ha un importante risultato ecologico perché la savana viene piantumata ed attorno a questi villaggi si creano veri e propri *habitat*. Oggi, invece, i Masai sono stati progressivamente costretti a adottare uno stile di vita stanziale e molti hanno trovato lavoro nelle città.

La maggior parte dei territori tribali, infatti, sono stati gradualmente trasformati in aziende agricole e allevamenti di bestiame, in aree gestite dal governo e in parchi naturali¹⁴⁶. I Masai si ritrovano così confinati nelle zone più aride e sterili del Paese, relegati in aree troppo piccole e inadatte all'autosostentamento.

¹⁴⁶ Survival, < Masai (survival.it) >, (ultima consultazione: 17/08/2023)

ZAI

Sahel

Localizzazione	Sahel e Centro Africa
Popolo	Non definito
Tecnologia	Zai
Altitudine	0-500 m
Origine	Non definita

Nel Sahel, la striscia di arido deserto che attraversa l’Africa da est a ovest, ai margini del Sahara; l’acqua è sempre stata la merce più ambita. Fin dal terzo millennio a.C., i popoli della regione hanno compiuto notevoli sforzi e dispiego di ingegno per catturare e immagazzinare questa rara risorsa.

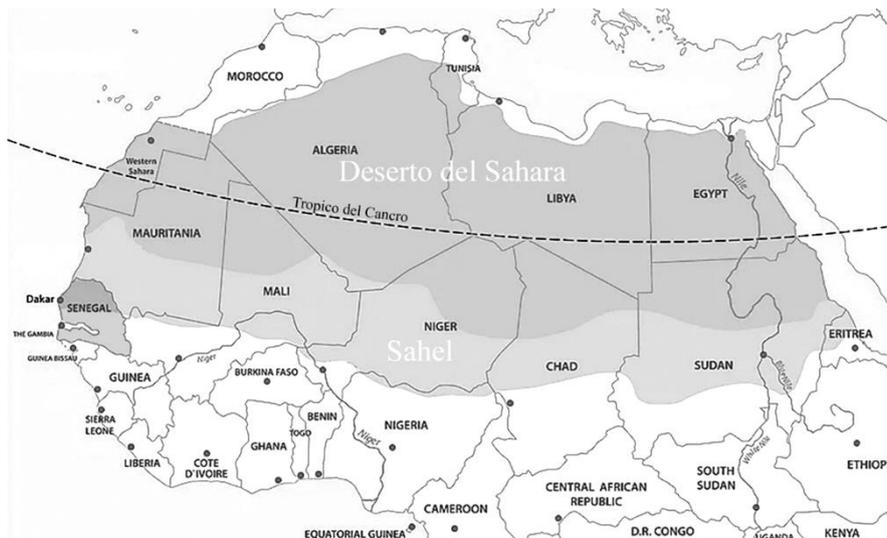


Figura 2.20: Il Senegal rispetto al Sahel (fonte: Sahel Of Africa, <Sahel Of Africa - WorldAtlas>, ultima consultazione 17/08/2023).

Lo Zai è una di queste tecniche, anticamente era molto praticata ma dagli anni Cinquanta, a seguito di un periodo di abbondanti piogge, venne progressivamente abbandonata; solo nell’ultimo decennio si sta lentamente riprendendo.¹⁴⁷

¹⁴⁷ The Conversation, <Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel (theconversation.com)>, (ultima consultazione: 18/08/2023).

La tradizione impone di scavare la terra laterica prima delle piogge con il *daba*, piccone tradizionale, e creare una fitta trama di fori regolari di circa 10-15 cm di profondità e 20-40 di diametro. Questi sono poi riempiti di letame in modo che, unendosi con l'acqua delle rare precipitazioni, favoriscono la crescita delle colture che, in genere, sono di miglio o sorgo.¹⁴⁸

Quando arrivano le piogge, la tasca si riempie d'acqua e rilascia sostanze nutritive che attirano le termiti del genere *Trinervitermes*. Questi insetti scavano gallerie attraverso le quali l'acqua si infiltra in profondità e, attraverso i loro escrementi, trasformano la materia organica rendendola assimilabile dalle piante. Questo processo provoca la formazione di una sacca umida e fertile in cui la pianta sviluppa le sue radici.

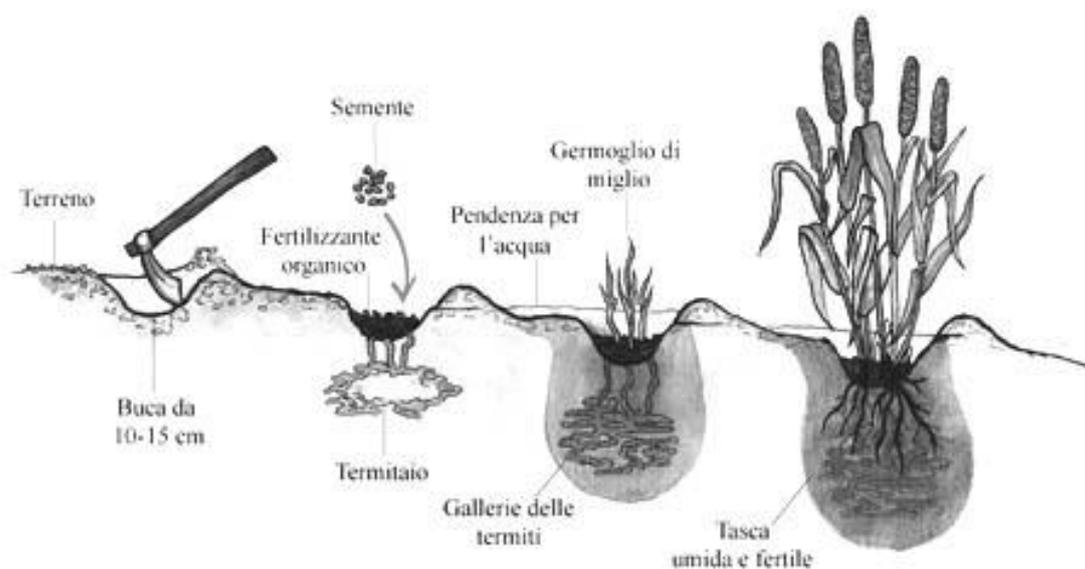


Figura 2.21: Schema applicativo della tecnica Zai (fonte: The Conversation, <Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel (theconversation.com)>, ultima consultazione: 17/08/2023).

Oltre ad essere parsimonioso e portare buoni raccolti, lo *Zai* promuove anche il ritorno degli alberi nei campi. Le tasche tendono, infatti, a intrappolare i semi di molte specie arboree, trasportate dal vento, dal deflusso e dagli escrementi di bestiame e, quando arrivano le piogge, gli arbusti si sviluppano spontaneamente accanto ai cereali.

In Senegal, i ricercatori dell'*Istituto senegalese di ricerca agricola* (ISRA) e dell'*Istituto nazionale di pedologia* (INP) stanno attualmente conducendo dei test per valutare la

¹⁴⁸ Echo community, <TN #78 Zai Pit System | ECHOcommunity.org>, (ultima consultazione: 18/08/2023).

quantità di carbonio contenuto nel suolo grazie allo *Zai*. I loro primi risultati mostrano che, negli appezzamenti trattati, lo stock di carbonio per ettaro aumenta del 52% rispetto ai terreni di controllo.¹⁴⁹

Uno degli svantaggi di questa tecnica è che richiede una notevole quantità di lavoro manuale e investimenti significativi. Con un lavoro di 4 ore al giorno, infatti, un singolo uomo con il suo *daba* dovrà scavare per 3 mesi per sviluppare un ettaro. Inoltre, sarà necessario produrre o acquistare 3 tonnellate di letame per riempire le tasche. Per questo motivo, nella lingua mooré *Zai* deriva dalla parola *zaiégré* che significa "alzarsi presto e affrettarsi a preparare la propria terra".

Questa tecnica e le sue varianti sono molto diffuse nelle zone di orticoltura del Senegal, dove l'acqua è scarsa e costosa e gli agricoltori cercano con tutti i mezzi di salvaguardare questa risorsa.



Figura 2.22: Innovazioni legate alla Zai in Senegal (fonte: The conversation, <Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel (theconversation.com)>, ultima consultazione: 17/08/2023).

¹⁴⁹ *Ibidem*.

- A. Nella regione costiera di Mboro, vengono coltivati appezzamenti di cipolla in piccole depressioni per concentrare letame e acqua alle radici.
- B. Nel sud, a Kolda, si trapiantano melanzane in sacche piene di materia organica e paglia. L'irrigazione è limitata al riempimento di queste tasche, il che consente un notevole risparmio idrico.
- C. A Fatick, nell'ovest, vengono usati pneumatici riciclati per concentrare il letame e l'acqua alle radici delle piantine di peperoni.

Queste innovazioni sono semplici ed economiche e tutte seguono un concetto comune: racchiudere l'acqua e sostanze nutrienti in piccoli spazi, isolandoli dall'ambiente esterno difficile.

2.2 L'esperienza dei CIAM

Il termine *habitat* viene associato per la prima volta al linguaggio architettonico nel corso dei CIAM (*Congrès Internationaux d'Architecture Moderne*), una serie di undici congressi di architettura e urbanistica, iniziati nel 1928 da un gruppo di architetti modernisti europei guidati da Le Corbusier con lo scopo di sviluppare e scambiarsi idee per guidare lo sviluppo dell'architettura e della pianificazione urbana in tutto il mondo.¹⁵⁰

Con il nuovo termine si voleva indicare l'intenzione di realizzare un ambiente fisico, reale, in grado di soddisfare esigenze materiali e emotive degli abitanti.¹⁵¹

Le Corbusier introdusse il termine in occasione del discorso introduttivo al VII CIAM tenutosi a Bergamo nel 1949.¹⁵² Durante l'evento infatti comunicò l'intenzione di sviluppare una *Carte de l'habitat* anche se poi non vi furono ulteriori spiegazioni sulla natura di questo documento che non venne mai realizzato.¹⁵³



Figura 2.23: Manifesto del CIAM di Bergamo (fonte: Bijlmermeer, <Bijlmermeer (wijk), Amsterdam | www.amsterdamhv.nl>, ultima consultazione: 18/08/2023).

¹⁵⁰ Transatlantic Perspectives, <Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) | Transatlantic Perspectives >, (ultima consultazione: 18/08/2023).

¹⁵¹ Newman Oscar, *A short review of CIAM activity*, Karl Kramer edition, Stoccarda, 1959

¹⁵² Cfr. «Metron», 1949, p. 33-34.

¹⁵³ MUMFORD ERIC, *The Ciam discourse on Urbanism, 1928-1960*, The MIT Press, Combridge, 2000.

Durante il Congresso di Bergamo si discusse principalmente su come applicare i principi contenuti nella Carta di Atene, il documento-manifesto redatto nel 1933 alla fine del IV CIAM che si prefiggeva l'obiettivo di fornire spunti e capisaldi per lo sviluppo urbanistico che caratterizzò i successivi anni. Si pensò di predisporre una griglia, per porre i confini entro quali poter ideare il progetto urbanistico e architettonico, ciò immediatamente dopo l'individuazione delle quattro funzioni principali della vita umana: vivere, lavorare, trasporti, tempo libero.¹⁵⁴ L'intenzione del maestro svizzero, punto di riferimento per la maggior parte dei professionisti dell'epoca e che presiedeva il simposio, era quella di discutere una serie di progetti urbanistici per la ricostruzione postbellica delle città europee. Ma il contrasto tra i partecipanti minò la buona riuscita dell'evento e impedì l'affermarsi di una visione comune, la guerra infatti aveva definitivamente modificato gli assetti geopolitici dell'epoca contrapponendo ideologie molto differenti che determineranno poi architetture e declinazioni del termine *habitat* molto diverse.

I successivi convegni, svoltisi nel secondo dopoguerra, ebbero temi sempre più articolati e complessi; la sfida pareva quella di mettere in ordine e valutare le molte idee concepite durante i terribili anni precedenti.¹⁵⁵ Emergevano continuamente infatti nuove sperimentazioni e progetti vari nelle loro caratteristiche ma accomunati dalla finalità ultima della ricostruzione nei Paesi coinvolti nel conflitto mondiale.

I temi di collettività e comunità furono infatti protagonisti del VIII CIAM organizzato dal MARS Group¹⁵⁶ tenutosi a Hoddeston nel 1951. Come riportato da Vittorio Gregoretti, presente al simposio tra i giovani architetti, il tema palesò una questione che

Si rivelerà centrale per i quarant'anni successivi: il problema dell'ascolto del contesto, del progetto come dialogo con esso.¹⁵⁷

Sebbene non sia considerata ufficialmente parte dei congressi CIAM, la riunione svoltasi a Sigtuna nel 1952 fu rilevante sia per il gran numero di giovani presenti che per l'assenza di membri di spicco delle precedenti edizioni come Le Corbusier, Josep Lluís Sert, Walter Gropius e Sigfried Giedion;¹⁵⁸ fu infatti il primo incontro dei membri della nuova generazione. In tale circostanza, sganciata totalmente dalle visioni del passato, fu

¹⁵⁴ B. ANGI, *Ricomposizione ...*, cit., p. 41

¹⁵⁵ *Ivi*, p.45

¹⁵⁶ Associazione fondata a Londra come sezione inglese del CIAM.

¹⁵⁷ GREGOTTI VITTORIO, *Editoriale*, in «Rassegna», 1992, n. 52, p. 4.

¹⁵⁸ B. ANGI, *Ricomposizione ...*, cit., p. 72.

possibile per i nuovi membri ideare un'interpretazione più ampia di *habitat* che fino ad allora era stato limitatamente considerato nella sua accezione puramente funzionale, ovvero quella di residenza. Non mancarono però dei promotori della visione più tradizionale, come alcuni membri del gruppo ASCORAL di Parigi, portavoce del pensiero di Le Corbusier stesso, i quali affermarono che la nozione di *habitat* rappresentava nient'altro che una funzione a sé stante, da considerare quindi spazialmente disgiunta dalle altre. Un'altra interpretazione contrapposta fu quella esposta da George Candilis¹⁵⁹, architetto francese, che lo definì «l'insediamento umano nella sua interezza»¹⁶⁰ sottolineando quindi l'importanza dell'accezione collettiva dell'abitare. La discussione non portò alla redazione di nessun documento condiviso tanto che si rilanciò il tema della stesura di una *Charte de l'habitat* anche nel congresso successivo, il CIAM IX ad Aix in Provenza nel 1953.

Nel corso di questo congresso Alison e Peter Smithson presentarono la *Urban Re-Identification Grid* con la quale volevano dimostrare come fosse indispensabile per i loro progetti la definizione degli ambiti spaziali e temporali in cui le attività degli utenti si svolgevano.



Figura 2.24: L'Urban Re-Identification Grid di Alison e Peter Smithson (fonte: ResearchGate, <The Urban Re-Identification Grid di Alison e Peter Smithson presentato... | Scarica il diagramma scientifico (researchgate.net)), > ultima consultazione: 18/08/2023).

Venne valorizzato poi il luogo della strada come elemento che esprime al meglio l'idea di coesistenza tra funzioni e che diviene un vero e proprio luogo di incontro. Il loro

¹⁵⁹ Architetto ingegnere (Baku 1913 - Parigi 1995). Di origine greca, ha studiato al Politecnico di Atene. Dal 1945 al 1951 è stato, a Parigi, collaboratore di Le Corbusier; ha poi lavorato in collaborazione con S. Woods (dal 1951) e A. Josic (dal 1955). Nel 1951, trasferitosi a Casablanca, ha applicato la sua sensibilità urbanistica alle esigenze dell'*habitat* arabo. Significativi della sua ricerca d'integrazione tra architettura e urbanistica sono i numerosi progetti per *villes nouvelles* e per grandi complessi residenziali e universitari.

¹⁶⁰ CANDILIS GEORGE, *Les Documents de Siguna*, CIAM AR-X-9, 1952.

messaggio finale era che la progettazione architettonica e urbana doveva necessariamente considerare una gerarchia di stati di aggregazione e non limitarsi a ragionare esclusivamente in termini funzionali.¹⁶¹ Al termine del CIAM IX, comunque, il clima era quello di sostanziale ostruzionismo a queste nuove generazioni di progettisti.

Interessanti furono le conclusioni che ebbe nel 1953 l'incontro tra William Howell, Alison e Peter Smithson e John Voelcker. Per il gruppo, una valida alternativa alle categorie "analitiche" degli insediamenti urbani era quella proposta dal biologo, sociologo e urbanista scozzese Patrick Geddes,¹⁶² la cui metodologia si basava sull'osservazione delle evidenti correlazioni tra ambiente naturale con lo sviluppo del costruito e le attività degli abitanti stessi. Questo metodo consentiva di esaminare ogni comunità come un sistema comune ma complesso, in modo da individuare per ciascuno studio gli specifici elementi legati ad ambiente, risorse naturali ed antropiche disponibili.

2.2.1 Gli ultimi CIAM e il lavoro di Aldo Van Eyck

Durante il X CIAM, a Dubrovnik nel 1956, si cercò di allontanarsi dall'obsoleto desiderio, tipico dei progettisti del secolo precedente, di cambiare il modo di vivere delle persone, orientandosi piuttosto verso la ricerca di una relazione tra spazio fisico e realtà sociopsicologica dei suoi abitanti. Uno dei più ferventi critici della tendenza funzionalista che aveva dominato il movimento CIAM fino ad allora, fu l'architetto olandese Aldo van Eyck, che scrisse sulla rivista olandese *Forum*:

Il funzionalismo ha ucciso la creatività, porta a una fredda tecnocrazia, in cui l'aspetto umano è dimenticato. Un edificio è più della somma delle sue funzioni. L'architettura deve facilitare l'attività umana e promuovere l'interazione sociale¹⁶³

Esplicando la sua critica nei confronti del funzionalismo, delinea la sua visione di architettura che dovrebbe andare oltre il mero soddisfacimento delle funzioni pratiche, ma dovrebbero essere ambienti che facilitano e migliorano l'esperienza umana. Questo

¹⁶¹ B.ANGI, *Ricomposizione ...*, cit., p. 95

¹⁶² FERRETTI FEDERICO, *Patrick Geddes (1854-1932)*, in *Cos'è il mondo? È un globo di cartone* a cura di Schmidt di Friedberg Marcella, Unicopli, Milano 2010.

¹⁶³ VAN EYCK ALDO, *Het Verhaal van een Andere Gedachte* (La storia di un altro pensiero), in *Forum* n. 7, Amsterdam and Hilversum 1959.

include la considerazione dell'interazione sociale e delle esigenze emotive delle persone che fruiscono degli spazi, facendo dell'architettura una promotrice delle relazioni sociali. Esemplificativa da questo punto di vista fu la relazione *The child and the city*, nella quale illustrò il lavoro di progettazione sugli spazi gioco nella città di Amsterdam, proponendo un punto di vista inedito sul valore dell'infanzia e sul ruolo dei luoghi di relazione per i bambini come forza rigenerativa per l'intera città.



Figura 2.25: Vista su un parco giochi progettato da Aldo Van Eyck (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).

Nonostante fossero modesti in termini dimensionali, i suoi interventi furono numerosi e significativi, andando a realizzare nuovi luoghi di interazione sociale fra gli abitanti in aree marginali e perlopiù scartate dai grandi piani di ricostruzione edilizia. Indagando in maniera alternativa ai primi CIAM l'*habitat* proposto da van Eyck non si riferiva a modelli astratti ma si declinava in molteplici soluzioni sito-specifiche accettando e non contrastando le condizioni proprie dell'esistente, convivendo quindi anche con abbondano, degrado e macerie. Il primo di questi interventi copriva un'area rettangolare di circa 750 mq e vi posizionò un'ampia vasca di sabbia, delimitata da cordoli in cemento alti 30 cm dai bordi arrotondati e ribassati in due punti per permetterne l'accesso. Dentro fu sistemato un basso tunnel in acciaio su cui arrampicarsi e quattro semplici cilindri di cemento che funzionavano da *stepping stones* su cui saltare o da utilizzare come piani

d'appoggio.¹⁶⁴ Ai margini dello spazio erano disposte cinque panchine in legno per i genitori, alberi e una sequenza di quattro telai di acciaio a U.



Figura 2.26: Confronto tra pre e post intervento di Aldo Van Eyck in zona degradata (fonte: MO, <Aldo van Eyck and the City as Playground – MO (merijnoudenampsen.org)>, ultima consultazione 18/08/2023).

Il risultato fu la definizione di uno spazio pubblico in modo minimale, con pochi arredi dalle forme essenziali e dai materiali comuni, un piccolo *habitat* generato dalla città stessa. L'immediata popolarità dello spazio spinse la municipalità a replicarlo e il programma durò fino al 1978, quando Van Eyck aveva realizzato ormai più di 700 spazi gioco sparsi per la città.



Figura 2.27: Esempio d'intervento di Van Eyck (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).

¹⁶⁴ B.ANGI, *Ricomposizione ...*, cit., p. 125

L'apparente semplicità di questi progetti non deve ingannare, nei parchi giochi infatti Van Eyck testava le sue idee architettoniche. La prima è quella sulla relatività, ossia sul rapporto che si instaurava tra vari elementi tutti uguali. Queste connessioni erano determinate dalle loro relazioni reciproche piuttosto che da un principio di ordinamento gerarchico centrale imposto a priori¹⁶⁵.

Van Eyck progettò personalmente tutte le attrezzature del parco giochi volutamente in modo minimalista. Lo scopo era quello di stimolare le menti dei bambini e consentirgli un'appropriazione dello spazio più profonda tramite l'immaginazione. Questa consentiva ai giovani utenti di interpretare lo spazio in maniera del tutto personale e unica. I telai in acciaio non erano solo qualcosa da scalare, potevano diventare anche un luogo dove parlare o un posto di vedetta, coperti da tappeti si potevano creare rifugi.¹⁶⁶ Ciò valeva anche per ogni altro elemento che fu realizzato nel modo più semplice possibile per non essere vincolo ma miccia della fantasia dei bambini.

Altro aspetto è il carattere modulare dei parchi giochi. Gli elementi di base (sabbiere, telai, trampolini, scivoli...) potevano essere ricombinati all'infinito in diverse composizioni policentriche a seconda delle esigenze dell'ambiente, costituivano così una raccolta di elementi che potevano essere ripetuti e inseriti in ogni contesto andando a rispondere di volta in volta alle esigenze che esso poneva.

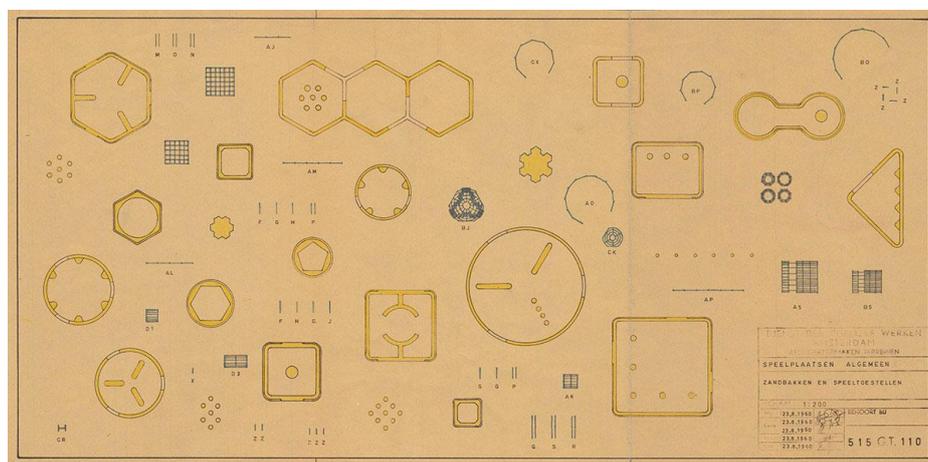


Figura 2.28: Tavola di elementi fondamentali (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).

¹⁶⁵ LEFAIVRE LIANNE, DE ROODE INGEBORG, *Aldo van Eyck. Playgrounds*, NAI Publishers, Rotterdam 2002.

¹⁶⁶ MO, <Aldo van Eyck and the City as Playground – MO (merijnoudenampsen.org)>, (ultima consultazione 18/08/2023).

Le riflessioni di Van Eyck in questi progetti erano di natura completamente diversa da quelle dei vecchi CIAM:

Qualunque cosa significhino spazio e tempo, luogo e occasione significano di più. Perché lo spazio a immagine dell'uomo è luogo, e il tempo a immagine dell'uomo è occasione.¹⁶⁷

La ricerca era quindi su come possano le persone fare proprio lo spazio e creare un "luogo" soggettivo. Per l'architetto il parco giochi transitorio diventa la risposta, luogo e occasione combinati.

L'ultimo CIAM, l'undicesimo, si svolse nel settembre del 1959 a Otterlo. Giancarlo De Carlo scrisse una meticolosa cronaca dell'incontro,¹⁶⁸ i dissidi interni e le divergenze di opinioni tra generazioni portarono alla rottura di questo spaccato di storia, conclusione di un percorso che ha segnato lo sviluppo architettonico del secolo scorso attraverso un approccio funzionalista per la costruzione dell'*habitat* urbano ideale. Le Corbusier, che aveva forgiato e guidato le più importanti edizioni dei CIAM, non si presentò nemmeno all'ultimo Congresso.

Ma dopo l'ultimo CIAM il confronto sul tema di *habitat* urbano non si arrestò. Nel 1971 Bakema istituì il *Post Box for the Development of the Habitat* che approdò nel 1978 all'istituzione dell'*United Nations Human Settlements Programme*, UN-Habitat, un'agenzia delle Nazioni Unite il cui compito è ancora oggi quello di favorire un'urbanizzazione socialmente e ambientalmente sostenibile e garantire a tutti il diritto ad avere una casa,¹⁶⁹ rivestì un ruolo fondamentale per la programmazione futura la Carta di Machu Pichu, primo documento ufficiale dell'istituzione.

¹⁶⁷ *Ibidem*.

¹⁶⁸ DE CARLO GIANCARLO, *L'ultimo convegno CIAM*, in Id., *Questioni di architettura e urbanistica*, Argalia, Urbino 1965, riedito da Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2008.

¹⁶⁹ UN-Habitat, <UN-Habitat - A Better Urban Future | UN-Habitat (unhabitat.org)>, (ultima consultazione 19/08/2023).



Figura 2.29: Bruno Zevi firma la Carta di Machu Picchu, 1977 (fonte: Vitruvius, < resenhasonline 079.01: Os planos para a cidade no tempo | vitruvius> ultima consultazione: 24/08/23).

Questo importante documento venne redatto sotto la guida di Bruno Zevi, espressamente pensato come una «revisione anti-illuministica»¹⁷⁰ della corbusierana Carta d'Atene stesa nel 1933. Significativo è il passo del documento che recita:

È giunto il momento di rivolgere un appello agli architetti affinché divengano pienamente coscienti dello sviluppo storico del Movimento Moderno, e cessino di moltiplicare panorami urbani obsoleti, composti da prismi monumentali, verticali ed orizzontali, opachi, riflettenti o trasparenti. La nuova urbanistica [architettura n.d.r.] esige una continuità edilizia, e questa implica che ogni elemento del continuum richieda un dialogo con gli altri elementi per completare la propria immagine¹⁷¹

Nel campo edilizio, specifica la carta, la partecipazione degli abitanti è l'elemento più importante e concreto, significa che la popolazione deve partecipare attivamente a ogni fase del procedimento progettuale al fine di integrare, e non sostituire, il lavoro del tecnico.¹⁷²

¹⁷⁰ Fondazione Bruno Zevi, < Biografia - Fondazione Bruno Zevi>, ultima consultazione:19/08/2023).

¹⁷¹ CONGRESSO DELL'UNIONE INTERNAZIONALE DEGLI ARCHITETTI, *Carta di Machu Picchu*, Messico 1978.

¹⁷² CARTA MAURIZIO, *Dalla Carta di Machu Picchu all'agenda per le città del XXI secolo*, in *Per un'architettura come ecologia umana. Studiosi a confronto*, a cura di Lima Iolanda Antonietta, Jaca Book, Milano 2010.

2.3 PREVI e Aravena: due progetti pioneristici nel Sud-America

2.3.1 Il progetto PREVI

Negli anni Sessanta a Lima, in Perù, si era instaurato un flusso costante ed incontrollabile di popolazione, i progetti di edilizia popolare dell'epoca erano completamente inadeguati a rispondere al fenomeno e i nuovi abitanti non potevano far altro che costruirsi in autonomia le proprie residenze creando le *barriadas* che ancora oggi superano l'area regolarmente urbanizzata.



Figura 2.30: Immagine delle *barriadas* di Lima (fonte: La prensa, < Se requieren más de 200 mil nuevas viviendas en el Perú | Perú | Economía | La Prensa Peru>, ultima consultazione 23/08/2023).

Il presidente del Perù dell'epoca era un architetto, Fernando Belaúnde Terry, e su suggerimento di Peter Land, un architetto inglese che lavorava alle Nazioni Unite indisse un concorso internazionale per un programma di edilizia sociale che rispondesse ai problemi di crescita della città. Prende vita l'idea di un quartiere sperimentale che coinvolgeva i migliori architetti dell'avanguardia radicale internazionale, scelti fra coloro che avevano una solida reputazione in fatto di *social housing*. Tra loro risultano James

Stirling, Aldo Van Eyck, i Metabolisti, Charles Correa, Christopher Alexander, Candilis Josic & Woods, per citare solo i più famosi.¹⁷³

Nasce così il progetto PREVI (*Proyecto experimental de vivienda*) in cui tredici architetti di fama internazionale, insieme ad altrettanti architetti peruviani, furono incaricati di mettere a punto un quartiere modello di 1500 unità abitative che fornisse prototipi di case urbane capaci di inglobare al proprio interno il programma di ogni futura trasformazione, ogni singola unità doveva già contenere in sé i principi della propria crescita. Le abitazioni non erano così un fine, ma un inizio: le fondamenta per un'opera di espansione. Un concetto rivoluzionario che si poneva in antitesi al modello di crescita fuori scala sperimentato negli anni precedenti. Alle megastrutture ed ai superblocchi, la sperimentazione attuata a Previ, contrappose una dinamica fondata su un modello di casa bassa ed a alta densità.¹⁷⁴

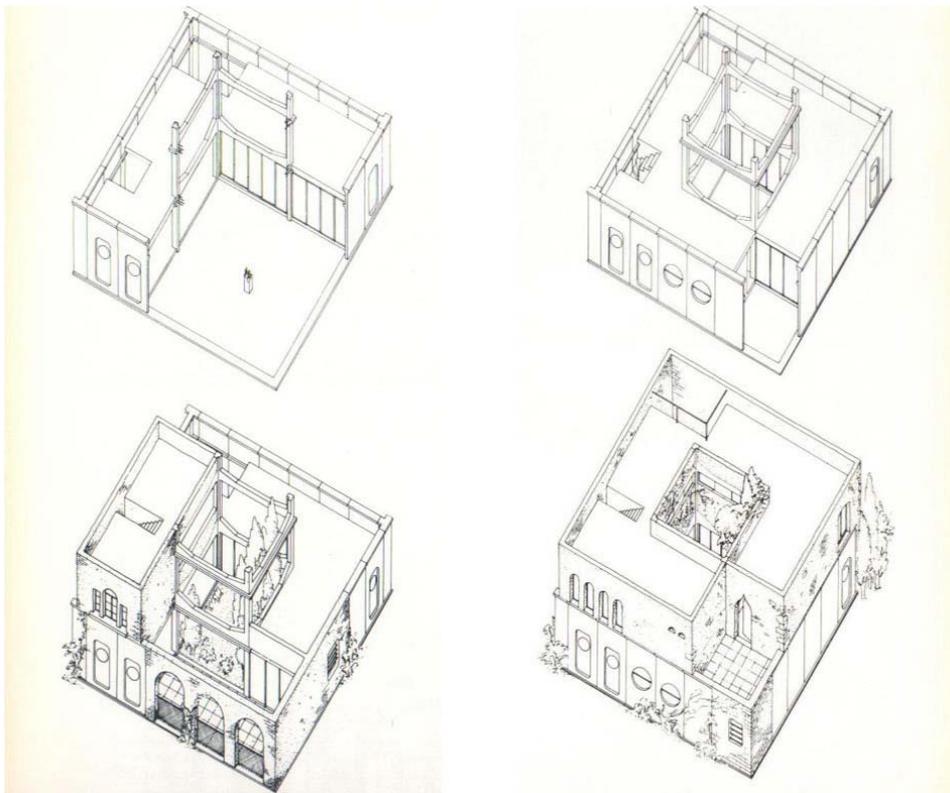


Figura 2.31: Progetto di PREVI *housing* di James Stirling (fonte: SOCKS, < Clusters and Growth: PREVI Housing Project by James Stirling (1976) – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 23/08/2023).

¹⁷³ Architectuul, < PREVI | Architectuul>, ultima consultazione: 19/08/2023.

¹⁷⁴ domus, <PREVI. L'utopia metabolista - Domus (domusweb.it)>, (ultima consultazione: 19/08/2023).

Nonostante poi nell'ottobre del 1968 un colpo di stato militare portò alla destituzione del presidente architetto, il coinvolgimento delle Nazioni Unite impedì che il progetto fosse abbandonato. La giuria incaricata di esaminare le proposte, pur avendo indicato dei progetti vincitori, decise di avviare la costruzione di quasi tutte le proposte e, nel 1974, la prima fase pilota di 500 unità fu finalmente costruita con l'intenzione di testare pienamente sul terreno le varie idee, così che in una seconda fase la migliore sarebbe emersa fra tutte. La seconda fase, tuttavia, non ebbe mai inizio. Per questo, molti considerano PREVI un fallimento. L'investimento in ventisei diversi metodi progettuali e costruttivi, dai mattoni ai pannelli prefabbricati in cemento, fu un errore di valutazione che ebbe come risultato una quantità di soluzioni così diverse e flessibili da renderlo probabilmente irripetibile.¹⁷⁵



Figura 2.32: Modello del progetto di Previ (fonte: Architectuul, < PREVI | Architectuul >, ultima consultazione 23/08/2023).

¹⁷⁵ *Ibidem*

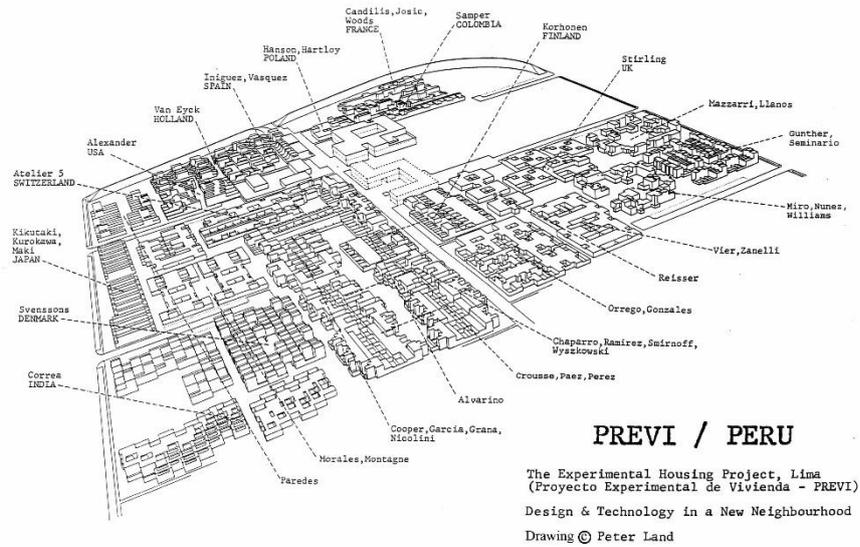


Figura 2.33: Modello del progetto di Previ (fonte: Architectuul, < PREVI | Architectuul >, ultima consultazione 23/08/2023).

È interessante però studiare come il quartiere si è sviluppato. Dopo tre decenni di espansione, le abitazioni originali sono:

incrostate di strati geologici: piani aggiuntivi, tetti a spioventi, terrazzi, scale esterne, facciate di finto marmo, tegole di cotto e mani di vernice a colori accesi rendono necessario servirsi di una forma di archeologia che costringe a eliminare, mentalmente, queste accrezioni.¹⁷⁶

A seguito delle innumerevoli aggiunte e modifiche, oggi è pressoché impossibile leggere il successo di ogni singola tipologia sulla base delle successive modifiche. Alcune di queste abitazioni sono straordinarie opere di trasformazione; in ciò va individuato uno dei maggiori successi di PREVI, anche di fronte alle migliorate condizioni economiche i proprietari non hanno abbandonato il quartiere. I residenti sono rimasti e vanno fieri dei miglioramenti che hanno apportato, trasformando un complesso di case popolari in quella che oggi sembra una comunità medio borghese.

¹⁷⁶ *Ibidem*

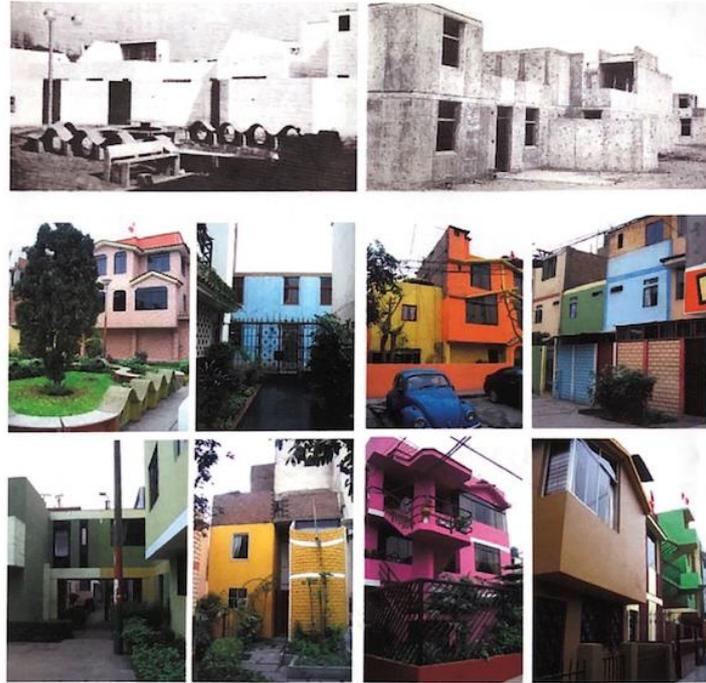


Figura 2.34: Alcune delle abitazioni di PREVI (fonte: Arquine, < <https://arquine.com/previ-la-vivienda-como-proceso/> >, ultima consultazione: 23/08/2023).

2.3.2 L'intervento di Aravena a Iquique, Cile

Nell'epoca moderna l'architettura si è trovata sempre più a dover riscoprire il suo ruolo sociale, anche per questo molti dei progetti presentati alla XV Mostra Internazionale di Architettura di Venezia del 2021, intitolata *Reporting from the front*, mostravano come si cerchi di modificare l'obiettivo della progettazione che diviene quello di migliorare la qualità della vita degli *users* stessi.¹⁷⁷ Si è cercato di offrire nuove prospettive su questioni globali tra cui la criminalità, i servizi igienico-sanitari, la carenza di alloggi, il traffico, i rifiuti, la migrazione e l'inquinamento. Il curatore della mostra di quell'edizione fu Alejandro Aravena¹⁷⁸, destinatario del Premio Pritzker nel 2016, la più alta onorificenza della professione di architetto, che ha fatto di queste tematiche le basi della sua progettazione.

¹⁷⁷ B.ANGI, *Ricomposizioni ...*, cit., pag 17

¹⁷⁸ Alejandro Aravena, nato a Santiago del Cile nel 1967, Si è laureato in architettura alla Pontificia Universidad Católica de Chile nel 1992, perfezionando poi i propri studi in Italia, dove frequenta il corso di Teoria e Storia presso l'Istituto Universitario di Venezia (IUAV, 1992-1993) e l'Accademia di Belle Arti.



Figura 2.35: Installazione di Aravena alla XV Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2021. Un muro circolare fatto di pali di legno grezzi e ostili che riproducono quelli che venivano eretti dagli spagnoli nei territori conquistati per delimitare un "parlamento" (fonte: domus, <https://www.domusweb.it/it/speciali/biennale-architettura-veneziana-2021/gallery/2021/guida-aggiornata-alla-biennale-di-architettura-di-veneziana-2021.html>), ultima consultazione: 25/08/2023).

L'architetto è noto per il suo lavoro con "*do tank*", *Elemental*, il gruppo di architettura che mira ad alleviare la povertà ed eliminare le baraccopoli, utilizzando un approccio partecipativo che coinvolge le comunità locali fin dalle prime fasi del processo di progettazione.

Nella città di Iquique Aravena ha sviluppato un progetto pilota di edilizia "da completare" che interessa 93 famiglie e che gli è servito come primo modello per la verifica delle sue idee progettuali. L'approccio adottato è descritto dall'architetto stesso come "incrementale", in cui i governi finanziano la costruzione di "mezza buona casa", mentre i residenti completano l'altra parte con le risorse a loro disposizione. Dal momento della sua apertura nel dicembre 2004, *Quinta Monroy* si è in effetti prestata con successo all'espansione e all'adattamento graduale originariamente ricercato dal progettista. Si sono ottenute abitazioni anche molto differenti a partire dagli stessi volumi originari, realizzati al costo di soli 7.500 dollari statunitensi per unità, corrispondenti al sussidio

governativo per l'acquisto dell'area, agli oneri di urbanizzazione e al costo di costruzione.¹⁷⁹

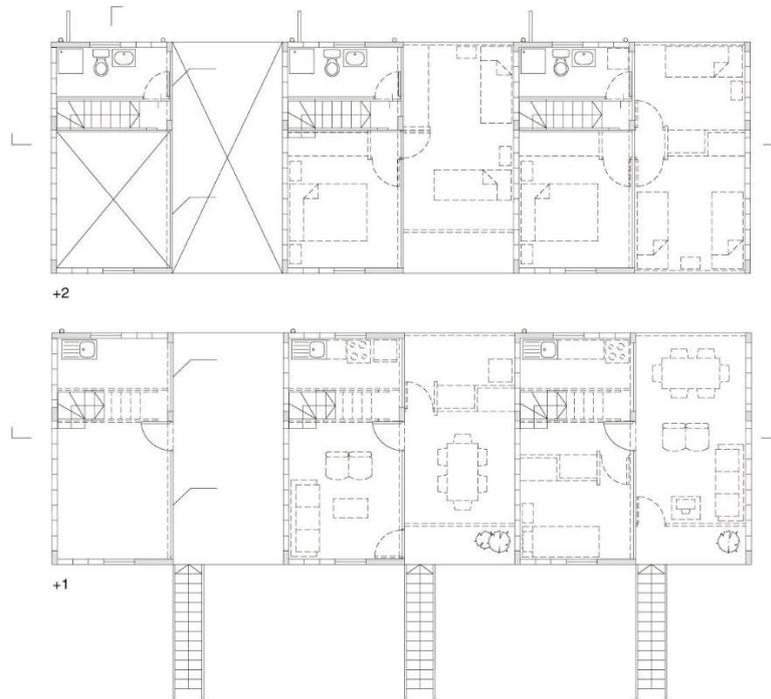


Figura 2.36: Pianta dell'intervento con previsione delle implementazioni future, Alejandro Aravena, Elemental, Iquique, 2004 (fonte: AV, <Viviendas Quinta Monroy, Iquique - Alejandro Aravena ELEMENTAL | Arquitectura Viva>, ultima consultazione 23/08/2023).

L'obiettivo della cosiddetta *incremental house*, di cui ha reso *open-source* i progetti, è quello di fornire una prova tangibile alle agenzie governative e ai progettisti che ritengono sia troppo oneroso investire in alloggi sociali.¹⁸⁰

Grazie ai laboratori di appoggio tecnico e progettuale coordinati dagli architetti di *Elemental*, gli abitanti, coinvolti anche nelle fasi di progettazione tramite un dialogo partecipativo, hanno compiuto un processo di ampliamento e modifica delle architetture e degli spazi del quartiere. L'obiettivo era quello di preservare i caratteri del progetto architettonico originario ma con grande libertà di interventi di completamento che andavano dall'integrazione di elementi di arredo, all'assemblaggio di frammenti delle vecchie case, fino a interventi più complessi di ampliamento, similmente ad altre

¹⁷⁹ domus, <Elemental, Aravena! - Domus (domusweb.it)>, (ultima consultazione 19/08/2023).

¹⁸⁰ Dezeen, <Alejandro Aravena releases housing designs for free (dezeen.com)>, (ultima consultazione: 19/08/2023).

esperienze di architettura residenziale sovvenzionata in America Latina come il quartiere El Tigral a Bogotá di René Carrasco o gli interventi a Cabo Frio, Rio de Janeiro.¹⁸¹



Figura 2.37: Diverse conformazioni a partire dalla stessa struttura (fonte: AV, <<https://arquitecturaviva.com/obras/viviendas-quinta-monroy#lg=1&slide=24>>, ultima consultazione 23/08/2023).

Aumentando la densità costruita *Elemental* offre un modello insediativo diverso dall'attuale proliferazione orizzontale della città sudamericana, declinata dalla favela sino al suburbio di classe alta, mantenendo la comunità nel sito originale, nonostante l'elevato valore immobiliare dell'area.

2.4 UN-Habitat, gli interventi dell'ONU

2.4.1 Obiettivi generali

Un valido esempio della modalità con cui ad oggi si interviene per sostenere lo sviluppo delle nazioni africane è rappresentato da UN-Habitat, ossia il programma delle Nazioni Unite per gli insediamenti umani che è incaricato dall'Assemblea generale di promuovere città socialmente e ambientalmente sostenibili.

¹⁸¹ domus, <Elemental, Aravena! - Domus (domusweb.it)>, (ultima consultazione 19/08/2023).



Figura 2.38: Piano Strategico UN-Habitat 2020-2023 (fonte: UN-Habitat, <https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf>, ultima consultazione 23/08/2023).

L'ente collabora in concerto con vari partner pubblici e privati con l'obiettivo di ottenere delle comunità più inclusive, sicure, resilienti e sostenibili. Ciò è perseguito anche tramite la valorizzazione dell'urbanizzazione intesa come strumento principale per realizzare un cambiamento positivo in persone e comunità, riducendo la disuguaglianza, la discriminazione e la povertà. L'area di intervento si snoda in oltre 90 Paesi, localizzati in tutti i continenti, per promuovere il cambiamento trasformativo nelle città e negli insediamenti umani attraverso la conoscenza, la consulenza politica, l'assistenza tecnica e l'azione collaborativa.¹⁸²

Per quanto riguarda nello specifico il continente africano dal 1990 sono oltre 200 i progetti realizzati, con la maggior parte delle risorse indirizzate all'Africa sub-sahariana, in particolare in Somalia e nella Repubblica Democratica del Congo, per un totale compreso tra 20 e 30 milioni di dollari ciascuno. Altri paesi con importanti risorse, tra i 2 e gli 8 milioni di dollari, includono: Etiopia, Kenya, Mozambico, Nigeria, Ghana e Sao Tome e Principe. Infine, progetti minori si collocano in Sudan del Sud, Camerun, Ciad,

¹⁸² UN-HABITAT STRATEGIC PLAN 2020-2023 [PDF file]. Disponibile da [strategic_plan_2020-2023.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf) (unhabitat.org), (ultima consultazione: 19/08/2023).

Guinea Conakry, Zambia, Ruanda, Uganda, Burkina Faso, Angola, Capo Verde, Guinea Bissau, Senegal e Comore.¹⁸³



Figura 2.39: Paesi coinvolti nei progetti di UN-Habitat.

I maggiori progetti operativi in Africa si concentrano sulla ricostruzione post-conflitto e sulla riabilitazione. Altri progetti riguardano la resilienza urbana e l'adattamento ai cambiamenti climatici, l'edilizia abitativa e la riqualificazione delle baraccopoli, i servizi urbani di base, la gestione del territorio, l'economia urbana, le finanze municipali, la pianificazione urbana e regionale e lo sviluppo delle politiche interne.¹⁸⁴

2.4.2 UN-Habitat in Senegal

Nello specifico in Senegal l'ente lavora a vari livelli nel perseguire progetti per lo sviluppo dello Stato:¹⁸⁵

¹⁸³UN-HABITAT, <Urbanization in Africa Region: Building inclusive & sustainable cities (unhabitat.org)>, (ultima consultazione: 19/08/2023).

¹⁸⁴ *Ibidem*.

¹⁸⁵ COUNTRY BRIEF SENEGAL 2023 [PDF file]. Disponibile da senegal_country_brief_final_en.pdf (ultima consultazione: 20/08/2023).

A livello sub-nazionale.

Il Senegal è uno degli otto Paesi interessati dalla Strategia di sviluppo spaziale per il Sahel, che mira a rafforzare il sistema delle città, in collaborazione con l'UNDP (*United Nations Development Programme*). Oltre a ciò, il Senegal è uno dei Paesi aderenti all'iniziativa per la realizzazione di un centro di eccellenza di edilizia abitativa nella regione dell'UEMOA (Unione Economica e Monetaria Ovest-Africana).

A livello nazionale.

UN-Habitat intende supportare il governo senegalese nello sviluppo della sua politica interna di urbanizzazione partendo da diagnosi approfondite basate su studi esistenti e consultazioni regionali per individuare poi una visione a lungo termine per il processo di urbanizzazione. Successivamente si attiveranno programmi e strategie da allineare in un unico quadro operativo; ciò sarà possibile formulando un piano di investimenti in linea con il Piano Nazionale di Sviluppo Territoriale (PNADT). Inoltre, UN-Habitat e il governo, attraverso il Ministero della Pianificazione Urbana, dell'Edilizia Abitativa e dell'Igiene Pubblica (MULHP), stanno collaborando per sviluppare una Politica Nazionale di Urbanizzazione (NUP). L'obiettivo del NUP del Senegal è mobilitare tutti gli attori interessati attorno a una visione condivisa dello sviluppo urbano nazionale.

A livello regionale.

UN-Habitat sta realizzando progetti per migliorare le baraccopoli, la gestione dei rifiuti e la costruzione/miglioramento di spazi pubblici. Nel 2023, l'ufficio nazionale si è concentrato sull'implementazione dello strumento CityRAP, strumento utilizzato per la formazione di *city manager* e tecnici municipali in città di piccole e medie dimensioni, a Bargny, città nella regione di Dakar, come parte della strategia di sviluppo spaziale per il Sahel (SDSS), nonché sulla concezione di un programma di *habitat* sostenibile e resiliente (PHDR) nell'intercomunale di Saint-Louis.

A livello delle città.

Il maggior progetto a livello cittadino è quello di rafforzare il quadro di *governance* di Dakar a livello metropolitano. Questo si otterrà rivedendo e armonizzando gli strumenti, le strategie e i programmi di pianificazione urbana esistenti, favorendo approcci partecipativi come l'implementazione del *City Resilience Action Planning Tool*

(CityRAP). Si intende migliorare i sistemi finanziari municipali e sostenere la mobilitazione delle risorse formulando progetti innovativi e di impatto a livello locale.

A livello locale.

A questo livello l'obiettivo di UN-Habitat consiste nel migliorare le condizioni di vita e le capacità delle comunità locali, principalmente quelle che vivono in insediamenti informali in Senegal. Attraverso processi partecipativi, gli interventi fisici possono essere sinergicamente condivisi con le popolazioni più vulnerabili per consentir loro di partecipare attivamente al processo decisionale e all'attuazione. Tra i vari interventi sono inclusi ad esempio: affrontare le questioni di sicurezza e di genere, favorire lo sviluppo dell'edilizia sociale, fornire servizi essenziali come acqua, servizi igienico-sanitari ed elettricità o realizzare infrastrutture sociali come scuole e centri sanitari.

Decisivo per UN-Habitat è stato il contributo collaborativo al Programma Senegal Emergente (*Plan Sénégal Émergent*), adottato nel 2014.¹⁸⁶ Questo è diventato il punto di riferimento per lo sviluppo sociale ed economico volto alla rinascita del Senegal entro il 2035. Il raggiungimento di questo obiettivo ha comportato il completamento di importanti progetti di investimento in settori promettenti per consentire la crescita economica e l'inclusione sociale. Ad esempio, il *Senegal Zero Slums Programme*, con un budget di 52 milioni di dollari, è un programma faro che mira ad ottenere città più resilienti e sostenibili. Il progetto politico dovrebbe contribuire al rafforzamento dei collegamenti urbano-rurali (URL) per una migliore sinergia tra le regioni, integrando così lo sviluppo e l'attuazione di quadri politici, territoriali e spaziali pertinenti, come strumento per individuare la nuova agenda urbana.

¹⁸⁶ *Ibidem.*

Capitolo 3

Architettura bioclimatica ed efficienza energetica degli edifici in Senegal

Le temperature medie globali in aumento, l'innalzamento del livello del mare, la riduzione diffusa e sostenuta a lungo termine della copertura nevosa e glaciale, la velocità del vento, le piogge intese sono solo alcuni dei principali fattori che indicano come il clima della Terra stia cambiando. Saranno in particolare i Paesi tropicali, a subire gli effetti più gravi, poiché le già difficili condizioni di vita dei loro abitanti peggioreranno ulteriormente.

La figura 3.1 mostra le anomalie della temperatura media globale nel corso degli anni, rivelando un aumento di circa 1°C dal 1880 (per maggiori informazioni si rimanda all'Appendice §A *Il cambiamento climatico in Senegal*).

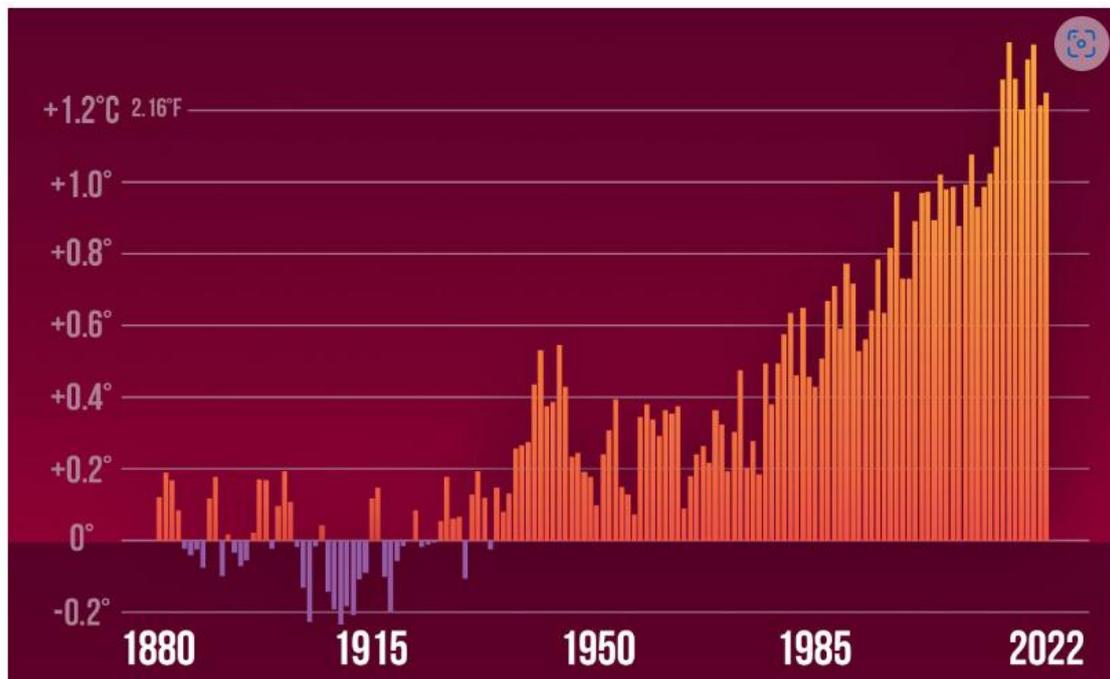


Figura 3.1: Anomalie della temperatura media globale, dal 1881-1910. Il grafico mostra quanto le temperature medie annuali globali per gli anni 1880-2022 siano state superiori o inferiori alla media 1881-1910. Le temperature per gli anni più caldi rispetto alla linea di riferimento industriale sono mostrate in rosso mentre gli anni più freddi sono indicati in viola (fonte: Climate Change Knowledge Portal, <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/overview>, ultima visualizzazione 06/08/2023).

In Africa, il settore edilizio rappresenta l'80% dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra¹⁸⁷. Attualmente, le emissioni del continente contribuiscono solo al 4% del totale globale, ma è necessario considerare il possibile aumento futuro di questa quota, le cause sono attribuibili alla crescita demografica, all'urbanizzazione massiccia, all'aumento del PIL pro-capite e all'emigrazione dalle zone rurali, che comporta un maggior utilizzo di fonti di energia fossile.

In vista di tale situazione, è di primaria importanza intraprendere azioni concrete per bloccare il processo in atto in ogni settore dell'attività umana. Nel caso specifico dell'architettura, si deve prendere in considerazione un approccio non solo antropocentrico, ma che ponga attenzione anche alle esigenze di protezione e sviluppo delle altre specie vegetali e animali, al tema delle risorse ambientali, alle questioni relative al *comfort* e alla salute, al rendimento energetico, al controllo di tecnologie, ai processi costruttivi e all'uso di materiali e soluzioni alternative a basso impatto ambientale. In questo modo, l'architettura bioclimatica può giocare un ruolo fondamentale nella lotta contro il cambiamento climatico.

Già nel 1963 V. Olgyay ambiva a impostare una metodologia per «lavorare con le forze della natura, non contro di esse, e utilizzare le loro potenzialità per creare migliori condizioni di vita negli ambienti costruiti»¹⁸⁸. Questa visione ha posto le basi per l'evoluzione della bioarchitettura, un approccio che si concentra sui rapporti tra l'uomo e l'ambiente circostante e si adatta alle sfide dei cambiamenti contemporanei.

La bioarchitettura, per rispondere a queste problematiche, si impegna a tradurre queste idee in azioni concrete, integrando in sé anche processi di gestione ecologica. La migliore soluzione architettonica, secondo questo approccio, è quella che non solo rispetta la tradizione, ma utilizza materiali ecologici, di cui si può monitorare l'origine, la lavorazione e la gestione, e si integra armoniosamente con l'ambiente circostante, contribuendo positivamente alla sua interazione con il contesto naturale. Inoltre, questa progettazione mira a fornire un *comfort* termoigrometrico ottimale, garantendo una buona

¹⁸⁷ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, Gennaio 2017, p. 6 [PDF file].

¹⁸⁸ Olgyay 1963trad. it. 1981, p. 149.

qualità dell'aria, un adeguato isolamento acustico e un'illuminazione adatta alle attività da svolgere nei locali, riducendo anche i costi di gestione.

La gestione ecologica nel cantiere edile è un approccio che mira a ridurre l'impatto ambientale e promuovere la sostenibilità durante tutte le fasi di costruzione di un'opera. Questo tipo di gestione tiene conto dei principi di conservazione delle risorse naturali, della riduzione dei rifiuti e dell'adozione di pratiche ecocompatibili come la raccolta e il riutilizzo delle acque piovane, la scelta di materiali da costruzione sostenibili e la promozione della biodiversità nelle aree circostanti.

La bioarchitettura rappresenta quindi una prospettiva che fonde l'innovazione tecnologica con la qualità architettonica. In questo modo, si cerca di progettare spazi abitativi e lavorativi che siano non solo funzionali e di elevata qualità architettonica ma anche sostenibili, rispettosi dell'ambiente e del benessere delle persone che li occupano. Si pone quindi l'obiettivo di coniugare lo sviluppo urbano alla conservazione della natura e delle risorse del pianeta, portando il progresso verso un futuro ecosostenibile.

In questo ambito si possono distinguere alcune tendenze emergenti¹⁸⁹:

- la progettazione finalizzata a raggiungere il *comfort* ambientale interno minimizzando i consumi energetici e limitando, conseguentemente l'inquinamento;
- il ricorso a risorse rinnovabili e riciclabili;
- l'utilizzo di materiali con caratteristiche ecocompatibili;
- la realizzazione di impianti per la sicurezza delle persone.

L'isolamento, l'inerzia termica dell'involucro edilizio, in grado di limitare i consumi per la trasmissione di calore con l'esterno; le prestazioni passive dell'edificio, in particolare il raffrescamento passivo attraverso la protezione dall'irraggiamento solare, l'uso dell'inerzia termica come attivatore delle masse strutturali, l'adozione di sistemi naturali come il raffrescamento evaporativo e il *free-cooling* notturno sono solo alcuni dei sistemi della *building technology* che si andranno a delineare nel corso del capitolo.

¹⁸⁹ Treccani, < https://www.treccani.it/enciclopedia/bioarchitettura_%28Enciclopedia-Italiana%29/ >, (ultima consultazione: 18/07/2023).

3.1 Il clima

Considerando la variazione delle condizioni climatiche, è fondamentale individuare le esigenze specifiche del sito. La comprensione di fattori come i giorni di pioggia, i periodi di pioggia, l'umidità, le differenze termiche tra estate e inverno e tra giorno e notte, insieme alla temperatura media, è essenziale. Inoltre, occorre considerare aspetti specifici legati all'edificio stesso, come la posizione, l'orientamento rispetto al sole e le caratteristiche ambientali circostanti. Questo approccio approfondito consente di sviluppare una progettazione sostenibile che sia in armonia con il clima locale e che garantisca il massimo *comfort* e l'efficienza energetica ottimale per gli occupanti.

3.1.1 Il Clima in Senegal

L'ASN¹⁹⁰, associazione senegalese per la standardizzazione, ha intrapreso un progetto di norma per stabilire una prima zonizzazione climatica del Senegal nell'ambito del programma PNEEB¹⁹¹, programma nazionale per la riduzione delle emissioni di gas serra attraverso l'efficienza energetica nel settore dell'edilizia. Questa suddivisione in zone è un prerequisito per l'attuazione delle normative termiche per gli edifici¹⁹² e mira a raggruppare diverse zone omogenee che presentano caratteristiche climatiche simili, consentendo l'applicazione efficace e specifica di studi e normative a ciascuna zona. Questa zonizzazione considera diversi aspetti climatici come precipitazioni, temperatura, umidità, soleggiamento e copertura nuvolosa.

Il territorio è stato così suddiviso in 5 zone climatiche omogenee i cui confini seguono la disposizione dei dipartimenti:

- un'area che ha Dakar come stazione di riferimento;
- un'area situata lungo la costa occidentale con Ziguinchor come stazione di riferimento;
- un'area situata ad est con Tambacounda come stazione di riferimento;
- un'area situata nel sud del Senegal con Kolda come stazione di riferimento;
- un'area situata nel nord-est del Paese con Matam come stazione di riferimento.

¹⁹⁰ Association Sénégalaise de Normalisation.

¹⁹¹ Programme National de réduction des émissions de GES à travers l'Efficacité Energétique dans le secteur du Bâtiment.

¹⁹² MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 10.

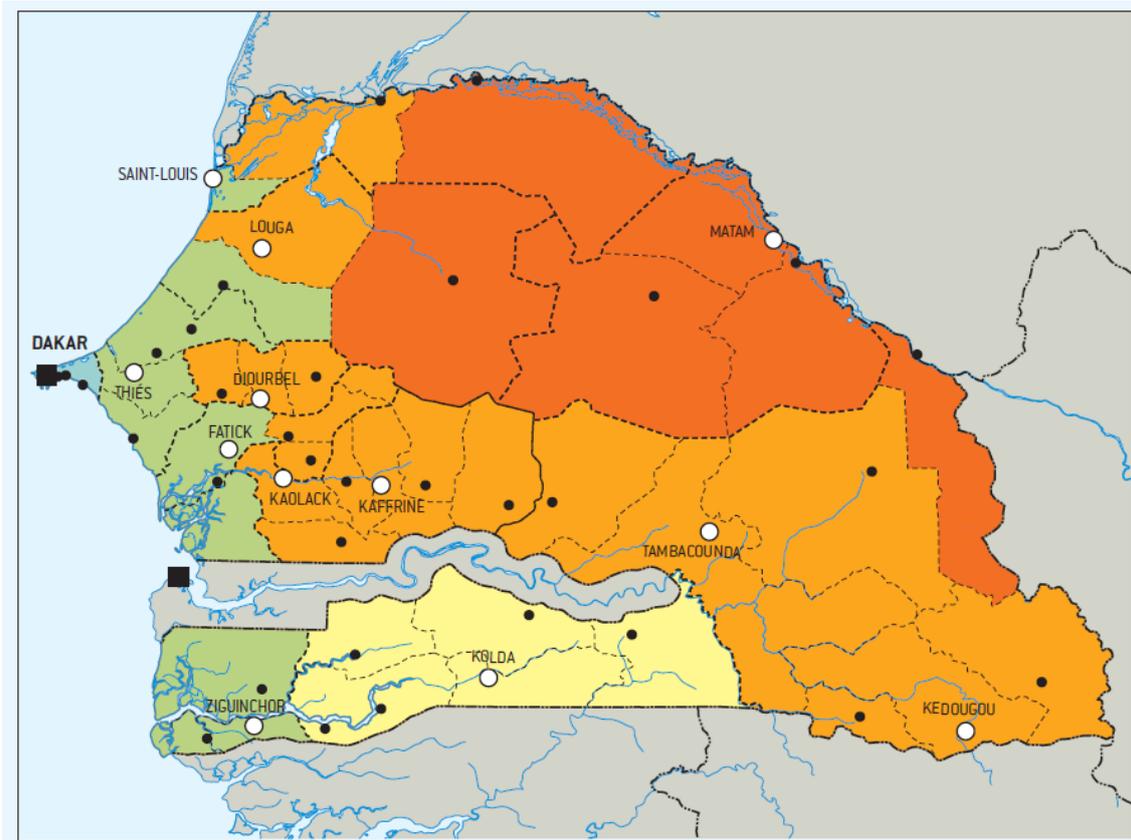


Figura 3.2: Proposta di zonizzazione climatica del Senegal. Si evidenziano le cinque zone climatiche per la definizione delle condizioni di comfort igrotermico (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 10 [PDF file]).

Il Senegal ha un clima tropicale che varia dalla savana tropicale nella parte sud-occidentale al deserto tropicale o semi-desertico nel resto della nazione¹⁹³. Due stagioni distinte caratterizzano il clima del Senegal: una stagione secca da circa ottobre a maggio e una stagione delle piogge da giugno a settembre anche detta di svernamento.

Il Senegal presenta una notevole diversità climatica dovuta a varie influenze. Queste differenze non riguardano tanto le temperature, la cui media¹⁹⁴ è di 28,91° C¹⁹⁵ con limitate escursioni termiche e medie mensili nelle stagioni più calde fino a 40°C¹⁹⁶,

¹⁹³ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 9.

¹⁹⁴ La temperatura media annuale del Senegal osservata per il peridio 1960-1990 ammontava a 27,8°C, si è quindi verificato un aumento di 1,11°C.

¹⁹⁵ Climate Change Knowledge Portal, <
<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, (ultima consultazione: 06/08/2023)

¹⁹⁶ *Ibidem*.

quanto le precipitazioni. Infatti, mentre a sud le quantità e il regime delle piogge sono classificate sub-equatoriali, con un periodo piovoso prolungato da maggio a dicembre e una piovosità annua non inferiore a 1200¹⁹⁷ mm. Procedendo verso nord e, soprattutto dall'area costiera verso l'interno, il clima diventa progressivamente tropicale arido caratterizzato da un aumento delle temperature medie massime. In queste regioni la piovosità si riduce a meno a 300¹⁹⁸ mm annui, concentrata in 2-3 mesi, mentre risulta predesertico nell'ampia parte del Paese, più di un quarto, che rientra nell'area saheliana. Le precipitazioni mostrano notevoli variazioni sia su scala interannuale che interdecennale, portando a frequenti e ripetute crisi di siccità accentuata. Negli anni '70 e '80, si sono verificate crisi così gravi da far sorgere preoccupazioni riguardo a un processo di desertificazione¹⁹⁹. Durante la stagione delle piogge, si osserva che le precipitazioni diminuiscono progressivamente dirigendosi verso nord, con una maggiore abbondanza e durata nel Sud del Paese.

Questa diversità climatica è un aspetto fondamentale da considerare per adattare le strategie agricole, di gestione delle risorse idriche e di sviluppo sostenibile alle specifiche condizioni climatiche delle regioni senegalesi.

Sono numerosi i fattori climatici da considerare per progettare alloggi confortevoli, adatti alle specifiche condizioni climatiche. Questi parametri consentono di ottenere una comprensione globale del clima, basato sulle temperature medie mensili massime e minime, nonché i massimi e minimi raggiunti.

3.1.1.1 Temperatura

Per le città di Dakar, Saint-Louis, Ziguinchor, Linguère, Tambacounda:

- le temperature medie minime mensili vanno da 15°C a 20°C;
- le temperature medie massime mensili vanno da 31°C a 41°C;
- le temperature medie mensili sono comprese tra 20°C e 34°C²⁰⁰.

¹⁹⁷ *Ibidem.*

¹⁹⁸ *Ibidem.*

¹⁹⁹ *Ibidem.*

²⁰⁰ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 11.

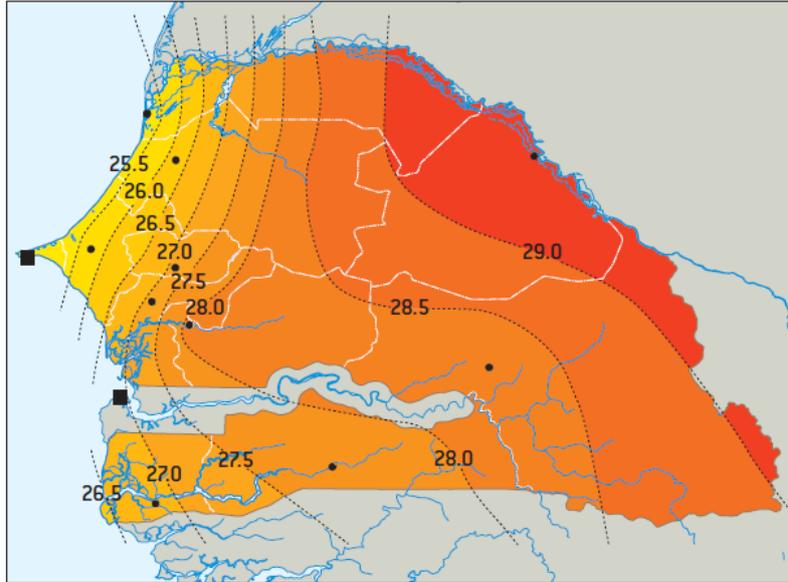


Figura 3.3: Distribuzione spaziale delle temperature medie in Senegal, in °C (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 11 [PDF file]).

3.1.1.2 Precipitazioni

La durata media della stagione delle piogge varia sensibilmente. Nelle regioni meridionali, le più piovose, si contano oltre 130 giorni di pioggia all'anno, mentre nelle regioni settentrionali, più secche, si registrano meno di 50 giorni di pioggia all'anno.

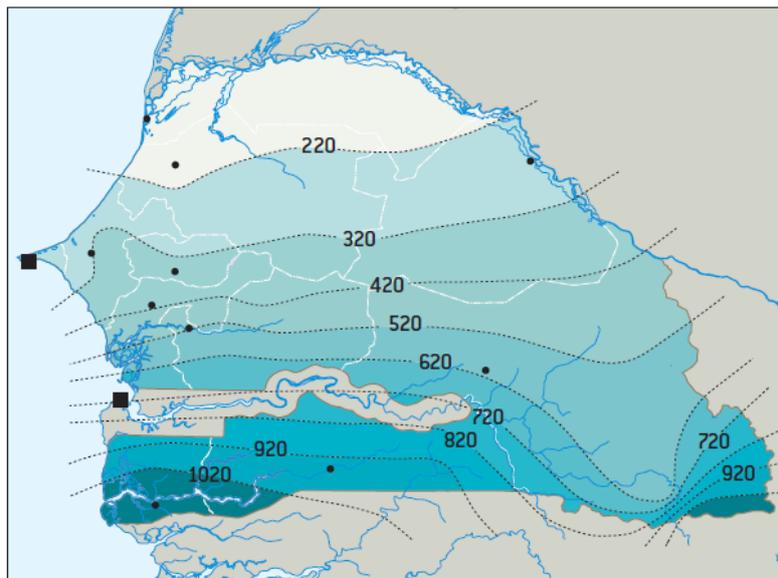


Figura 3.4: Precipitazione medie annue nel periodo 1970-1990 (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 11 [PDF file]).

Tra i rischi naturali più significativi in Senegal, il rischio inondazioni è il più rilevante, principalmente a causa della posizione costiera e delle inondazioni dei fiumi Gambia e Senegal. Numerose città, tra cui Dakar, Saint-Louis, Matam, Kaolack, Joal, Ziguinchor, Podor, Thiès, Diourbel, Kolda, Kaffrine o Tambacounda, affrontano il rischio inondazioni. Nelle aree urbane, questa minaccia è particolarmente critica, soprattutto nella regione di Dakar a causa delle carenze nel sistema di drenaggio dell'acqua e della rapida urbanizzazione che limita l'assorbimento da parte del suolo. Questi eventi si verificano durante episodi di precipitazioni estreme che si verificano nella stagione delle piogge.

3.1.1.3 Umidità

Per le città di Dakar, Saint-Louis, Ziguinchor, Linguère, Tambacounda:

- l'umidità relativa minima media varia dall'11% al 46%;
- l'umidità relativa media massima varia dal 95% al 99%;
- l'umidità relativa media è compresa tra il 22% e il 92%²⁰¹.

3.1.1.4 Vento

La direzione e la velocità dei venti con distribuzione statistica sono date dalla rosa dei venti. Ad esempio, la rosa dei venti annuale di Dakar evidenzia la predominanza degli alisei marittimi e delle componenti Harmattan.

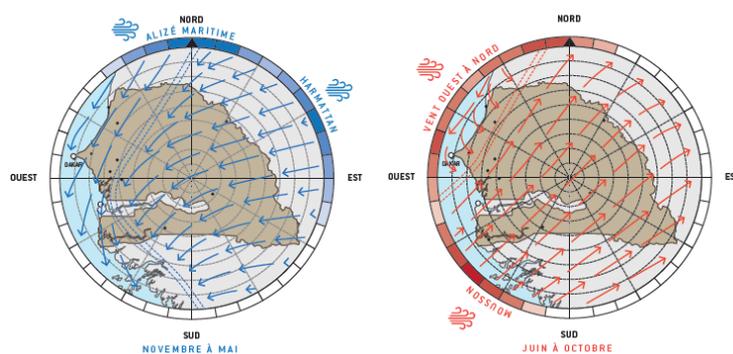


Figura 3.5: Rosa dei venti (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).

²⁰¹ *Ibidem*.

3.1.1.5 Radiazioni ricevute

I dati di soleggiamento utili per le indagini sul *comfort* e sulle prestazioni energetiche sono i valori di irraggiamento solare globale e irraggiamento solare diffuso su una superficie orizzontale che sono espressi in kWh/m², con valori orari per i calcoli di simulazione dinamica e valori giornalieri medi mensili per metodi statici e calcoli semplificati. Nei metodi di pre-progettazione, può essere utile anche la conoscenza della frazione di soleggiamento mensile, ore di sole effettive divise per la durata del giorno, e della nuvolosità del cielo.

Nelle seguenti città, Dakar, Saint-Louis, Ziguinchor, Linguère e Tambacounda, la radiazione solare globale ricevuta su una superficie orizzontale è:

- almeno da 3,5 a 4,6 kWh/m²/giorno tra agosto e gennaio;
- un massimo di 5,3-7,2 kWh/m²/giorno tra aprile e maggio²⁰².

3.1.1.6 Corso del sole

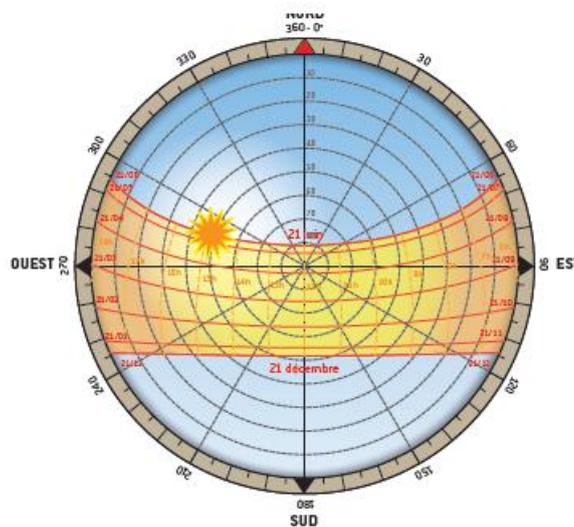


Figura 3.6: Diagramma solare di Dakar. L'immagine riporta la proiezione sferica del cielo sul piano, cioè una veduta completa della volta celeste, sulla quale sono rappresentate le diverse traiettorie del Sole a seconda delle stagioni (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).

²⁰² *Ivi.*, p 12.

3.1.2 Dati climatici specifici per la città di Kolda

Come descritto in breve nel capitolo precedente, il clima della Casamance è "sudano-guineano" o tropicale²⁰³, particolarmente favorevole per l'agricoltura e molte altre attività, essa è infatti la zona più umida del Senegal. L'importanza delle precipitazioni è una delle caratteristiche principali che danno a questa regione la sua personalità biofisica e socioeconomica. La vicinanza all'Oceano Atlantico fa emergere differenze che scandiscono la zona costiera dall'interno, che mostra invece caratteristiche prettamente continentali.

Ai fini del progetto si sono considerati i dati della città di Kolda, in quanto la topografia entro 16 chilometri contiene solo modeste variazioni di altitudine (61 metri) ed è coperta da alberi per il 49% e terre coltivate per il 29%²⁰⁴.

A Kolda, la stagione delle piogge è calda, oppressiva e coperta e la stagione asciutta è soffocante e parzialmente nuvolosa. Nel seguito si delinearanno le condizioni climatiche nello specifico, le informazioni riportate fanno capo a *Weather Spark*.

3.1.2.1 Temperature medie

La stagione calda dura 2,8 mesi, dal 4 marzo al 29 maggio, con una temperatura giornaliera massima di oltre 38 °C. Il mese più caldo dell'anno a Kolda è maggio, con una temperatura media massima di 39 °C e minima di 25 °C.

La stagione fresca dura 2,8 mesi, da 10 luglio a 5 ottobre, con una temperatura massima giornaliera media inferiore a 33 °C. Il mese più freddo dell'anno a Kolda è dicembre, con una temperatura media massima di 16 °C e minima di 34 °C.

²⁰³ Pirovano Daniela, *Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*, tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, p. 13

²⁰⁴ Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023.

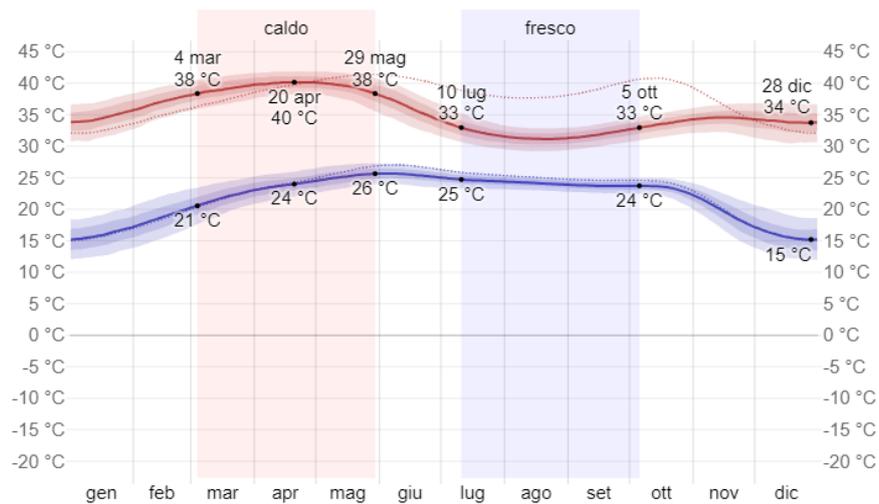


Figura 3.7: Temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliera media a Kolda. Le righe sottili tratteggiate rappresentano le temperature medie percepite (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

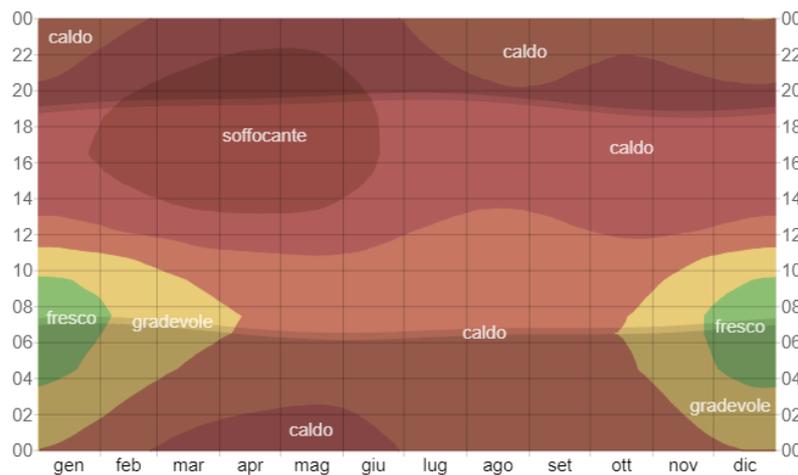


Figura 3.8: Temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.2 Nuvolosità

A Kolda, la percentuale media di cielo coperto da nuvole è accompagnata da variazioni stagionali moderate durante l'anno. Il periodo più sereno dell'anno inizia attorno al 13 novembre, dura 7,1 mesi e finisce attorno al 20 giugno. Il mese più soleggiato è marzo, con condizioni medie soleggiate, prevalentemente soleggiate, o parzialmente nuvolose pari al 62% del tempo. Il periodo più nuvoloso dell'anno inizia attorno al 17 giugno, dura 4,9 mesi e finisce attorno al 13 novembre. Mentre il mese più nuvoloso è settembre, con condizioni medie coperte, prevalentemente nuvolose, per il 78% del tempo.

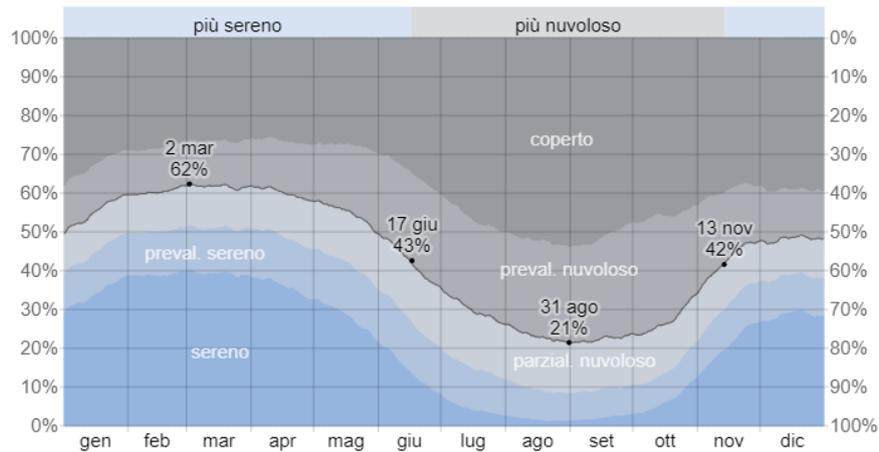


Figura 3.9: Nuvolosità a Kolda. La percentuale di tempo trascorso in ciascuna fascia di copertura nuvolosa, categorizzata secondo la percentuale di copertura nuvolosa del cielo (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.3 Precipitazioni:

Un giorno umido è un giorno con al minimo 1 millimetro di precipitazioni. La possibilità di giorni piovosi a Kolda varia molto significativamente durante l'anno. La stagione più piovosa dura 3,8 mesi, dal 15 giugno al 9 ottobre, con una probabilità di oltre 46% che un dato giorno sia piovoso. Il mese con il maggiore numero di giorni piovosi è agosto, con in media 27,8 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni. La stagione più asciutta dura 8,2 mesi, dal 9 ottobre al 15 giugno con marzo come mese con il minor numero di giorni piovosi, con in media 0,0 giorni di almeno 1 millimetro di precipitazioni. La forma più comune di precipitazioni durante l'anno è la pioggia, con la massima probabilità di verificarsi il 23 agosto pari al 91%.

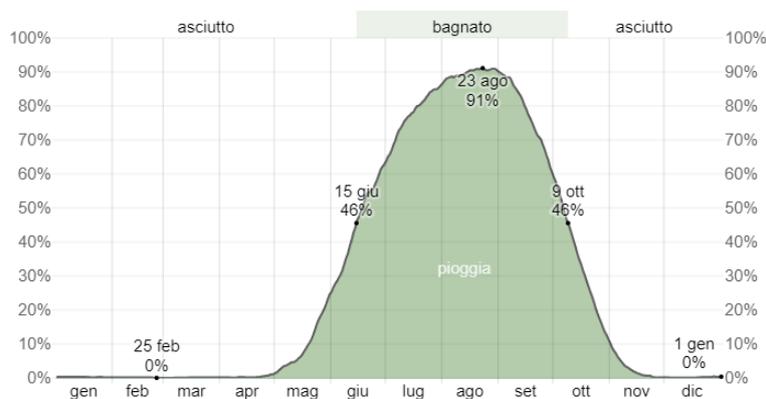


Figura 3.10: Probabilità di precipitazioni giornaliere a Kolda (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.4 Radiazione solare

La lunghezza del giorno a Kolda non cambia sostanzialmente durante l'anno, e rimane entro 12 ore e 53 minuti. Nel 2023, il giorno più corto sarà il 22 dicembre, con 11 ore e 22 minuti di luce diurna, mentre il più lungo è il 21 giugno, con 12 ore e 53 minuti.

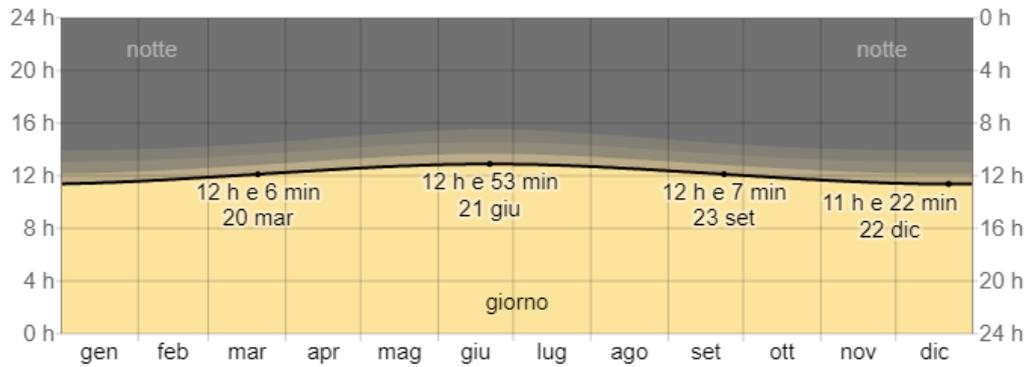


Figura 3.11: Ore di luce diurna e crepuscolo a Kolda. Con la riga nera il grafico definisce il numero di ore in cui il Sole è visibile. Dal basso (giallo) all'alto (grigio) le fasce colorate indicano: piena luce diurna, crepuscolo (civico, nautico e astronomico) e piena notte (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

La prima alba è alle 06:32 il 1° giugno e l'ultima alba è 54 minuti più tardi alle 07:26 il 25 gennaio. Il primo tramonto è alle 18:30 il 20 novembre e l'ultimo tramonto è 1 ora e 0 minuti dopo alle 19:30, il 9 luglio.

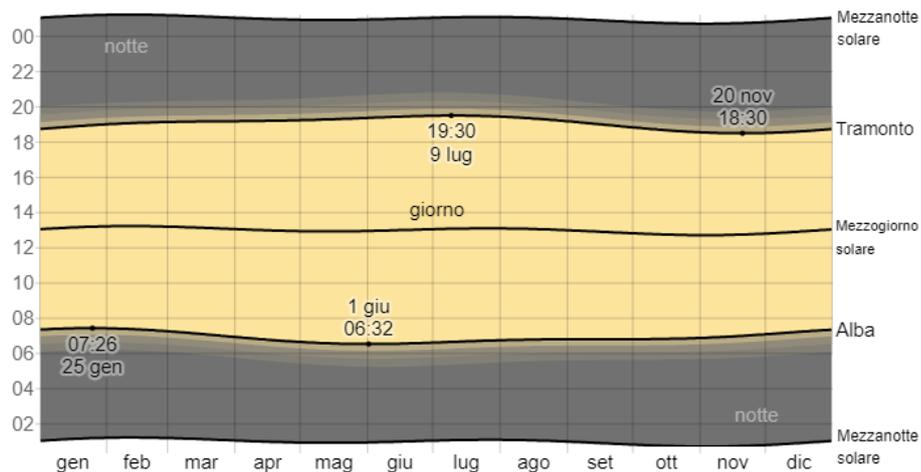


Figura 3.12: Giorno solare durante il 2023. Dal basso all'alto, le righe nere sono la precedente mezzanotte solare, alba, mezzogiorno solare, tramonto e la mezzanotte solare successiva. Il giorno, i crepuscoli (civico, nautico e astronomico) e la notte sono indicati dalle fasce di colore dal giallo al grigio (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

La figura 3.13 presenta una rappresentazione compatta dell'elevazione solare, l'angolo del sole sopra l'orizzonte, e dell'azimut, il suo rilevamento alla bussola, per ogni ora di ogni giorno nel periodo coperto. L'asse orizzontale rappresenta il giorno dell'anno, l'asse verticale rappresenta l'ora del giorno. Per un dato giorno e una data ora di tale giorno il colore dello sfondo indica l'azimut del sole in quel momento. Le isolinee nere sono i contorni dell'elevazione solare costante.

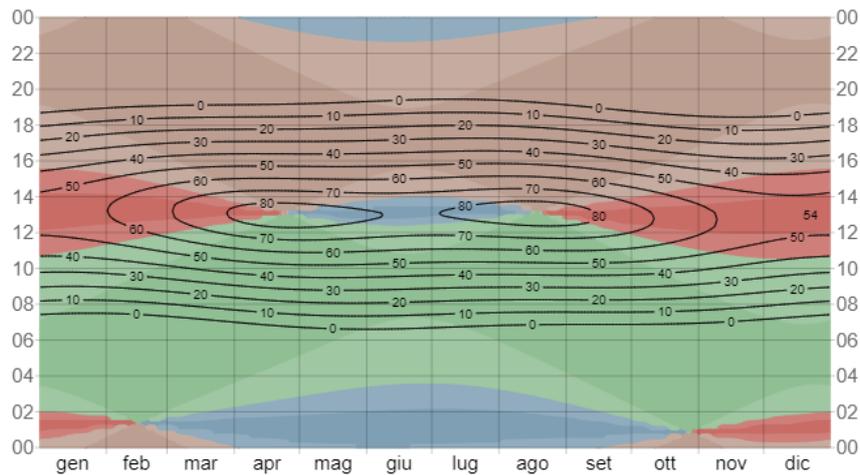


Figura 3.13: Elevazione solare e azimut durante l'anno 2023. Le righe nere sono righe di elevazione solare costante (angolo del sole al di sopra dell'orizzonte, in gradi). Il colore dello sfondo indica l'azimut del Sole (il suo rilevamento alla bussola). Le aree leggermente colorate ai bordi dei punti cardinali della bussola indicano le direzioni intermedie implicite (nord-est, sud-est, sud-ovest e nord-ovest) (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.5 Umidità

Il livello di comfort è basato sul punto di rugiada, in quanto determina se la perspirazione evaporerà dalla pelle, raffreddando quindi il corpo. Punti di rugiada inferiori danno una sensazione più asciutta e i punti di rugiada superiori più umida. A differenza della temperatura, che in genere varia significativamente fra la notte e il giorno, il punto di rugiada tende a cambiare più lentamente, per questo motivo, anche se la temperatura può calare di notte, dopo un giorno umido la notte sarà generalmente umida. Kolda vede estreme variazioni stagionali nell'umidità percepita. Il periodo più umido dell'anno dura 7,1 mesi, da 25 aprile a 29 novembre, e in questo periodo il livello di comfort è afoso, oppressivo, o intollerabile per almeno il 26% del tempo. Il mese con il maggior numero di giorni afosi è agosto, con 31,0 giorni afosi, mentre il mese con il minor numero di giorni afosi è gennaio, con 0,5 giorni afosi.



Figura 3.14: La percentuale di tempo a diversi livelli di comfort umidità, categorizzata secondo il punto di rugiada (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.6 Vento

La Casamance presenta tre importanti masse d'aria²⁰⁵, la cui circolazione è facilitata dal bassorilievo che caratterizza l'andamento orografico del Paese; queste determinano anche le condizioni climatiche del Paese:

- l'aliseo marittimo, ovvero l'anticiclone delle Azzorre, che soffia da nord/nord-ovest a nord/nord-est, porta costantemente umidità e freschezza in inverno. La sua area di influenza è principalmente la costa e diminuisce progredendo verso sud. L'aliseo è particolarmente influente da novembre a maggio;
- l'Harmattan, un'altra depressione sahariana, che soffia da nord-est verso ovest/nord-ovest, fresco di notte e caldo di giorno, e spesso trasporta polvere fine e sabbia. È particolarmente influente all'interno del paese;
- il monzone, ovvero l'anticiclone di Saint-Helen, che soffia da sud-est e arriva nel periodo estivo ed è il portatore della pioggia. Diminuisce risalendo l'interno del Paese, ed è quindi particolarmente influente nelle regioni meridionali.²⁰⁶

Il vento in qualsiasi luogo dipende in gran parte dalla topografia locale e da altri fattori, e la velocità e direzione istantanee del vento variano più delle medie orarie. La velocità oraria media del vento a Kolda subisce significative variazioni stagionali durante l'anno.

²⁰⁵ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 9.

²⁰⁶ *Ivi.*

Il periodo più ventoso dell'anno dura 7,1 mesi, dal 5 dicembre al 10 luglio, con velocità medie del vento di oltre 11,0 chilometri orari. Il giorno più ventoso dell'anno a Kolda è gennaio, con una velocità oraria media del vento di 14,1 chilometri orari. Il periodo dell'anno più calmo dura 4,9 mesi, da 10 luglio a 5 dicembre e il più calmo dell'anno è ottobre, con una velocità oraria media del vento di 7,7 chilometri orari.

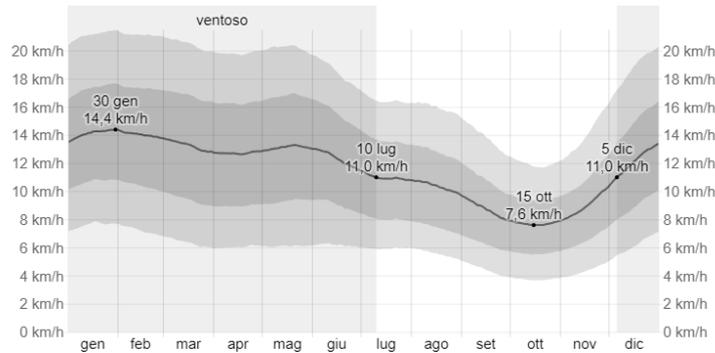


Figura 3.15: La riga in grigio scuro indica la velocità media oraria del vento (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

La direzione oraria media del vento predominante varia durante l'anno. Il vento tira più spesso da nord-est per 3,3 mesi, da 6 gennaio a 15 aprile, con la massima percentuale del 59% il 2 marzo, mentre si verifica da ovest per 6,6 mesi, dal 15 aprile al 3 novembre, con una massima percentuale del 66% il 3 luglio. Da est soffia per 2,1 mesi, da 3 novembre a 6 gennaio, con una massima percentuale di 50% il 1° gennaio.

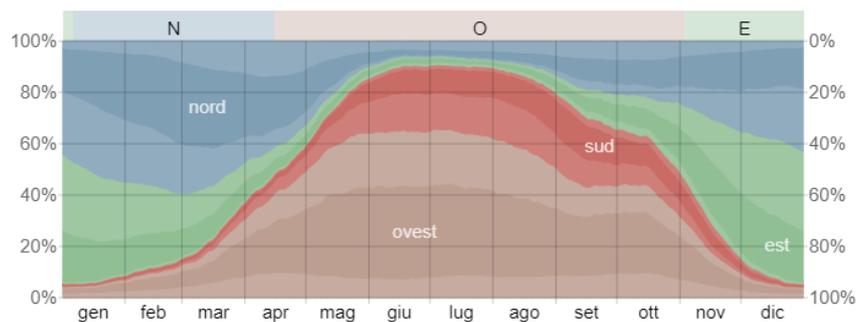


Figura 3.16: La percentuale di ore in cui la direzione media del vento è da ognuna delle quattro direzioni cardinali del vento, tranne le ore in cui la velocità media del vento è di meno di 1,6 km/h. Le aree leggermente colorate ai bordi sono la percentuale di ore passate nelle direzioni intermedie implicite (nord-est, sud-est, sud-ovest e nord-ovest). (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.7 I Gradi-giorno

I gradi-giorno di crescita sono una misura dell'accumulo di calore annuale, definita come l'integrale del calore al di sopra di una temperatura di base, scartando eccessi al di sopra di una temperatura massima. In questo rapporto usiamo una base di 10 °C e un massimo di 30 °C.

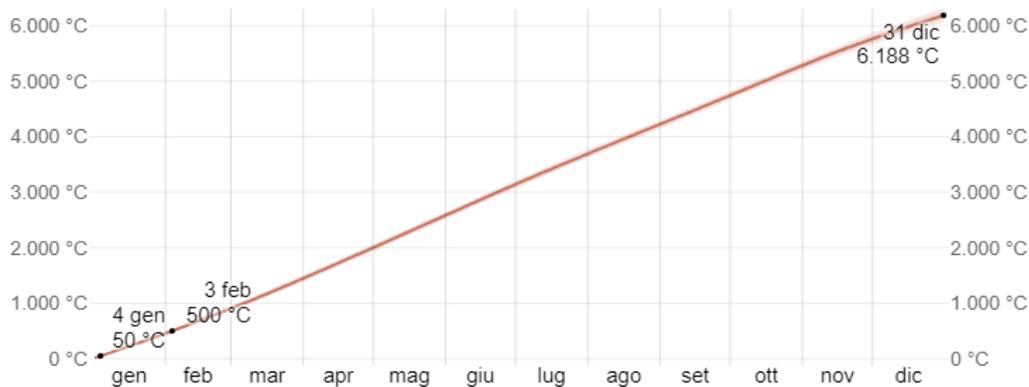


Figura 3.17: I gradi-giorno medi accumulati durante l'anno (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.1.2.8 Energia solare

Questo sottoparagrafo discute l'energia solare a onde corte giornaliera totale incidente che raggiunge la superficie del suolo in un'ampia area, tenendo in considerazione le variazioni stagionali nella lunghezza del giorno, l'elevazione del sole sull'orizzonte e l'assorbimento da parte delle nuvole e altri elementi atmosferici. La radiazione delle onde corte include luce visibile e raggi ultravioletti e quella incidente giornaliera media subisce alcune variazioni stagionali durante l'anno. Il periodo più luminoso dell'anno dura 2,5 mesi, dal 5 marzo al 20 maggio, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per metro quadrato di oltre 6,5 kWh. Il mese più luminoso dell'anno a Kolda è aprile, con una media di 7,0 kWh. Il periodo più buio dell'anno dura 4,2 mesi, dal 5 luglio al 10 novembre, con un'energia a onde corte incidente giornaliera media per metro quadrato di meno di 5,0 kWh. Il mese più buio dell'anno a Kolda è agosto, con una media di 4,5 kWh.

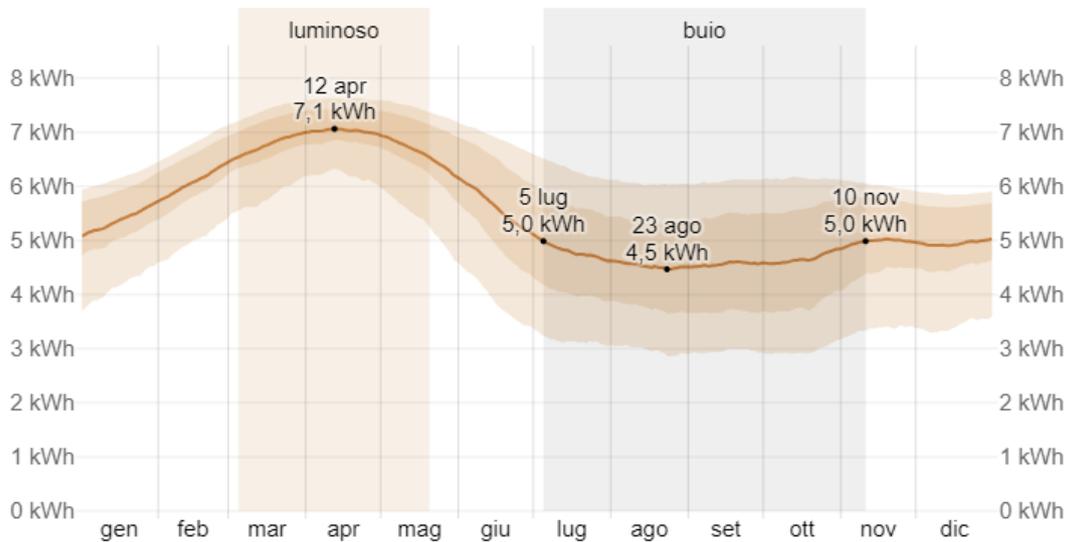


Figura 3.18: L'energia solare a onde corte incidente media che raggiunge il suolo per metro quadrato (riga arancione) (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).

3.2 Il comfort nelle zone tropicali

Nei Paesi ad economia emergente, la questione chiave per l'ottenimento di un ottimo *comfort* ambientale è la riduzione degli apporti termici dovuti sia alla radiazione solare che alla differenza di temperatura attraverso l'involucro. Il calore viene trasmesso attraverso finestre, elementi trasparenti e infiltrazioni d'aria. La riduzione del calore può essere ottenuta agendo sull'isolamento termico, sulla massa termica, sulla forma dell'edificio, sulla strategia di ventilazione e sul controllo solare.

Il concetto di *comfort* globale è però più ampio e si riferisce al benessere complessivo e alla soddisfazione delle persone all'interno di un ambiente, considerando tutti gli aspetti sia fisici che psicologici e comprende anche il *comfort* acustico, il *comfort* visivo, la qualità dell'aria interna e altri fattori ambientali che influenzano il benessere dell'individuo. Il comfort globale tiene quindi conto di numerosi fattori, quali la temperatura, l'umidità, la qualità dell'aria e dell'illuminazione, il rumore all'interno di uno spazio.

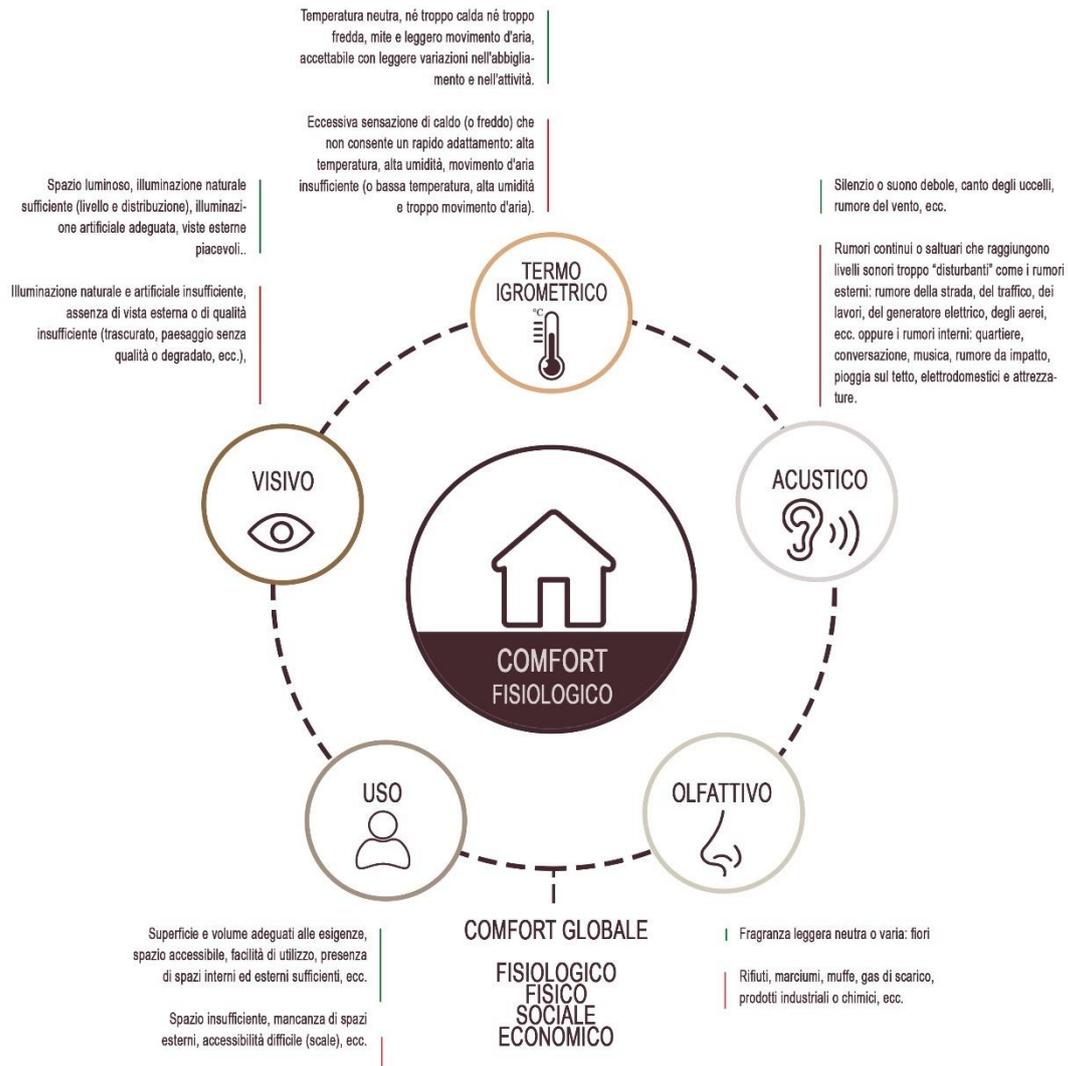


Figura 3.19: Il comfort globale.

È importante quindi comprendere che, se uno degli aspetti del *comfort* fisiologico o socio-psicologico viene trascurato, il *comfort* globale della persona interessata sarà mediocre, se non nullo.

3.2.1 Il diagramma bioclimatico

Il diagramma di *comfort*, anche noto come diagramma psicrometrico, è stato sviluppato dall'architetto Baruch Givoni²⁰⁷, sovrapponendo zone limite di sensazione di temperatura

²⁰⁷ Baruch Givoni (1928-2014) è stato un architetto e ricercatore israeliano noto per i suoi contributi nel campo della architettura bioclimatica e del design sostenibile. Nato a Budapest, in Ungheria, nel 1928, si trasferì in Israele nel 1949 e in seguito completò la sua formazione in architettura e ingegneria presso l'Università di Tecnologia Technion a Haifa. Giovani ha lavorato su molteplici temi riguardanti l'interazione tra l'architettura e l'ambiente natura, concentrandosi sulla progettazione di edifici sostenibili,

e umidità relativa. Questo diagramma consente di visualizzare zone di *comfort* igrotermico fisiologico per soggetti acclimatati, a riposo o in attività sedentarie, e che indossano abbigliamento adeguato al clima. Queste zone di temperatura ideali per il *comfort* variano in base al livello di acclimatazione dell'individuo, alla sua corporatura, agli abiti indossati e al livello di attività.

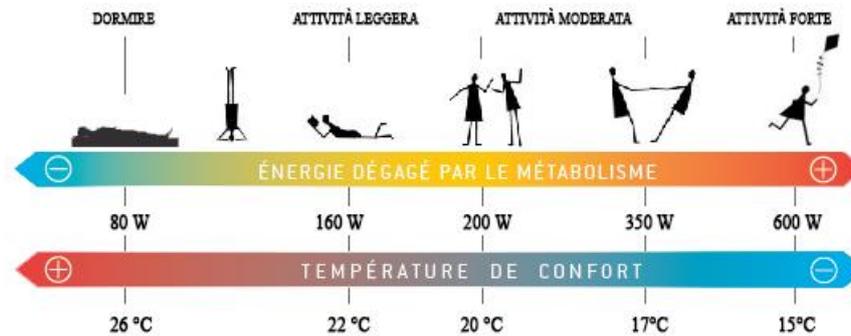


Figura 3.20: La produzione di calore a seconda dell'attività svolta (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 20 [PDF file]).

Partendo da questo strumento, Givoni e Milne hanno sviluppato diagrammi bioclimatici, che mostrano le zone di temperatura e umidità in cui dispositivi architettonici hanno una miglior efficacia nell'applicazione, ovvero il poligono di *comfort*, correggendo gli impatti termici del clima esterno sul clima interno degli edifici. Questi diagrammi rappresentano il clima locale in modo orario o mensile, attraverso insiemi di punti corrispondenti alla coppia temperatura-umidità.

La “temperatura risultante” o “temperatura operativa²⁰⁸” percepita da una persona è pari alla media della temperatura dell'aria e della temperatura media delle pareti che la proiettano²⁰⁹:

adatti al clima locale. Il suo lavoro si è concentrato sullo sviluppo di strategie bioclimatiche per migliorare il comfort degli edifici riducendo l'impatto ambientale. Ha scritto molteplici libri e pubblicazioni, tra cui, la più nota e quella che gli ha conferito maggior fama, *Man, Climate and Architecture* del 1969. Il suo lavoro ha avuto un impatto significativo sulla comunità architettonica internazionale, e la sua eredità continua a influenzare le pratiche di progettazione e costruzione sostenibile in tutto il mondo.

²⁰⁸ Definizione (UNI 10375:2011): la temperatura operante rappresenta la temperatura uniforme di un ambiente nel quale un occupante scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa potenza termica scambiata nell'ambiente in esame termicamente non uniforme.

²⁰⁹ D'ALESSANDRO VALERIO ING., *Sezione 06*, in «Appunti del corso di tecniche del controllo ambientale», Università Politecnica delle Marche, 2017-2018, p. 11.

$$T_{operante} = \frac{T_{pareti} + T_{aria}}{2}$$

Il nostro corpo inoltre contribuisce al riscaldamento di una stanza poiché il nostro metabolismo produce calore. Questo calore viene eliminato attraverso la traspirazione e la respirazione (calore latente), per convezione o per irraggiamento (calore sensibile).

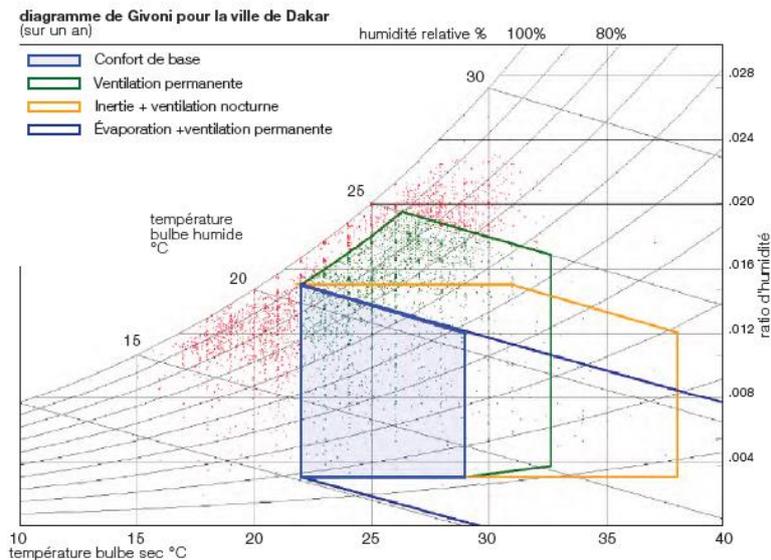


Figura 3.21: Diagramma di Givoni per le abitazioni a Dakar, Senegal (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 17 [PDF file]).

Il diagramma consente di valutare l'efficacia delle risposte architettoniche o tecniche fornite nella progettazione di un edificio per un determinato clima. Nel contesto del Senegal, si distinguono quattro tipi di zone:

- la "zona di comfort di base", quando la temperatura esterna e l'umidità relativa all'ombra sono entro i limiti di un comfort fisiologico accettabile. In questa situazione, le condizioni interne dovrebbero essere il più simili possibile alle condizioni esterne, soprattutto in luoghi ombreggiati senza vento;
- la "zona di comfort con ventilazione" o anche detta il "poligono di comfort espanso con ventilazione", dove il disagio causato da temperatura e umidità più elevate può essere compensato creando una velocità dell'aria attorno all'individuo (da 0,5 a 2 m/s), abbassando la temperatura percepita da circa 1 a 5°C;
- la "zona ad alta inerzia termica con ventilazione notturna" dove l'architettura, grazie alla sua elevata inerzia termica e buona capacità di ventilazione,

immagazzina l'aria fresca immessa durante la ventilazione naturale o forzata dell'edificio, mantenendo così le condizioni di *comfort* per tutto il giorno, se adeguatamente protette dal sole;

- la "zona di comfort con apporti termici interni" riguarda i periodi in cui le condizioni climatiche esterne sono leggermente troppo fresche e per i quali gli apporti interni degli occupanti e delle dotazioni dell'edificio riportano le condizioni interne nella zona di *comfort*. In questo caso la ventilazione dell'edificio sarà limitata alle esigenze igieniche degli occupanti per evitare di dissipare i guadagni termici gratuiti.

Il diagramma bioclimatico permette quindi di definire un legame diretto tra il clima e le strategie bioclimatiche.

3.2.2 Il comfort igrotermico

Quando un individuo si trova all'interno di un ambiente, il suo organismo reagisce alle condizioni termiche ed igrometriche dell'ambiente stesso in modo tale da garantire una stabilità della temperatura degli organi interni del corpo umano. Per mantenersi ad una temperatura costante di circa 37°C, ha necessità di autoregolarsi tramite scambi termici con l'esterno, modificando il flusso sanguigno attraverso processi di vasocostrizione e vasodilatazione e tramite la sudorazione.

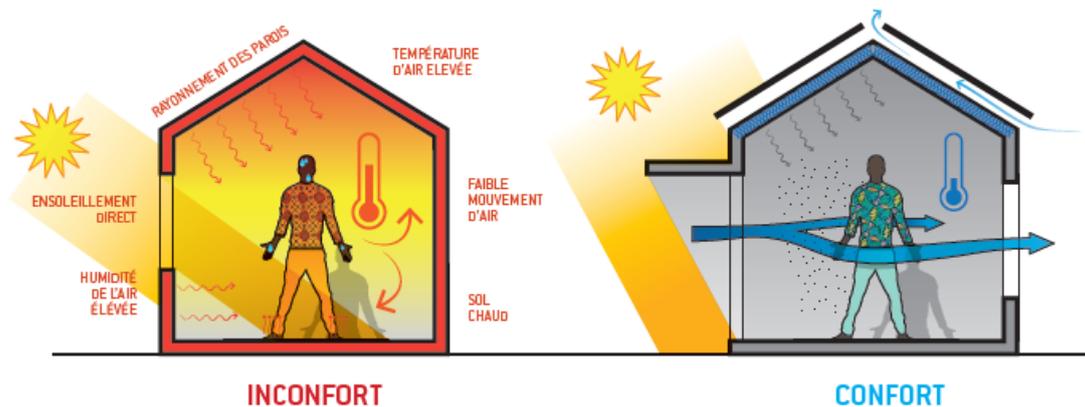


Figura 3.22: Il comfort termico (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRATERre, gennaio 2017, p. 15 [PDF file]).

Quanto meno questi processi di regolazione termica saranno richiesti, più il corpo sarà nella sua cosiddetta "zona di *comfort* fisiologico e igrotermico". Al contrario, più questi

processi verranno utilizzati, maggiore sarà la sensazione di disagio. Emerge chiaramente come la definizione di benessere abbia una componente soggettiva, poiché non tutti gli individui avvertono la stessa sensazione dell'ambiente circostante. Per tal motivo, le condizioni di benessere oggettive sono determinate attraverso di una valutazione statistica, che ha permesso di definire curve di grado di soddisfazione dell'ambiente.

Gli scambi corporei con l'esterno avvengono attraverso diverse modalità: irraggiamento, convezione, conduzione ed evaporazione e sono condizionati da:

- vestiario;
- temperatura dell'aria ambiente;
- la temperatura delle pareti circostanti;
- umidità dell'aria;
- velocità dell'aria;
- il livello d'intensità dell'attività dell'individuo²¹⁰.

3.2.2.1 Modalità di trasferimento termico

Conduzione

Nel caso di un materiale solido in cui la temperatura non è uniforme o tra due corpi a contatto con temperature diverse, la conduzione consiste nella propagazione del calore attraverso la trasmissione dell'agitazione tra le molecole.

Convezione

La convezione è un trasferimento di calore attraverso il movimento di una massa di fluido (gas o liquido). L'aria, quando questa entra in contatto con una superficie più calda, si riscalda assorbendo il calore dalla superficie, diventa meno densa e quindi si solleva lasciando spazio a una massa d'aria più fredda. Questa condizione genera un movimento, detto convezione naturale, in opposizione alla "convezione forzata" in cui l'aria è spinta o aspirata da una ventola.

²¹⁰ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 15.

La potenza termica che il corpo umano scambia per convezione è definita dalla seguente relazione:

$$\dot{Q}_{conv} = h_c A_d (T_d - T_a)$$

dove:

h_c coefficiente di scambio termico convettivo [W/(m²K)];

A_d l'area della superficie del corpo umano vestito [m²];

T_d temperatura media della superficie esterna del corpo umano vestito [K];

T_a temperatura dell'aria ambiente [K].

$$C = \frac{\dot{Q}_{conv}}{A_b} = \frac{A_d}{A_b} h_c (T_d - T_a)$$

Definendo:

$$f_d = \text{coefficiente di area dell'abbigliamento} = \frac{A_d}{A_b} \rightarrow C = f_d h_c (T_d - T_a)$$

Per il calcolo del coefficiente di scambio termico convettivo, per condizioni di flusso tipiche di ambienti chiusi, si possono usare le seguenti relazioni:

in convezione naturale: $h_c = 2,38 (T_d - T_a)^{0,25}$

in convezione forzata: $h_c = 12,1 \sqrt{w_{ar}}$

dove:

w_{ar} la velocità relativa soggetto-aria [m/s];

$$w_{ar} = w_a + 0,0052 (M - 58,2)$$

w_a velocità misurata dell'aria [m/s];

M potenza metabolica unitaria [W/m²];

T_a temperatura dell'aria ambiente [K].

Quindi, la potenza termica dispersa dal corpo umano per convezione dipende dalle seguenti variabili:

- Temperatura della superficie esterna del corpo vestito;
- Temperatura dell'aria;

- Velocità relativa soggetto aria (variabile ininfluyente nel caso di convezione naturale);
- Coefficiente di area e tipo di abbigliamento.

Irraggiamento

L'irraggiamento è un trasferimento di calore che avviene attraverso onde elettromagnetiche. Un corpo emette energia termica sotto forma di radiazione a seconda della temperatura assoluta del corpo e delle caratteristiche fisiche della sua superficie²¹¹. Questa modalità di trasferimento del calore avviene nel vuoto e nei mezzi gassosi, quindi anche nell'aria.

La potenza termica che il corpo umano scambia per irraggiamento con l'ambiente circostante può essere definita con la legge di Stefan-Boltzmann²¹² per un corpo grigio:

$$\dot{Q}_{irr} = A_{eff} \varepsilon \sigma (T_d^4 - T_r^4)$$

dove:

ε $\approx 0,95$ è l'emissività del corpo umano;

σ = $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/(m²K⁴) è la costante di Stefan Boltzmann;

T_r temperatura media radiante²¹³;

A_{eff} l'area efficace del corpo umano per irraggiamento

$$A_{eff} = A_b f_d f_{eff}$$

dove:

f_d coefficiente di area dell'abbigliamento;

²¹¹Ivi., p 16.

²¹² La legge di Stefan-Boltzmann prende il nome dai due finisci austriaci Ludwig Boltzmann (1844-1906) e Josef Stefan (1835-1893) e stabilisce che l'emittanza di un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta, espressa in kelvin.

²¹³ La temperatura di un ambiente fittizio termicamente uniforme che scambierebbe con il corpo umano la stessa potenza termica radiante scambiata nell'ambiente reale. Si può misurare con il globotermometro. Per la misura e il suo calcolo si rimanda alla norma UNI-EN 27726.

f_{eff} coefficiente di area efficace, è pari a 0,696 per soggetti seduti e 0,725 per soggetti in piedi; se non è fissata alcuna posizione si assume un valore medio di 0,71²¹⁴.

$$f_{eff} = \frac{A_{eff}}{A_d}$$

Allora, la potenza termica unitaria scambiata per irraggiamento è data da:

$$R = \frac{\dot{Q}_{irr}}{A_b} = \frac{A_{eff}}{A_b} \varepsilon \sigma (T_d^4 - T_r^4) = f_c f_{eff} \varepsilon \sigma (T_d^4 - T_r^4)$$

Evaporazione

L'evaporazione²¹⁵ corrisponde al passaggio da uno stato liquido a uno stato gassoso di un fluido. Per far evaporare un fluido, è necessario fornire energia sotto forma di calore: a pressione atmosferica per far evaporare 1 litro d'acqua sono necessari circa 540 kCal, ovvero 630 Wh. L'evaporazione comporta quindi un prelievo di calore dall'ambiente circostante, quindi un raffreddamento di cui beneficia in parte la superficie di scambio, ad esempio la pelle nel caso del processo di sudorazione.

3.2.2.2 Bilancio termico del corpo

Gli scambi di calore tra il corpo e l'ambiente esterno includono:

- Metabolismo ovvero la trasformazione del cibo assunto in energia all'interno del corpo. Questo permette al corpo di mantenere la temperatura interna e di fornire l'energia necessaria al suo funzionamento;
- l'energia radiante captata o prodotta dal corpo;
- il calore per convezione, quando il corpo è in contatto con l'aria ambiente, il calore può essere trasferito per convezione tra la pelle, i vestiti e l'aria ambiente;
- calore per conduzione captato o prodotto dal corpo;
- calore evaporativo prodotto dal corpo attraverso la respirazione e la sudorazione.

²¹⁴ D'ALESSANDRO VALERIO ING., *Sezione ...*, cit., p. 10.

²¹⁵ La conduzione, la convezione e l'irraggiamento sono modi di scambio di calore definiti sensibili perché non causano cambiamenti di stato, mentre il processo di evaporazione corrisponde a uno scambio di calore definito latente perché comporta un cambiamento di stato.

La condizione necessaria al benessere termoisometrico si può esprimere considerando nulla l'energia interna accumulata o ceduta nell'unità di tempo dal corpo.

$$S = M - W - R - C - K - E_{diff+sudor} - E_{resp,sens+lat} = 0$$

dove:

- S potenza termica accumulata o persa [W/m²];
- M potenza metabolica [W/m²];
- W lavoro [W/m²];
- C potenza termica convettiva specifica [W/m²];
- K potenza termica conduttiva specifica [W/m²];
- R potenza termica radiativa specifica [W/m²];
- E_{diff+sudor} potenza termica specifica per diffusione e sudorazione [W/m²];
- E_{resp,sens+lat} potenza termica specifica per respirazione [W/m²].

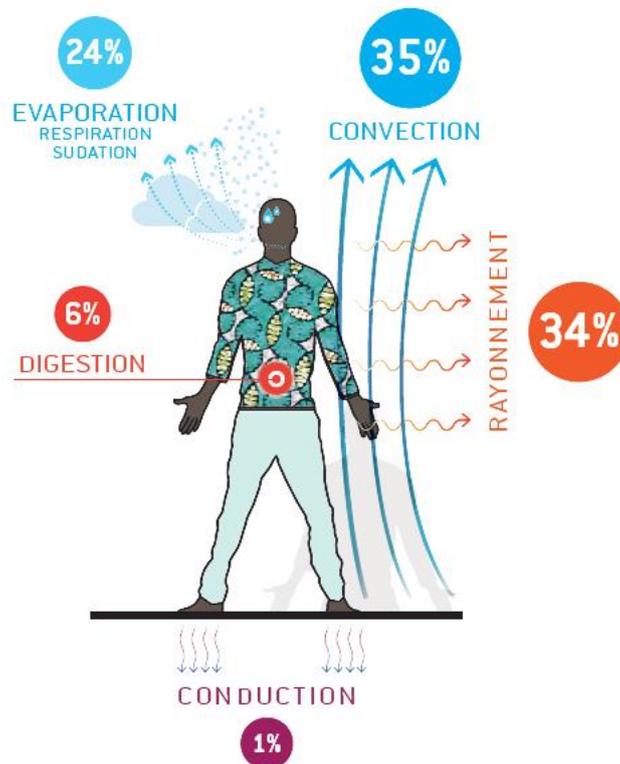


Figura 3.23: Modalità di trasferimento del calore corporeo (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).

3.2.3 Gli altri comfort sensoriali e i parametri corrispondenti

Il comfort sensoriale complessivo percepito da un individuo è la sintesi dei vari comfort fisiologici percepiti da ciascuno dei suoi sensi:

- *Comfort* termoigrometrico, come precedentemente discusso;
- *Comfort* visivo, che dipende dai seguenti parametri (elenco non esaustivo):
 - La quantità di luce, in relazione all'attività;
 - La qualità e il colore della luce;
 - L'uniformità dell'illuminazione;
 - L'assenza di abbagliamento;
 - La qualità delle viste esterne e delle viste interne;
 - I colori.
- *Comfort* acustico, che è influenzato dall'acustica di un ambiente e dalla capacità di ricezione di una persona, soprattutto in relazione all'età, il che determina la sensibilità a diverse frequenze sonore. Questo comfort acustico è altamente correlato all'attività che si svolge nel locale specifico ed è influenzato sia dai rumori esterni sia da quelli generati all'interno. I fattori che contribuiscono al *comfort* acustico includono i rumori trasmessi dalle pareti, i rumori di calpestio, la riverberazione acustica interna di un locale, i rumori tecnici e le emergenze rispetto al rumore di fondo, ai rumori naturali eventuali.
- *Comfort* olfattivo e qualità dell'aria dipendono da diversi parametri come l'assenza di "cattivi odori", la presenza di profumi, inquinanti o allergeni. Inoltre, la qualità dell'aria è influenzata anche dall'eliminazione di CO₂ e di vapore acqueo, che possono non solo avere un impatto sulla sensazione olfattiva, ma anche sulla salute e il benessere delle persone presenti nel locale.

Il *comfort* globale va oltre le dimensioni sensoriali e dipende anche da altri fattori soggettivi quali la formazione dell'individuo, dalle sue capacità di adattamento e da dimensioni psicologiche che possono evolversi nel tempo, come ad esempio la sensazione di sicurezza.

3.3 Principi generali di progettazione

L'aumento globale delle temperature è diventato una costante alla quale tutti devono adattarsi individuando strategie durevoli ed efficaci. In un clima tropicale, la sfida principale per raggiungere un buon livello di comfort termoigrometrico è proteggersi dal caldo. A tale scopo esistono quattro strategie complementari: protezione solare, ventilazione, inerzia termica e isolamento²¹⁶.

Con i termini “Progettazione bioclimatica” si intende una branca della progettazione che prende in considerazione e sfrutta il clima del sito di costruzione per realizzare un edificio confortevole. Questa strategia può essere applicata a tutte le condizioni climatiche e mira non solo a garantire un benessere ottimale agli occupanti ma anche minimizzare il fabbisogno energetico. È necessario dunque massimizzare l'impiego di strategie bioclimatiche e integrarle con mezzi artificiali solo quando necessario. Queste due strategie sono spesso complementari e contribuiscono a ridurre la spesa energetica.

Tuttavia, alcune incompatibilità devono essere considerate: costruzione bioclimatica significa, da un lato, limitare gli apporti termici solari o interni e, dall'altro, favorire la dissipazione verso l'esterno del calore accumulato all'interno dell'edificio. Viceversa, quando si utilizzano mezzi di raffrescamento artificiale, si dovrebbe evitare di utilizzare la ventilazione naturale per prevenire la dispersione del calore verso l'esterno, rendendo l'edificio ermetico.

Le strategie progettuali bioclimatiche più interessanti per ottenere il *comfort* termico in un clima tropicale sono:

Protezione solare

La progettazione bioclimatica prevede un attento studio del layout dell'edificio, la scelta ponderata dell'orientamento per ogni edificio, e più nello specifico di ogni locale, e l'utilizzo efficace della vegetazione. La protezione solare deve essere progettata anche alla scala di ogni componente dell'involucro edilizio:

²¹⁶ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 10.pp. 23-26.

- Per i tetti è importante adottare soluzioni come l'uso di colori chiari, tetti a doppia ventilazione e/o utilizzo di materiali isolanti, indispensabili per gli edifici climatizzati;
- frangisole, come persiane o tende da sole, per aperture, finestre e porte, che dovrebbero essere anche a tenuta d'aria per edifici climatizzati;
- le pareti maggiormente esposte all'irraggiamento solare devono essere dotate di rivestimenti ad alto grado di riflessione e, nel caso di edifici climatizzati, di un adeguato isolamento termico.

Durante il giorno, è prioritaria la protezione delle pareti esposte a est, mentre per l'uso permanente, sia le pareti rivolte a est che a ovest devono essere adeguatamente protette.

Ventilazione

Per gli edifici bioclimatici, la ventilazione contribuisce al *comfort* termico degli occupanti in due meccanismi distinti:

- Favorisce la dissipazione del calore dal corpo per convezione, ciò dipende dalla velocità dell'aria, e tramite l'evaporazione del sudore. Una ventilazione continua risulta particolarmente vantaggiosa per climi caldi e umidi, in cui aiuta a mitigare l'eccessivo accumulo di calore corporeo.
- Consente di evacuare il calore accumulato all'interno dell'edificio, sia derivante dai guadagni solari che da quelli interni²¹⁷.

In climi caldi e secchi la funzione di ventilazione è sfruttata principalmente attraverso la ventilazione notturna e non quella diurna. Ventilare durante il giorno in un clima del genere, quando la temperatura supera la zona di *comfort*, contribuisce non solo a surriscaldare gli occupanti ma anche ad accumulare calore nella struttura che verrebbe poi restituito durante la notte. Al contrario, di notte, quando la differenza tra la temperatura interna ed esterna è superiore a 2°C, la ventilazione consente di raffreddare la struttura dell'edificio. Un edificio con una notevole inerzia termica in questo tipo di clima può ritardare l'arrivo dell'onda di calore che penetra nell'edificio stesso mentre la ventilazione notturna permetterà di evacuare questo calore durante la notte.

²¹⁷ *Ivi.*, pp. 26-27.

La ventilazione svolge anche un ruolo essenziale nel ricambiare l'aria interna, fornendo aria fresca agli occupanti e combattendo diverse forme di inquinamento come CO₂, composti organici volatili COV, muffe, umidità. Questo è un fattore primario per la salute degli occupanti e previene anche patologie relative all'involucro dell'edificio; in questo caso specifico, si parla di ventilazione igienica. Tale flusso è espresso in m³/h/occupante durante il periodo di occupazione e varia da 15 m³/h/occupante (bambino) a più di 30 m³/h/occupante (atleta), con valori comuni di 18 m³/h/occupante²¹⁸.

Inerzia termica

La massa termica si riferisce alla capacità di un materiale di assorbire e immagazzinare energia termica. Materiali ad alta densità come cemento, mattoni e piastrelle, richiedono molta energia termica per cambiare la loro temperatura, conferendo loro un'elevata massa termica. Al contrario, materiali leggeri come la paglia e la maggior parte dei materiali vegetali sono caratterizzati da una bassa massa termica.

In climi con ampie escursioni termiche tra il giorno e la notte, l'utilizzo di pareti con una buona inerzia consente di ritardare l'arrivo dell'onda di calore nell'edificio durante il giorno, proteggendo così dal caldo gli occupanti durante le ore peggiori. Tale ritardo prende il nome di "sfasamento termico", e corrisponde alla capacità dei materiali di assorbire e rilasciare lentamente energia termica.

Se lo spessore delle pareti è tale che l'onda termica raggiunge le superfici interne durante la notte, ad esempio si sono impiegate lastre di copertura in cemento, sarà necessario garantire una ventilazione notturna molto efficiente per evacuare il calore restituito all'interno dell'edificio. Se tuttavia, durante il giorno, l'inerzia termica non è sufficiente per garantire il *comfort*, si possono impiegare dispositivi quali ventilatori per fornire una sensazione di freschezza stimolando l'evapotraspirazione sulla pelle. Per gli edifici utilizzati sia di giorno che di notte, è anche possibile prevedere spazi esterni per il riposo notturno.

²¹⁸ *Ivi.*, p 24.

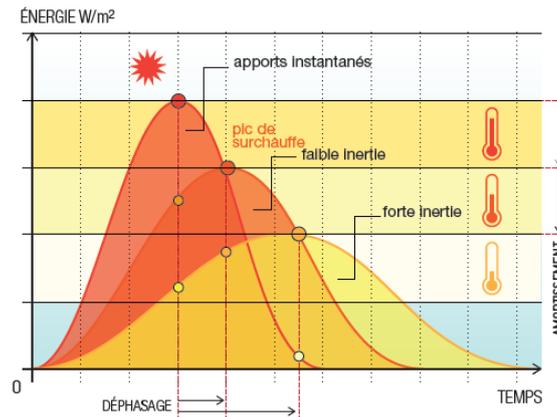


Figura 3.24: Grafico dello sfasamento dell'onda termica in funzione del tempo nei casi di risposta istantanea e inerzia termica bassa e alta (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, Gennaio 2017, p. 24 [PDF file]).

Isolamento termico

L'isolamento termico riduce la conducibilità termica del componente quando esposto a una differenza di temperatura e riduce il flusso di calore dalla superficie più calda a quella più fredda²¹⁹. Per gli edifici climatizzati situati in climi molto caldi, l'importanza della differenza di temperatura tra le medie esterne e l'ambiente interno refrigerato rende indispensabile l'impiego di questa tecnica, in tal modo è possibile limitare i guadagni di calore per conduzione. In questo caso, per ridurre i costi relativi al trattamento isolante, è possibile considerare l'isolamento solo delle parti climatizzate dell'edificio. I vantaggi dell'isolamento termico sono numerosi: aumenta il comfort e riduce la necessità di riscaldamento o raffrescamento attivo, portando a un risparmio di carburante e una riduzione delle emissioni di CO₂.

Per climi caldi e molto umidi, quando la differenza di temperatura tra un interno climatizzato e l'esterno non è significativa, l'isolamento è utile come complemento alla protezione solare.

Tuttavia, è essenziale precisare che isolare termicamente un edificio bioclimatico potrebbe non essere una strategia opportuna se l'isolante rallenta anche l'evacuazione del calore dall'interno dell'edificio verso l'esterno durante la notte. In questo caso, se il

²¹⁹ TAMASSOCIATI, ARUP, *Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies*, Arup, Maggio 2019, p.24 [PDF file].

sistema di ventilazione notturna non è efficace, l'isolamento delle pareti potrebbe essere controproducente.

Nel caso di edifici bioclimatici in climi caldi e secchi, è preferibile utilizzare materiali con alta inerzia termica piuttosto che isolanti. Tuttavia, poiché il tetto è la parete più esposta al sole, è necessario considerare l'isolamento a meno che non siano previsti altri dispositivi di protezione specifici (colore molto chiaro, doppio tetto staccato e ventilato, ecc.).

3.3.1 Disposizioni generali

3.3.1.1 Effetti del sito

La topografia, e in particolare l'altitudine, influenza la temperatura, l'umidità dell'aria e la pressione atmosferica; in una data zona climatica, le zone ad alta quota sono più fresche delle zone di bassa quota. La temperatura scende di circa 1°C ogni 150 m²²⁰ di dislivello. Nonostante ciò, il Senegal presenta un territorio prevalentemente pianeggiante e poco accidentato, con un'altitudine media di 200 m.

Negli ambienti urbani densi o semidensi, la temperatura può essere localmente più elevata che nelle zone rurali circostanti a causa di vari fattori. I materiali utilizzati nelle costruzioni urbane assorbono più radiazioni solari rispetto all'ambiente naturale, la bassa densità di vegetazione, la scarsa evacuazione del calore accumulato contribuiscono a trattenere il calore. Inoltre, le attività umane come il traffico automobilistico e le attività industriali possono generare ulteriore calore. Questo fenomeno è noto come "effetto isola di calore urbano" (o *Urban Heat Island* - UHI). Nei periodi di vento debole e forte insolazione, le temperature medie in città possono aumentare di diversi gradi, con massime diurne che superano i 5° o 6°C²²¹.

Uno studio condotto sull'isola di Réunion in Senegal dal ministero dell'ambiente e dello sviluppo sostenibile evidenzia la differenza di temperatura registrata durante una giornata in tre diversi ambienti: rurale, semi-urbano e urbanizzato. Si riporta in particolare che

²²⁰ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture ...*, cit., p 13.

²²¹ *Ibidem*.

durante il giorno, l'ambiente urbanizzato può subire un aumento temperatura massima $7,5^{\circ}\text{C}$ rispetto all'ambiente semi-urbano, mentre la differenza di temperatura media durante corso della giornata tra l'ambiente semi-urbanizzato e quello rurale è di $+3,5^{\circ}\text{C}$, di notte, invece, la massima differenza tra i due ambienti è di $+5,5^{\circ}\text{C}$.

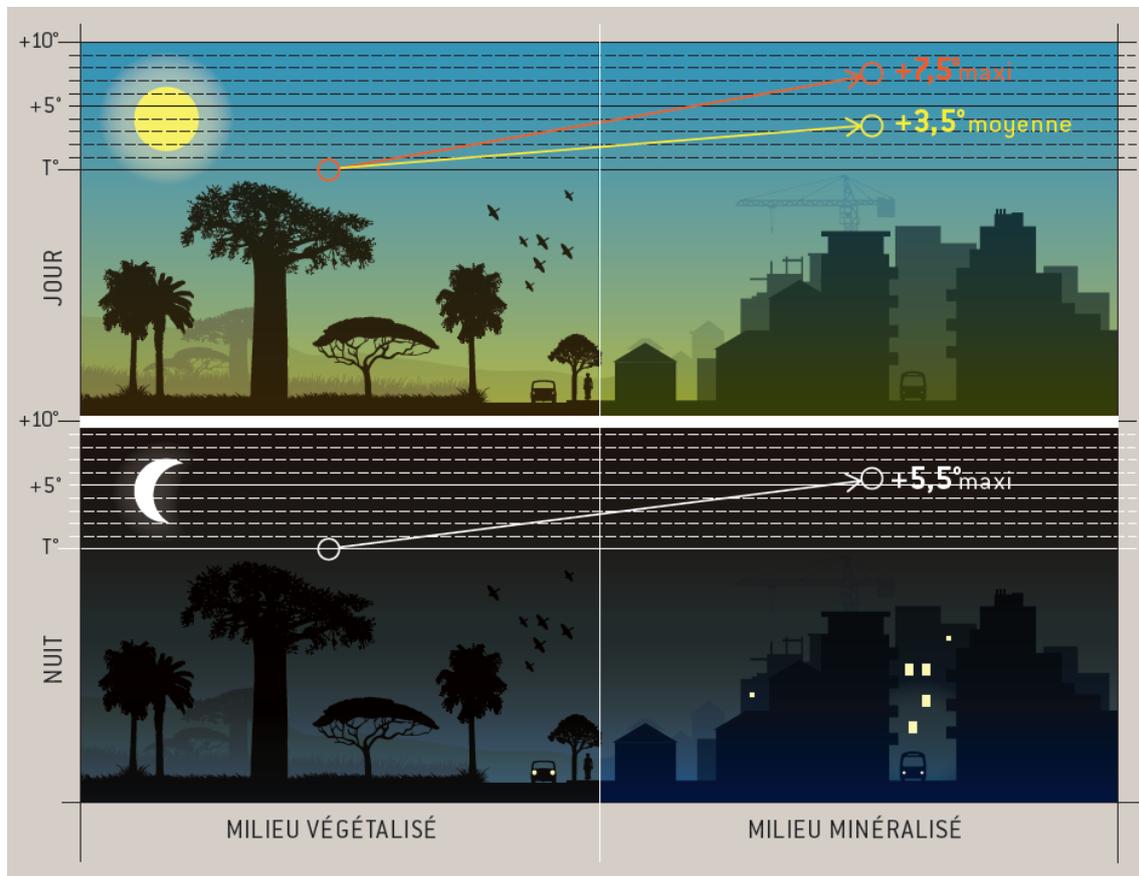


Figura 3.25: L'isola di calore urbano (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 14 [PDF file]).

3.3.1.2 L'orientamento

Nella progettazione bioclimatica la scelta dell'orientamento dell'edificio si basa nel cercare un compromesso tra riduzione dell'esposizione dell'involucro edilizio al sole e buona esposizione ai venti prevalenti per favorire la ventilazione naturale. Al fine di proteggere dall'eccessiva esposizione solare, l'orientamento dell'edificio deve essere studiato per garantire una protezione solare ottimale, riducendo l'esposizione delle grandi facciate verso est e ovest, poiché questo sono le direzioni più colpite dai raggi solari e, di conseguenza, ricevono maggiore energia. È inoltre importante valutare l'orientamento delle stanze in base alla loro funzione e ai modelli di utilizzo durante il giorno, per

allineare i requisiti degli utenti in termini di luce diurna e guadagni solari con il percorso solare²²².

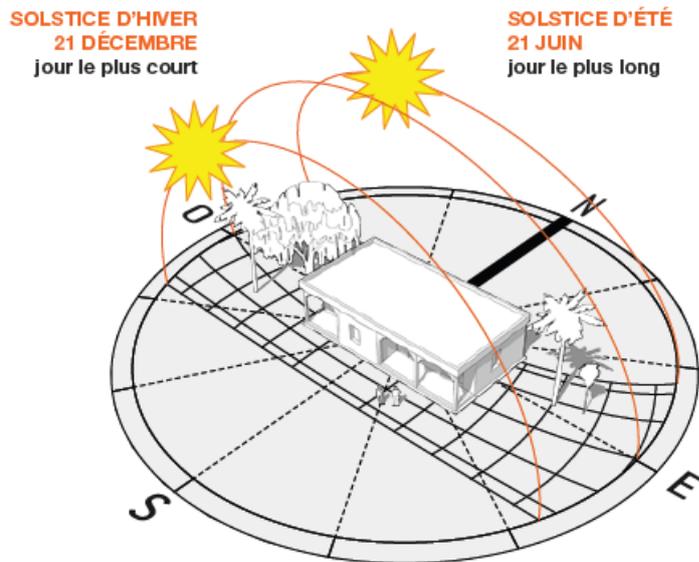


Figura 3.26: La traiettoria solare (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).

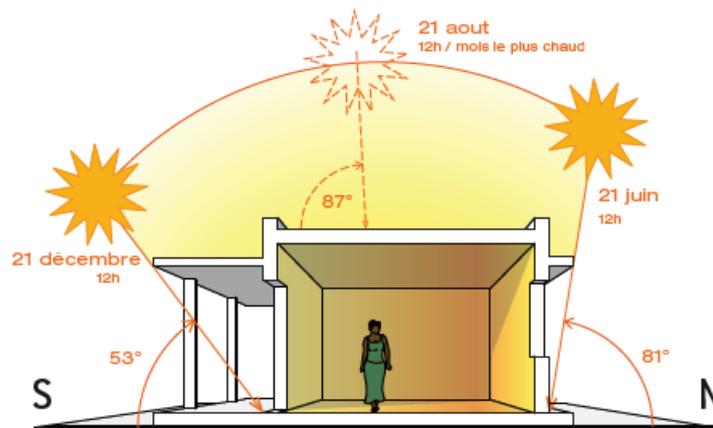


Figura 3.27: L'inclinazione del raggio solare a mezzogiorno per il solstizio d'inverno e d'estate nella città di Dakar. Latitudine: 14°41'37" nord (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).

Si ritiene generalmente che l'orientamento di un blocco in lunghezza sull'asse est-ovest costituisca la posizione migliore rispetto al soleggiamento. Questa direzione può variare

²²² TAMASSOCIATI, ARUP, *Material ...*, cit., p.25.

in modo significativo per migliorare la ventilazione naturale alla ricerca di un'esposizione più efficace ai venti dominanti.

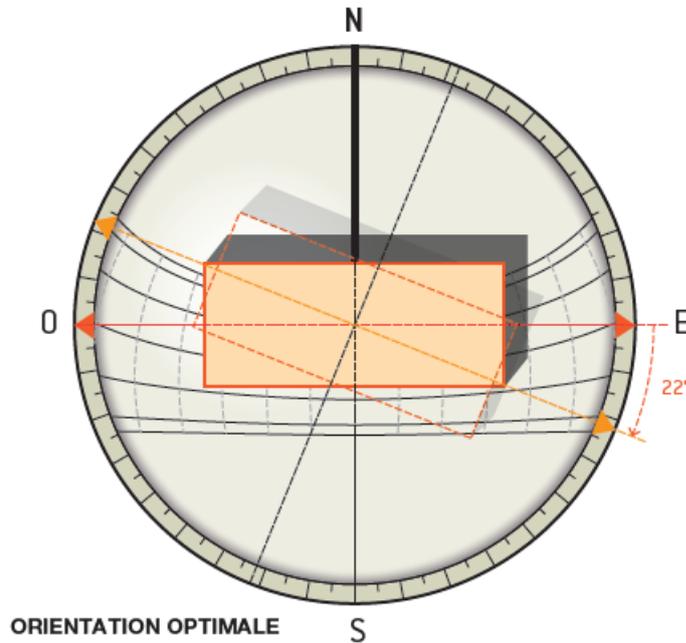


Figura 3.28: L'orientamento ottimale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).

3.3.1.3 Il design della forma

Il design della forma e del volume dell'edificio possono influenzare in modo significativo il *comfort* interno.

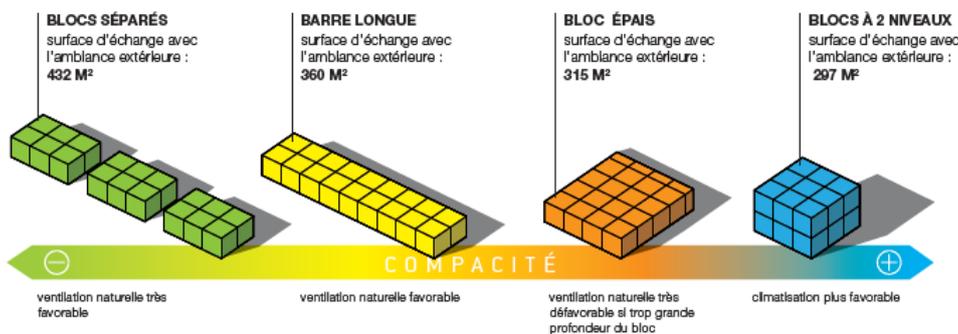


Figura 3.29: Compattezza, superficie di scambio con l'esterno per una costruzione con una slp. di 162 m² (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 30 [PDF file]).

Nei climi caldi e secchi, sono preferibili morfologie compatte mentre in climi caldi e umidi si deve favorire la circolazione dell'aria per ventilare gli edifici.

Seppellire l'edificio o una delle sue facciate riduce l'esposizione solare esponendo la porzione interessata alle temperature temperate del suolo; tuttavia, riduce anche la dissipazione del calore dall'edificio verso l'esterno, impedendo lo scambio attraverso il muro interessato.

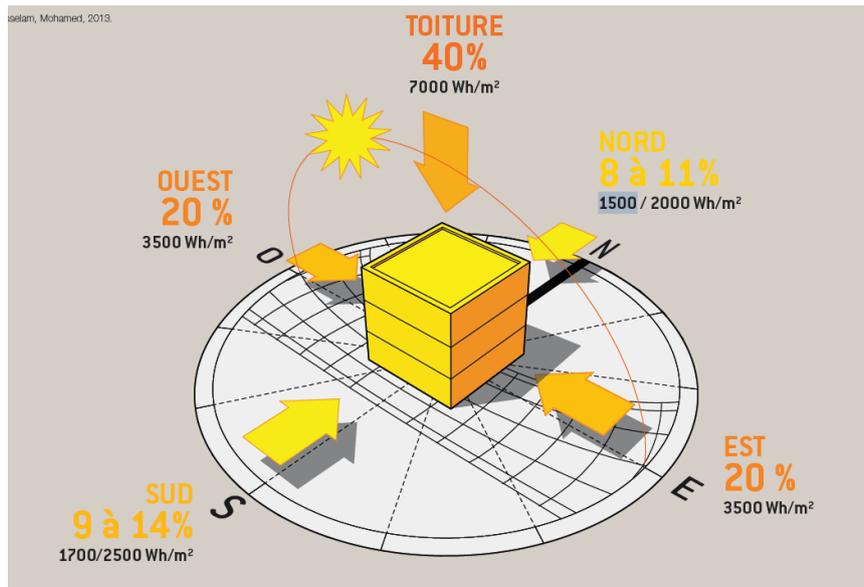


Figura 3.30: Energia ricevuta al giorno per m² di parete in base alla sua orientazione per una giornata soleggiata (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).

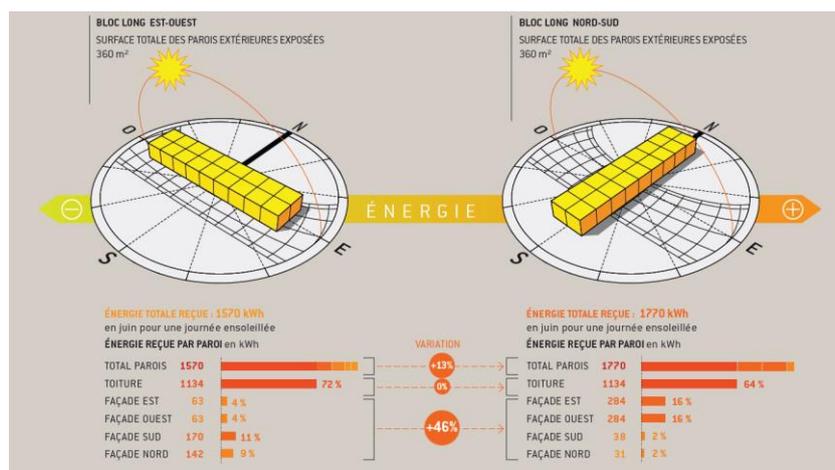


Figura 3.31: Influenza dell'impianto solare per la stessa superficie di pavimento di 162 m² (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).

Si riportano nel seguito una serie di immagini redatte dal *Ministère de l'Environnement et du Développement durable* nell'ambito di ricerca sull'architettura bioclimatica e l'efficientamento energetico degli edifici in Senegal nel 2017 in cui si mostra la disposizione interna dei diversi spazi e locali, realizzata attraverso una logica di zonizzazione termica in grado di migliorare le condizioni di comfort. Si evidenzia inoltre come sia comodo impiegare i locali tecnici o di servizio come spazi tampone per proteggere le aree più esposte.

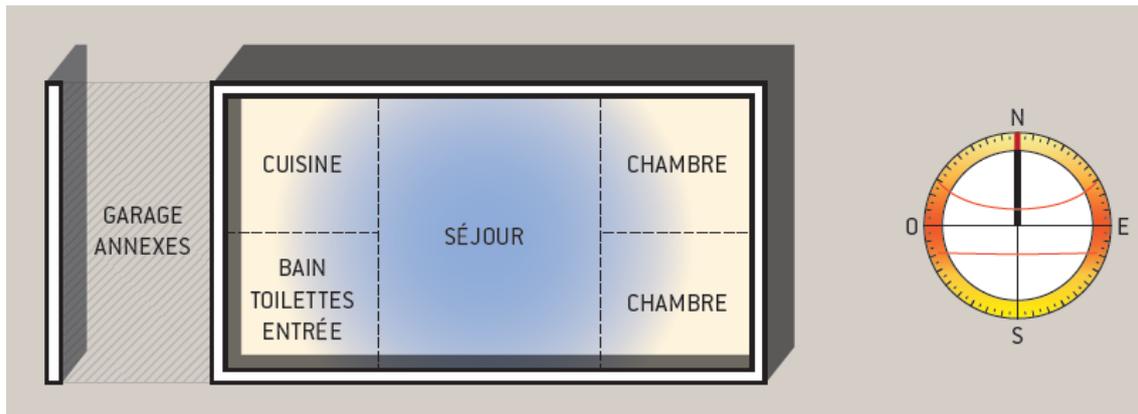


Figura 3.32: Abitazione bioclimatica (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).

Nell'abitazione bioclimatica, le camere da letto, cucina, servizi igienici e bagni sono distribuiti a contatto delle pareti più esposte e funzionano da spazi tampone, in aggiunta al garage la cui mansione è incrementare la protezione della parete volta a ovest.

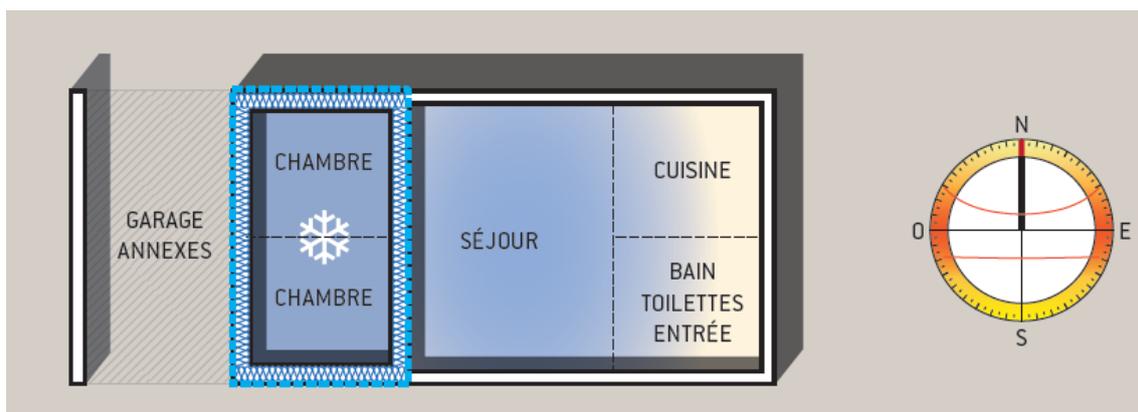


Figura 3.33: Abitazione parzialmente climatizzata (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).

Nell'abitazione parzialmente climatizzata si cercherà di raffrescare e quindi isolare, gli spazi notte e quindi una disposizione centrale di questi permetterà di limitare le dispersioni.

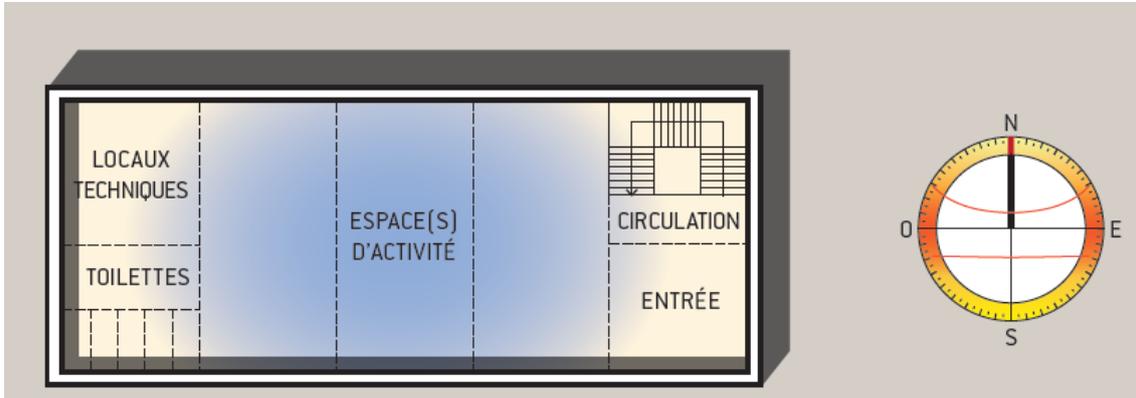


Figura 3.34: Locali per attività, spazi terziari e ambienti didattici bioclimatici o climatizzati (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).

Negli edifici destinati ad attività, si preferisce posizionare gli spazi con minori esigenze di *comfort* termico, come bagni, locali tecnici, zone di distribuzione verso l'esterno mantenendo quindi l'area di attività protetta.

3.3.1.4 Vegetazione negli spazi esterni

L'introduzione di vegetazione nell'ambiente circostante l'edificio ha un effetto benefico sul *comfort* degli utenti:

- Le ombreggiature fornite dal fogliame bloccare dal 60% al 90% della radiazione solare, fornendo protezione solare alle pareti dell'edificio.
- Evitano la riflessione della radiazione solare dalle superfici del suolo, limitando l'effetto isola di calore urbano dovuto alla mineralizzazione degli spazi circostanti, ciò può essere attuato privilegiando la vegetazione orizzontale.
- L'evaporazione dell'acqua contenuta nella vegetazione aiuta a rinfrescare l'atmosfera circostante.
- Può funzionare da schermo contro la polvere trasportata dal vento.
- Taglia e incanala il vento verso direzioni preferenziali.

La vegetazione ad alto fusto deve essere preferita per la protezione solare sulle pareti est e ovest, dove l'altezza del sole su queste pareti è piuttosto bassa, mentre per le pareti nord e sud è preferibile una protezione solare orizzontale sopra la parete.

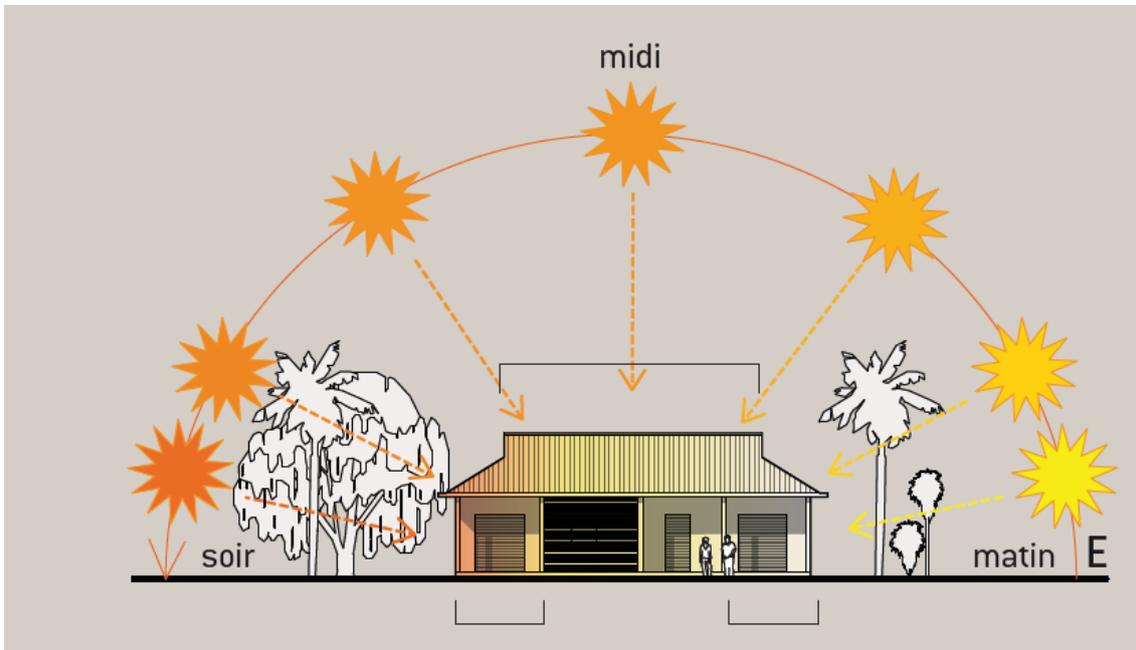


Figura 3.35: L'interazione tra la vegetazione, la radiazione solare e l'edificio. Al mattino e alla sera, il sole è basso sull'orizzonte e la radiazione è quasi perpendicolare alla superficie delle pareti a est e a ovest. La parte ovest è generalmente una zona in cui il disagio causato dall'esposizione solare è significativo, tanto da provocarne il surriscaldamento nel tardo pomeriggio, quando già la temperatura all'interno dell'edificio è aumentata costantemente per tutto il giorno (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).

3.3.1.5 Spazi intermedie e tampone

Gli spazi intermedi tra gli spazi esterni e i volumi chiusi come disimpegno, verande, logge, sono spazi che, anche se di transito, è necessario trattare in modo che siano riparati dal sole e dalla pioggia, dotandoli di una buona ventilazione e di una buona illuminazione naturale. Questo approccio è essenziale non solo per l'uso qualitativo di queste zone e la loro appropriazione da parte degli utenti, ma anche per l'impatto che il loro trattamento bioclimatico avrà sui locali adiacenti. L'oculata disposizione di tali spazi, non generatori di calore, consente di avere delle aree che fungono da tampone termico nelle zone dell'edificio più sensibili al surriscaldamento.

3.3.1.6 Protezione solare e isolamento della copertura

La copertura è la componente maggiormente esposta e per questo motivo quella che trasmette la maggior aliquota di calore all'interno dell'edificio. Per una buona progettazione termica ed energetica, è essenziale e prioritario garantire un'efficace protezione solare di quest'elemento, dal punto di vista pratico può essere realizzata:

- preferendo una copertura di colore chiaro;
- applicando coperture ventilate;
- isolando termicamente la copertura.

Il primo metodo non assicura una protezione continuativa nel tempo, le coperture, esposte direttamente agli agenti atmosferici, tendono a scurirsi. Pertanto, utilizzare un colore chiaro per la copertura costituisce una protezione efficace, ma poiché la sua durata nel tempo non è garantita, è consigliabile completarla con un altro dispositivo (copertura ventilata e/o isolamento termico) o mantenere questa capacità di protezione solare tramite una manutenzione regolare.

La realizzazione di sottotetti o coperture ventilate può ridurre la temperatura interna di diversi gradi, limitando efficacemente il surriscaldamento. Questo consente di ridurre la trasmissione di calore per riflessione e di evacuare il calore solare captato attraverso la ventilazione.

La trasmissione di calore attraverso la copertura può anche essere limitata grazie all'isolamento termico di essa. Diverse sono le possibili tecniche costruttive²²³ dello strato d'isolamento delle coperture e la loro applicabilità dipende dal clima, dalla quantità di precipitazioni e dall'uso a cui sono destinati:

- Tetti a falde: essenziali nelle regioni tropicali dove è necessario drenare rapidamente ed efficacemente l'acqua piovana derivante dalle precipitazioni elevate e forti piogge periodiche. L'involucro esterno dei tetti a falde può essere costituito da densi strati di paglia o typha.
- Tetto a falde a più strati: lo strato esterno è costituito da uno strato impermeabile o idrorepellente, come ad esempio la lamiera ondulata, che protegge gli strati

²²³ TAMASSOCIATI, ARUP, *Material ...*, p.28.

successivi dall'ingresso di acqua. Se sono integrati anche strati isolanti è opportuno predisporre un'intercapedine d'aria ventilata per evitare la formazione di condensa.

- Tetti piani: si trovano tipicamente in climi aridi con scarse precipitazioni. Le coperture sono accessibili e praticabili. Sono tradizionalmente realizzati con gli stessi materiali da costruzione delle pareti, mattoni o pietre supportati da travi in legno. La massa termica delle coperture contribuisce a mitigare gli apporti termici, soprattutto quando le superfici esterne sono di colore chiaro o tinteggiate a calce per riflettere la luce solare.
- Tetti piani a diversi strati: uno strato strutturale di travetti in legno sostiene uno strato di materiale isolante ricoperto da un telo impermeabile.

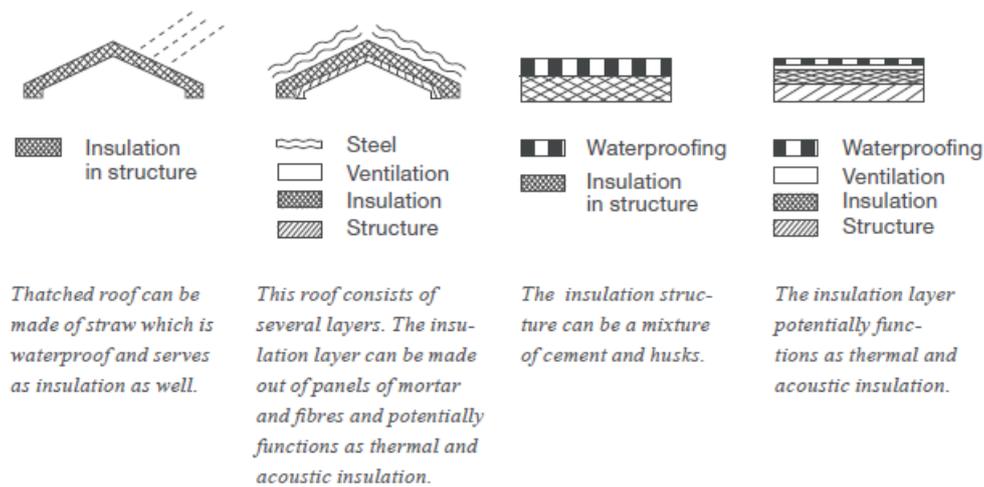


Figura 3.36: Le diverse tecniche costruttive degli strati isolanti sulle coperture (fonte: TAMASSOCIATI, ARUP, *Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies*, Arup, Maggio 2019, p.25 [PDF file]).

3.3.1.7 Protezione solare e isolamento dell'involucro

In un clima tropicale, gli apporti termici di un edificio sono principalmente legati all'assorbimento e alla trasmissione della radiazione solare attraverso le pareti del suo involucro.

La protezione solare delle pareti è essenziale, poiché queste superfici sono esposte anche all'irraggiamento diretto e contribuiscono all'apporto di calore nell'edificio assorbendo

la radiazione solare e trasmettendo il calore verso l'interno. È necessario proteggere in particolar modo le pareti esposte a est e a ovest, le maggiormente sollecitate, utilizzando:

- protezioni orizzontali: tendoni, sporgenze del tetto, pergolati, particolarmente indicate per le pareti a sud e nord;
- protezioni verticali: vegetazione, schermi;
- colori chiari;
- isolamento delle pareti.

Le tonalità chiare assorbono molta meno radiazione solare rispetto alle tonalità scure, a tale scopo queste gradazioni devono essere preferite. Il coefficiente di assorbimento α permette di conoscere la percentuale di radiazione solare assorbita dal materiale. La tabella seguente ne riporta alcuni valori.

Catégories de teintes	Couleurs	Valeur α correspondante
Claire	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris clair, bleu sombre	0,8
Noire	Gris foncé, brun sombre, noir	1

Coefficient d'absorption en fonction de la teinte et de la couleur – Source : ECODOM+

Figura 3.37: Coefficiente di assorbimento α in funzione di diverse tonalità (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).

La progettazione delle pareti seguirà la stessa logica concettuale dei tetti. Quattro sono le principali tecniche murarie che comprendono l'utilizzo di materiali isolanti²²⁴:

- muro monolitico, realizzato con mattoni leggeri o blocchi da costruzione che hanno una resistenza sufficiente per la costruzione di edifici da 1 a 2 piani, tecnica impiegata principalmente nelle zone rurali;

²²⁴ TAMASSOCIATI, ARUP, *Material ...*, p.29.

- muro a intercapedine in cui lo strato isolante si trova tra il muro esterno che protegge dall'acqua, e il muro strutturale interno. Lo strato isolante può essere un'intercapedine d'aria oppure materiale minerale leggero. Questa tecnica raddoppia la quantità di materiale richiesto e quindi non è una soluzione conveniente se realizzata con mattoni o blocchi da costruzione. Tuttavia, nelle regioni montane con ampia disponibilità di pietre naturali questo può essere un fattibile e conveniente.
- Strato di intonaco coibente: la parete solida è dotata di uno strato di materiale isolante, come un materassino in fibra, che viene quindi intonato per proteggerlo dalla pioggia e mantenere l'isolamento in posizione.
- Parete ventilata, la costruzione di tale elemento è composto da più strati. Un materiale leggero con tenuta all'acqua, come la lamiera, è installato rivolto verso l'esterno, successivamente, separati da un'intercapedine d'aria, sono posizionati i materiali isolanti che sono a loro volta attaccati alla parete strutturale, posta all'interno dell'edificio.

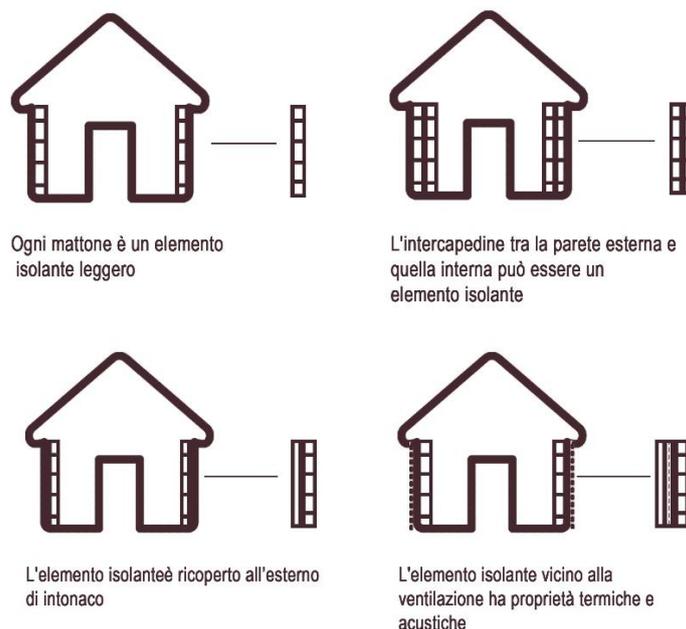


Figura 3.38: Principali tecniche murarie (fonte dati: TAMASSOCIATI, ARUP, *Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies*, Arup, Maggio 2019, p.29 [PDF file]).

3.3.1.8 Protezione solare delle finestre

Un primo aspetto è dato dalla configurazione delle facciate, inclusi i rilievi e le aree sporgenti, questi infatti possono ridurre l'impatto dei raggi solari, specialmente quando il sole è alto nel cielo. Inoltre, per ottimizzare l'illuminazione naturale durante il giorno e ridurre l'abbagliamento, le finestre dovrebbero essere posizionate preferibilmente sulla facciata sud o nord per quanto riguarda l'emisfero australe, mentre le finestre orientate a est e ovest devono essere attentamente studiate, considerando gli angoli bassi del sole durante le prime e le ultime ore del giorno.

Per gli edifici bioclimatici, l'orientamento e la posizione delle finestre devono essere scelti per limitare il riscaldamento causato dai raggi solari, massimizzando al contempo l'illuminazione naturale e favorendo la ventilazione naturale, senza dimenticare gli aspetti legati alla privacy degli occupanti. La protezione delle finestre e delle aperture è particolarmente importante poiché costituiscono oltre la metà dell'apporto solare alle pareti verticali. I metodi di protezione si distinguono in:

- i parasole orizzontali;
- i parasole verticali.

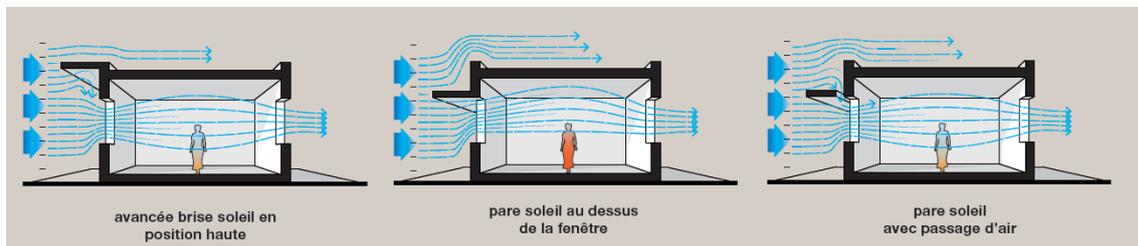


Figura 3.39: Influenza del posizionamento dei parasole sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 51 [PDF file]).

Le facciate nord e sud possono essere facilmente protette dalla radiazione solare diretta tramite l'uso di parasole orizzontali, come tendaggi e persiane), grazie all'elevata posizione del sole quando si trova di fronte a queste orientazioni. Le facciate est e ovest, d'altra parte, richiedono maggiore attenzione nella protezione poiché il sole si trova a un angolo più basso. Le protezioni solari mobili sono una soluzione interessante per adattarsi alla traiettoria del sole, e possono essere utilizzate da sole o in combinazione con protezioni solari fisse.

3.3.2 Ventilazione e tenuta all'aria

3.3.2.1 Ventilazione negli edifici bioclimatici

La ventilazione naturale degli edifici può essere ottenuta mediante due approcci:

- il tiraggio termico, causato dalla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno, particolarmente adatto in climi caldi e secchi;
- sfruttando i venti dominanti, preferibile nei climi caldi e umidi.

Il potenziale di ventilazione di un sito dipende da diversi fattori: la frequenza e la velocità del vento, la conformazione del terreno, la presenza di vegetazione, l'orientamento e la forma degli edifici circostanti. Ad esempio, la posizione in cima a una collina può favorire l'effetto di ventilazione poiché la sovrappressione sul lato a valle del vento genera una maggiore velocità. Al contrario, sarà svantaggiosa ai piedi delle colline, poiché il vento "si stacca" da questo livello basso e nelle valli perpendicolari all'orientamento del vento.

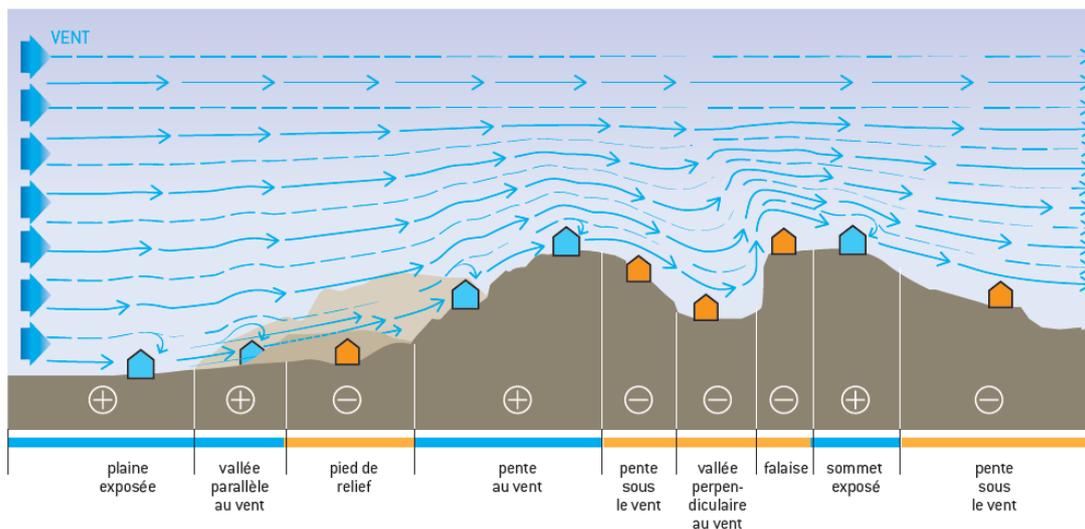


Figura 3.40: Influenza della topografia sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DEL'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 47 [PDF file]).

Si sottolinea inoltre l'importanza di un corretto posizionamento della vegetazione e di altri edifici, questi da un lato non devono disturbare eccessivamente il flusso d'aria e dall'altro possono fornire ombreggiamento alla struttura. L'effetto di schermo tra edifici

può essere evitato posizionando, ad esempio, gli edifici a spina di pesce l'uno rispetto all'altro.

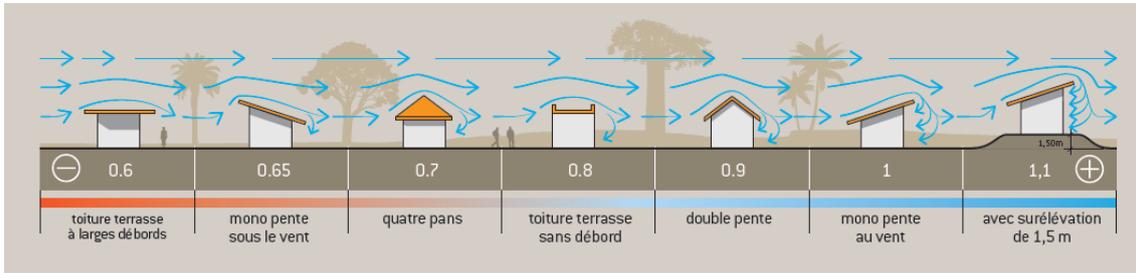


Figura 3.41: Influenza della tipologia di copertura sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).

Nel seguito si riportano una serie di immagini redatte dal *Ministère de l'Environnement et du Développement durable* nell'abito di ricerca sull'architettura bioclimatica e l'efficientamento energetico degli edifici in Senegal nel 2017 in cui si mostra come la ventilazione naturale sia influenzata dall'orientamento rispetto ai venti dominanti.

In figura 3.42 è rappresentato l'orientamento ottimale in cui la facciata principale è orientata di fronte al vento dominante e sfrutta il massimo potenziale di ventilazione. Con un'inclinazione pari 45° , il potenziale si riduce già al 75% del suo massimo, diminuendo ulteriormente al 50%, quando l'angolo di rotazione è pari a 90° .

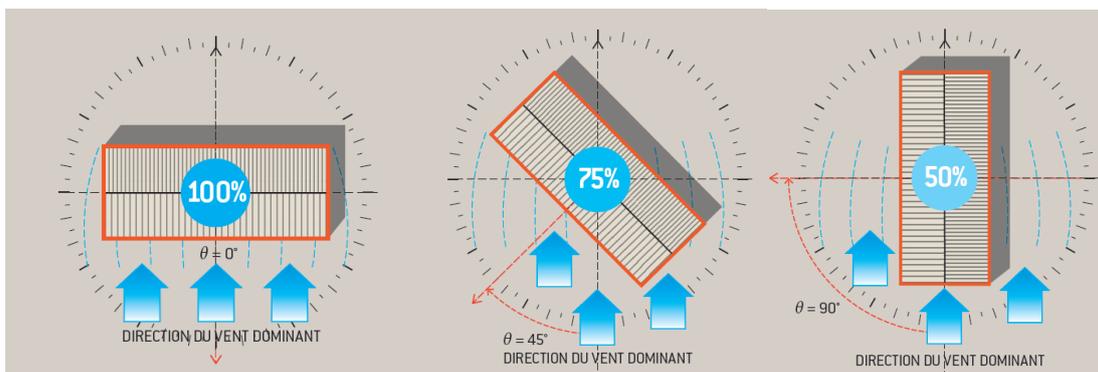


Figura 3.42: Orientamento rispetto al vento (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).

Il coefficiente di ventilazione consente di determinare il potenziale di ventilazione dell'edificio e rappresenta la capacità di un edificio di catturare efficacemente l'aria esterna e garantire il ricambio dell'aria interna. Un coefficiente pari a 1 indica che

L'edificio è in grado di imprigionare tutta l'aria esterna disponibile, consentendo l'instaurarsi di un'elevata ventilazione naturale, il valore ottimale si aggira intorno allo 0,5. Al contrario, un valore nullo o prossimo indica che l'edificio è scarsamente ventilato e tende a far stagnare l'aria interna. In particolare, è definito come il rapporto tra la velocità media dell'aria all'interno del locale e la velocità del vento esterno, a monte dell'edificio, ad un'altezza di 1,5 metri.

$$C = \frac{V_{int}}{V_{ext,1.5}}$$

È importante notare che tale coefficiente può variare a seconda della disposizione interna dell'edificio, inclusa la posizione delle pareti divisorie e delle aperture. La ventilazione ottimale si verifica quando due aperture sono disposte su due facciate opposte e perpendicolari rispetto al vento dominante durante i mesi più caldi poiché la differenza di pressione tra le facciate è massima, in questo caso si tratta quindi di ventilazione trasversale. La guida del ministero consiglia di rendere ogni piano, ogni alloggio e persino ogni area di utilizzo trasversale.

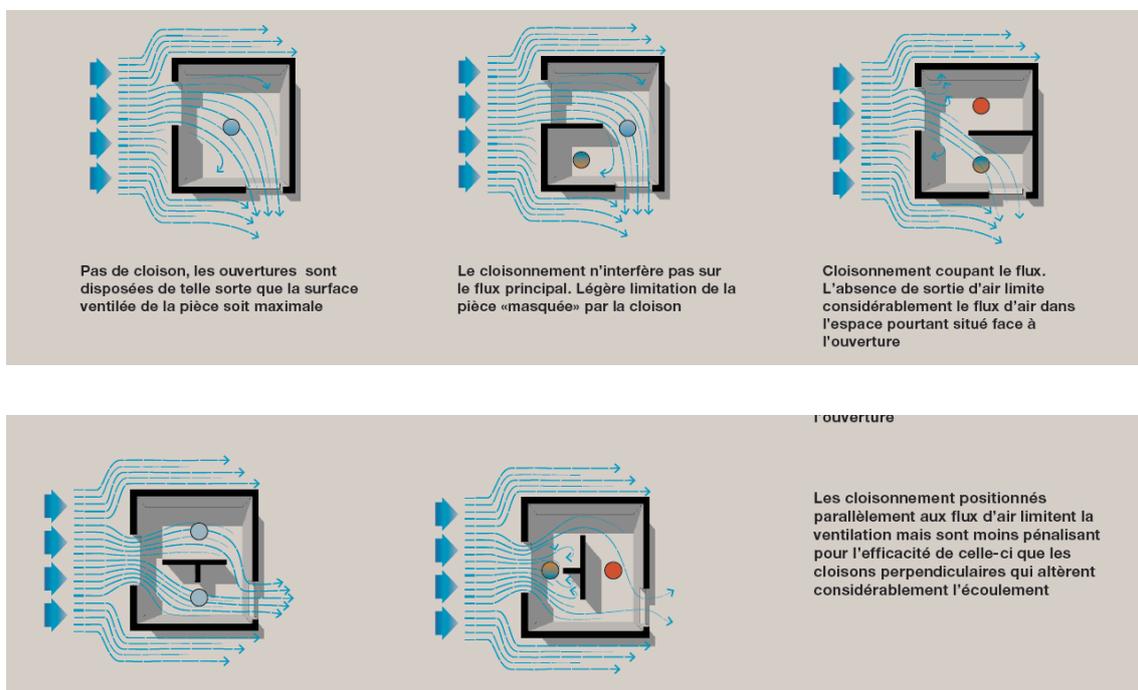
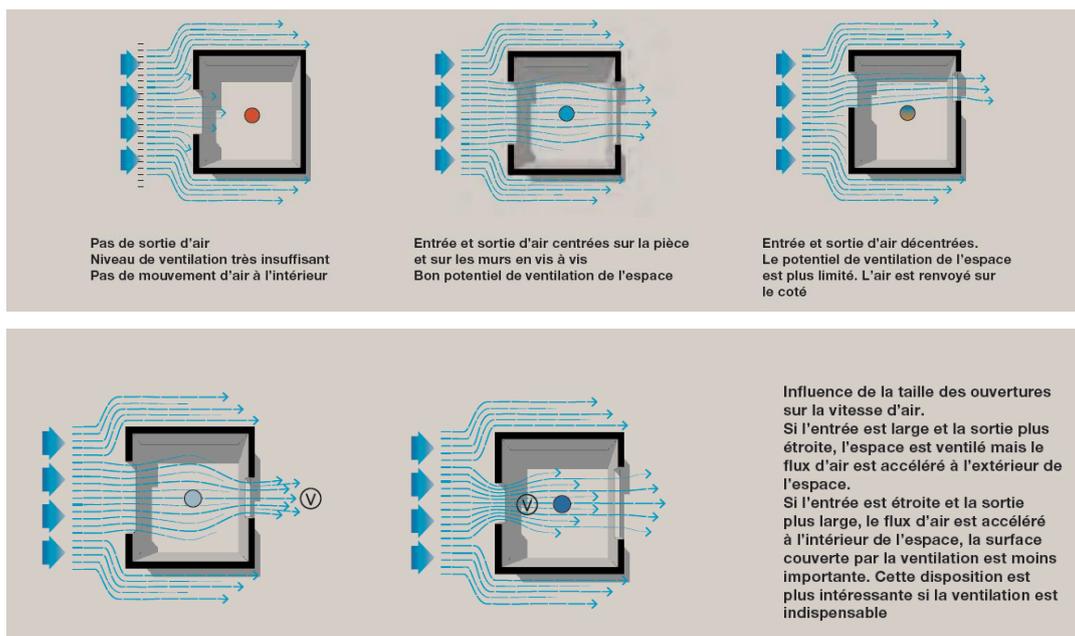


Figura 3.43: Influenza delle partizioni interne sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 51 [PDF file]).

La porosità di una facciata rappresenta la percentuale di superficie apribile rispetto alla superficie totale della facciata ed è espressa in %. Questo valore costituisce un parametro essenziale per la valutazione del potenziale di ventilazione. Se l'edificio mira a ottenere una ventilazione trasversale, la porosità netta dovrà essere superiore al 25%. Tuttavia, questo indicatore da solo non è sufficiente a caratterizzare il potenziale di ventilazione dell'intero edificio, infatti da un lato, questa porosità deve essere distribuita equamente sulle facciate, in pianta e in sezione, per ventilare in modo omogeneo le diverse zone dell'edificio e, dall'altro, si devono favorire porosità maggiori sul lato a valle del vento in modo da aumentare i flussi di ventilazione attraverso l'edificio. Infine, è necessario assicurare che il flusso di ventilazione possa essere regolato manualmente dall'occupante.

La porosità interna, ovvero la percentuale di superficie apribile rispetto alla superficie totale del partizionamento, deve essere superiore alla porosità esterna, e le partizioni devono essere preferibilmente posizionate parallelamente ai flussi d'aria.

Il corretto posizionamento e dimensionamento delle aperture rispetto alle zone di occupazione permetterà di individuare uno o più percorsi prevedibili del flusso d'aria all'interno dell'edificio tra facciate di ingresso e facciate di uscita: questi percorsi definiranno "griglie di ventilazione", cioè zone di passaggio dell'aria tra le facciate. Si cercherà di posizionare le attività lungo queste zone. Chiaramente, in base all'uso, saranno definite diverse griglie di ventilazione, anche temporali.



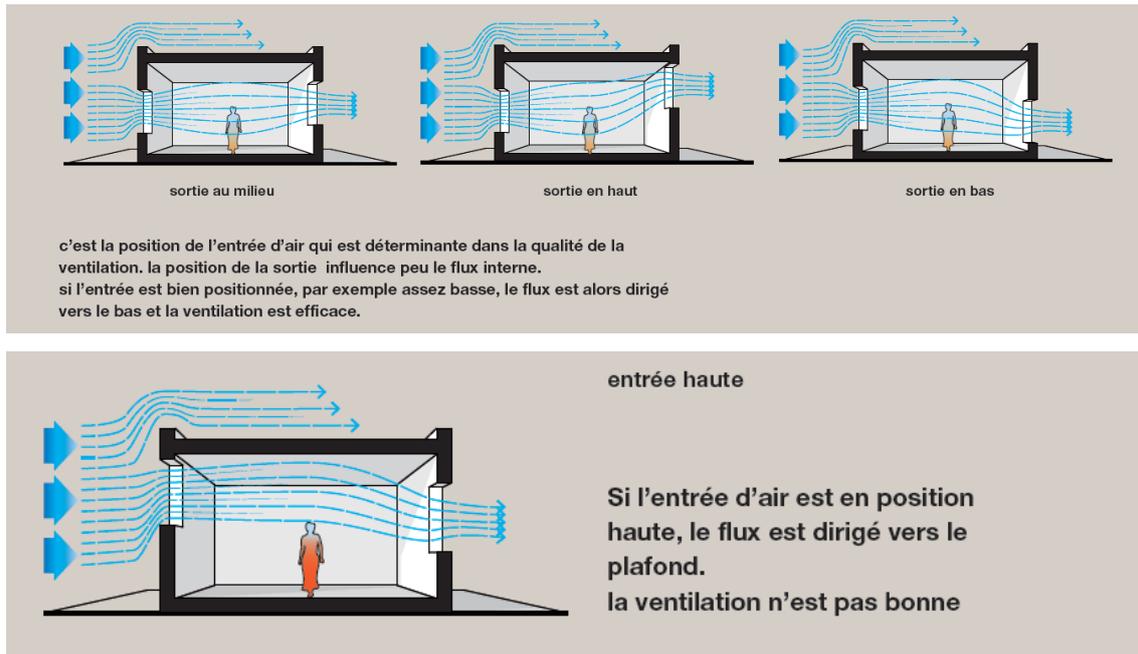


Figura 3.44: Influenza della posizione delle aperture sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, pp. 50-51 [PDF file]).

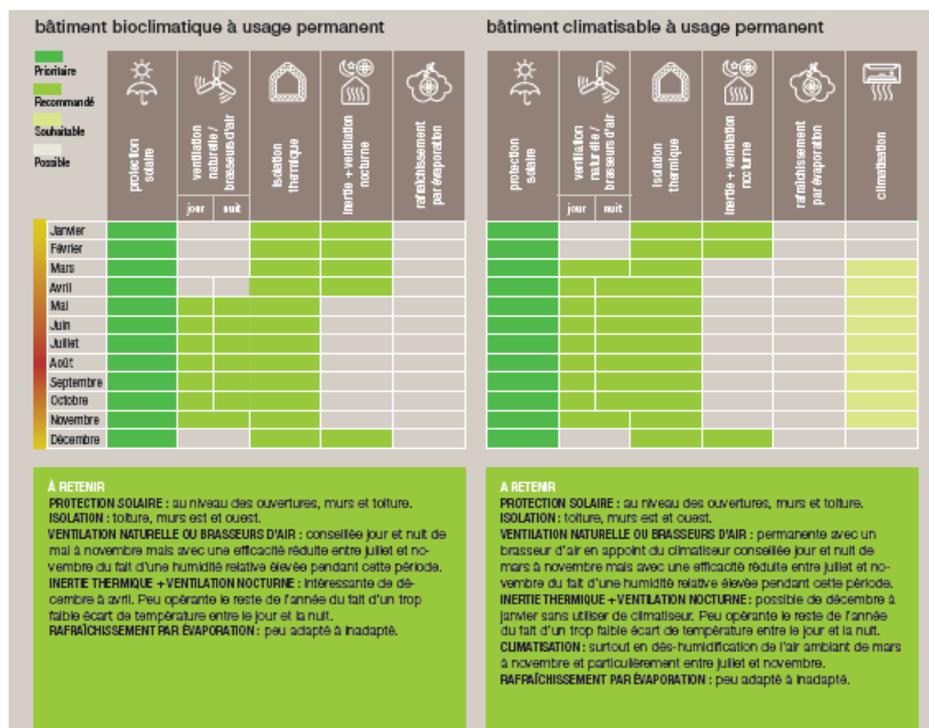


Figura 3.45: Strategie di orientamento per la progettazione architettonica per strutture ad uso permanente per la regione di Ziguinchor (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 90 [PDF file]).

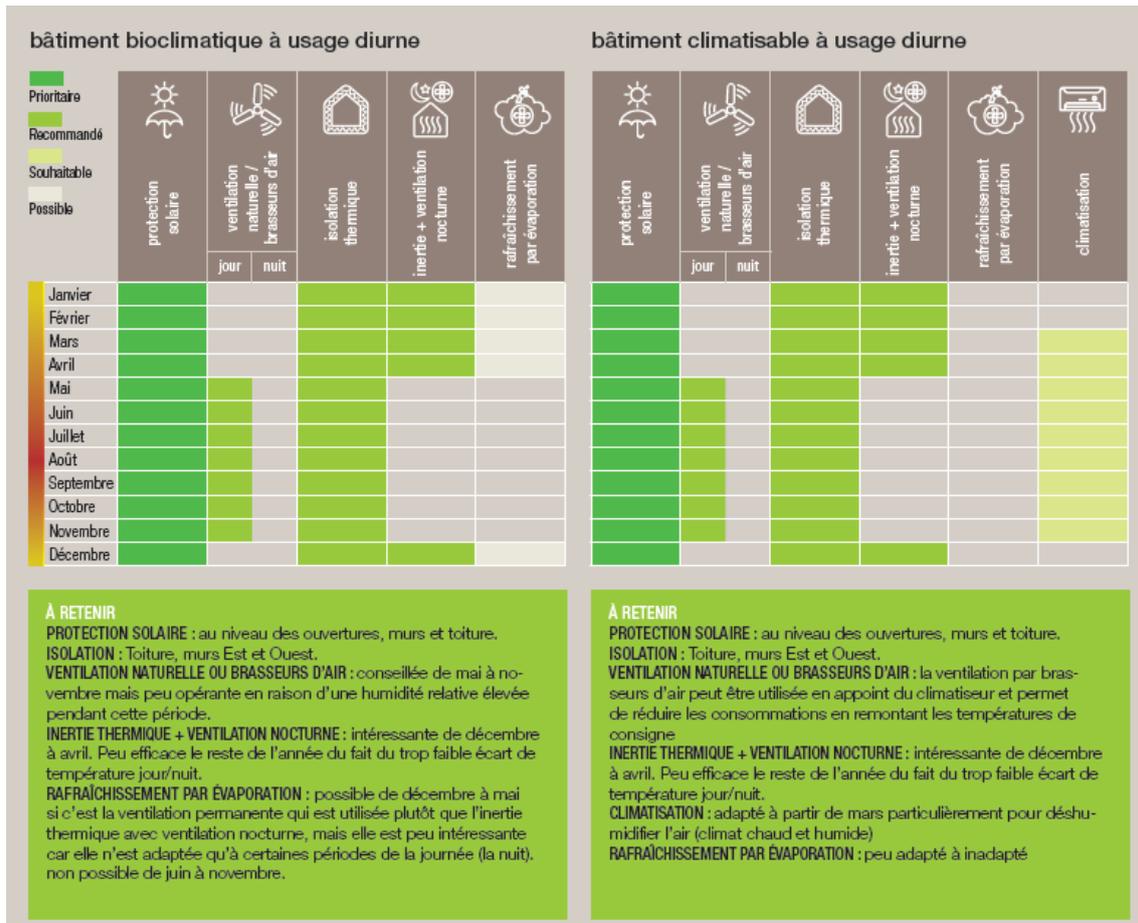


Figura 3.46 Strategie di orientamento per la progettazione architettonica per strutture ad uso diurno per la regione di Ziguinchor (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017, p. 91 [PDF file]).

Capitolo 4

Teranga: Analisi del caso studio

Nel presente capitolo si procederà alla definizione del caso studio, fornendo planimetrie, prospetti e considerazioni che consentiranno di visualizzare la struttura e la sua configurazione. Il progetto è il risultato delle riflessioni presentate nei capitoli precedenti e ripercorrerà, entrando nello specifico, il modo in cui sono state affrontate le diverse tematiche. Partendo dalla definizione del concept, punto cardine del progetto che permetterà di comprendere meglio il contesto in cui il caso studio si inserisce, si esplorerà in un primo momento il programma funzionale, con gli obiettivi e le necessità a cui la scuola deve far fronte, e in seguito si porrà l'attenzione sugli aspetti architettonici e tecnologici, esaminando in particolare l'implementazione delle strategie di architettura bioclimatica nel caso studio. Infine, si discuterà la fattibilità economica di tale soluzione.

In sintesi, questo capitolo rappresenterà un approfondimento completo nel caso studio, esaminando ogni aspetto rilevante dal concept iniziale all'implementazione pratica, con focus sulla sostenibilità.

4.1 Suggerimenti progettuali

Nel seguente paragrafo si vuole riportare una narrazione visiva in grado di cogliere le sfumature del progetto attraverso la redazione di *mood-board*, ovvero raccolte di immagini, oggetti e colori. Le seguenti tavole vogliono essere una traduzione visiva dei concetti, delle sensazioni, delle idee e dei valori che hanno permesso la progettazione di *Teranga*,

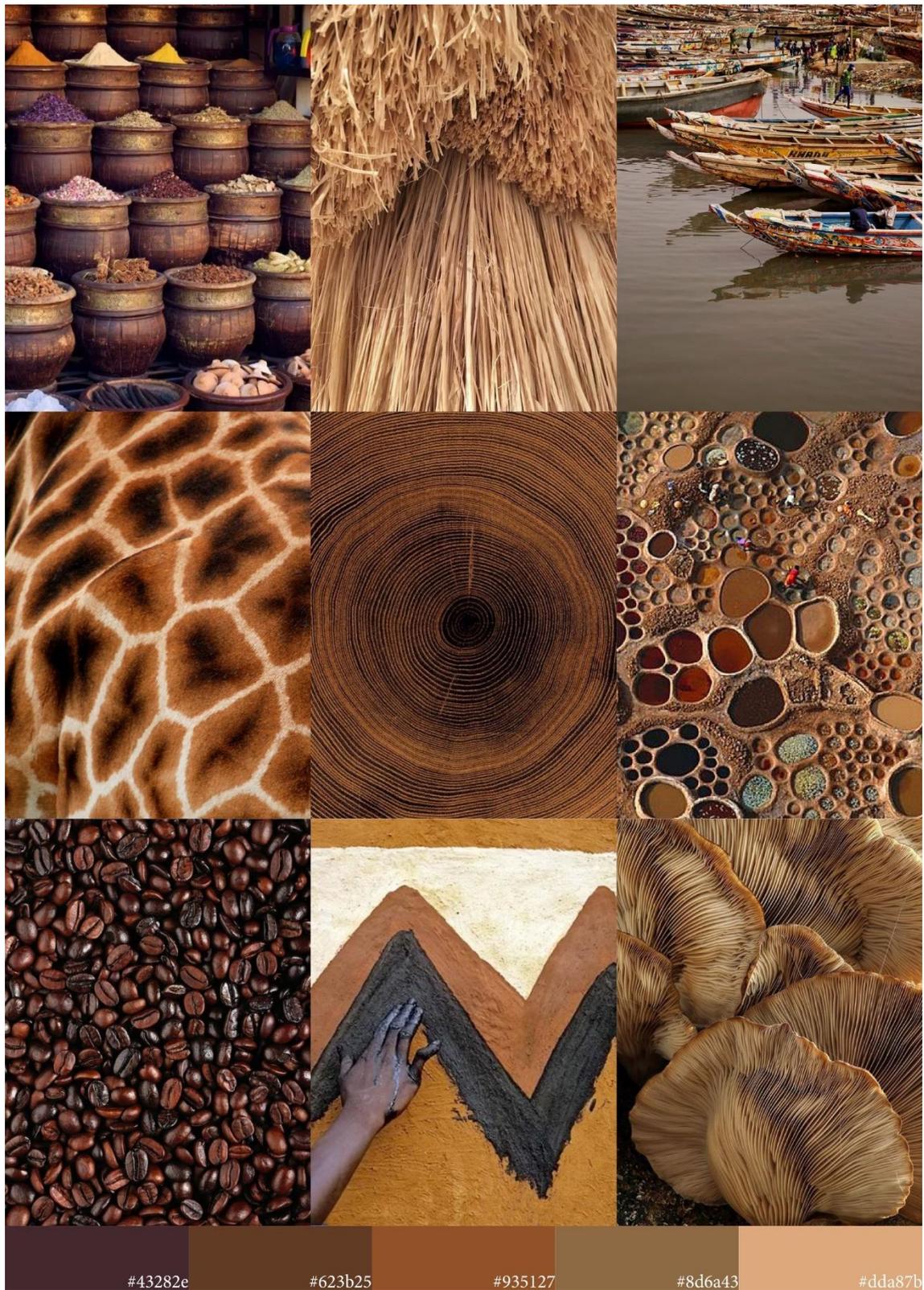


Figura 4.1; Moodboard 1.



Figura 4.2: Moodboard 2.



Figura 4.3: Moodboard 3.



Figura 4.4: Moodboard 4.



Figura 4.5: Moodboard 5.

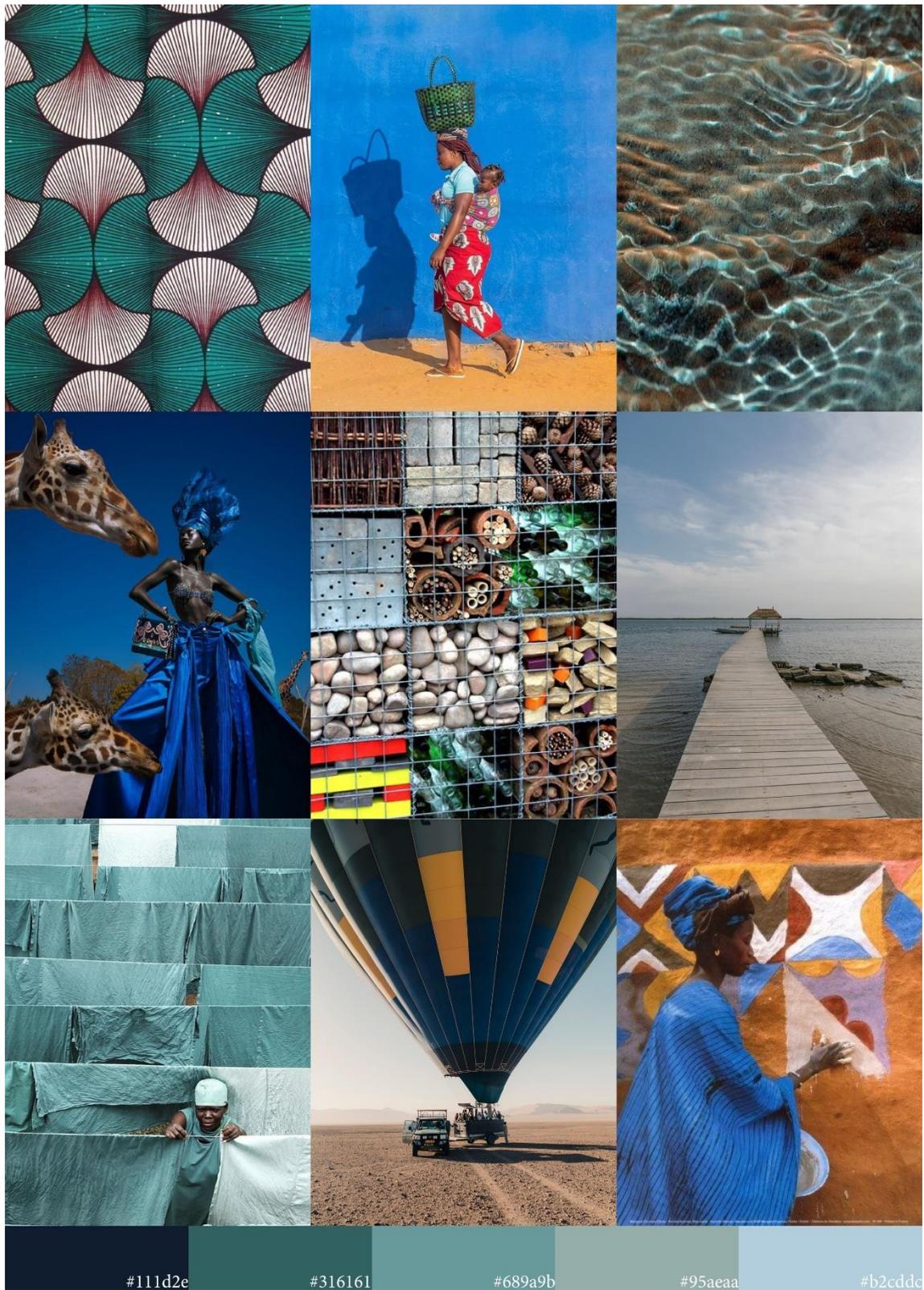


Figura 4.6: Moodboard 6.

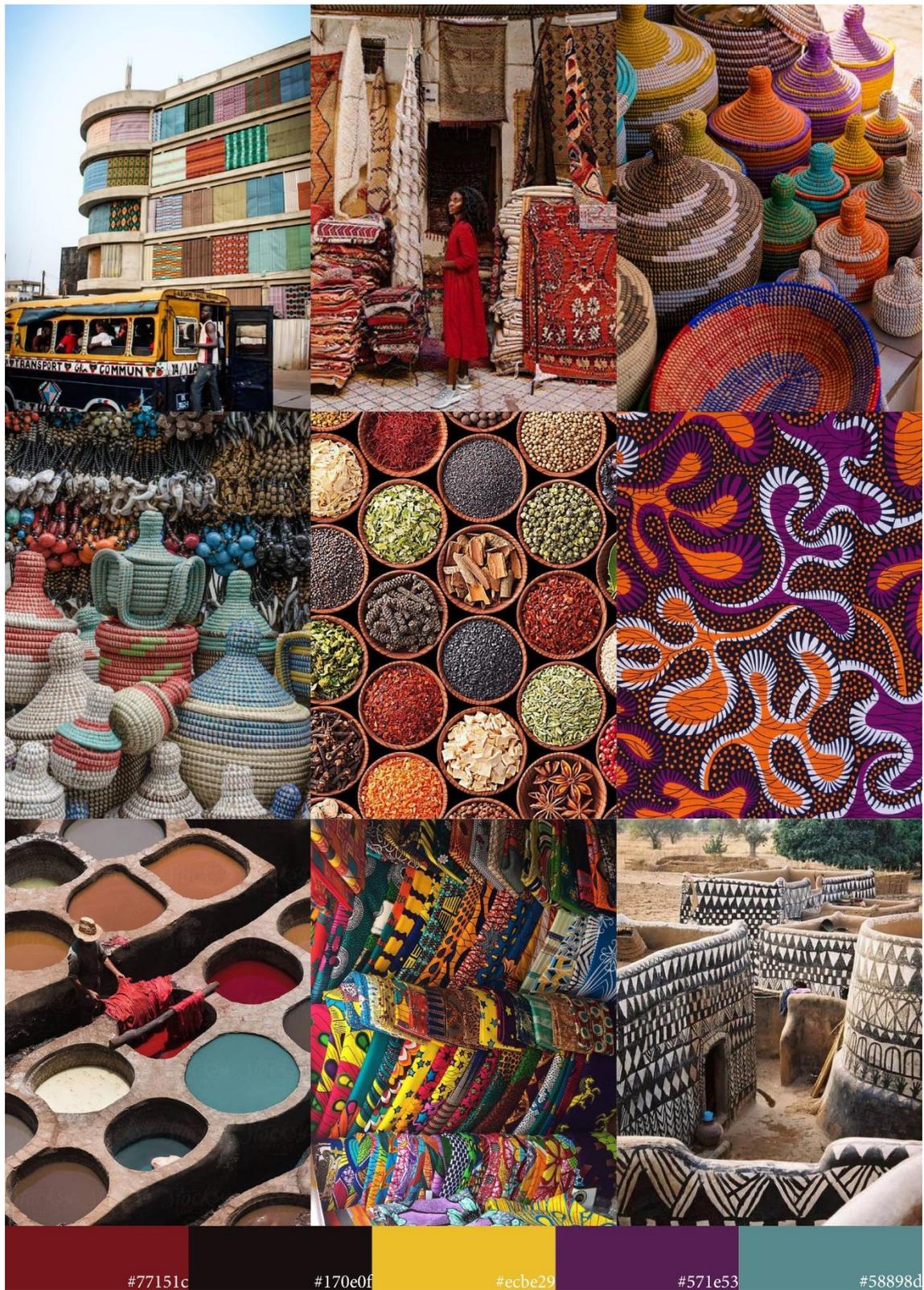


Figura 4.7: Moodboard 7.

4.2 Il Concept

4.2.1.1 Teranga

In lingua Wolof si utilizza una parola specifica per indentificare il concetto di ospitalità in senso esteso, ovvero *teranga*. In italiano non esiste una traduzione in grado di racchiudere lo spirito che il Paese incanala all'interno di questa filosofia che si tramanda di generazione in generazione. Tale concetto, infatti, non si limita all'accoglienza incondizionata ma raccoglie in sé anche la solidarietà e il rispetto di una comunità.

L'ospitalità è accoglienza, ma può anche essere un'attenzione fornita a fini superficiali e a solo scopo d'immagine. La *teranga* si discosta da tutto ciò, è una reale attenzione e rispetto, una cortesia e una gioia nel ricevere un ospite nella propria dimora. La solidarietà connessa all'accoglienza è ugualmente parte integrante del concetto e offre la possibilità di sviluppare rapporti che siano essi lavorativi o di altro genere. I confini della famiglia tradizionalmente concepita si estendono al di fuori di questo circolo ristretto attraverso i principi della solidarietà che si trasforma in uno stimolo per la coltivazione di relazioni sociali che hanno come base fondante i valori di accoglienza e sostegno. È la scelta di condividere, non solo lo spazio ma anche il tempo e la convivialità.

Questo spirito di condivisione e inclusione può arricchire notevolmente l'ambiente scolastico, creando un contesto in cui gli studenti si sentono valorizzati, coinvolti e ispirati a realizzare un futuro migliore.

La scuola elementare deve quindi costituire un ponte con la comunità, un mezzo di speranza per imparare a superare gli ostacoli che si presentano nella vita. Il progetto sottolinea l'importanza della scuola non solo come luogo di apprendimento accademico, ma anche come condensatore sociale per la crescita personale e per il progresso, un catalizzatore in grado di colmare il divario tra l'individuo e la società.

Il concetto di "ponte con la comunità" rappresenta un ideale che si spinge oltre alla singola aula e in tale contesto la *teranga* può trasformare le aule in spazi accoglienti e stimolanti. La scuola è un microcosmo della società, un ambiente in cui studenti, insegnanti, genitori e membri della comunità interagiscono e condividono esperienze. Non si trasferiscono quindi solo conoscenze ma, riprendendo l'atteggiamento tipico della cultura senegalese, si coltivano legami sociali e culturali duraturi. Eventi come le riunioni, le attività

extracurricolari e le collaborazioni con le istituzioni locali favoriscono l'instaurarsi di un dialogo costruttivo tra la scuola e la comunità, creando un senso di appartenenza e responsabilità condivisa.

In conclusione, la *teranga* senegalese offre un prezioso modello per arricchire l'educazione scolastica primaria e il senso di comunità.

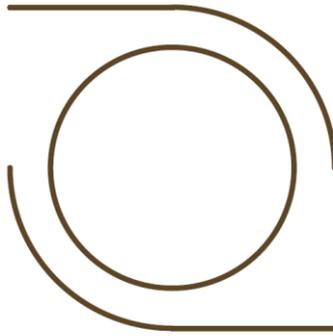


Figura 4.8: Concept.

4.2.1.2 Il ruolo dell'acqua nella sua duplice natura

L'acqua, con la sua duplice natura di salvatrice e distruttrice, incanala uno dei principali e contraddittori elementi cardine del progetto. Questa sostanza vitale è un importante simbolo di dualità, che viene trasfigurato in architettura rispecchiando lo spirito senegalese in cui, come scrive Arecchi, «La divisione dello spazio risponde alla definizione di una serie di categorie di opposti»²²⁵.

Da un lato l'acqua svolge un ruolo di salvatrice. È la fonte primaria di vita, fornendo nutrimento e idratazione. Grazie all'acqua, infatti, la vegetazione cresce rigogliosa, gli animali prosperano e gli esseri umani si mantengono in salute. Dall'altro canto, l'acqua può manifestarsi in forma distruttrice. Eventi meteorici estremi come alluvioni e inondazioni possono causare devastazioni su larga scala. Le acque incontrollate possono rovinare i raccolti, danneggiare edifici e causare la morte di persone e animali. Inoltre, la mancanza di acqua potabile può portare a carestie e malattie, esponendo la popolazione a grandi rischi. La crescita dell'inquinamento pone ulteriori minacce, riflettendosi sulla

²²⁵ ARECCHI ALBERTO, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998.

salute umana e danneggiando gli ecosistemi terrestri e acquatici, e di conseguenza la popolazione che da essi trae nutrimento.

L'equilibrio tra queste due nature è un elemento cardine del progetto e ha richiesto una comprensione approfondita dell'argomento. La gestione sostenibile delle risorse idriche si è attuata attraverso l'impiego di una serie di strategie quali l'utilizzo di coperture spioventi, vasche di accumulo, terreni drenanti e bagni a secco, promuovendo la conservazione, l'uso efficiente e riducendo l'inquinamento delle falde per mitigare gli impatti negativi.

4.3 Morfologia ambiente e territorio

4.3.1 Il sito

Il lotto scelto si localizza lungo la strada regionale R21, offrendo opportunità di espansione al paese in tale direzione e inoltre risulta una posizione strategica per facilitare l'accesso all'istituto anche agli utenti risiedenti nei paesi limitrofi.



Figura 4.9: Localizzazione del progetto all'interno del territorio di Sine Bilali (fonte: Google Maps, <https://www.google.it/maps/place/12%C2%B051'15.1%22N+15%C2%B000'19.6%22W/@12.8535113,-15.0085296,972m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d12.854186!4d-15.00544?entry=ttu>, ultima consultazione 20/08/2023).

4.3.2 Il paesaggio

La popolazione ha modellato l'*habitat* circostante adattandosi alle caratteristiche specifiche del territorio in cui vive e facendo un uso oculato delle risorse localmente disponibili. Le forme in cui i materiali locali si manifestano cambiano in base alla conoscenza, agli usi, agli scopi e alle limitazioni considerate.

In accordo con quanto riportato da Arecchi²²⁶, l'*habitat* rurale di Sine Bilali, e in generale della Casamance, si presenta compatto e permanente costituito da capanne e villaggi che nel proprio assetto spaziale esprimono la struttura sociale della popolazione che li abita.

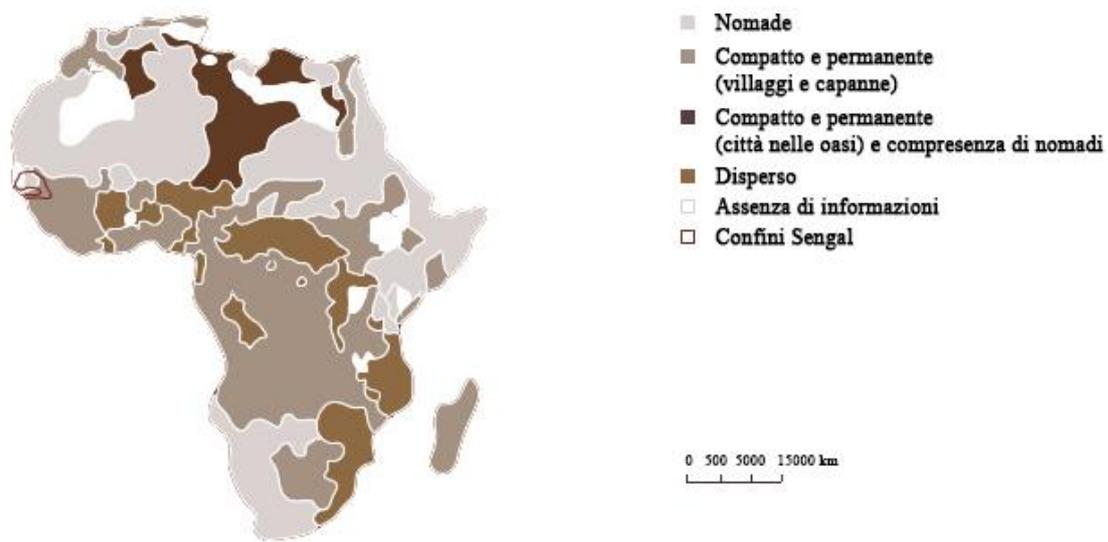


Figura 4.10: Tipi di habitat rurale (fonte dati: ARECCHI ALBERTO, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998, p. 34).

Il paesaggio riprende i tratti tipici della savana verdeggiante di tipo guineano ed è segnato da costruzioni di terra cruda, legno, bambù e paglia. La capanna rotonda ne è la principale espressione. I muri ad altezza uomo, spessi e leggermente strapiombanti verso l'interno, fanno da base per i pali del tetto conico che poggiano direttamente sul loro bordo. I pali principali si incontrano nel colmo, collegati da cerchiature che sostengono la copertura di paglia e definiscono l'inclinazione e la sporgenza del tetto che sono variabili in funzione

²²⁶ ARECCHI ALBERTO, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998, p. 34.

della piovosità. La natura non duratura delle costruzioni consente un rapido adattamento alle mutazioni che assume il nucleo familiare nel corso del tempo.



Figura 4.11: Foto di una capanna rotonda a Sine Bilali (fonte: Google earth, <https://earth.google.com/web/search/Sine+Bilali,+Senegal/@12.85344479,-15.00704476,18.46839892a,0d,35.66239601y,327.37647808h,89.74757687t,0r/data=CigiJgokCREtbqAcIiFAEQstbqAcIiHAGfWa62KSnyxAIZLneY4vsU3AlhoKfk94SXpVOEVHRVNs3RqMUIzODJ4R0EQAg> , ultima consultazione 19/08/2023).

Altra tipologia diffusa sono le capanne su pianta ad anello, caratterizzate da un cortile centrale o *impluvium* con la funzione di vasca di raccolta dell'acqua piovana. Talvolta, più costruzioni distinte si affacciano sui lati di uno spazio aperto raccordate da un'unica copertura continua.

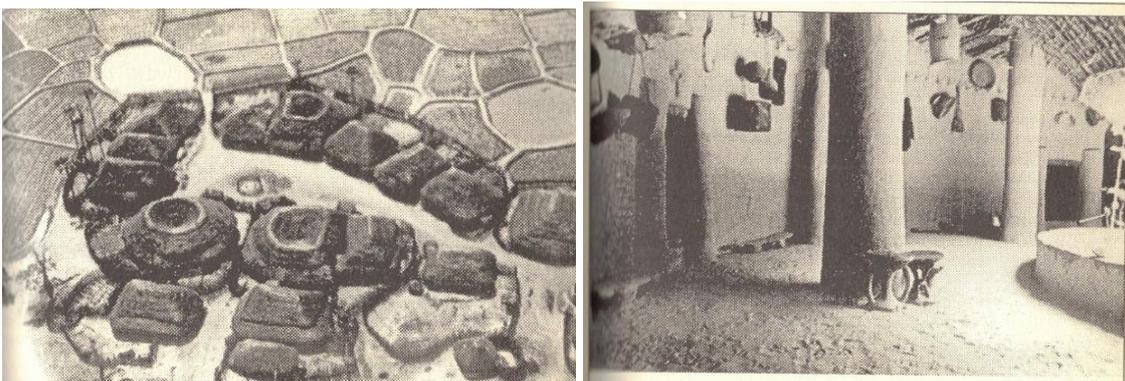


Figura 4.12: Villaggio con case a *impluvium*, Casamance, Senegal (fonte: ARECCHI ALBERTO, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998, p. 165).

4.4 Programma funzionale

4.4.1 L'orientamento

La scuola riprende le forme tradizionali dello stile impluviale trasportandole nell'architettura contemporanea; in particolare, si sviluppa a partire da un nucleo centrale seguendo uno schema concentrico, attorno al quale sono disposti due bracci che racchiudono funzioni comunitarie e scolastiche.

L'orientamento dei locali si è basato sullo studio della loro funzione e dei modelli di utilizzo durante il giorno, così da allineare i requisiti degli utenti in termini di luce diurna e guadagni solari con il percorso solare, congiuntamente alla protezione dall'eccessiva esposizione solare, riducendo l'esposizione delle grandi facciate verso est e ovest. In tal senso si sono disposte le aule secondo una direzione che, oltre a garantire un buon comfort luminoso, assicura la ricezione ottimale dei venti provenienti da nord-est, mentre il braccio laboratorio e comunitario, utilizzato principalmente nel pomeriggio, è disposto lungo l'asse est-ovest al fine di massimizzare l'apporto luminoso e ridurre l'abbagliamento.

4.4.2 I confini

Ogni persona, a prescindere da abilità, genere, linguaggio, etnia e cultura può essere ugualmente valorizzata e trattata con rispetto ed ha diritto ad un'istruzione di qualità. Per tale motivo la scuola è pensata come uno spazio senza confini, destinata ad ampliarsi nel tempo a seconda dei bisogni. *Teranga*, infatti, si articola come un sistema concentrico ad evoluzione temporale, ciò è permesso dalla natura non permanente delle costruzioni che consente un rapido adattamento al mutamento delle condizioni al contorno e ai bisogni, come riportato in figura 4.13. Al contempo è protetto dal traffico del villaggio attraverso il ribassamento dei cortili interni circondati da un basamento a gradoni che offre occasione di socializzazione.

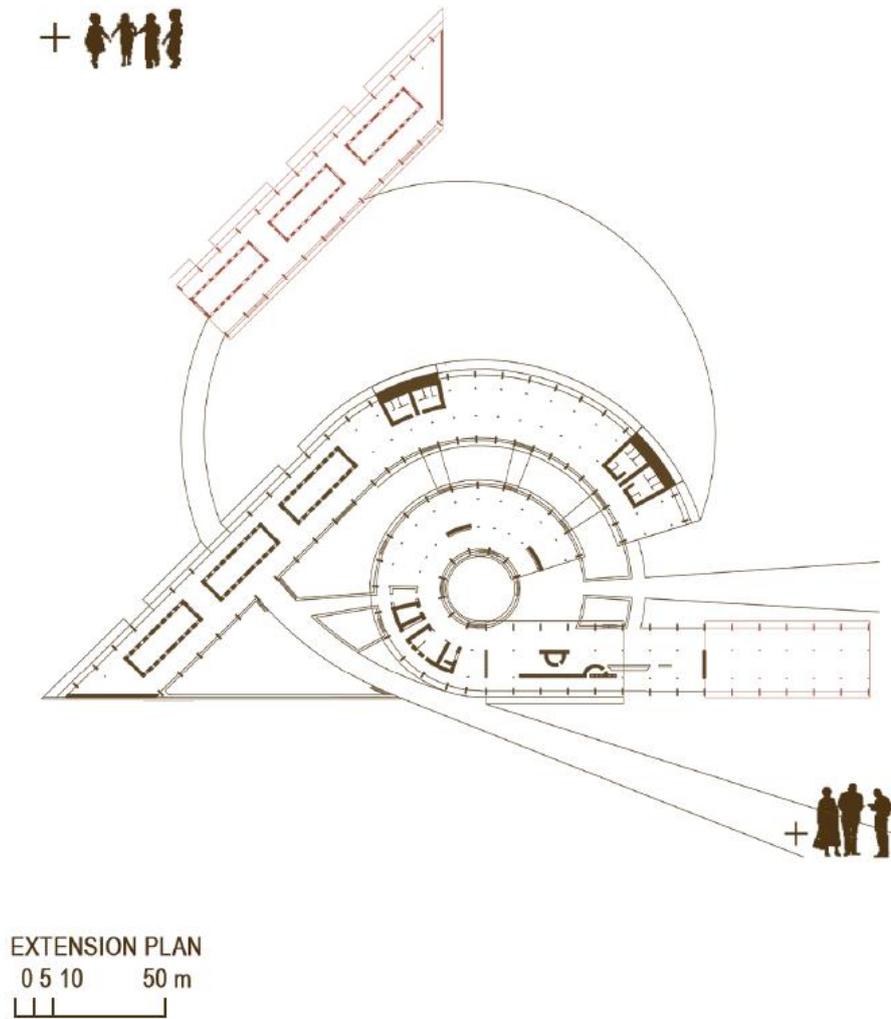


Figura 4.13: Planimetria di espansione.

4.4.3 Funzioni

L'edificio è pensato come un ambiente ad orario continuato, aperto 7 giorni su 7 e 24 ore al giorno. Un condensatore di funzioni in cui, nel periodo di ottobre-giugno, le attività scolastiche sarebbero le predominanti e nelle ore pomeridiane il centro rimarrebbe aperto alla comunità per offrire corsi e attività collaterali fino a tarda sera; mentre nella notte offrirebbe rifugio agli studenti che, abitando troppo lontano, farebbero fatica a seguire le lezioni con regolarità. L'obiettivo che si mira a raggiungere è quello di realizzare un ambiente che non solo fornisca un'istruzione, ma anche supporto emotivo, calore e libertà per esplorare il proprio potenziale. Mentre nel periodo luglio-settembre, stagione di sospensione dell'attività scolastica e di più intensa attività agricola, l'edificio si arricchisce di spazi quali il centro per il controllo delle donne in gravidanza, un centro

vaccinale e corsi di vario genere per la comunità (corso di economia domestica, formazione sull'alimentazione e sull'assistenza sanitaria...).

Accanto a queste funzioni si aggiungono servizi igienici, infermeria, sala insegnanti, uffici per la gestione della struttura, depositi per le derrate agricole e una cella refrigerata per conservare i prodotti a temperature più miti. Inoltre, gli spessi muri della mensa conterranno al loro interno grandi giare di terracotta, in cui si potranno deporre oggetti e acqua. Questi locali consentiranno alla scuola di essere utilizzata nel periodo delle piogge e darebbero la possibilità alle donne di immagazzinare le messi, di poterle lavorare e successivamente vendere, assicurando un guadagno.

In particolare, Kaira Loro Competition richiedeva, 6 classi con una media di 25 studenti ciascuna, uffici per la direzione e una sala riunione per il corpo insegnati, uno spazio flessibile per l'organizzazione di attività ludico-ricreative e laboratori per studenti, un'infermeria predisposta a trattare infortuni e malesseri generici degli studenti, uno spazio destinato alla preparazione e fornitura di pasti per gli studenti meno abbienti, un deposito per le attrezzature e il materiale scolastico e servizi igienici per studenti e personale scolastico, il tutto sviluppato su un unico piano e coprendo una superficie massima al chiuso di 650 mq.

4.4.4 Gli Accessi

Gli accessi al lotto sono molteplici, in grado di far fronte agli ospiti da qualunque direzione di provenienza. Con tale articolazione si vuole ancora una volta sottolineare la volontà di apertura della scuola alla comunità.



Figura 4.14: Vista prospetto sud, accesso studenti.

Il percorso dello studente inizia dall'ingresso sud dedicato, differenziato da quello a est destinato alla comunità, dove un viale d'accesso, affiancato da un lato dall'orto e dall'altro dai servizi scolastici, accompagna lo studente alle aule. L'infermeria e l'aula insegnati sono rivolte su questa strada in modo da far fronte tempestivamente a coloro che hanno necessità di cibo e di primo soccorso medico. Il viaggio dello studente verso l'aula continua attraverso corridoi coperti in cui è collocata una biblioteca diffusa che offre l'occasione di prendere in prestito libri, matite e quaderni come materiale di studio.



Figura 4.15: Vista prospetto est, accesso comunità.

4.4.5 I percorsi

Rifacendosi alle pratiche impostate dall'architetto olandese Aldo van Eyck, i percorsi perdono il carattere di spazio servente di scarsa qualità architettonica, di spazi non progettati, per diventare luoghi di rappresentanza, di relazione e sociali, progettati con sedute e piani di lavoro. Si realizza così una rete di percorsi gerarchizzati caratterizzata da alcune emergenze e fulcri di interesse, tra cui luoghi che ospitano le funzioni pubbliche della scuola e spazi dilatati destinati ad attività informali come l'area lavabi, l'orto, l'agorà, il laboratorio alimentare e ricreativo, e la biblioteca. Sono zone fluide e multifunzionali in cui vengono resi indefinibili i confini tra lo spazio di circolazione, quello destinato alla socializzazione e quello per lo studio, trasformando così il corridoio in un ecosistema in cui i bambini non sono ordinati per età, e realizzando un'atmosfera che invita alla discussione, alla condivisione e alla socializzazione tra studenti, insegnanti e la comunità circostante. La progettazione di tali spazi ha ricadute anche sull'impatto bioclimatico dell'architettura in quanto favorisce la circolazione dell'aria.

4.4.6 Masterplan di progetto

Si riporta di seguito il masterplan di progetto:



Figura 4.16: Masterplan di progetto.

4.5 Progetto architettonico

Il progetto architettonico proposto è un esempio di come l'architettura contemporanea è in grado di reinterpretare e incorporare elementi indigeni, in questo caso si è scelto di sviluppare l'organizzazione concentrica tipica dello stile impluviale. Attorno al nucleo principale, punto focale del progetto nonché della scuola, sono disposti due bracci che ospitano funzioni comunitarie e scolastiche. Questa disposizione riflette il desiderio di plasmare uno spazio centrale condiviso e protetto, mentre le altre funzioni si estendono radialmente attorno di esso. Questo approccio consente di unire la storia e la cultura con le esigenze e le tecnologie progettuali, realizzando spazi funzionali e culturalmente significativi.

La copertura si raccorda in un insieme continuo al di sopra di spazi separati, unendo compositivamente l'intervento e plasmando aree coperte. Il tutto è sollevato da terra da un basamento protettivo che occasionalmente si trasforma in una seduta e trasforma lo spazio in un luogo di socializzazione e di apprendimento informale.

L'ambiente è pensato per assecondare il variare delle necessità ed essere espressione dimensionale dello studente. Il complesso si apre alla comunità ed è contraddistinto dall'assenza di una rigida separazione delle attività nello spazio che assume un valore formativo; esempi sono il laboratorio alimentare, pensato come un luogo trasparente e aperto con confini labili, oppure i corridoi che si traducono in luoghi dello stare e dell'apprendimento informale.

4.5.1 Percezione e spazio

Come in ogni lavoro che si inserisce nella sfera delle pratiche relazionali, lo spazio è uno degli elementi con cui il progettista deve confrontarsi. Mario Gennari²²⁷ sostiene che il termine spazio, rimandi ad una struttura semantica che si riferisce ad una tessitura di nozioni differenti, concetti complessi, riferimenti, relazionati dai loro contesti applicativi. Al concetto di spazio inteso in maniera fisicamente individuata, si uniscono applicazioni e significati anche astratti, utilizzati per identificare rappresentazioni in diversi ambiti di ricerca. A causa della complessità dell'argomento nel seguito si discuterà, in termini

²²⁷ GENNARI M., *Pedagogia degli ambienti educativi*, Armando Editore, Roma, 1997

approssimativi, della ricerca in ambito scolastico, cercando di discretizzare i vari campi d'impiego, tale azione risulta in realtà molto ardua in quanto interconnessi gli uni con gli altri.

Come già evidenziato in precedenza, la scuola non prevede un'unica modalità d'insegnamento, ma sono previsti incontri, installazioni, performance di ogni tipo che proprio in funzione del loro essere necessitano di volumi più o meno ingombranti; e di frequente tale spazio diventa sinonimo di socialità, di una comunità riunita intorno a un'esperienza. Altra tematica fondamentale che si è deciso di approfondire è quella legata alla fruibilità, si è deciso perciò di realizzare un luogo pubblico, con aree accessibili senza vincoli, predisposte ad ospitare discussioni ed eventi che coinvolgano la comunità.

L'ambiente, gli arredi, gli oggetti contenuti all'interno della scuola e per esso strutturati, assumono un ruolo fondamentale nella formazione degli individui, influenzandone i comportamenti e la vita di relazione. Per tale motivo, si è studiata un'opportuna articolazione dello spazio, in modo tale da ridurre al minimo la dispersività negli ambienti di grandi dimensioni tramite l'adozione di tessuti colorati appesi e arredi flessibili facilitano le interazioni. Ponendosi in una situazione antitetica rispetto a quella tradizionalmente adottata in contesto occidentale, Barone, dottoranda in sociologia presso l'università degli studi di Napoli, scrive:

L'attuale tipologia dello spazio per la didattica si fonda ancora oggi sui desueti assetti delle scuole tardo ottocentesche, basate sulla dislocazione fisica degli allievi da una parte e sull'isolamento visivo e gerarchico del docente dall'altra, all'interno di uno spazio fortemente direzionato, rigido e complesso.²²⁸

Si vuole suscitare la sensazione di essere abitanti della propria scuola, dotandola di spazi articolati, irregolari, ricchi di punti di contatto dove lavorare, pensare, immaginare con i propri tempi e ritmi interni. Gli ambienti sono progettati a misura degli utenti, con arredi proporzionati all'altezza e al corpo dei giovani users. Alcuni, come tavoli e sedie, saranno anche realizzati con elementi leggeri e trasportabili in modo che gli studenti possano spostarli in autonomia per dare forma allo spazio nel modo che preferiscono. Si tratta dunque di un ambiente educativo costruito su misura per le sue caratteristiche umane e

²²⁸ BARONE CRISTINA, *Lo spazio che insegna. Costruzione, significati ed esperienze*, tesi di Dottorato di Ricerca Internazionale in Filosofia dell'Interno Architettonico, Università degli studi di Napoli, tutor del dottorato Prof.ssa Santoanni Flavia, Co-tutor Prof. Ciarcia Saverio, p. 89.

per le specifiche esigenze. Il progetto riprende quindi le idee pedagogiche architettonicamente espresse dall'architetto olandese Hermann Hertzberger e i precetti contenuti all'interno del decreto interministeriale dell'11 aprile 2013 "Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale", articolando il progetto in spazi ad uso individuale e di gruppo, un'agorà, un'area esposizioni, aule e luoghi di apprendimento informale.

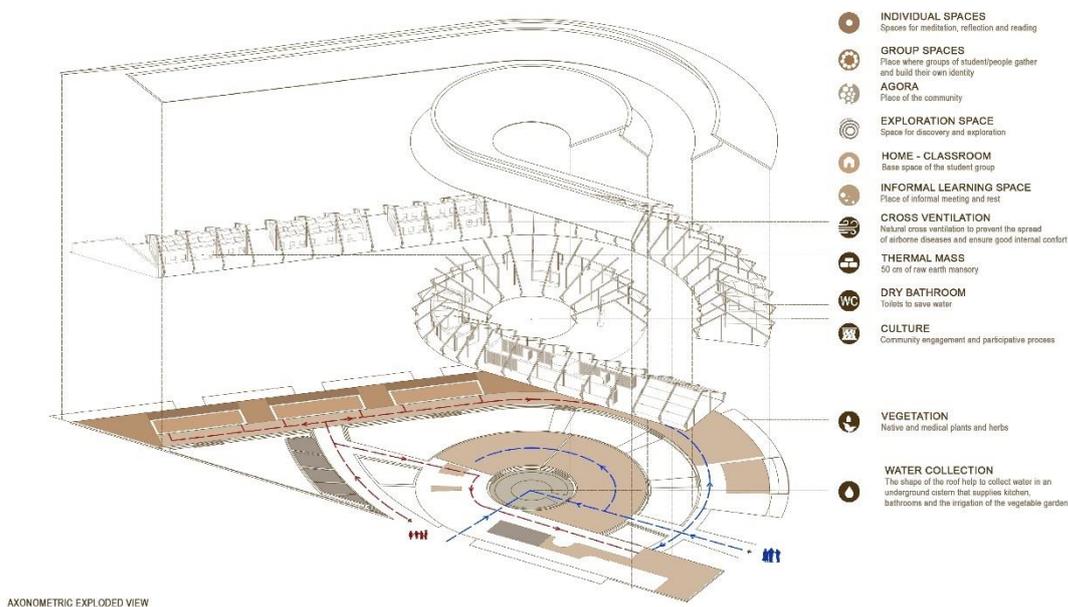


Figura 4.17: Gestione degli spazi relazionali.

4.5.1.1 Il modulo aule

I concetti di collaborazione e cooperazione definiscono l'identità della scuola. L'educazione ha infatti il compito di promuovere la collaborazione e di mettere in evidenza le molteplici prospettive che ci possono essere su uno stesso problema.

A tale scopo, le aule sono raggruppate per fasce d'età in modo da incentivare la cooperazione tra gli studenti, rispecchiando il percorso scolastico senegalese. L'aula scolastica è pensata come la cellula di base e unità di misura dello spazio della scuola; l'insegnamento e la lezione in classe cedono il campo alle attività di gruppo, ai progetti a classi aperte, ai laboratori e alle aule speciali, trasformando e ampliando le matrici spaziali

dello spazio-aula. La dimensione aula offre due grandi possibilità, la prima di aprirsi per mezzo di una grande partizione mobile, una scaffalatura, costituita da moduli leggeri, che possono occasionalmente comporre lettini e sedute, e diventare un luogo di raccolta, di scambio; nel secondo caso l'aula si chiude e diventa il regno dell'autorità dell'insegnante che organizza la lezione secondo il proprio sistema didattico.

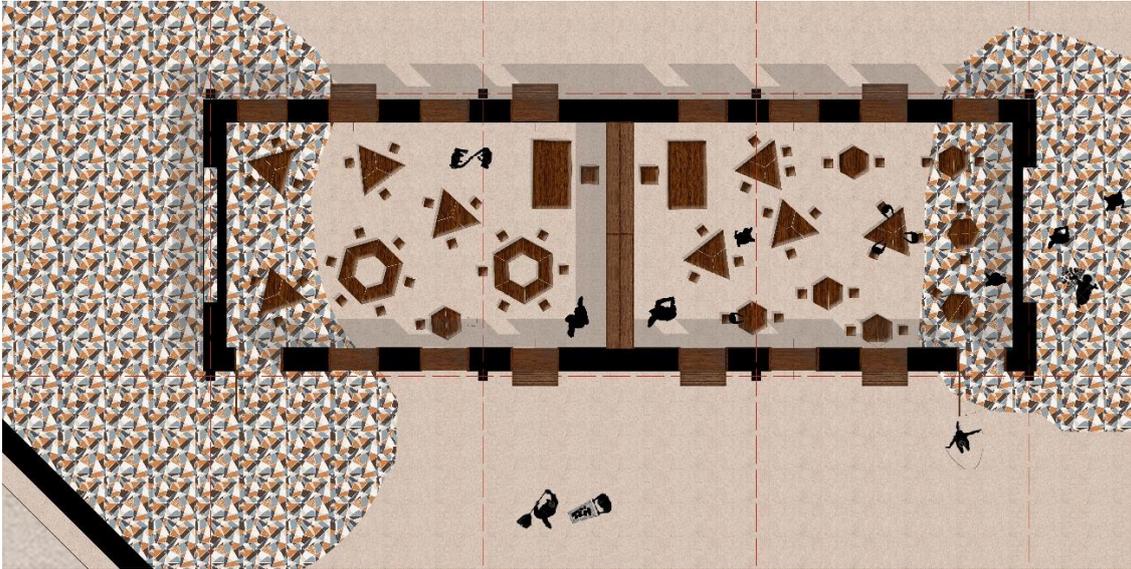


Figura 4.18: Esempio di disposizione all'interno delle aule.

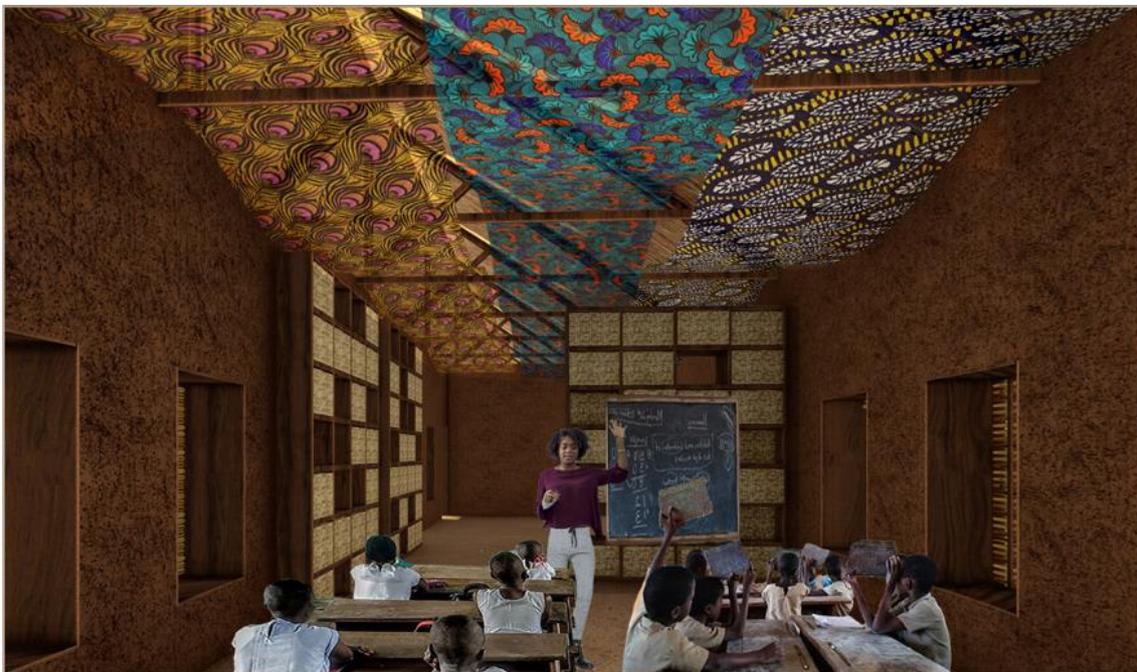


Figura 4.19: Render delle aule dall'interno.

Si è inoltre prevista la possibilità di disporre i banchi secondo differenti layout, col fine di fornire alternative al tradizionale metodo d'insegnamento.

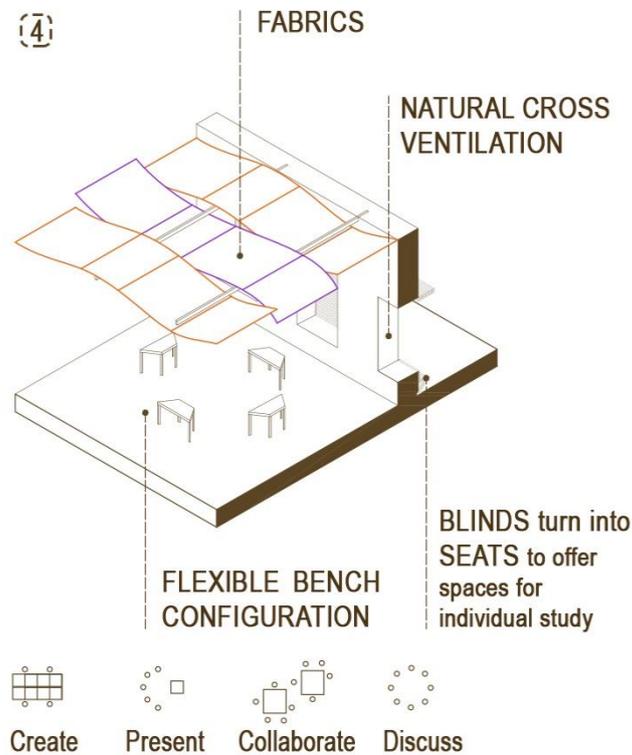


Figura 4.20: Disposizione dei banchi scolastici per far fronte a diverse attività.

La necessità di garantire un'intensa ventilazione incrociata e di ridurre la diffusione di malattie a trasmissione aerea ha portato alla progettazione di grandi aperture simmetriche, opportunamente schermate da un'ampia falda spiovente e da brise soleil che aperti forniscono un luogo di studio individuale trasformandosi in sedute, e da un sistema che sfrutta l'effetto camino e il raffrescamento evaporativo attraverso teli opportunamente bagnati con l'acqua piovana raccolta, in modo da garantire un *comfort* interno ottimale.

4.5.1.2 L'agorà

L'agorà, fulcro della scuola, non si presenta come uno spazio chiuso ma aperto e riparato, e grazie alla presenza di una serie di scalini può diventare un auditorium, realizzando così una chiara flessibilità funzionale, un ambiente assembleare che offre numerose sedute dove sistemarsi liberamente. Offre inoltre la possibilità di rafforzare e coltivare la tradizione orale come mezzo di trasmissione della conoscenza, è quindi possibile vederlo

come un luogo di formazione, d'informazione, d'educazione e di dibattito, oltre che essere sede di mercati, feste, attività spirituali e religione, zona di essiccazione dei prodotti e, aspetto di maggior importanza, di raccolta delle risorse idriche, un aspetto vitale nel periodo di siccità, che avviene per mezzo di una cisterna di raccolta sotterranea. Ciò sottolinea ulteriormente la centralità di tale elemento all'interno del complesso scolastico, da essa infatti si diparte la rete di approvvigionamento idrico che serve la zona lavabi, i servizi igienici e la cucina.



Figura 4.21: L'agorà vista nel corso delle due stagioni.

Intorno all'agorà si organizzano i principali servizi della scuola e da essa si diparte la raggiera di percorsi principali e secondari. La bellezza e la profondità culturale dell'agorà sono enfatizzate dalla presenza di pareti decorate con intricati intagli o dipinti che rappresentano simboli tribali e motivi culturali. Queste opere d'arte sono il risultato del lavoro artigianale di maestri locali che mettono in mostra la ricca eredità culturale della comunità. Tali elementi svolgono anche funzioni pratiche, le pareti fungono infatti da sedute per gli studenti e per chi partecipa agli eventi nell'agorà, offrendo un luogo comodo per riposare e osservare le attività che si svolgono nel centro della piazza. Inoltre, servono a separare visivamente l'agorà dai servizi igienici posti dietro di essa, contribuendo a definire lo spazio e mantenendo un senso di privacy.

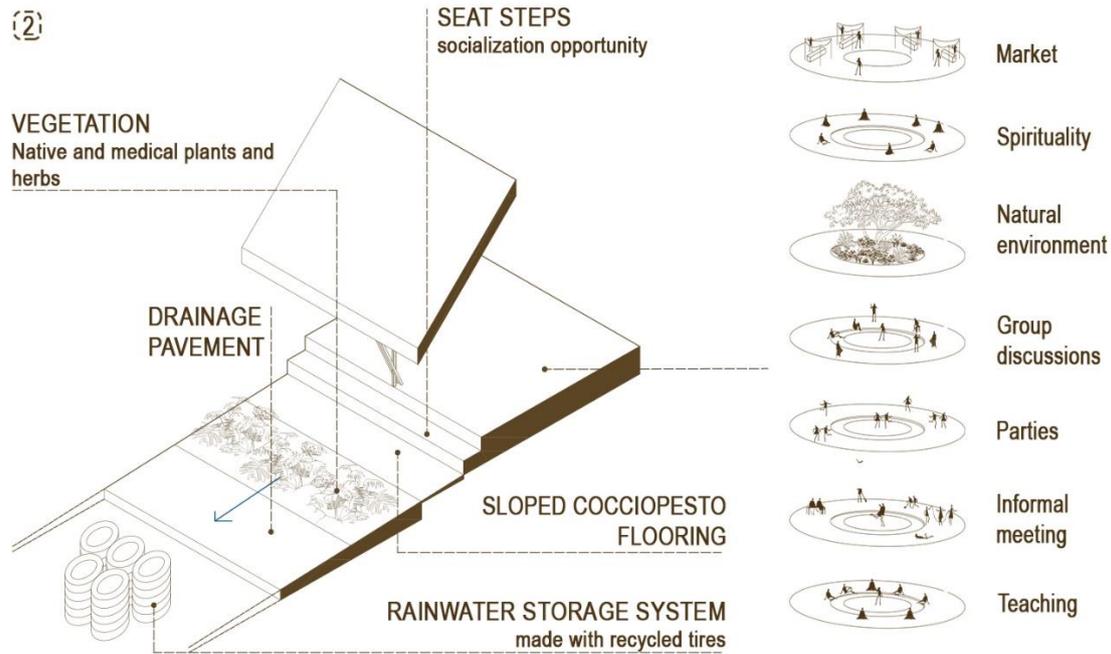


Figura 4.22: La multifunzionalità dell'agorà.

4.5.1.3 Spazio di raccordo. Il rapporto interno-esterno

Frank Lloyd Wright riferendosi alla casa sulla cascata disse:

«Il rapporto interno/esterno è inteso non come divisione fra due spazi ben distinti, ma come continuità fra dentro e fuori e viceversa».

Il limite tra queste due situazioni è fragile e labile, se infatti da un lato i confini destinati alle aule sono fissi, dall'altro il paesaggio esterno è portato all'interno dalle grandi aperture che, come quadri, raffigurano scorci interessanti.

Rimosso dal ruolo secondario che solitamente riveste, il corridoio è considerato a tutti gli effetti come uno spazio destinato all'apprendimento, diventando il protagonista della proposta progettuale e rivelandosi fonte di innumerevoli potenzialità. Distanziandosi dallo schema tradizionale aule-corridoi, sebbene l'aula in quanto unità statica sia ancora presente, lo spazio-soglia, formato dall'area di contatto tra aula e corridoio si sviluppa per la lunghezza dell'aula, profondo cinque metri e articolato in nicchie, posti di lavoro e di riposo che consentono modalità di apprendimento più libere e autonome.

Tale luogo è inoltre reso articolato attraverso innalzamenti o abbassamenti di sezioni del pavimento che, oltre a consentire all'edificio di essere protetto in caso di alluvioni e

allontanare gli animali selvatici; possono essere interpretati come lunghi piani di lavoro, luoghi ospitali che favoriscono la concentrazione e forniscono sedute spontanee.

4.5.1.4 Il laboratorio alimentare

In africa, l'essenziale di una cucina non sta nella sua "funzionalità". Lo spazio di una cucina fissa il passato e progetta l'avvenire. Costituisce il perno tra il dentro e il fuori, è il luogo trasparente e aperto di una casa. Trasparente come può essere un incrocio. Aperta, come fulcro di continuità tra la vita interna della famiglia e le sue relazioni con l'esterno. Nella cucina si riunisce la famiglia estesa (famiglia africana) con tutte le età della vita. Essa si trova al centro dello "spazio vivente" della casa.²²⁹

Tali concetti, descritti da Arecchi, sono stati ripresi all'interno del progetto. Il laboratorio alimentare, posto accanto all'agorà, si presenta infatti come uno spazio ibrido, con confini labili che possono essere facilmente ampliati a seconda delle necessità attraverso l'impiego di serramenti leggeri mobili in bambù. Tale spazio risulta differenziato in più zone: una cella frigorifera che sfrutta lo spessore elevato delle pareti per mantenere il cibo al fresco, una zona di stoccaggio delle derrate agricole arricchito da grandi giare di terracotta, in cui si potranno deporre oggetti e acqua, la cucina aperta, la zona di distribuzione delle pietanze e la zona ristorazione dotata di arredi mobili componibili.

In particolare, i locali di deposito avranno un'ulteriore funzione durante il periodo delle piogge, periodo di maggiore produttività agricola, consentendo alle donne di immagazzinare le messi, di poterle lavorare e successivamente vendere, assicurandosi un guadagno.

La proposta di una cucina aperta deriva dal fatto che tale luogo, essendo una delle attività centrali della cultura senegalese, non deve essere vista solo come la zona di preparazione del cibo ma deve assumere anche un valore educativo sia per gli studenti che per la comunità che ne ha il pieno accesso. La cucina accessibile anche ai più piccoli offre infatti una serie di vantaggi unici e un'opportunità preziosa per la loro crescita e il loro sviluppo, ad esempio:

- l'apprendimento pratico: gli utenti possono toccare, annusare, vedere e assaporare gli ingredienti;

²²⁹ Arecchi Alberto, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998, p. 55.

- sperimentare: comprendere i concetti scientifici base della cucina, come le trasformazioni chimiche che avvengono durante la cottura, facilitando la memorizzazione dei concetti teorici;
- sviluppo delle competenze motorie: la preparazione dei pasti coinvolge infatti una serie di abilità motorie: tagliare, mescolare, versare richiedono precisione e coordinazione;
- igiene e sicurezza: offre la possibilità agli insegnanti di impartire le nozioni fondamentali in materia di igiene e sicurezza alimentare. Gli studenti imparano l'importanza del lavaggio delle mani, della pulizia delle superfici e degli strumenti;
- matematica e scienze: si possono esplorare concetti matematici come la misurazione delle quantità e il calcolo dei tempi di cottura e chimici come la reazione che si instaura tra certi elementi;
- collaborazione e comunicazione: promuove il lavoro di squadra al fine di raggiungere un obiettivo comune.

Contrariamente dalla zona ristorazione che è flessibile nella sua disposizione, la zona destinata alla cottura del cibo si localizza in uno spazio aperto, in modo da evitare la possibilità d'intossicazione dai fumi che scaturiscono dalla cottura a fuoco vivo.

Per il consumo dei cibi si sono progettati mobili leggeri e componibili che possono essere spostati e disposti a piacimento degli utenti, prendendo a ispirazione cultura senegalese in cui i commensali riuniti intorno al tavolo e seduti su tappeti a terra condividono un unico piatto dal quale attingere collettivamente, consentendo di allacciare rapporti stretti.

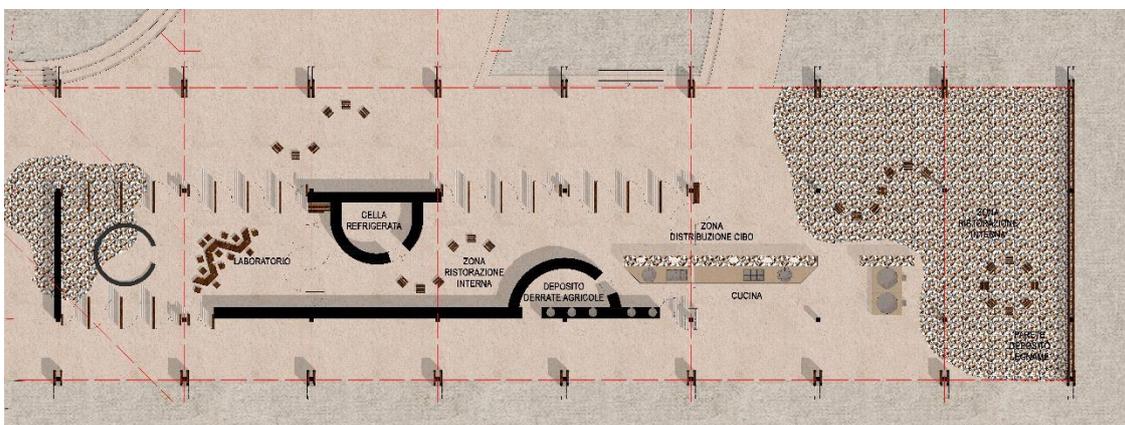


Figura 4.23: Il laboratorio alimentare.

4.5.1.5 I servizi igienici

Al fine di minimizzare lo spreco idrico si sono predisposti servizi igienici a secco, noti anche come servizi igienici a compostaggio, che sono una forma di servizi igienici ecologici che contribuiscono alla sostenibilità ambientale, i cui principi chiave sono:

- L'assenza di acqua: a differenza dei servizi tradizionali che utilizzano l'acqua come mezzo di trasporto dei rifiuti, quelli a secco permettono di ridurre il dispendio idrico in quanto non necessitano di tale elemento. Ciò li rende ideali nella zona d'intervento caratterizzata da periodi di siccità e da un approvvigionamento idrico limitato.
- Compostaggio: i rifiuti umani vengono trattati attraverso il processo di compostaggio, che avviene nelle vasche predisposte sul retro. Questo processo trasforma i rifiuti in un *compost* sicuro e nutriente che può essere utilizzato per fertilizzare il terreno, riducendo la necessità di fertilizzanti chimici e l'inquinamento delle falde.
- Semplice manutenzione periodica per mantenere efficiente il sistema.

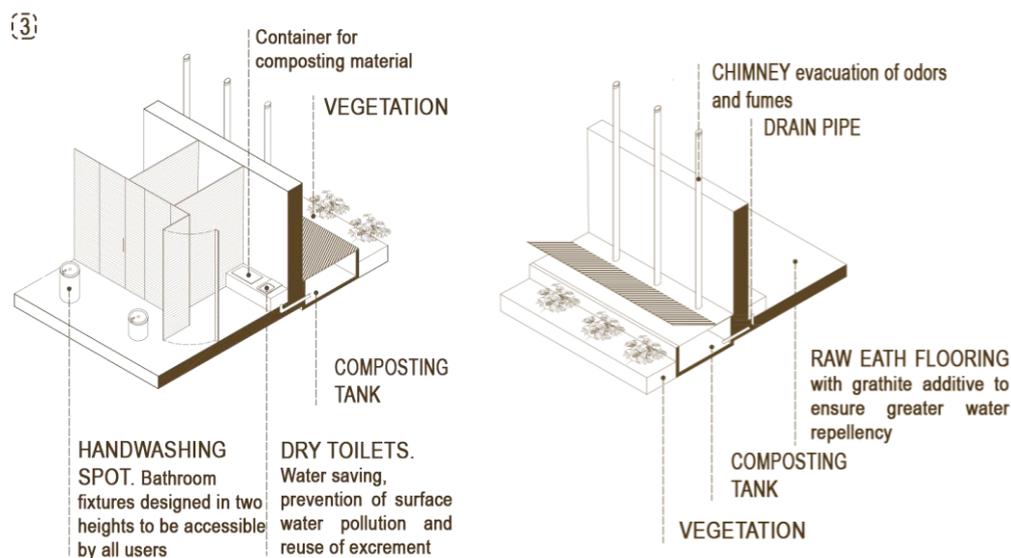


Figura 4.24: I servizi igienici a secco.

4.5.1.6 L'orto

Anche l'orto, come le altre attività, è proposto in un'ottica orientata a una didattica informale. Inoltre, tale attività, può avere un impatto significativo non solo sugli studenti ma anche sulla comunità locale.

In molti paesi rurali del Senegal, e dell'Africa in generale, l'accesso al cibo nutriente può essere limitato, un orto scolastico in tale situazione insegna agli studenti come coltivare il cibo localmente, promuovendo la sovranità alimentare e riducendo la dipendenza dal cibo importato. Oltre che educare all'importanza di una dieta equilibrata e del consumo cibi freschi e locali. Gli studenti possono imparare il modo migliore per coltivare verdure ricche di nutrienti in modo che si autosostengano reciprocamente, come avviene con la tecnica delle "tre sorelle", e limitando il dispendio idrico. A tale scopo l'orto è stato diviso in piccoli settori in grado di immagazzinare l'acqua durante le piogge, reintroducendo la tecnica in disuso dello Zai che permette di sfruttare il materiale organico raccolto nelle vasche dei bagni a secco.

L'orto rappresenta inoltre un laboratorio vivente per gli studenti, dove possono esplorare concetti scientifici come la botanica, l'ecologia, la chimica del suolo e la biologia, affinando le abilità pratiche della semina, della cura delle piante, della raccolta e della conservazione degli alimenti, competenze essenziali per il loro futuro.

In sintesi, l'orto può essere un prezioso strumento didattico per promuovere la consapevolezza ambientale, insegnare importanti competenze pratiche e accrescere la comprensione delle questioni legate alla nutrizione e all'agricoltura sostenibile.

L'orto non si esaurisce unicamente all'area didattica ma si espande anche al di fuori dei confini fisici del fabbricato, come è possibile vedere in figura 4.16, è stata infatti progettata una zona destinata all'autosufficienza alimentare che contribuisce in modo diretto alla risoluzione dell'obiettivo 2 degli SDGs Zero Fame. Un progetto di questo tipo permette di produrre cibo sufficiente per soddisfare le esigenze della comunità e garantisce una sicurezza alimentare, poiché le persone hanno accesso a cibo fresco e nutriente direttamente dalla loro produzione, rendendole autonome e riducendo la sensibilità alle carestie e alle fluttuazioni dei prezzi di mercato. Promuove inoltre la diversificazione delle colture attraverso la pratica di tecniche indigene quali quella *Zai* e la *Waffle Garden*, che permettono la conservazione di varietà di sementi uniche e adatte

al clima. A fianco dell'agricoltura, inoltre, si sviluppato l'allevamento di bovini, ovini, caprini e volatili da cortile in modo da arricchire ulteriormente la dieta con carne e derivati.

4.5.2 Parametri dimensionali

L'edificio insiste su una superficie di 4612 m² di cui 650 m² al chiuso, il restante delle zone è occupato da funzioni che si svolgono all'aperto ma al coperto. In particolare, si distinguono:

- Aule: 41,7 m² x 6, totale 249 m²;
- Area lavabi: 18,3 m² (essendo progettata con muri perimetrali di 1,5 m è stata inserita nel conteggio delle aree aperte);
- Deposito materiale scolastico: 15,4 m²;
- Infermeria: 10,8 m²;
- Aula insegnanti: 24,1 m²;
- Uffici e archivio: 9,6 m² + 3,8 m²;
- Laboratori: 61,8 m²;
- Cella refrigerata: 6,8 m²;
- Deposito per lo stoccaggio delle derrate agricole: 5,9 m²;
- Area di distribuzione del cibo + cucina: 73,3 m²;
- Servizi igienici: 166,4 m².

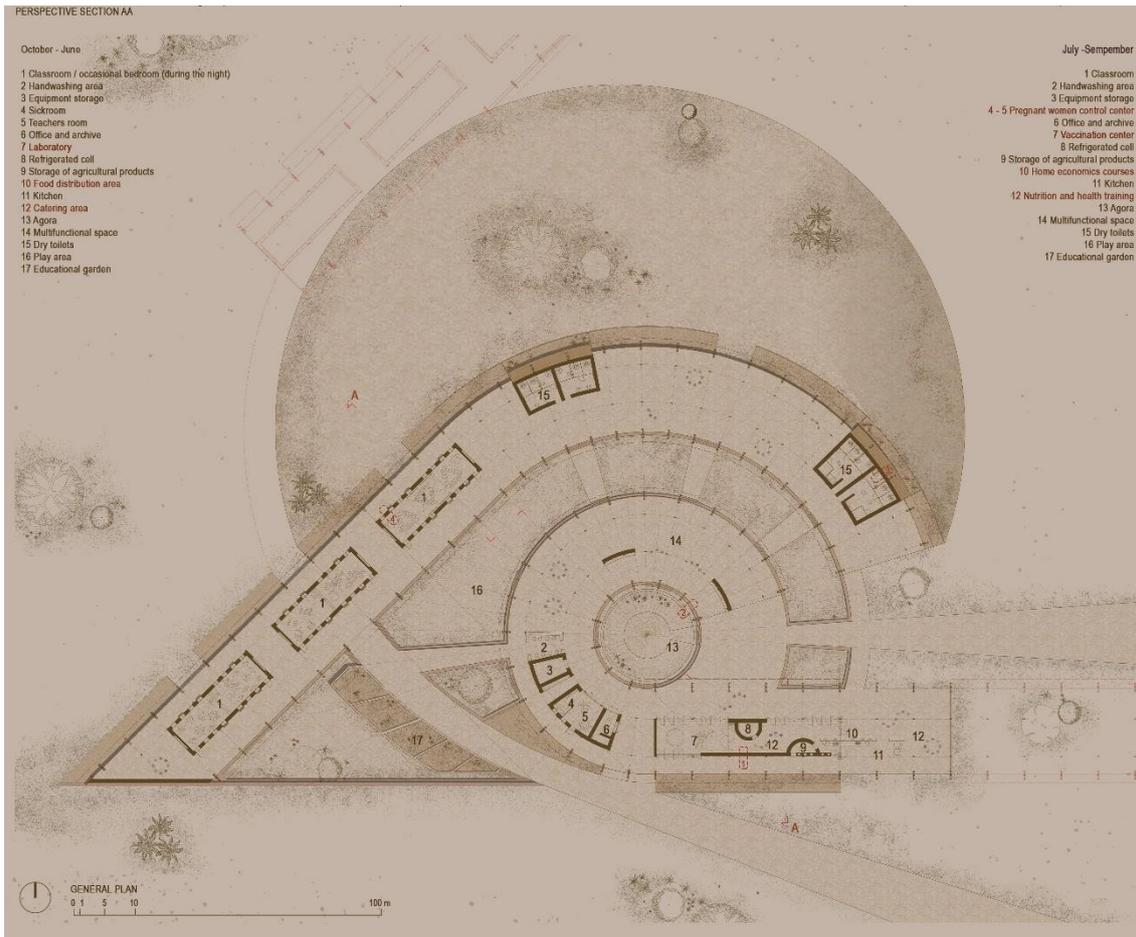


Figura 4.25: Planimetria di progetto.



Figura 4.26: Vista dall'altro dell'andamento della copertura.

4.5.3 Sezione

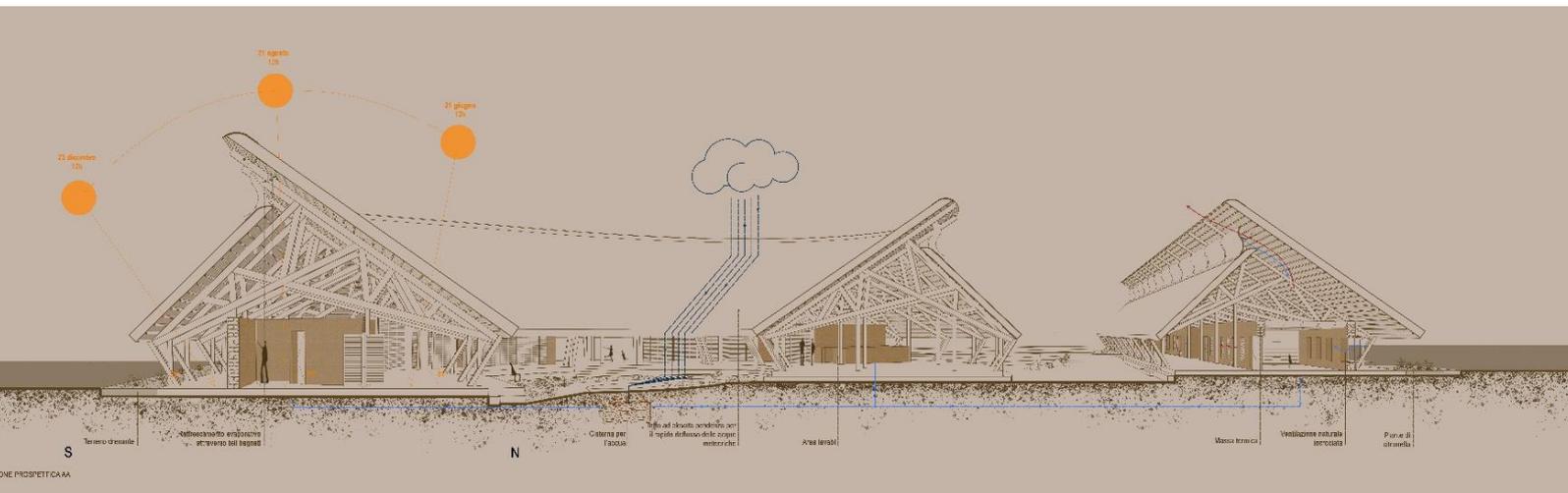


Figura 4.27: Sezione AA.

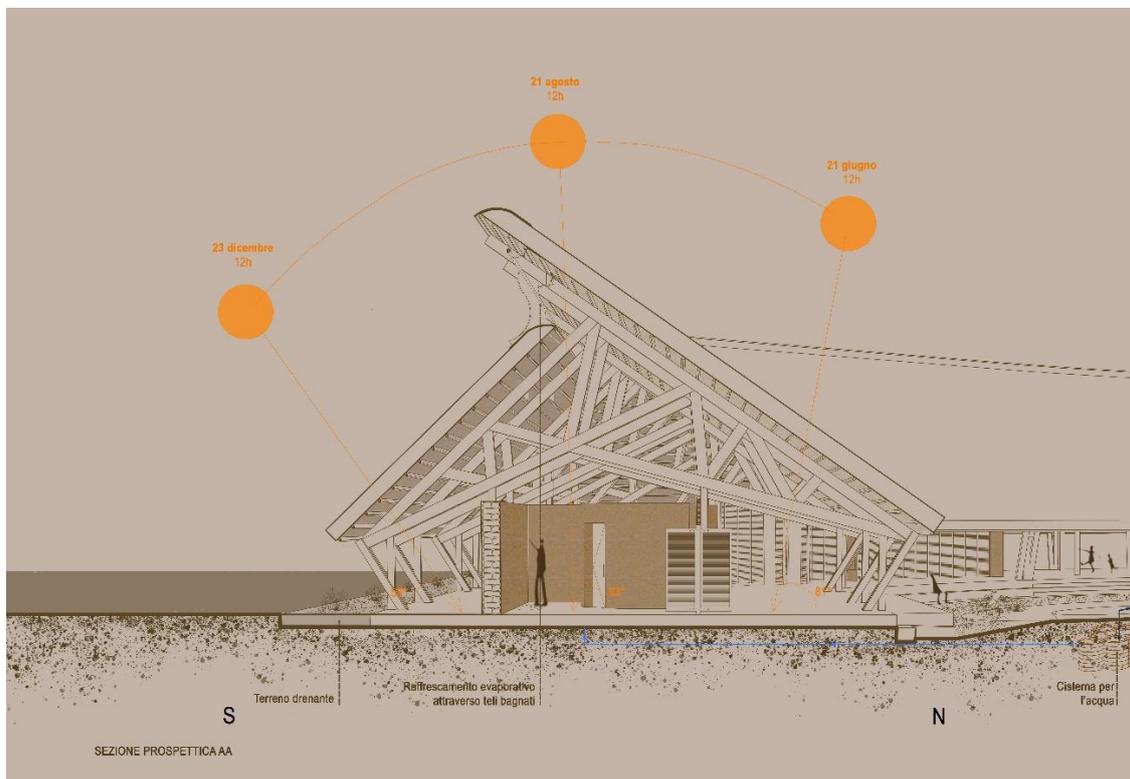


Figura 4.28: Sezione AA. Il laboratorio alimentare.

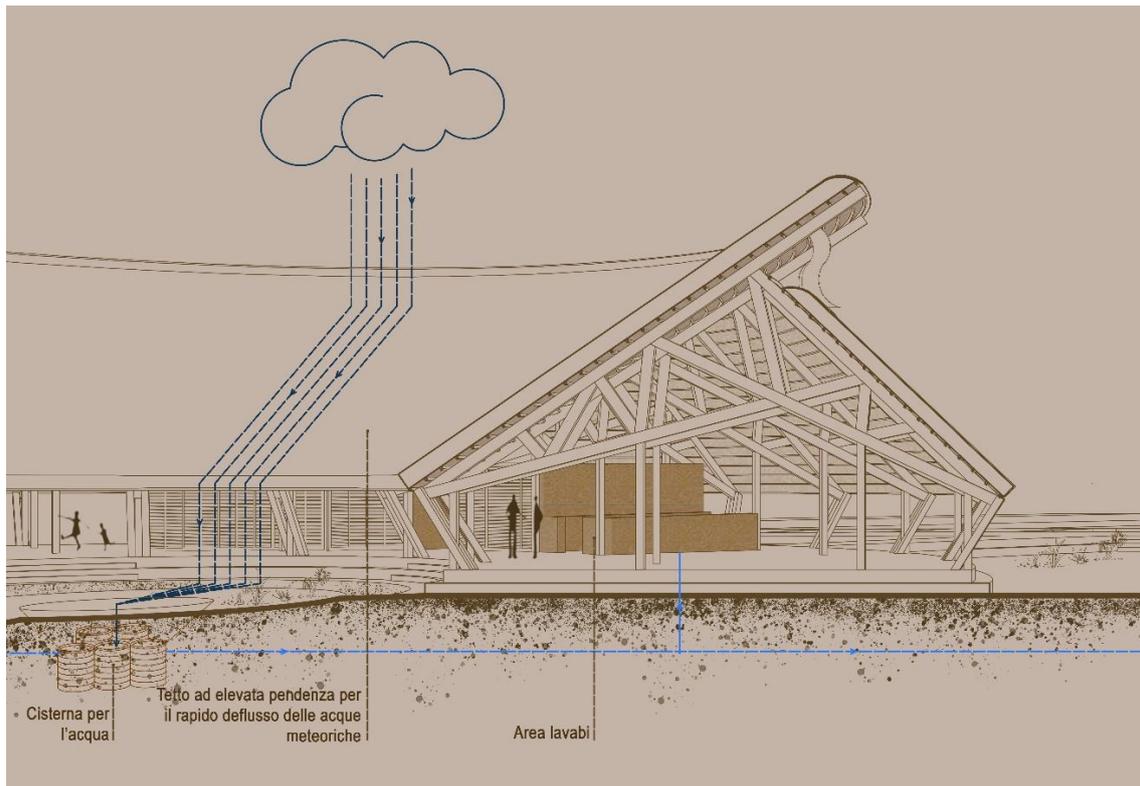


Figura 4.29: Sezione AA. L'agorà.

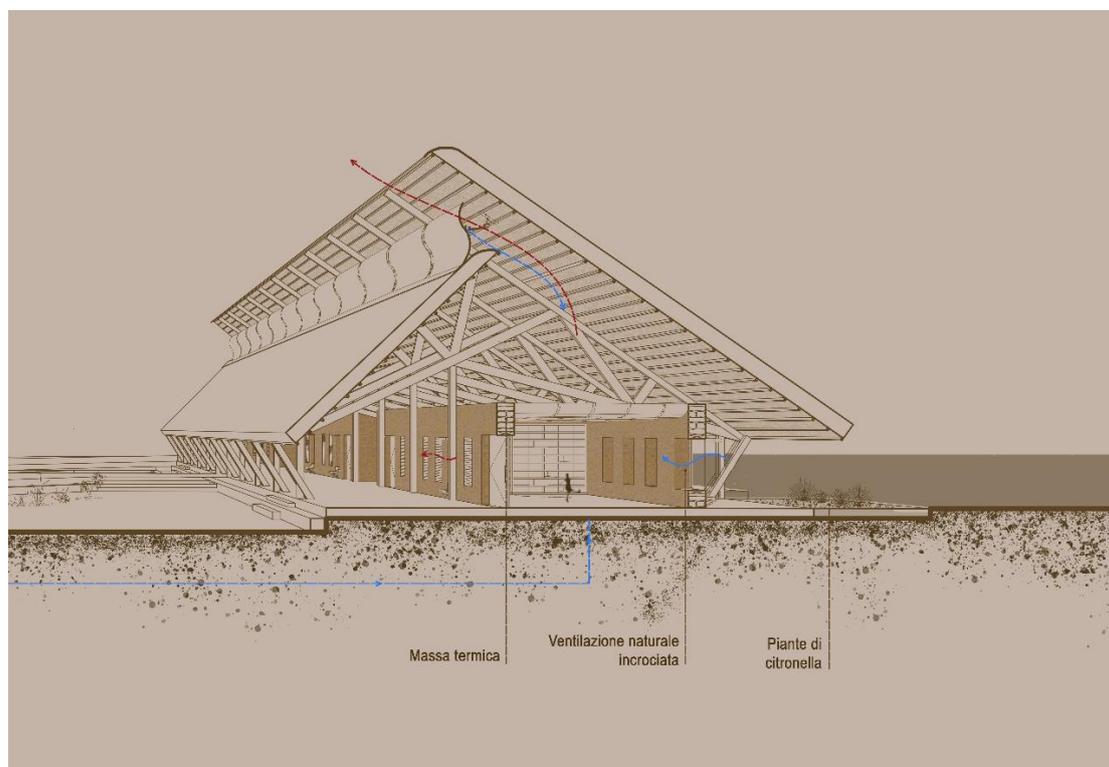


Figura 4.30: Sezione AA. Le aule.

4.6 Materiali, tecniche e fasi costruttive di progetto

Nelle aree rurali e nelle zone sottosviluppate si osserva un diffuso impiego delle tecniche vernacolari e delle risorse locali. Le modalità in cui questi materiali si presentano cambiano in accordo alla conoscenza, agli usi, agli scopi e alle limitazioni imposte dal sito.

In molti paesi, questi patrimoni architettonici in terra, pietra, legno, fibre vegetali, ecc. sono fonti di orgoglio e forti simboli culturali, molti dei quali sono già stati inseriti nell'Elenco del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO.²³⁰

Tuttavia, il progresso economico del Paese, unito alla crescita del settore delle costruzioni, sta portando a una graduale sostituzione delle metodologie tradizionali con soluzioni più moderne. Il cemento è impiegato come materiale per la costruzione di pareti e soffitti; i tetti in metallo e le vetrate stanno aumentando. Questa trasformazione, comprensibile e inevitabile nel caso di distretti urbani in via di sviluppo, suscita tuttavia preoccupazione quando applicata alle aree rurali, dove queste tecnologie sono relativamente onerose e poco adatte alle particolarità climatiche del luogo. Inoltre, le conoscenze e le competenze professionali nelle tecniche tradizionali stanno iniziando a scomparire anche tra la popolazione locale.²³¹

Per tali motivi, l'approccio adottato per la costruzione della scuola segue i principi della gestione ecologica e mira a coniugare i valori ambientali e quelli connessi all'economia locale. Tale scelta è in grado allo stesso tempo di valorizzare le risorse disponibili sul territorio e ridurre l'impatto ecologico e dei costi associati. In questo contesto i materiali da costruzione, le tecniche e la forza lavoro sono stati selezionati tra le risorse disponibili a livello locale (per una descrizione di tutti i materiali disponibili si rimanda all'Appendice §B *I materiali*), minimizzando non solo la necessità di trasporto dei materiali da luoghi lontani, con un conseguente abbattimento delle emissioni nocive, ma riducendo anche i costi associati ad esso e al dispendio economico per l'acquisizione e la successiva eliminazione dei materiali utilizzati. Un aspetto altrettanto cruciale è l'effetto

²³⁰ DEJEANT F., GARNIER P., JOFFROY T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, p.44.

²³¹ IDEM R., ZIELONKO-JUNG K., KARPINSKA A., *Vernacular and low-tech technologies in humanitarian architecture on the example of Senegal*, in «Architectus», 2022, n.70.

positivo sull'economia locale. L'utilizzo di risorse locali per la costruzione promuove l'occupazione e il coinvolgimento della comunità, contribuendo all'impiego di manodopera e competenze preesistenti, riducendo di conseguenza i costi di manutenzione dell'opera. I materiali e le metodologie scelte riflettono la profonda conoscenza e la comprensione dell'ambientale in cui sorge la scuola, e ciò si traduce in un *design* più duraturo e adattabile alle condizioni specifiche dell'area.

4.6.1 Materiali utilizzati

4.6.1.1 La terra cruda

Nelle costruzioni tradizionali del Senegal, la terra cruda costituisce il principale materiale da costruzione; esso è infatti facilmente reperibile, non richiede processi di trasformazione complessi e si adatta a tutte le condizioni climatiche. L'ampio potenziale di questo materiale nel settore costruzioni è dimostrato dal fatto che questa tecnologia si è sviluppata indipendentemente in varie regioni del mondo e in diverse zone climatiche, non limitandosi solo a quelle calde. Esiste una vasta gamma di tecniche e utilizzi che coinvolgono la terra cruda, sia come materiale strutturale (terra battuta, adobe, CEB, ecc.), sia come materiale di riempimento (intreccio e intonaco) oltre che come rivestimento su un supporto in terra o altro materiale.

La seguente scheda fa riferimento ai dati reperiti in Dejeant F., Garnier P., Joffroy T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, pp. 22-23.

TERRA CRUDA

CARATTERISTICHE

Disponibilità: Ampiamente disponibile, sul posto o nelle vicinanze, ottenuto dai rifiuti di cava o dalla terra scavata.

Estrazione: Poco conflitto con altri interessi o impatto in termini di uso del suolo. È necessario applicare alcune accortezze per evitare impatti dannosi quali: erosioni, frane, buche...

Circolarità: Potenziale per l'uso di terra scavata e rifiuti di cava. Non stabilizzata, è un materiale facilmente riutilizzabile e infinitamente riciclabile o che può essere restituito ai terreni agricoli.

Energia ed emissioni: Non stabilizzato, è un materiale a basso contenuto di carbonio e a basso consumo di energia in termini elaborazione e utilizzo.

Comfort interno: Materiale non tossico la cui inerzia termica e capacità di regolare l'umidità forniscono un clima interno salubre e un *comfort* termico che consente di ridurre i bisogni di riscaldamento o condizionamento dell'aria.

Caratteristiche fisiche: Materiale non combustibile e resistente allo scioglimento, sensibile all'acqua e con buona resistenza alla compressione.

Aspetti economici: Molto variabili a seconda dell'aggiunta di materiali industriali e dei costi della manodopera.

Estetica e flessibilità d'uso: Grazie all'intrinseca gamma di tonalità, alla grana del materiale e alla sua diversità e flessibilità d'uso, la terra cruda offre la possibilità di lavorare con una ampia varietà di forme, colori e trame.

APPLICAZIONI

La terra, composta da argilla e granuli in proporzioni variabili, permette una grande quantità di applicazioni a seconda della sua

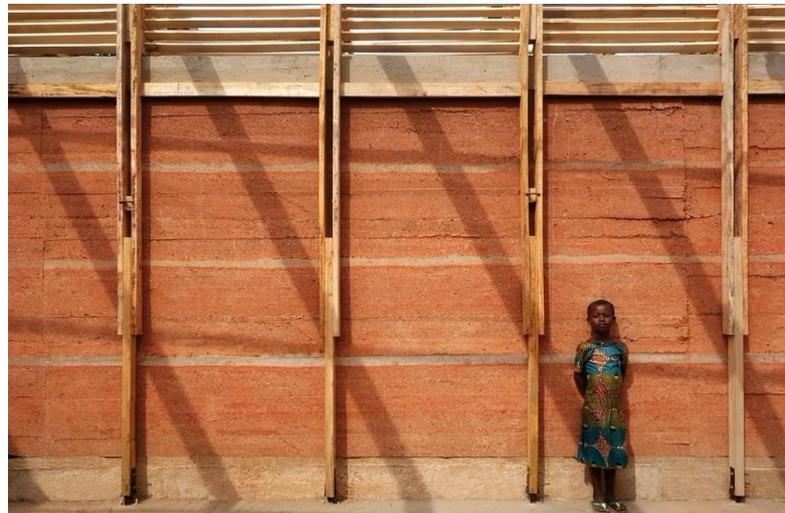


Figura 4.31: Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus, <https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghauna-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html>, ultima consultazione 18/08/2023).

composizione, stato idrico e modalità di utilizzo.

- Terra compattata in stato umido (terra battuta, *CEB*), impilata o modellata in stato plastico (*cob*, *adobe*), miscelata o applicata in stato viscoso (intreccio e intonaco, malte, rivestimenti).
- Applicazione strutturale (muri, pilastri, archi, volte, cupole) in forma monolitica (*cob*, terra battuta) o in forma di muratura (*adobe*, *CEB*).
- Applicazione non strutturale: riempimento per parete, pavimento o tetto, malta, rivestimento per facciata, tetto o pavimento.

La terra cruda si combina molto bene con altri materiali naturali (pietra, legno e fibre) in vari modi.

CONDIZIONI D'USO

La valutazione del tipo di terra consente di determinarne l'adeguatezza per l'uso previsto e la necessità di additivi (sabbia e paglia). La terra è sensibile alla pioggia battente e all'infiltrazione di umidità. Misure costruttive appropriate e un uso corretto della protezione garantiranno la realizzazione di una buona architettura. Esempi di misure costruttive: ampi sbalzi di tetto, strutture subdurali e barriere capillari, massa d'usura o piattaforma

rialzata, rivestimenti protettivi di calce o terra.

Mattone di terra cruda o adobe (MEB).

L'*adobe* è un mattone di terra cruda modellato ed essiccato all'aria aperta. A volte si aggiunge sabbia e/o paglia alla terra argillosa.



Figura 4.32: Mattone in Adobe (fonte: un passaggio per biotopia, https://www.unpassaggioperbiotopia.org/materiali/principali-tecniche-di-posa-con-la-terra/adobe/?doing_wp_cron=1692347236.8559050559997558593750, ultima consultazione 18/08/2023).

Blocco di terra compressa (CEB).

Il *CEB* è realizzato comprimendo la terra con presse manuali o meccanizzate. È generalmente stabilizzato con circa il 6% di cemento. Questa tecnica è stata introdotta a partire dagli anni '50, nell'ambito dei programmi di edilizia convenzionata.



Figura 4.33: Blocchi in terra compressa (fonte: Terra cruda, <https://terracruzaitalia.com/it/sistemi/componenti-costruttivi>, ultima consultazione 18/08/2023).

Terra compattata. I muri monolitici di terra battuta sono sollevati compattando la terra nei casseri con martelli manuali o pneumatici. Questa tecnica è diffusa in Europa, Cina e Nord Africa, ma si sta sviluppando anche in altre parti del mondo.



Figura 4.34: Tecnica del Pisè, Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus, <https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghana-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html>, ultima consultazione 18/08/2023).

COB. I muri di *cob*, molto diffusi in Africa, sono pareti di terra modellate a mano in strati successivi. Il loro spessore può

variare da 5 a 60 cm a seconda dell'uso e della presenza o meno di fibra nella terra.



Figura 4.35: Tecnica del Cob (fonte: DEJEANT F., GARNIER P., JOFFROY T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, p. 23).

"WATTLE-AND-DAUB". Consiste nel coprire una struttura di supporto composta da pali e stecchi di legno o bambù con terra fibrosa. Questo consente di costruire in modo estremamente rapido con un volume molto limitato di materiali.



Figura 4.36 Tecnica del Wattle and daub. (fonte: GeeFix, <https://www.geefix.com/wattle-and-daub/>, ultima consultazione 18/08/2023)

Tecniche moderne. Può essere applicata combinata all'uso di sacchetti di polipropilene riempiti di terra. La nuova

tecnologia è meno intensiva in termini di lavoro rispetto a quella tradizionale, anche se la necessità di utilizzare plastica comporta svantaggi dal punto di vista dei criteri ecologici.



Figura 4.37: Tecnica del Superadobe (fonte: un passaggio per biotopia, <https://www.unpassaggioperbiotopia.org/materiali/principali-tecniche-di-posa-con-la-terra/adobe/>, ultima consultazione 18/08/2023).

4.6.1.2 La pietra

Nel corso della storia, la pietra è stata ampiamente impiegata come elemento strutturale murario. La disponibilità variabile a seconda della regione e le difficoltà connesse ai processi di estrazione e taglio l'hanno resa riservata principalmente a edifici prestigiosi o monumenti. La varietà delle formazioni geologiche da cui è ottenuta si riflette in una vasta varietà di pietre con caratteristiche molteplici.

La seguente scheda fa riferimento ai dati reperiti in Dejeant F., Garnier P., Joffroy T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, pp. 24-25.

PIETRA



Figura 4.38: Parco nazionale del Mali, progetto di Francis Kéré, Mali, 2010 (fonte: domus, https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/it/architettura/2011/08/15/il-mali-di-francis-k-r-/big_355666_5781_DO110709011_UPD1.jpg, foto.rmedium.jpg, ultima consultazione 18/08/2023).

CARATTERISTICHE

Disponibilità: Materiale diffuso in zone montane. La laterite, presente nel Sahel,

fornisce il blocco di laterite tagliato (CLB) utilizzato nelle murature.

Estrazione: Le pietre vengono generalmente estratte dalle cave, ma

possono anche provenire dai fiumi (pietre fluviali). Il trasporto della pietra può incidere notevolmente sul costo, soprattutto quando avviene in strade rurali. La pietra può anche provenire dalla pulizia dei campi o dai lavori di scavo.

Circolarità: Potenziale utilizzo dei rifiuti dei campi e delle pietre da scavo. È un materiale riutilizzato e infinitamente riutilizzabile.

Energia ed emissioni: Se la pietra viene estratta nelle vicinanze, è un materiale a basso impatto e bassa energia di estrazione, lavorazione e utilizzo.

Comfort interno: L'inerzia termica e la non tossicità assicurano un clima interno salubre e un buon *comfort* termico.

Caratteristiche fisiche: A seconda del tipo di roccia, può essere un materiale molto robusto, resistente nel tempo e poco influenzato dall'umidità. Le murature in pietra hanno una forte resistenza alla compressione e una bassa resistenza alla trazione, e possono essere sensibili alla risalita capillare.

Aspetti socioculturali: Potenziale per la conservazione e la rivalutazione dei patrimoni architettonici e delle competenze associate.

Durabilità: Quando ben costruiti e correttamente mantenuti, gli edifici in pietra hanno una vita molto lunga.

Aspetti economici: Molto variabili a seconda della distanza dalla cava, della difficoltà di estrazione e taglio, dell'aggiunta di materiali industriali e dei costi della manodopera.

Estetica e flessibilità d'uso: La pietra presenta una vasta gamma di colori, texture e forme.

APPLICAZIONI

La pietra offre vari prodotti e applicazioni nella costruzione che variano in base alle proprietà della roccia:

- Utilizzata sotto forma di blocco tagliato o lastra o in forma irregolare, sbazzata.



Figura 4.39: Apparecchiatura muraria irregolare (fonte: architettura di pietra, <https://www.architetturadipietra.it/wp/?p=5432>, ultima consultazione 18/08/2023).

- In applicazioni strutturali: fondazioni, pareti, pilastri, architravi, archi, volte, cupole, scale, ecc.
- In applicazioni non strutturali: riempimento di pareti, rivestimento

di facciate, copertura di facciata, tetto e pavimenti.



Figura 4.40: Pavimentazioni in pietra (fonte: calarmarmi, <https://www.canalmarmi.it/pavimenti-esterni-pietra-naturale/>, ultima visualizzazione 18/08/2023).

- L'uso della pietra è molto appropriato come complemento alle pareti in terra (fondazioni, architravi, davanzali delle finestre, angoli sporgenti, montanti, sottoelementi di struttura per distribuire il carico, oppure come rinforzo per le pareti).

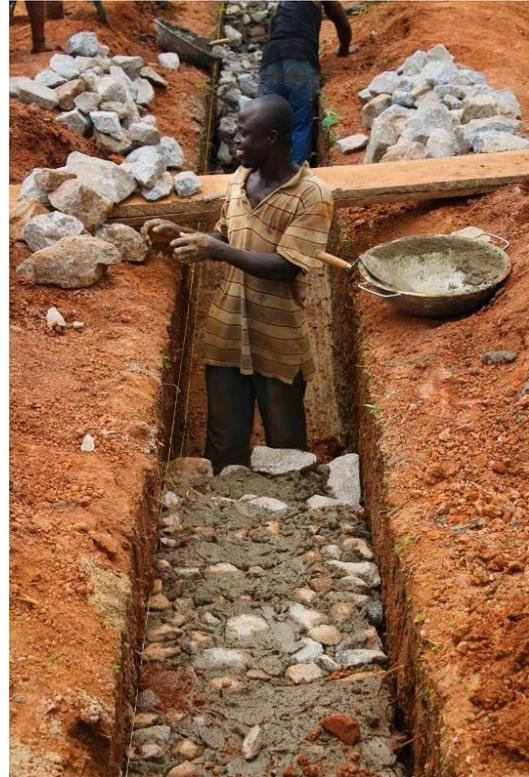


Figura 4.41: Fondazioni in pietra. Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus, <https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghauna-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html>, ultima consultazione 18/08/2023).

CONDIZIONI DI UTILIZZO

La muratura in pietra richiede competenze altamente qualificate per il taglio e la posa. Si può in caso di necessità ricorrere all'impiego di malta (terra, calce o cemento), tale elemento ha la funzione di riempire i vuoti. La stabilità è garantita dalla massa e quindi è essenziale un corretto posizionamento delle pietre.

4.6.1.3 Legno

Le qualità estetiche, la leggerezza e al contempo la resistenza e la facilità d'uso nelle costruzioni a telaio leggero fanno del legno un materiale largamente impiegato e apprezzato. Questo materiale è fornito sia dal settore artigianale informale che dal settore industriale, ma la sua produzione è raramente gestita in modo sostenibile. Tende a essere sostituito da materiali importati quali acciaio e PVC.

La seguente scheda fa riferimento ai dati reperiti in Dejeant F., Garnier P., Joffroy T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, pp. 26-27.

LEGNO

CARATTERISTICHE

Disponibilità: Le foreste coprono il 22% della superficie terrestre africana, principalmente nella regione tropicale. Il 75% di queste foreste non ha un piano di

aumento, una specie particolarmente minacciata sono le mangrovie, hanno quindi disponibilità limitata.

Estrazione: Una risorsa rinnovabile, ma raramente rinnovata in Africa. Il sovrasfruttamento a cui è soggetta ha un impatto negativo sull'ambiente in termini di biodiversità, stabilità del suolo, cambiamenti climatici e risorse idriche.

Energia ed emissioni: Può essere considerato un serbatoio potenziale di carbonio se la foresta è gestita in modo sostenibile, al contrario, l'impronta di carbonio è molto sfavorevole. L'energia e l'impronta di carbonio intrinseca alla sua produzione varia in base a diversi fattori quali trasporto, processi industriali e trattamenti.

Circularità: Materiale biodegradabile che consente facilmente il riutilizzo e il riciclaggio, senza l'applicazione di



Figura 4.42: Elementi lignei utilizzati in varie modalità: serramenti, struttura portante. Aula per la *junior high school* del villaggio di Okorase, progetto di Irene Librando e Nadia Peruggi, Okorase, Ghana, 2018 (fonte: ARKT, <<https://arkt.space/volontariato-ed-architettura-workshop-di-architettura-in-terra-cruda-in-ghana/>>, ultima consultazione 11/09/2023).

gestione sostenibile e la deforestazione è in

trattamenti tossici, e i rifiuti di produzione possono essere riciclati.

Comfort interno: Materiale traspirante e isolante, contribuisce al *comfort* ambientale e a un clima salubre. Ha una bassa inerzia termica.

Caratteristiche fisiche: Materiale resistente alla trazione e alla flessione, leggero. A seconda dell'essenza, è un materiale sensibile all'umidità, ai funghi e agli insetti. Favorisce la propagazione del fuoco ma presenta combustione lenta e stabile, consentendo di ritardare i danni.

Durata: Molto variabile a seconda dell'essenza del legno e dell'attenzione dedicata lungo il ciclo di vita dell'edificio (dal taglio alla manutenzione). Gli elementi in legno hanno un potenziale ciclo di vita molto lungo ed è facile ripararli o sostituirli.

Aspetti economici: Costi molto variabili a seconda dell'essenza del legno, del trasporto, dei processi industriali e dei trattamenti. È un materiale rapido da utilizzare e permette un guadagno di superficie, in quanto le pareti sono meno spesse rispetto alla muratura.

Estetica e flessibilità d'uso: leggero, flessibile, resistente e facile da lavorare, il legno offre una grande varietà di usi ed espressioni architettoniche. Il sistema strutturale è molto flessibile e facile da convertire e sostituire.

APPLICAZIONI

Il legno offre una grande varietà di prodotti e utilizzi:

- Legno massiccio (grezzo o piallato; rotondo, squadrato o segato) o legno ingegnerizzato (incollato, ricostruito, compensato, trave a I, ecc.)
- In applicazioni strutturali: fondamenta, pareti (travi e pilastri, telaio o impilamento), pilastri, travi, architravi, scale, pavimenti, struttura del tetto.
- In applicazioni non strutturali: falegnameria, rivestimenti (pareti, soffitti, pavimenti, tetto).

Nell'architettura vernacolare il legno spesso si combina con altri materiali di origine geologica e biologica, in particolare per strutture a telaio in legno. Si presta a processi di autocostruzione, alla prefabbricazione e ai mestieri artigianali, così come all'industria. Il legno consente un'implementazione rapida, ma al contempo richiede una quantità minima di *know-how*, o di competenze altamente qualificate a seconda delle tecniche, soprattutto nelle regioni soggette a terremoti o cicloni. I metodi di assemblaggio sono numerosi e possono essere adattati a tutte le situazioni.

CONDIZIONI D'USO

La deforestazione è una questione fondamentale e lo sfruttamento sostenibile del legno è essenziale, bisogna prevedere il rinnovo delle risorse, un abbattimento oculato e l'utilizzo ponderato di diverse essenze, unito al supporto e allo sviluppo del settore. I trattamenti chimici (insetticidi e fungicidi) devono essere usati con parsimonia poiché possono generare rischi per la salute e l'ambiente e limitare il riciclaggio del materiale.

4.6.1.4 Le fibre naturali

I materiali a base di fibre naturali sono materiali ottenuti in parte o completamente dalla biomassa di origine vegetale o animale, come il legno (legname e prodotti derivati), il bambù, le palme, le paglie (canne, erba o paglia) e altre fibre naturali (sisal).

La seguente scheda fa riferimento ai dati reperiti in Dejeant F., Garnier P., Joffroy T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021, pp. 28-29.

FIBRE NATURALI

CARATTERISTICHE

Disponibilità: I materiali a base biologica di origine vegetale sono largamente diffusi, anche nelle zone aride. In Africa sono disponibili numerose specie naturali e coltivate (varie graminacee, typha, bambù, canne, cannuce di cereali, foglie di palma e sisal).

Estrazione: Un materiale rinnovabile, ottenuto da piante a crescita rapida che possono derivare da vegetazione che cresce naturalmente, sottoprodotti agricoli o colture appositamente coltivate. La loro coltivazione richiede solo una piccola quantità di acqua, inoltre offre il vantaggio di stabilizzare i suoli e di poter preservare e ripristinare gli ecosistemi naturali.

Energia ed emissioni: L'energia consumata per la produzione è generalmente bassa e l'impronta di carbonio è molto favorevole.

Circularità: questi materiali non sono trattati e possono essere facilmente riutilizzati o riciclati oppure sono biodegradabili. Alcuni materiali sono ottenuti dal riciclo di rifiuti o sottoprodotti.

Comfort interno: Materiali con buone proprietà di isolamento termico e acustico. A seconda del loro utilizzo, consentono la ventilazione, il filtraggio della luce e una



Figura 4.43: Copertura in fibre vegetali Fass School and Teachers' Residence, Toshiko Mori, Fass, Senegal, 2019 (fonte: dezeen, <https://www.dezeen.com/2017/01/25/toshiko-mori-compressed-earth-bamboo-thatch-cultural-centre-senegal-africa-architecture/>, ultima consultazione 18/08/2023)

buona qualità dell'aria interna (traspirante e salubre).

Caratteristiche fisiche: Molto variabile a seconda delle piante e delle condizioni.

Caratteristiche d'uso: Materiali che generalmente presentano buone prestazioni di trazione con un buon rapporto resistenza-peso. Potenzialmente

combustibili, sensibili agli agenti biologici, all'umidità e agli attacchi e con una bassa resistenza alla compressione. Stringendo o comprimendo le fibre o incorporandole nella malta, questi svantaggi possono essere notevolmente ridotti. Possono offrire buone prestazioni strutturali e contribuire a ridurre i rischi in caso di terremoti e forti venti.

Durabilità: La durata degli elementi ottenuti da materiale vegetale è molto variabile e dipende dal tipo di pianta, dall'uso, dalla qualità dell'implementazione o dall'uso di trattamenti. Un tetto di palma dura da 3 a 10 anni, mentre un tetto di paglia di alta qualità e ben mantenuto ha una durata di oltre 30 anni.

Aspetti economici: Costi estremamente variabili. La materia prima è generalmente economica o addirittura gratuita. Il livello di lavorazione artigianale o industriale influisce sui costi in misura variabile.

Estetica e flessibilità d'uso: Le fibre vegetali hanno un alto potenziale estetico.

Offrono grande flessibilità d'uso ed espressioni architettoniche e artistiche illimitate.

APPLICAZIONI

Le funzioni che i materiali vegetali possono svolgere in edilizia sono molto varie:

- le fibre, le erbe o le foglie possono essere intrecciate, annodate o compresse per portare, rinforzare (irrobustire o fibrorinforzare), legare, isolare, filtrare (luce solare o aria), proteggere (coprire), decorare, ecc.
- offrire una varietà di prodotti per tetti, rivestimenti di pareti e soffitti, isolamento, malte e calcestruzzi, sottostrutture per intonaco e copertura in paglia, legature (corde), filtraggio della luce o ventilazione (pareti divisorie) o per l'uso in chimica edile (collanti, additivi, vernici, ecc.).

CONDIZIONI D'USO

L'uso di materiali vegetali coltivati non deve contribuire alla conversione di ecosistemi naturali, deforestazione o degrado delle foreste e non deve competere con le colture alimentari. L'estrazione di specie naturali deve essere oculata e deve rispettare le buone pratiche di taglio per

consentirne il rinnovo, mantenere il suolo e preservare gli ecosistemi che le ospitano, in particolare nelle aree umide. Esistono trattamenti chimici certificati (trattamenti ignifughi, insetticidi e fungicidi) ma il loro costo è elevato e il loro utilizzo può

generare rischi per la salute e l'ambiente limitando il riciclo.

4.6.1.5 Altri materiali

Il progetto prevede anche soluzioni che coinvolgono materiali riciclati, come frammenti di piastrelle rotte con colorazioni che virano dal rosso terra al bianco opaco, e la lolla del riso per impreziosire i pavimenti delle aree comuni. Tali materiali sono resistenti e relativamente economici e possono anche essere raccolto come materiale secondario.



Figura 4.44: Pavimento in piastrelle rotte. Fass School and Teachers' Residence, Toshiko Mori, Fass, Senegal, 2019 (fonte: dezeen, <https://www.dezeen.com/2017/01/25/toshiko-mori-compressed-earth-bamboo-thatch-cultural-centre-senegal-africa-architecture/>, ultima consultazione 18/08/2023)

4.6.2 Dal fango ai mattoni

4.6.2.1 Crescita sociale attraverso la pratica dell'autocostruzione

Le fasi di costruzione del progetto prevedono il coinvolgimento della comunità nell'ottica di un regime di autocostruzione comunitario. L'introduzione della partecipazione della comunità nel processo di progettazione dà luogo a una pratica efficace per soluzioni sostenibili, in cui i futuri utenti contribuiscono attivamente all'esecuzione materiale del progetto, mettendo in comune le risorse locali attraverso la forza lavoro e le tecnologie, con l'obiettivo di generare un senso di appartenenza al luogo. La scuola rappresenta un'opportunità per proporre sia un approccio architettonico che gestionale, creando un

ambiente di *empowerment* della società attraverso la realizzazione di un ambiente sano-sociale, con l'auspicio di innescare processi di sviluppo portati avanti dagli abitanti del villaggio.

4.6.2.2 La tecnica costruttiva del *cob*

Per le murature in terra cruda nel contesto senegalese si possono distinguere due tecniche edilizie fondamentali: la formazione stratificata e la formazione a blocchi. In particolare, il progetto prevede l'implementazione della tecnica del *cob*, proponendo un totale reimpiego delle terre di scavo, che verranno impiegate anche nel riempimento del basamento e per la realizzazione dei gradoni.

Il blocco principale dell'edificio è composto da terra argillosa o lateritica e talvolta da materiale derivato da tumuli di termite, spesso viene aggiunta erba tagliata come legante. Per ottenere elevati livelli di resistenza strutturale, sabbia o argilla possono essere aggiunte in proporzioni diverse. La miscela viene posizionata manualmente direttamente sulle fondamenta e le pareti sono disposte a strati verso l'alto, lasciando ad ogni strato un tempo opportuno di asciugatura. Tradizionalmente, le pareti finite vengono mantenute allo stato grezzo o coperte solo con uno strato di calce. Lo spessore medio della parete è di circa 60 cm, che è adatto per l'erezione di due piani con un adeguato isolamento e capacità termica²³². È sufficiente prevedere una gronda di circa 20 cm per proteggere le pareti dall'umidità. Tale tecnica oltre che essere ignifuga e in grado di garantire una

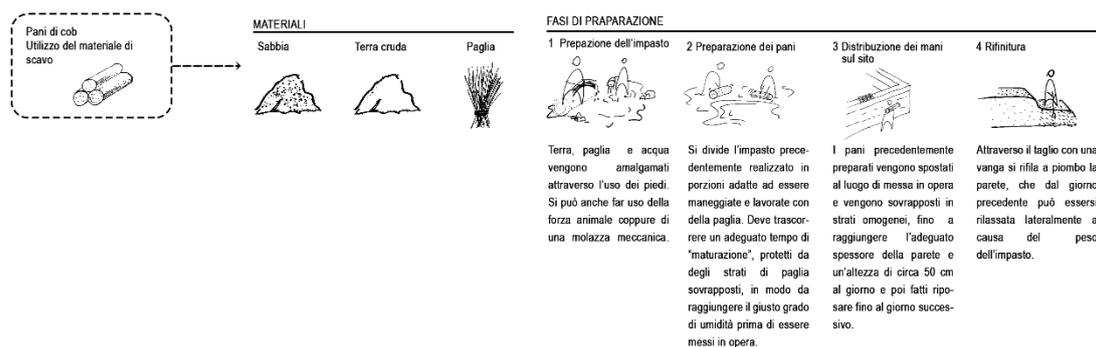


Figura 4.45: Materiali e principali fasi costruttive delle murature in cob.

²³² IDEM R, ZIELONKO-JUNG K., KARPINSKA A., Vernacular and low-tech technologies in humanitarian architecture on the example of Senegal, in «Architectus», 2022, n.73

resistenza sismica, è intrinsecamente non costosa in quanto non prevede l'utilizzo di macchinari e personale specializzato, ha inoltre un alto impatto architettonico e culturale, le murature sono modellate dalle mani delle donne che con maestria lasciano il loro segno sulle pareti. Per i locali destinati a doccia, bagno e cucina viene aggiunta una quantità di grafite al fine di rendere l'impasto impermeabile, mentre nelle pavimentazioni in terra battuta viene additivato carbone di legna e cemento.

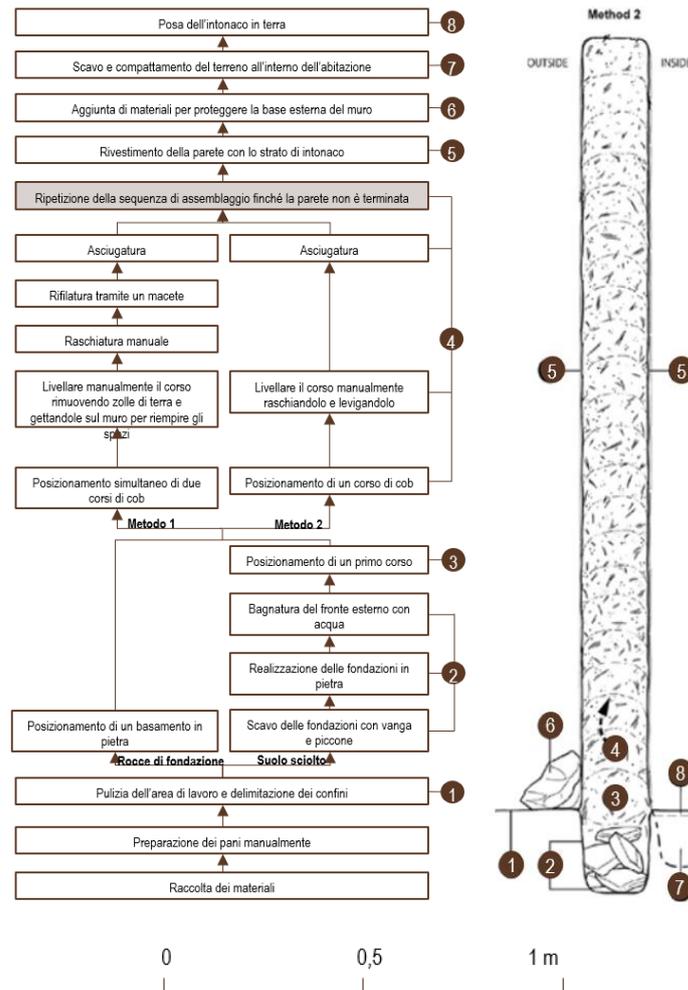


Figura 4.46: Fasi di preparazione delle murature in cob (fonte: PELMOINE THOMAS, MAYOR ANNE, *Vernacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choise*, in «Journal of material culture», Volume 25, Issue 3, 2020, p.9).

4.6.2.3 La tecnica costruttiva delle coperture in paglia

Le strutture di copertura presentano come ossatura portante legno di palissandro, specie autoctona e resistente agli attacchi delle termiti. Attualmente nel contesto senegalese sono diffuse due tipologie di copertura, la prima si rifà alle tecniche tradizionali a base di

paglia, la seconda invece prevede l'utilizzo di un materiale moderno, ossia una lamiera metallica ondulata. Quest'ultima è meno adatta alle condizioni climatiche del Senegal, ma è resistente e relativamente economica in quanto può anche essere ottenuta come materiale secondario. Inoltre, si ha un risparmio di tempo nell'applicazione di questa seconda tecnologia rispetto alle tecniche a base di paglia, la cui esecuzione è dispendiosa. Tuttavia, per il progetto si è preferito riferirsi alle tecniche tradizionali.

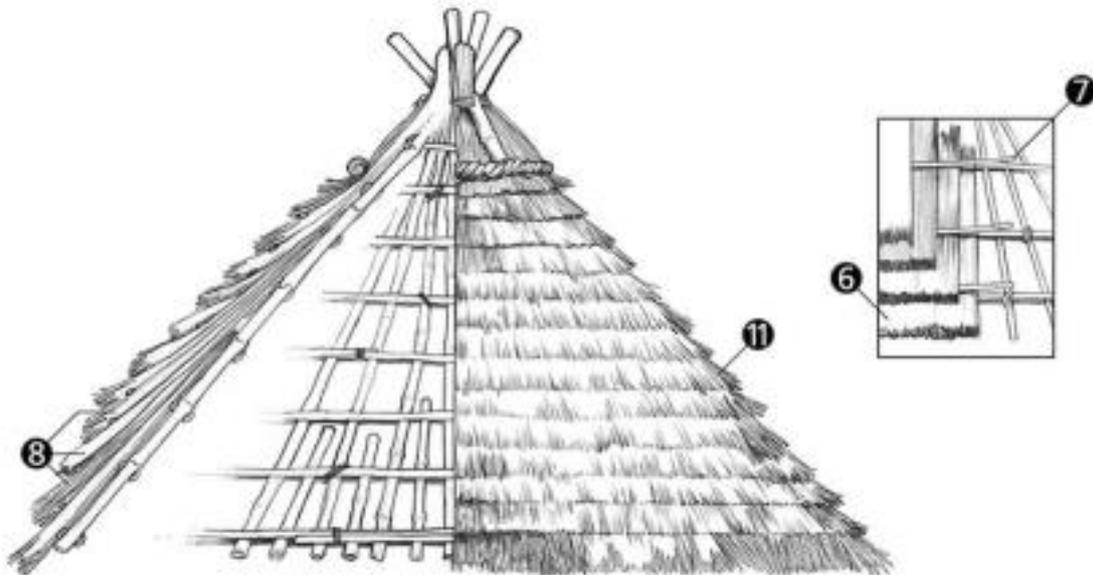


Figura 4.47: Fasi di realizzazione di un tetto in paglia. (fonte: PELMOINE THOMAS, MAYOR ANNE, *Vernacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choice*, in «Journal of material culture», Volume 25, Issue 3, 2020, p.15).

I tetti a capriata sono una caratteristica tipica dell'architettura vernacolare senegalese, i cui telai vengono realizzati mediante l'impiego di legno semplice di palissandro non sminuzzato di varie tipologie. Esistono tre metodi principali²³³ per coprire la struttura del tetto con le fibre vegetali. Il primo, e il più semplice, consiste nel distribuire uniformemente mazzi di paglia sulla struttura e fissarli con una corda a base di fibre vegetali (questa copertura dura fino a cinque anni), è ricorrente vedere costruzioni in cui la paglia è sostituita con foglie di palma. Il secondo metodo si basa sulla paglia intrecciata, che vengono poi disposte in strisce sovrapposte sulla struttura del tetto e fissate con steli di bambù (questa copertura ha una durata da tre a otto anni). Il terzo metodo, il più robusto

²³³ IDEM R, ZIELONKO-JUNG K., KARPINSKA A., Vernacular and low-tech technologies in humanitarian architecture on the example of Senegal, in «Architectus», 2022, n.73

e quello implementato all'interno del progetto, utilizza covoni di paglia legati con steli di bambù, disposti in strisce e poi sovrapposti in strati (questa copertura dura da sette a venti anni). Il progetto, quindi, prevede una copertura leggera caratterizzata da un'elevata pendenza (38°) per consentire un rapido defluire delle acque meteoriche. La paglia, essendo un materiale povero, ha bisogno di elevata cura, si ipotizza un rifacimento della copertura ogni 7 anni; pertanto, il progetto prevede un'area predisposta alla crescita della paglia necessaria alla manutenzione.

4.6.2.4 Il cantiere

La costruzione si articolerà in 5 macrofasi: la prima è inerente alla parte basamentale della costruzione e prevederà lo scavo per le fondazioni, la posa della vasca d'accumulo idrico sotterranea e i collegamenti per il rifornimento idrico della cucina e dei bagni e per l'irrigazione dell'orto, e la successiva realizzazione delle fondazioni in cemento misto a pietrame locale e del basamento in materiale di riempimento proveniente dalla precedente fase di scavo.

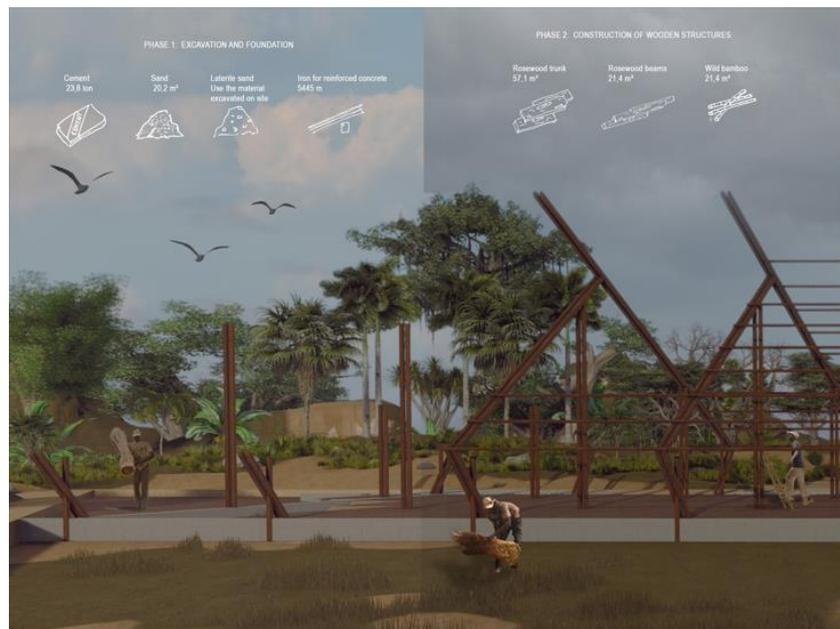


Figura 4.48: Fasi di costruzione. A destra la prima fase di scavo e il getto delle fondazioni, a sinistra la seconda, in cui si innalza la struttura lignea per la copertura.

In un terzo momento si procederà alla realizzazione delle murature in cob, impastate in loco, e all'erezione della struttura lignea, in cui la manodopera locale rivestirà un ruolo cruciale per la realizzazione dei giunti, mettendo a disposizione il proprio sapere pratico.



Figura 4.49: III fase: realizzazione delle pareti in terra cruda.

In seguito, si procederà alla posa del manto di copertura in paglia. Infine, si realizzeranno le opere di finitura, le partizioni mobili, gli infissi e gli arredi.

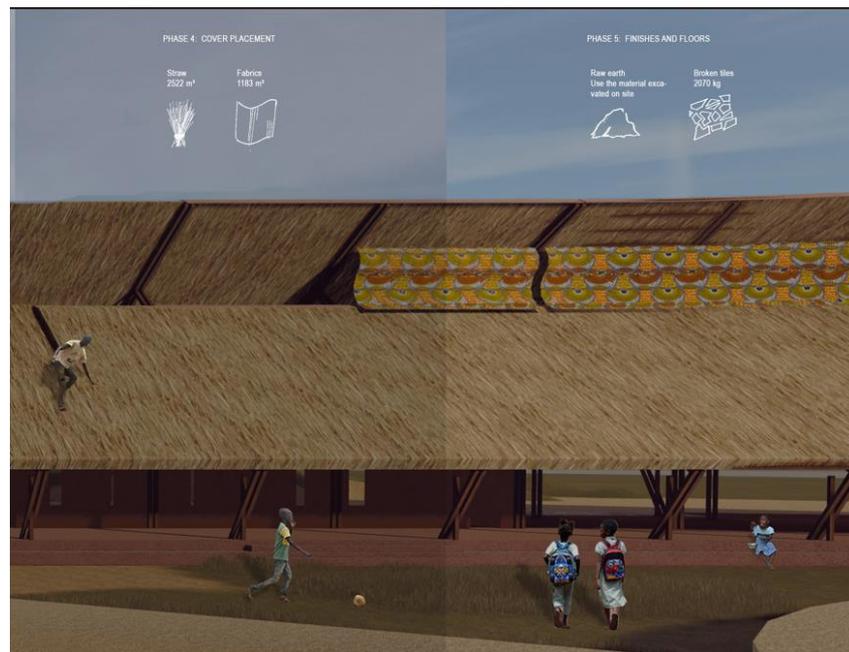


Figura 4.50: IV e V fase: realizzazione della copertura in paglia e fase di finitura.

4.7 Architettura bioclimatica nel caso studio

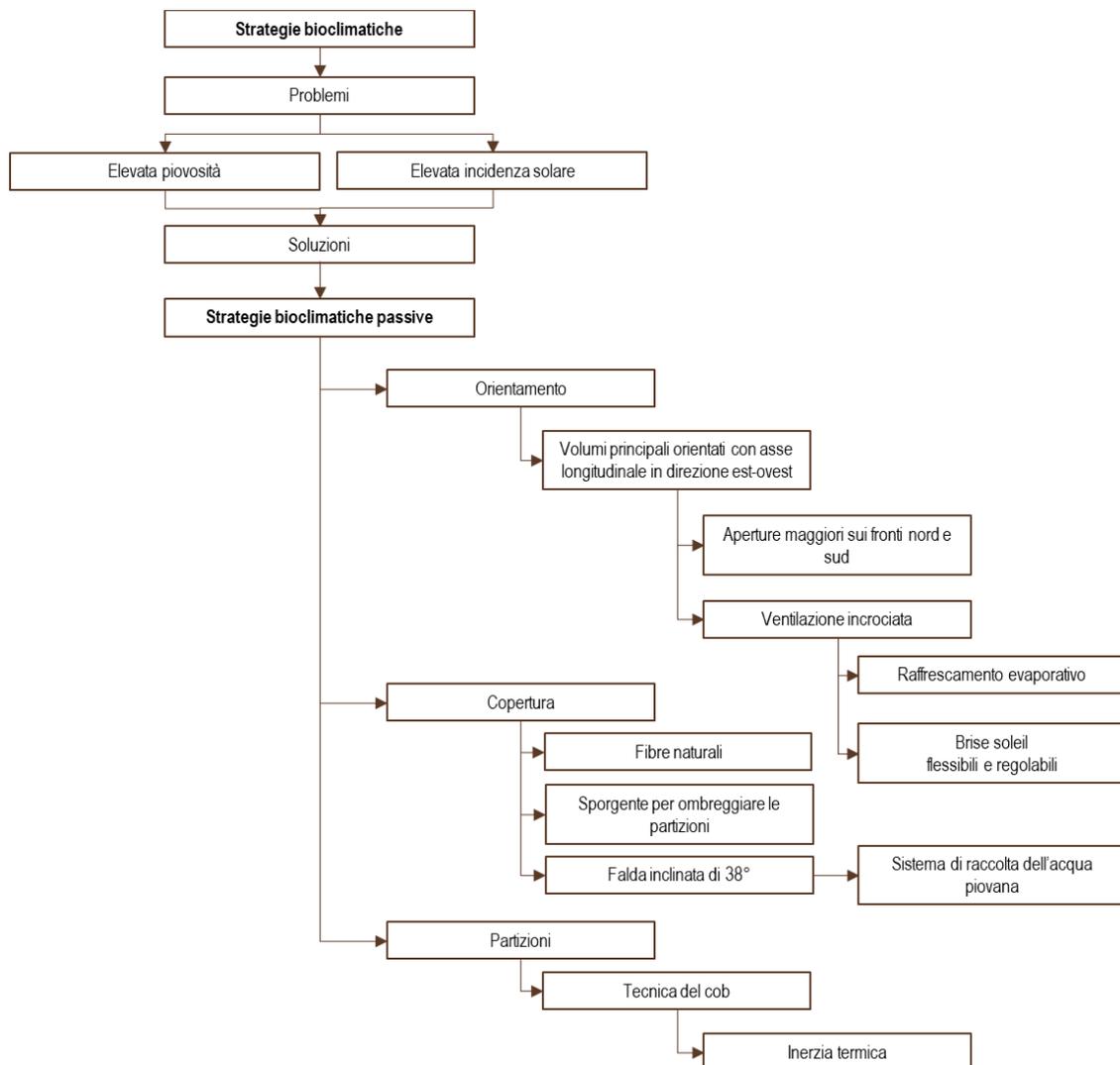


Figura 4.51: Tassonomia delle strategie bioclimatiche impiegate.

4.7.1 Architettura bioclimatica: applicazioni.

4.7.1.1 Tetto

In un'architettura bioclimatica è buona pratica l'uso di colori chiari, di vegetazione, coerentemente con le esigenze d'uso, oppure l'applicazione di uno strato isolante per un'efficace protezione dai raggi solari. Nel caso specifico si è deciso di realizzare una copertura leggera a doppia falda in paglia; l'elevata pendenza che raggiunge l'84% (equivalente a 38°), è essenziale in questa regione tropicale per drenare efficientemente e rapidamente l'acqua piovana derivante dalle forti precipitazioni periodiche e per

mantenere in buono stato la copertura in fibre vegetali. Inoltre, grazie all'elevato spessore offre proprietà isolanti alla struttura e ottime performance acustiche, in quanto materiale fonoassorbente è infatti in grado di mitigare il rumore d'impatto della pioggia sulla superficie e quello prodotto dalle curricolari attività scolastiche. La copertura è inoltre dotata di un'apertura all'intersezione delle falde ciò permette di sfruttare al meglio la ventilazione naturale e innescare l'effetto camino.

EFFETTO CAMINO e VENTILAZIONE NATURALE

L'effetto camino è un concetto applicato ai sistemi di riscaldamento e ventilazione passiva degli edifici. Questo fenomeno può essere descritto utilizzando i principi della termodinamica e della fluidodinamica e si basa principalmente su due fenomeni fisici: la differenza di densità dell'aria e la convezione termica. L'effetto camino si basa sul principio che l'aria calda tende a salire mentre l'aria fredda tende a scendere. Questo avviene perché l'aria calda è più leggera dell'aria fredda e quindi si alza. Quando un edificio è riscaldato, l'aria all'interno diventa più calda, diventando quindi più leggera rispetto all'aria esterna più fredda e la differenza di temperatura e densità tra l'aria interna ed esterna crea un flusso d'aria verticale all'interno dell'edificio, con l'aria calda che si sposta verso l'alto e l'aria fredda che si muove verso il basso.

4.7.1.2 Pareti

La progettazione delle pareti seguirà la stessa logica concettuale dei tetti. Per climi caldi e molto umidi, la differenza di temperatura tra interno e esterno non è molto significativa, l'isolamento è utile come complemento alla protezione solare. Non si è dunque previsto alcun mezzo di isolamento delle pareti, se non la massa della parete stessa, e anche la pavimentazione a livello del suolo è sprovvista di elementi per la ventilazione. In particolar modo, si prevede l'impiego di un muro monolitico, realizzato con la tecnica del *Cob* e il rialzo della struttura mediante un basamento in modo da staccare fisicamente dal terreno la scuola.

4.7.1.3 Aperture

Per gli edifici bioclimatici, l'orientamento e la posizione delle finestre e delle aperture devono essere scelti in modo da limitare gli apporti di calore dovuti alla radiazione solare

massimizzando al contempo gli apporti di ventilazione e illuminazione naturale. Si è trattato quindi di definire una strategia di protezione solare che include, a seconda delle orientazioni e degli usi dei locali, protezioni vegetali e architettoniche, protezioni fisse e/o mobili, esterne e/o interne. Inoltre, si sono considerate dinamiche legate al bisogno di privacy degli utenti, della vista verso l'esterno e di altri parametri d'uso.

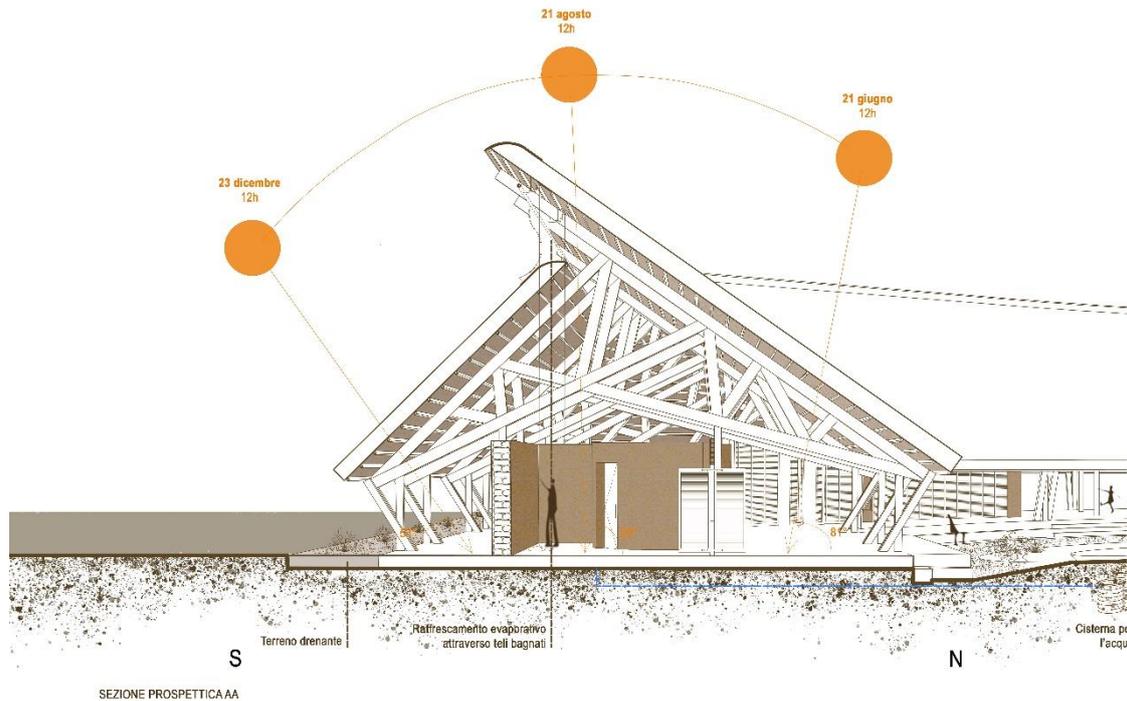


Figura 4.52: Andamento del sole nel laboratorio alimentare disposto lungo l'asse est-ovest.

In particolare, per quanto riguarda il modulo aule, oltre ai concetti legati all'orientamento discussi nel paragrafo precedente, si sono studiate aperture simmetriche disposte sulle facciate nord-est e sud-ovest in modo da massimizzare la ventilazione naturale incrociata e al contempo di ottimizzare l'illuminazione naturale durante il giorno riducendo l'abbagliamento, protette da parasole verticali esterni realizzati in canne di bambù che consentono, quando chiusi di schermare l'edificio e quando aperti di trasformarsi in panche per il riposo degli studenti. Oltre a ciò, è stata predisposta una vegetazione autoctona in modo da limitare l'ingresso delle polveri trasportate dal vento. La zona polifunzionale segue gli stessi principi ma ha inoltre la possibilità di aprirsi completamente verso l'esterno attraverso partizioni mobili che consentono di adattarsi alla traiettoria solare sui lati sud e nord meno esposti.

RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO

Il raffrescamento evaporativo è un processo che utilizza l'evaporazione dell'acqua per abbassare la temperatura dell'aria circostante. Il raffrescamento evaporativo si basa sul principio che l'acqua richiede energia per evaporare, quando l'acqua evapora, assorbe calore dall'ambiente circostante, abbassando così la temperatura dell'aria. Tale tecnica è stata applicata al progetto in modo indiretto e comporta l'uso di teli posti all'intersezione delle falde, che vengono opportunamente bagnati manualmente attraverso un sistema di carrucole e sfruttando

l'acqua che, per motivi sanitari, non può essere purificata e utilizzata per altri usi. In questo modo, l'aria entra nella stanza e si riscalda, seguendo il tiraggio dell'effetto camino l'aria calda incontra la superficie fredda e bagnata dei teli e una parte li attraverserà mentre l'altra raffreddata darà luogo a un ciclo convettivo.

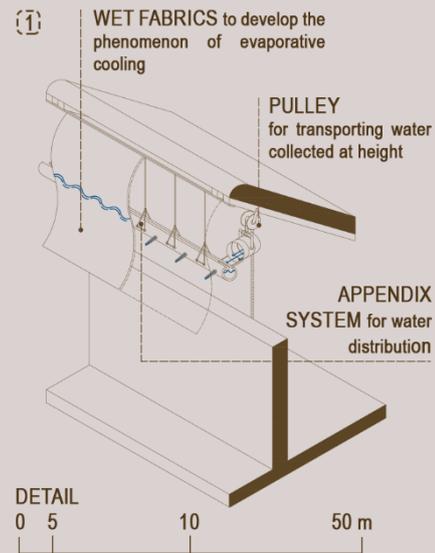


Figura 4.53: Sfruttamento del processo di raffrescamento evaporativo.

4.7.1.4 Vegetazione negli spazi esterni e dintorni

L'inverdimento dei dintorni dell'edificio ha l'obiettivo di fornire protezione solare alle pareti, soprattutto quelle a est e a ovest maggiormente esposte, mediante ombreggiature e fornire una protezione contro la polvere trasportata dall'Harmattan, oltre che realizzare oasi d'ombra per gli utenti. Queste funzioni però devono essere fornite senza andare ad inficiare sulla circolazione dell'aria per la ventilazione naturale. La protezione solare è ottenuta mediante vegetazione ad alto fusto (mango, banana). La strategia di *greening* intorno a un edificio deriva da riflessioni non solo legate al *comfort* degli spazi esterni e interni, ma anche sulla gestione delle risorse ambientali, acqua, biodiversità del sito e altri impatti sul paesaggio e sul clima.

4.7.1.5 Spazi intermedi

L'approccio bioclimatico è essenziale non solo per l'uso qualitativo di queste zone e la loro appropriazione da parte degli utenti, ma anche per l'impatto che il loro trattamento avrà sui locali adiacenti. L'oculata disposizione di tali spazi tra le aule, non generatori di

calore, consente di avere delle aree che fungono da tampone termico e acustico nelle zone dell'edificio più sensibili al surriscaldamento.

4.7.1.6 Ventilazione

La ventilazione verrà impiegata considerando i venti dominanti, come riportato nei paragrafi precedenti.

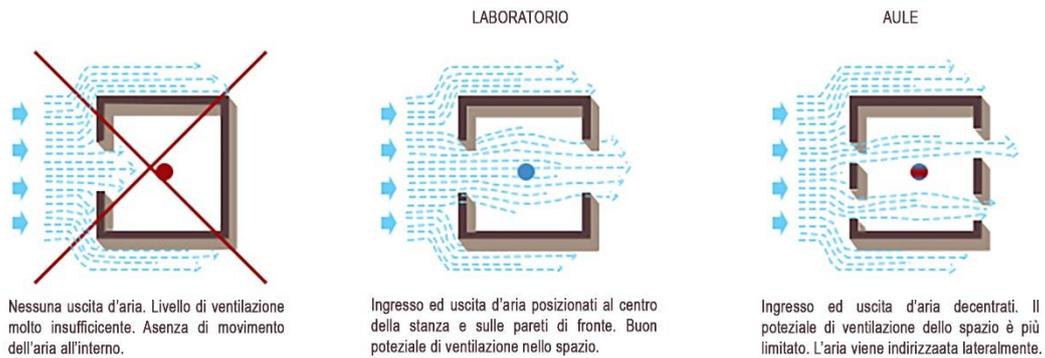


Figura 4.54: Studio della ventilazione naturale in pianta.

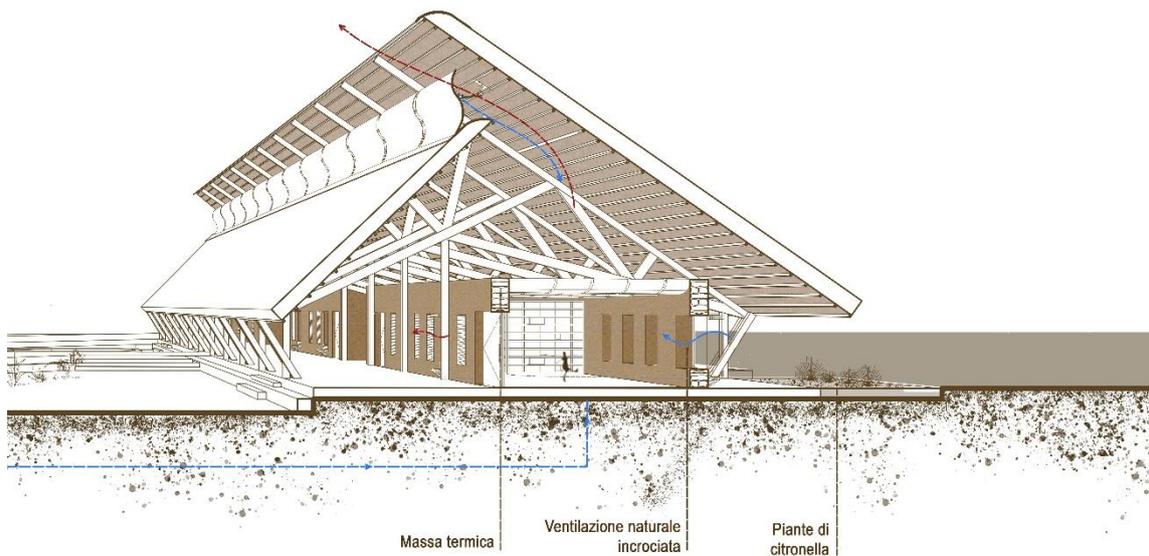


Figura 4.55: Studio della ventilazione naturale in sezione.

4.7.2 Altri comfort sensoriali

Come riportato nel paragrafo 3.3. il comfort complessivo percepito dagli utenti è la sintesi di vari comfort fisiologici che in sede di progetto sono stati oggetto d'indagine. In particolare, oltre al comfort termoigrometrico di cui è precedentemente discusso, sono stati indagati il comfort visivo, acustico e olfattivo.

La ricerca del comfort visivo è avvenuta indagando, oltre che sulle visuali anche in relazione alle diverse attività svolte negli spazi. L'uso della luce naturale è stato massimizzato introducendo ampie finestre orientate a nord-est e sud-ovest per quanto riguarda il modulo aule, in tal modo si sono potuti coniugare gli aspetti legati alla necessità di una buona ventilazione naturale con quelli illuminotecnici, mentre attraverso l'impiego di ampie partizioni apribili per il restante delle funzioni. L'illuminazione delle aule può essere inoltre regolata attraverso l'apertura e la chiusura di brise soleil in bambù in modo di adattarsi a qualsiasi esigenza. La luce penetra inoltre in modo filtrato e diffuso dall'apertura tra le falde, consentendo di illuminare ulteriormente gli ambienti senza rischi di abbagliamento. Gli spazi comuni come la mensa e i laboratori sono orientati secondo l'asse est-ovest in modo da garantire un'illuminazione continua e accogliente che favorisce l'interazione.

Il comfort acustico in un ambiente scolastico è fondamentale per creare un ambiente di apprendimento efficace. Il rumore eccessivo o la cattiva acustica possono infatti interferire con la comunicazione, la concentrazione e il benessere degli studenti e degli insegnanti. Per limitare la trasmissione del rumore tra le aule si sono sfruttate diverse tecniche, dall'utilizzo di spazi intermedi, all'inserimento di tessuti come copertura, alla progettazione di partizioni mobili in cui sono collocati moduli cubici in paglia che funzionano da elementi fonoassorbenti. Altro aspetto che si è considerato è l'orientamento degli arredi e dell'attività d'istruzione frontale, posizionando le cattedre agli estremi opposti del modulo aule in modo da ridurre le interferenze. Gli spazi destinati all'apprendimento sono stati inoltre posizionati lungo un solo braccio della scuola, lontano da fonti di rumore come la mensa.

Il *comfort* olfattivo è stato ricercato per mezzo di piante aromatiche, quali la citronella, pianta erbacea perenne e sempreverde, posizionata lungo il perimetro della scuola e

nell'agorà, il cui scopo è anche limitare la diffusione di malattie quali la malaria il cui vettore principale sono le zanzare.

Il *layout*, i flussi, la ventilazione, il *wayfinding*, e i materiali, tra gli altri, sono stati concepiti per ridurre il rischio di infezione, contribuendo positivamente al raggiungimento dell'obiettivo 3.3²³⁴ degli *SDGs*.

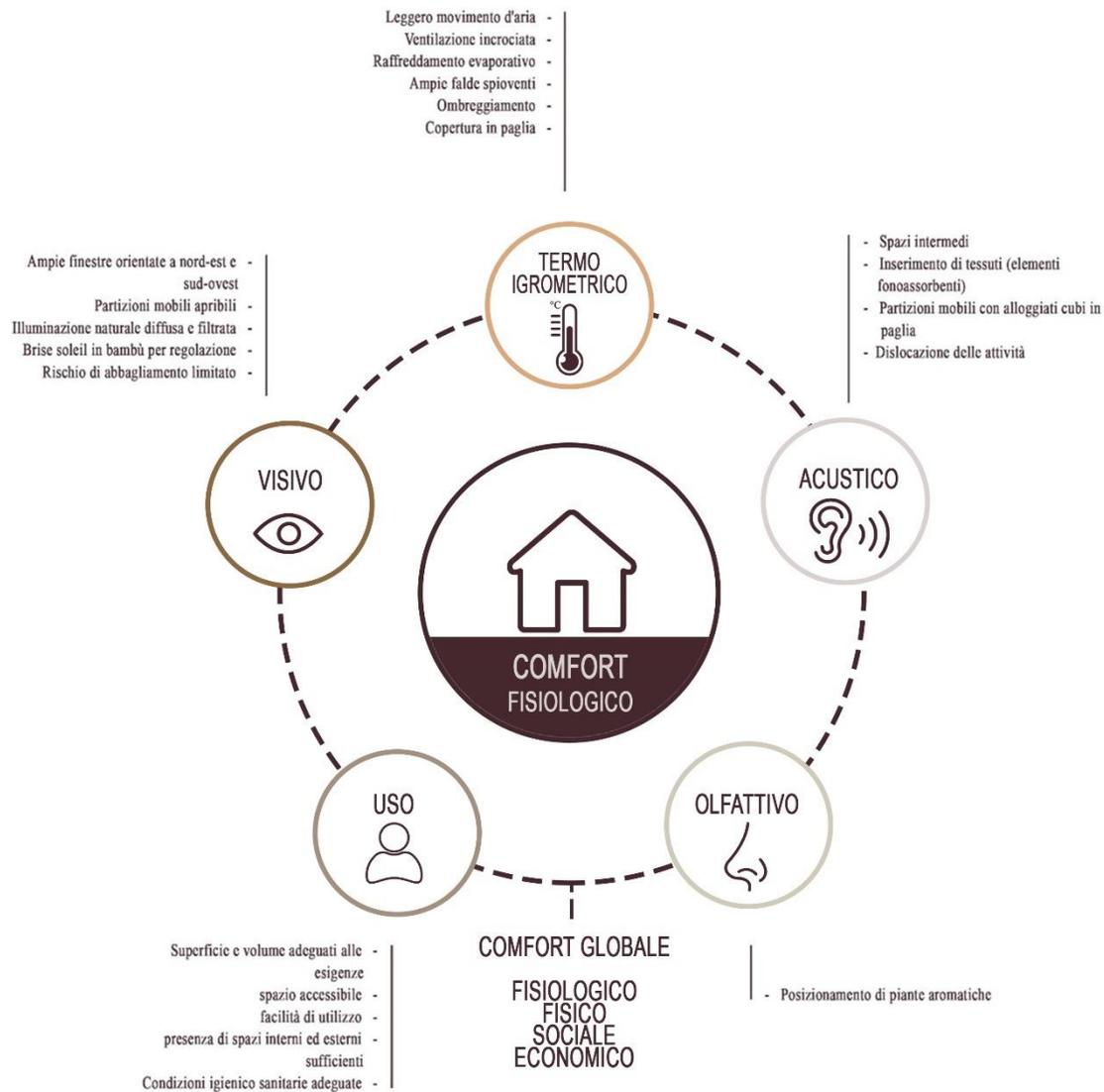


Figura 4.56: Il comfort globale.

²³⁴ L'obiettivo si propone di porre fine alle epidemie di AIDS, tubercolosi, malaria e malattie tropicali trascurate; combattere l'epatite, le malattie di origine idrica e le altre malattie trasmissibili, entro il 2030.

4.8 Valutazione economica

In fase di definizione del progetto è stata eseguita una valutazione economica preliminare, in quanto era necessario valutare la fattibilità economica del progetto, poiché il budget disponibile era di 70 000€. I prezzi dei materiali presi in considerazione fanno riferimento alla tabella prezzi fornita in fase concorsuale da Kaira Looro Architecture Competition.

Materials	Unit & average sizes	Using	Prices (€)
Cement Brick	1 brick 20 x 30 x 15cm	Structure	0,8
Laterite Brick	1 brick 20 x 30 x 15cm	Structure	0,9
Clay Brick	1 brick 20 x 30 x 15cm	Structure	0,4
Stabilized Clay Brick	1 brick 20 x 30 x 15cm	Structure	0,7
Cement 32,5	1 ton	Structure	120
White wood plank	1 (3mtx25cmx3cm)	Roofing and carpentry	9,3
Bamboo Vulgaris	1 bamboo (diameter 15/20 cm, length 6 mt)	Furniture	3,8
River sand	15 m ³	Concrete	35
Rosewood box	1m ³ (measure less than 50cm and 4 mt)	Furniture and carpentry	545
Rosewood trunk	1 trunk max length 5mt, diameter 50/80cm	Furniture and carpentry	234
Rosewood beam	5cm x 8cm x 4mt	Carpentry	8,5
Rosewood plank	4cm x 20cm x 4 mt	Furniture	11,45
Iron tube	1 pipe (6mt x 2cm)	Building	13
Plastic bags	1000 (1mtx0,5mtx0,2mt)	Food storage	306
Laterite earth	3 ton		109,5
Laterite stone (shapeless stones)	3 ton	Infrastructure	154
Shells from river	50kg	Decoration and aggregate	15
Sheet metal corrugated	1 (2mt x 0,8mt)	Roof	4,8
Red clay	1 ton		85
Iron for reinforced concrete	9 elements (12mm) 12 elements (8mm) 20 elements (6mm)	Reinforcement of concrete	70
Straw	A group of straw (length 1.5m - diameter 50cm)	Roof	0,5
Wild bamboo	1 bamboo (diameter 2/4 cm - length 5 mt)	Fence production	0,5
Local bamboo fence	1,5mt x 2,5mt	Fence	5
Barbed wire	1 roll of 80 meters	Fence	10
Iron profile IPE	15cm x 1cm x 6 meters	Building	114
Iron profile IPE	6cm x 0.6cm x 6 meters	Building	38
Fabric	1 square metres	Clothes	1,5
Tires	1 tires (different sizes because they are discarded)	Fence and furniture	0,5
Tiles	1m ²	Floor	10
Broken tiles	25kg	Floor and decorations	40

Figura 4.57: Prezzi dei materiali nell’Africa sub-sahariana (fonte: KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022).

Di seguito si riporta il calcolo metrico estimativo dell’opera, il cui costo finale non comprensivo di attrezzatura, manodopera, impianti e arredi è di 69.487,46 €.

Materiali	unità	Quantità espressa in:			prezzo al pezzo			scopo	Note	Quantità necessaria				Prezzo tot		
		[m]	[mq]	[mc]	[€]	[€/m]	[€/mq]			[€/mc]	lunghezza [m]	larg./[mq]	altezza/[mc]		N° Pezzi/peso	Quantità totale
FONDAZIONI + BASAMENTO																
Cement 32,5	1 ton				120			fondazioni pilastri	stimato a 0,3 ton a mc di ca	13,97	0,4	0,3	29	48,6156		
								fondazioni cordolo perimetrale		280,336	0,3	0,2		16,82016		
								fondazione parete di chiusura		24	0,3	0,3		2,16		
								ca. vasca liquami		14,3	0,1	0,38	2	1,0868		
								platea vasca liquami		14	1,97	0,1	2	5,516		
					[€/ton]											
					120				0,3					22,259568		
														2.671,15 €		
River sand	15 m³			15	35			fondazioni pilastri	stimato a 0,3 mc a mc di ca	13,97	0,3	0,3	29	36,4617		
								fondazioni cordolo perimetrale		280,336	0,3	0,2		16,82016		
								fondazione parete di chiusura		24	0,3	0,3		2,16		
								ca. vasca liquami		14,3	0,1	0,38	2	1,0868		
								platea vasca liquami		14	1,97	0,1	2	5,516		
										2,33333				0,3		
														18,613398		
														43,43 €		
Roccia di Laterite	3 ton				154			proveniente da scavo						-3000,0696		
									stimato a 0,6 mc a mc di ca, peso specifico 2,2 -> 1,32 ton in 1 mc di ca					62,04466		
								fondazioni				1,32	81,888512			
								riempimento				1395,338	1395,33814			
					[€/ton]									1477,237091		
										51,3333				0		
														0,00 €		
Ferri da armatura	12 m 8 (12 mm) o 12 (8mm) o 20 (6mm)				70	0,48611111		Ferri longitudinali 6Ø8 ogni trave di fondazione		13,96			174	2429,04		
						0,48611111		Ferri longitudinali 4Ø8 cordolino di fondazione		280,336			4	1121,344		
						0,291666667		Staffe Ø6 passo 30 cm		1,4			1353,333	1894,66667		
														552,61 €		
														2.278,49 €		
														TOT		
														4.993,07 €		
STRUTTURE VERTICALI																
Blocchi terra	1 (20 X 30 X 15)			0,009	0,4			corpo aule		46,59	0,5	3,58	3	250,1883		
								detrazione aperture					3	-49,08		
								bagno piccolo		41,4	0,5	3,58		74,106		
								detrazione aperture		-1,1	0,5	3,58	2	-3,938		
								bagno grande		24,5	3,58			87,71		
								detrazione aperture		-1,1	0,5	3,58	2	-3,938		
								area lavabi		8,8	0,5	1,2		5,28		
								deposito agricolo				14,58		14,58		
								detrazione aperture		-1,5	0,5	2,1		-1,575		
								sala insegnanti				53,025		53,025		
								detrazione aperture		-2	1,5	0,5		-1,5		
								mensa				82,4474		82,4474		
								detrazione aperture		-0,9	2,1	0,5	2	-1,89		
								detrazione terre di scavo				-1522,83251		-1522,832509		
														505,4157		
														-33.837,688 €		
										44,4444				0		
														0,00 €		
Stabilized Clay Bricks	1 brick 20x30x15 cm			0,009	0,7			Parete di chiusura aule		19,8	0,3	4,86		28,8684		
														77,778		
														28,8684		
														2.245,32 €		
														TOT		
														2.245,32 €		

STRUTTURE LIGNEE											
Tronco palissandro	1 (max 5 m e Ø 50-80)		2,512	234							
					Pilastri 20x20 cm	0,2	0,2	4,8	56	10,752	
					Pilastri 15x15 cm	0,15	0,15	3,22	56	4,0572	
					Pilastri 10x10 cm	0,15	0,15	9,8907	56	12,462282	
					Travi 15x30 cm	0,15	0,3	54,058	56	136,22616	
					Listelli reggi tessuti su corpo aule	6	0,05	0,08	56	1,344	
					Listelli reggi paglia	16	0,05	0,08	56	3,584	
					Travetti collegamento 5x8 cm	281,7	0,05	0,08	19	21,4092	
										93,1529	189,834842
											44.421,35 €
Travi palissandro	5 X 8 X 4 m		0,016	8,5							????
										531,25	0,00 €
											189,834842
											44.421,35 €
COPERTURA											
Paglia	1,5 m X Ø 50 cm		0,09375	0,5						272,7	22,39
										0,4	2442,3012
											5,33333
											2442,3012
											13.025,61 €
Tessuti	1 m2	1	1,5		Tessuti				1183,83		1183,83
											1,5
											1183,83
											1,775,75 €
											14.801,35 €
PAVIMENTAZIONI											
Piastrelle rotte	25 kg		40		Pavimentazione spazi di aperti tra i pilastri	Stima 11,5 kg al mq			133	11,5	1529,5
											(€/kg)
											1,6
											1529,5
											2.447,20 €
Lolla di riso	1 kg		2,9		Pavimentazione zona pubblica tra i pilastri in colorazione chiara	Costo 0, scarto di lavorazioni, si stimano 0,1 kg a mq			672	0,1	67,2
											(kg)
											2,9
											67,2
											194,88 €
Cemento 32,5	1 ton		120		Massetto pavimento zona public	kg/mc			2093	0,05	0,00144
											0,150696
											(€/ton)
											120
											0,150696
											120,15 €
Terra cruda	3 ton		154		Pavimentazione zona aule	stima 2000 kg/mc			2174	0,05	108,7
					Terra proveniente da scavo						-1017,41681
											-1017,416809
											-908,72 €
											(kg/ton)
											51,3333
											0
											0,00 €
											2.762,23 €
PARTIZIONI E SERRAMENTI											
Recinzione in bamboo	1,5 m X 2,5 m	3,75	5		Partizione bagni				45,24	2,5	113,1
											1,33333333
											113,1
											150,80 €
Bamboo wild	Ø 2/4 cm X 6 m	0,7536	0,5		Brise soleil Ø4x1m e porte Serramenti zona pubblica				50,4	85,1	0,05
											4,255
											9,0216
											0,66348
											13,2766
											8,81 €
											159,61 €
ESTERNI											
Blocco di laterite	1 (20 X 30 X 15)	0,009	0,9		Gradini				106,4	0,25	0,17
											4,522
											100
											4,522
											104,52 €
Roccia di Laterite	3 ton	1363,6364	154		Gradini sedute	peso specifico 2,2 - kg/mc			321,5	0,5	0,34
					Pavimentazione drenante				569	0,32	182,08
					Roccia proveniente da scavo						-908,72 €
											-908,72 €
											236,735
											0,11293333
											0
											0,00 €
											104,52 €
TOTALE											
											69.487,46 €

Figura 4.58: Valutazione economica preliminare.

Riassumendo:

Tabella 4.1: Tabella riassuntiva del computo metrico di progetto.

Materiali	Quantità	Costo totale
Cemento 32,5	23,9 ton	2 920,32
Sabbia di fiume	20,18 mc	47,11
Laterite in pietra	1 484,1 mc	0
Acciaio per calcestruzzo armato Lunghezza 12 mt – Ø8	3 540 m	1 725,88
Acciaio per calcestruzzo armato Lunghezza 12 mt – Ø6	1 894,6 m	552,61
Mattoni in argilla	505,4 ton	0
Mattoni in argilla stabilizzata	28,8 mc	2 245,61
Tronchi di palissandro	189 mc	44,42
Paglia	2442,30 mc	13 025,49
Tessuti	1183,8 mq	1 775,75
Piastrelle rotte	1529,5 kg	2447,20
Lolla di riso	67,2 kg	194,88
Terra cruda	108,7	0
Partizioni in bambù	113,1	150,80
Bambù selvatico	42,5 mc	28,26
Blocchi in laterite	4,5 mc	104,52
TOTALE		69.487,46 €

Capitolo 5 Organizzazione strutturale

5.1 Quadro normativo di riferimento

In seguito alle ricerche effettuate si è riscontrata l'impossibilità di ottenere dati riguardanti le norme costruttive vigenti in Senegal. Per tale motivo si è deciso di effettuare lo studio e le verifiche necessarie sulla struttura mediante le normative presenti in Italia e nell'ambito Europeo.

Di seguito viene presentato un elenco delle principali normative visionate:

- Documento CNR DT 206/2007 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno;
- Norma Tecnica delle Costruzioni 2008;
- Eurocodice 5 - 2009 Progettazione delle Strutture di legno: UNI EN 1995-1-1 e UNI EN 1995-2;
- NTC 2018;
- Documento CNR DT 206/2018 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno.

5.2 Caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati

5.2.1 Legno

Il legno possiede una struttura porosa, non omogenea e anisotropa (in riferimento alla direzione della fibratura) composta dalla sostanza della membrana cellulare e dalle cavità cellulari. Il legno delle conifere geneticamente più vecchio presenta una struttura più semplice rispetto al legno più giovane delle latifoglie; esso è prevalentemente composto da un solo tipo di cellula (cellula tracheide), la quale scorre nel senso della lunghezza del tronco e svolge funzioni di conduzione dell'acqua e delle sostanze nutritive, nonché di fornire sostegno meccanico²³⁵. Altro elemento importante per le proprietà meccaniche del legno è la direzione della fibratura e la disposizione degli anelli di accrescimento, ovvero la sezione del tronco stesso.

²³⁵ NATTERER JULIUS, HERZOG THOMAS, VOLZ MICHAEL, *Atlante del Legno*, Utet, Milano 2013, p. 34.



Figura 5.1: Sezione e nomenclatura del tronco, a sinistra la struttura cellulare di una conifera e a destra quella di una latifoglia (fonte: NATTERER JULIUS, HERZOG THOMAS, VOLZ MICHAEL, *Atlante del Legno*, Utet, Milano 2013, p.34).

L'anisotropia delle sue proprietà si traduce in una marcata differenza dei valori di resistenza e rigidezza in funzione della direzione della fibratura. Il legno risulta più rigido e più resistente per sollecitazioni orientate lungo la direzione dell'asse delle fibre, al contrario è meno efficiente per sollecitazioni ortogonali a quella direzione. Per carichi orientati lungo la direzione delle fibre, il materiale è molto più debole in compressione, a causa di fenomeni di imbozzamento e collasso locale, con valori a rottura pari a circa la metà di quelli di trazione. Inoltre, il comportamento anelastico è particolarmente evidente negli stati di compressione piuttosto che per sollecitazioni di trazioni, per le quali si osservano rotture elasto-fragili.

Il comportamento riportato in figura 5.2 fa riferimento ad un materiale privo di difetti, quest'ultimi possono far variare in modo considerevole la resistenza dell'elemento ligneo.

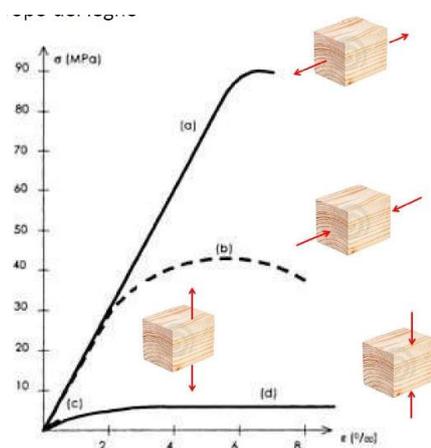


Figura 5.2: Curve tipiche tensione-deformazione per legno netto di conifera, per tensioni di trazione (a) compressione (b), parallele alla direzione delle fibre e per trazione (c), compressione (d), ortogonali alla direzione delle fibre (fonte: FERRACUTI BARBARA, *La progettazione delle strutture in legno nella nuova NTC 2018*, disponibile su <https://ording.roma.it/wp-content/uploads/2018/04/Ferracuti-16-4-18-NTC-Legno.pdf>, ultima consultazione 23/08/2023).

Le proprietà meccaniche di resistenza e deformabilità possono essere influenzate dall'umidità, quindi, dalle condizioni ambientali in cui sono inseriti tali elementi, e dalla

durata di applicazione del carico. In figura 5.3 è riportato tale effetto per i diversi valori di resistenza.

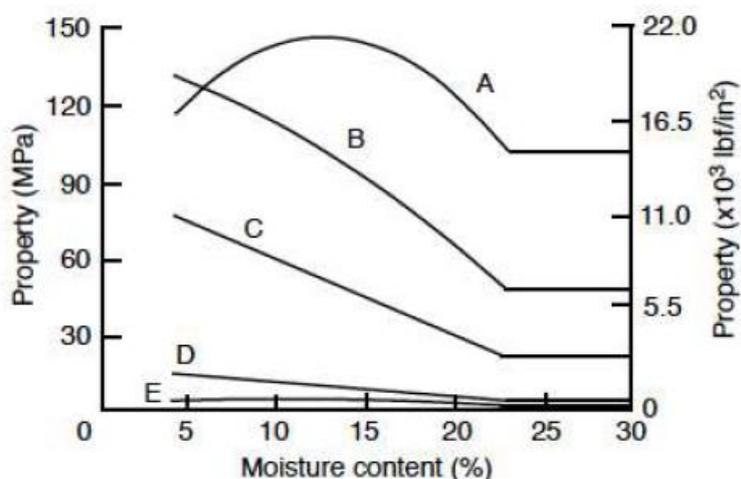


Figura 5.3: Influenza dell'umidità su alcune proprietà meccaniche, ad esempio, per la resistenza a trazione parallela alla fibratura (a), resistenza a flessione MoR (b), resistenza a compressione parallela alla fibratura (c), resistenza a compressione ortogonale alla fibratura (d), resistenza a trazione ortogonale alla fibratura (e) (fonte: FERRACUTI BARBARA, *La progettazione delle strutture in legno nella nuova NTC 2018*, disponibile su <https://ording.roma.it/wp-content/uploads/2018/04/Ferracuti-16-4-18-NTC-Legno.pdf>, ultima consultazione 23/08/2023).

La durata del carico ha un effetto rilevante sulla resistenza del legno, e questo è in diretta relazione con il comportamento reologico del materiale. Le attuali normative tengono conto dell'effetto combinato di questi due fattori attraverso alcuni coefficienti riduttivi dei valori di resistenza: K_{mod} e K_{def} . Il comportamento reologico del legno sotto carico non influenza solamente le caratteristiche di resistenza, ma anche il comportamento deformativo della struttura.

In figura 5.4 vengono riportati i profili prestazionali per il legno massiccio di latifolia, in accordo alla normativa europea EN 338.

Valori caratteristici di resistenza e modulo elastico		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistenze (MPa)							
flessione	$f_{m,0,k}$	30	35	40	50	60	70
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
taglio	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Modulo elastico (GPa)							
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
modulo di taglio medio	G_{mean}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Massa volumica (kg/m³)							
massa volumica caratteristica	ρ_k	530	560	590	650	700	900
massa volumica media	ρ_m	640	670	700	780	840	1080

Figura 5.4: Classi di resistenza secondo EN 338:2002, per legno di latifoglie (pioppo escluso) (fonte: promo legno, < <https://risponde.promolegno.com/domanda/data/quali-sono-le-possibili-classi-di-resistenza-da-assegnare-al-legno-di-rovere/index.html> , ultima consultazione: 30/08/2023).

Specie legnosa	Categoria UNI 11119:2004	Classe UNI EN 338:2004
Abete bianco	I	C24
	II	C22
	III	C16
Abete rosso	I	C24
	II	C20
	III	C16
Larice	I	C30
	II	C24
	III	C18
Pino	I	C27
	II	C22
	III	C18
Pioppo	I	C24
	II	C18
	III	C14
Quercia	I	D40
	II e III	D30
Castagno	I	D40
	II e III	D30

Figura 5.5 Nomenclatura delle diverse essenze nelle normative.

La scelta del materiale dei sistemi di travi principali e secondari è stata effettuata in accordo alla disponibilità dei legnami strutturali locali; pertanto, si è scelto l'utilizzo di legno di grezzo Palissandro a sezione squadrata, le cui caratteristiche sono riportate nelle tabelle 5.1, 5.2 e 5.3, in tal modo è stato possibile concordare le luci di progetto e il sistema portante ottimale.

Tabella 5.1: Valori e proprietà fisiche.

Densità [g/cm ³]		Umidità del legno di stabilizzazio ne u_{gl} in % con l'umidità relativa dell'aria conforme a DIN 68.100		Ritiro differenziale in % a seconda della variazione di umidità del legno		Stabilità dimensio ne e di forma	Conduttiv ità termica λ [W/mK]	Velocità di adattame nto dell'umidi tà al legno
r_0 (essicat o in forno)	r_{15} (stagiona to all'apert o)	$\varphi =$ 37%	$\varphi =$ 83%	Radiale	Tangenzi ale			
0,80...0, 85	0,86...0, 92	-	-	0,23...0, 25	0,35...0,3 9	media	-	molto ridotta

Tabella 5.2: Resistenza alla rottura.

	Resistenze alla rottura [N/mm ²]				Modulo elastico. Prova a flessione. [N/mm ²]	
	Flessione σ_B (essiccato in forno)	Trazione $\sigma_{z }$	Pressione $\sigma_{D }$	Taglio T_a	Radiale	Tangenziale
Palissandro	130...138	-	65...69	13,0...14,5	9000...12900	130...138

Tabella 5.3: Altre caratteristiche del legno di palissandro.

	Colore del legno		Caratteristiche macroscopiche-anatomiche		Resistenza del durame		Applicazioni	Area di diffusione
	Alburno	Legname	Disposizione e dimensione dei pori, canali resiniferi ...	Fibratura, struttura, aspetto	ai funghi	agli insetti		
Palissandro	Bianco	Bruno-giallo, cioccolato o viola con venature e quasi nere	Sparsi, grandi	Zone di accrescimento poco marcate; a fibratura abbastanza dritta; fortemente striato o fiammato; molto decorativo	molto elevata	molto elevata (resistente alle termiti)	Legno per arredamento, soprattutto impiallacciato (unito a smusso) legno speciale per manopole, dorsi di spazzole, oggetti torniti, strumenti a fiato	Brasile sudorientale

5.3 Azioni e carichi di progetto

Le normative di riferimento per il calcolo e la verifica degli elementi strutturali lignei (documento NICOLE²³⁶ Eurocodice 5) prevedono che le strutture in legno siano progettate secondo i metodi della scienza e tecnica delle costruzioni, per i carichi definiti dalle norme in vigore e seguendo il metodo di verifica in sicurezza, sia nel calcolo delle sollecitazioni che nella determinazione dei valori di resistenza²³⁷. Quindi, al fine dell'analisi globale della struttura, ovvero per la determinazione delle azioni interne nelle sezioni della struttura sotto i carichi agenti, si è ipotizzato un comportamento elastico lineare del materiale, utilizzando i valori medi dei parametri di rigidità sia del materiale

²³⁶ Norma Italiana per le Costruzioni in Legno.

²³⁷ PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoplei, Trento 2009, p. 115.

che delle unioni. Per quanto riguarda il comportamento cinematico dei giunti meccanici si sono utilizzati vincoli a cerniera.

Relativamente alla determinazione delle resistenze degli elementi strutturali, le normative citate danno indicazioni per tenere in considerazione la dipendenza dalla durata dei carichi e dall'umidità. In particolare, le azioni devono essere assegnate a una delle classi di durata del carico elencate in tabella 5.4. Le classi di durata del carico sono caratterizzate dall'effetto di un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Ai fini del carico si assume:

- il peso proprio e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura come appartenenti alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili durante il normale esercizio della struttura e i sovraccarichi variabili relativi a magazzini e depositi come appartenenti alla classe di lunga durata;
- i sovraccarichi variabili come appartenenti alla classe di media durata;
- il sovraccarico da neve di riferimento al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito a una certa altitudine come appartenente a una classe di durata in funzione del sito;
- l'azione del vento e le azioni eccezionali come appartenenti alla classe di durata istantanea.

Tabella 5.4: Classi di durata del carico.

Classe di durata del carico	Durata del carico caratteristico
Permanente	Più di 10 anni
Lunga durata	Da 6 mesi a 10 anni
Media durata	Da 1 settimana a 6 mesi
Breve durata	Meno di 1 settimana
Istantaneo	--

La struttura oggetto di studio è inoltre assegnata alla classe di servizio 3, la più severa, tale sistema di assegnazione è destinato all'attribuzione di valori di resistenza e al calcolo delle deformazioni in condizioni ambientali definite. In particolare, la classe di servizio 3 è caratterizzata da condizioni climatiche che prevedono un'umidità più elevata della classe di servizio 2 (85% solo per poche settimane l'anno).

Le azioni sulla costruzione sono state considerate in modo da determinare le condizioni di carico più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità

ridotta di intervento simultaneo con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle normative precedentemente citate.

Per gli stati limite ultimi si adotteranno le combinazioni del tipo:

$$F_g = \gamma_g G_k + \gamma_q \left[Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} Q_{k,i}) \right]$$

essendo:

- G_k il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- $Q_{k,1}$ il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;
- $Q_{k,i}$ i valori caratteristici variabili tra loro indipendenti ($i>2$);
- $\gamma_g = 1,35$;
- $\gamma_q = 1,5$;
- $\Psi_{0,i}$ coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo da determinarsi sulla base di considerazioni statistiche, per tenere conto della probabilità ridotta di effetto simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli (vedi Figura 5.6).

Il valore di calcolo X_d di una proprietà di resistenza del materiale è stato calcolato mediante la relazione:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_m}$$

- X_k valore caratteristico specificato da norme pertinenti o determinato sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle medesime norme;
- γ_m coefficiente parziale di sicurezza per la proprietà del materiale, come indicato nella tabella 5.5;
- k_{mod} coefficiente di correlazione che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza sia della durata del carico sia dell'umidità degli elementi.

Tabella 5.5: Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali (γ_m).

Stati limite ultimi	
<i>Combinazioni fondamentali</i>	
Legno massiccio	1,3
<i>Combinazioni eccezionali</i>	1,0
Stati limite di esercizio	1,0

I valori di k_{mod} per le proprietà dei materiali sono forniti dalla tabella 5.6, ripresa da EN 1995-1-1.

Tabella 5.6: Valori di K_{mod} per il legno massiccio (EN 1995-1-1).

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantaneo
Legno massiccio	EN 144081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,1
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,1
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,9

Per le verifiche in esercizio si fa riferimento agli stati limite di deformazione e si devono prendere in esame le combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti con $\gamma_g = \gamma_p = \gamma_q = 1$, e applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati valori per i coefficienti di combinazione ψ_0, ψ_1, ψ_2 , si veda figura 5.6:

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 5.6: Valori dei coefficienti di combinazione (fonte: NTC 2018 §2.5.2).

In forma convenzionale le combinazioni possono essere espresse nel seguente modo:

- Combinazioni rare:

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} Q_{k,i})$$

- Combinazioni frequenti:

$$F_d = G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} Q_{k,i})$$

- Combinazioni quasi permanenti:

$$F_d = G_k + \sum_{i=1}^n (\psi_{2,i} Q_{k,i})$$

$\Psi_{1,i}$ Coefficiente atto a definire i valori delle azioni assimilabili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;

$\Psi_{2,i}$ Coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

La deformabilità degli elementi strutturali, nonché della struttura stessa, risultante dagli effetti delle azioni applicate, da stati di coazione o da variazioni dell'umidità del materiale, deve essere limitata entro limiti accettabili al fine di garantire l'efficienza degli stessi in condizioni di esercizio. In tabella 5.7 sono riportati i valori di k_{def} , in dipendenza del tipo di materiale e della classe di servizio.

Tabella 5.7: Valori di k_{def} per il legno massiccio (EN 1995-1-1).

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	EN 144081-1	0,60	0,80	2,00

5.3.1 Analisi dei carichi

Si è proceduto alla valutazione delle azioni agenti sulla copertura, al netto del peso proprio delle strutture il carico finale sarà fornito dal solo strato di paglia. Il suddetto carico verrà considerato come un carico permanente non strutturale uniformante distribuito in quanto non rimovibile dalla costruzione durante il suo esercizio.

Tabella 5.8: Carichi permanenti non strutturali solaio S3.

Stratigrafia	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Peso per unità di superficie G [kN/m ²]
Paglia	0,3	0,6	0,18

Il carico proprio dell'elemento è stato stimato considerando un peso specifico del legno pari a 5,5 kN/m³.

5.3.2 Azione del vento

Per il dimensionamento del carico del vento si è applicata la *NTC 2018 §3.3*. Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti.

Il primo parametro richiesto è la velocità base di riferimento v_b ; essa è definita come il valore medio su 10 minuti a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II, riferito ad un periodo di ritorno $TR = 50$ anni.

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

dove:

$v_{b,0}$ velocità base di riferimento al livello del mare in funzione della zona in cui sorge la costruzione;

c_a coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \cdot \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

a_0, k_s parametri tabulati in funzione della zona in cui sorge la costruzione;

a_s l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Il secondo parametro da valutare è la velocità di riferimento v_r che è definito come il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II riferito al periodo di ritorno di progetto T_R . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

v_b velocità base di riferimento,

c_r coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno di progetto T_R .

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0,75 \cdot \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

si assumerà $T_R = 50$ anni, cui corrisponde $c_r = 1$.

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento sui singoli elementi che compongono la costruzione va determinata considerando la combinazione più gravosa delle pressioni agenti sulle due facce di ogni elemento. Nel caso di costruzioni di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.

Il parametro fondamentale quindi per determinare la spinta esercitata dal vento è la pressione del vento, questa è calcolata come:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove

q_r pressione cinetica di riferimento

c_e coefficiente di esposizione

c_p coefficiente di pressione

c_d coefficiente dinamico

Mentre l'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è fornita dall'espressione:

$$p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f$$

dove

q_r pressione cinetica di riferimento

c_e coefficiente di esposizione

c_f coefficiente d'attrito

La pressione cinetica di riferimento q_r è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2$$

dove

v_r velocità di riferimento del vento

ρ densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200$ m, come nel caso studio, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

dove

k_r , z_0 , z_{min} sono tabulati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t coefficiente di topografia.

Il coefficiente di pressione c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il coefficiente d'attrito c_f dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente. Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.²³⁸ Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza.

Nel caso specifico si è valutato:

²³⁸ Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", Decreto del 17 gennaio 2018.

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a = 26 \text{ km/h} \cdot 1 = 26 \text{ km/h}$$

Per il calcolo del parametro è stata considerata una velocità media dei picchi del vento pari a 26 km/h²³⁹ che equivale a circa 7,2 m/s. Si è ipotizzata poi una rugosità del terreno riconducibile alla categoria C: Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni...). Tramite questo parametro si riconduce poi il sito alla categoria di esposizione IV per la distanza maggiore di 40 km dalla costa e un'altitudine non superiore ai 750 m.

Si calcola c_e in funzione della categoria di esposizione e dell'altezza considerata, si sceglie di considerare due altezze di riferimento, quella di gronda, pari a 2,5 m, e quella di colmo, pari a 10 m.

$$\begin{aligned} c_e(10) &= k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_t \ln(z/z_0)] = (0,22^2) \cdot 1 \cdot \ln(10/0,3) \\ &\quad \cdot [7 + 1 \cdot \ln(10/0,3)] = 1,78 \\ c_e(2,5) &= 1,6 \end{aligned}$$

Si calcola poi la velocità di base di riferimento:

$$v_r = v_b \cdot c_r = 7,2 \cdot 1 = 7,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

e si procede a individuare la pressione cinetica di riferimento q_r :

$$q_r = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot 7,2^2 = 32,4 \text{ N/m}^2$$

con essa si determina la pressione del vento sugli elementi della copertura. Va tenuto conto che all'interno del sito di progetto la struttura si troverà ad essere ruotata anche di 180°, si studieranno perciò le due conformazioni limite con vento a sfavore. I segni più e meno nella trattazione indicano rispettivamente uno sforzo generato su una superficie sopravento e su una sottovento. Tenendo conto dell'ampiezza e dell'importanza che ricopre rispetto alle strutture verticali sottostanti, si è considerata la falda come una parete sottoposta all'azione del vento.

- Configurazione I

²³⁹ Weather Spark, <Clima, condizioni meteo per mese, temperatura media Kolda (Senegal) - Weather Spark>, (ultima consultazione 05/09/2023).

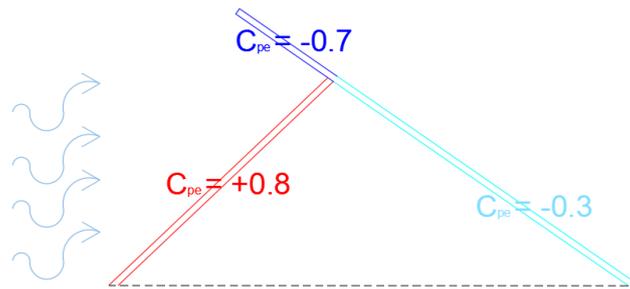


Figura 5.7: Prima configurazione e relativi coefficienti di pressione.

Si noti la formazione, in funzione della direzione del vento, di tre differenti zone che daranno origine ad altrettante spinte. Per i calcoli si sono valutate le spinte come uniformi e quindi ad un'altezza intermedia di 8 m.

- Zona A

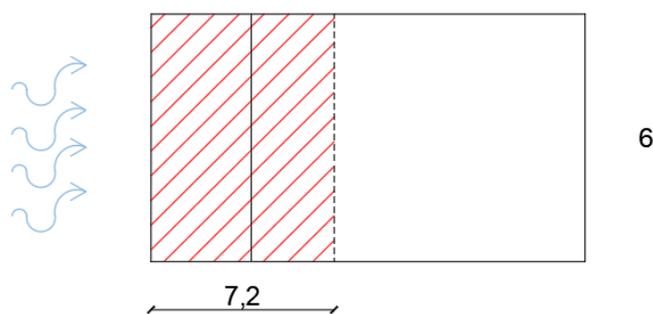


Figura 5.8: Zona A.

La zona A è caratterizzata da una falda con inclinazione minore di 45° che si trova sopravvento. Il coefficiente c_{pe} per questo tipo di elementi è quindi pari a $+0,8$ e tramite esso viene calcolata una spinta sulla superficie:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 32,4 \cdot 1,8 \cdot (0,8 + 0,2) \cdot 1 = 58,32 \text{ N/m}^2$$

moltiplicando per un interasse di 6 m si ottiene il carico lineare:

$$q = 58,32 \text{ N/m}^2 \cdot 6\text{m} = 349,92 \text{ N/m} = 0,35 \text{ kN/m}$$

- Zona B

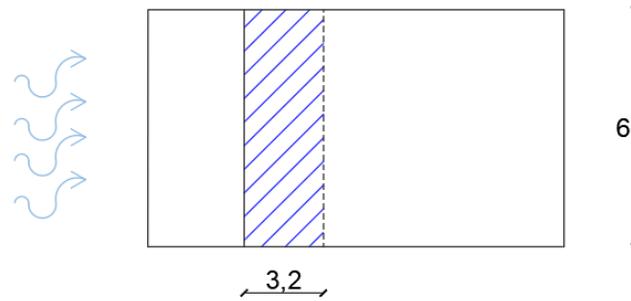


Figura 5.9: Zona B.

La zona B è caratterizzata da una falda con inclinazione minore di 45° che si trova sottovento e fortemente esposta. Il coefficiente c_{pe} per questo tipo di elementi è quindi pari a $-0,7$ e tramite esso viene calcolata una spinta sulla superficie:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 32,4 \cdot 1,8 \cdot (-0,7 - 0,2) \cdot 1 = -52,5 \text{ N/m}^2$$

moltiplicando per un interasse di 6 m si ottiene il carico lineare:

$$q = -52,5 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = -315 \text{ N/m} = -0,32 \text{ kN/m}$$

- Zona C

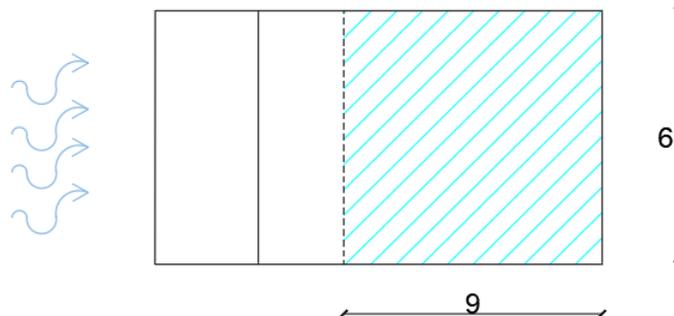


Figura 5.10: Zona C.

La zona C è caratterizzata da una falda con inclinazione minore di 45° che si trova sottovento. Il coefficiente c_{pe} per questo tipo di elementi è quindi pari a $-0,3$ e tramite esso viene calcolata una spinta sulla superficie:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 32,4 \cdot 1,8 \cdot (-0,3 - 0,2) \cdot 1 = -29,16 \text{ N/m}^2$$

moltiplicando per un interasse di 6 m si ottiene il carico lineare:

$$q = -29,16 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = -174,96 \text{ N/m} = -0,2 \text{ kN/m}$$

- Configurazione II

Si analizza poi la seconda configurazione con la struttura ruotata.

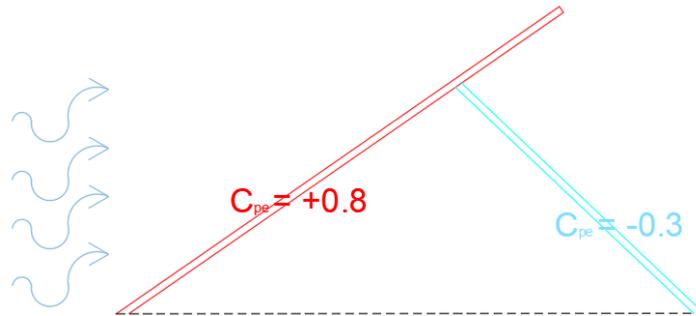


Figura 5.11: Seconda configurazione.

In questo caso abbiamo la formazione solamente di due zone.

- Zona A

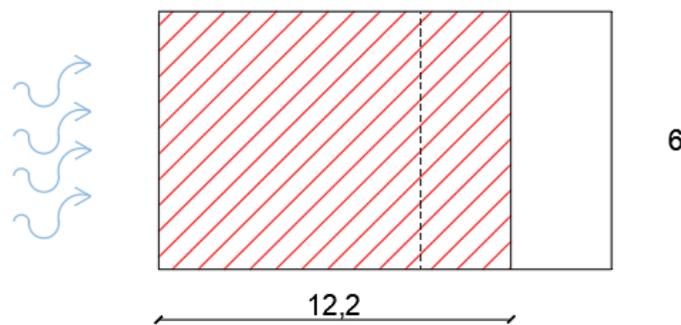


Figura 5.12: Zona A.

La zona A è caratterizzata da una falda con inclinazione minore di 45° che si trova sopravvento. Il coefficiente c_{pe} per questo tipo di elementi è quindi pari a $+0,8$ e tramite esso viene calcolata una spinta sulla superficie:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 32,4 \cdot 1,8 \cdot (0,8 + 0,2) \cdot 1 = 58,32 \text{ N/m}^2$$

moltiplicando per un interasse di 6 m si ottiene il carico lineare:

$$q = 58,32 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = 349,92 \text{ N/m} = 0,35 \text{ kN/m}$$

- Zona B

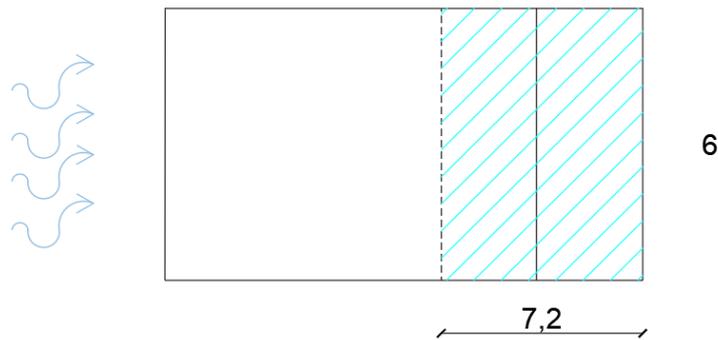


Figura 5.13: Zona B.

La zona B è caratterizzata da una falda con inclinazione minore di 45° che si trova sottovento. Il coefficiente c_{pe} per questo tipo di elementi è quindi pari a $-0,3$ e tramite esso viene calcolata una spinta sulla superficie:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 32,4 \cdot 1,8 \cdot (-0,3 - 0,2) \cdot 1 = -29,16 \text{ N/m}^2$$

moltiplicando per un interasse di 6 m si ottiene il carico lineare:

$$q = -29,16 \text{ N/m}^2 \cdot 6 \text{ m} = -174,96 \text{ N/m} = -0,2 \text{ kN/m}$$

Le pressioni così ottenute sono state poi utilizzate per il calcolo delle sollecitazioni sulla struttura.

5.4 Descrizione dell'intervento strutturale

5.4.1 Descrizione generale

Il progetto strutturale si sviluppa a partire da una maglia regolare di lato 6 m in cui insistono gli elementi strutturali principali, ossia i portali lignei, lasciati a vista. Tale configurazione permette una maggiore facilità realizzativa e di calcolo, aspetti non trascurabili in un'opera di autocostruzione. La decisione di articolare l'edificio con una struttura portante lasciata a vista oltre che derivare da un ragionamento di tipo formale, è il frutto di una riflessione anche economica; la possibilità di rinunciare ai controsoffitti, infatti, offre la possibilità di osservare il comportamento strutturale, concedendo anche spunti architettonici.

Come precedentemente riportato, il numero di sistemi di travi principali, le distanze e le posizioni degli appoggi risultano dallo sviluppo della pianta e la conformazione del reticolo è stata subordinata alle condizioni di utilizzo; pertanto, si sono valutate le pareti

divisorie e illuminazione naturale. Il sistema di travi secondarie determina invece la forma del tetto.

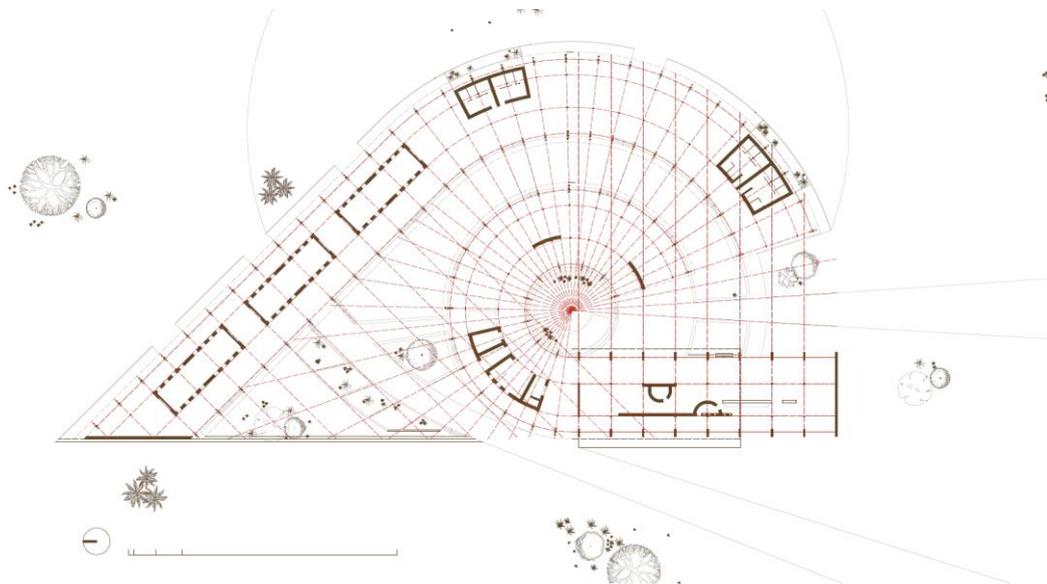


Figura 5.14: Planimetria di progetto, in rosso viene indicata la maglia strutturale.

5.4.1.1 Schema statico 1

Nelle fasi iniziali della progettazione si è analizzata una struttura costituita da portali replicabili ogni 6 metri a doppia falda, retti da quattro pilastri verticali e due inclinati.

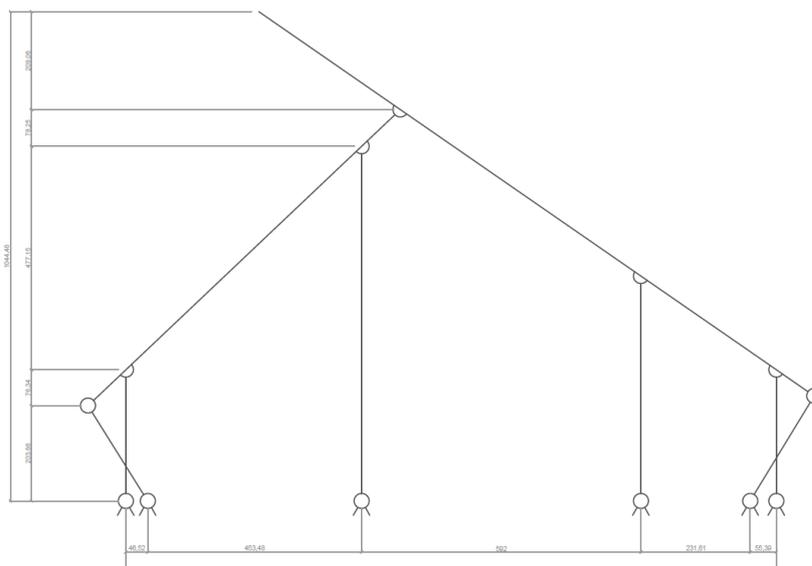


Figura 5.15: Primo schema statico.

La struttura presentava il vantaggio di essere di semplice realizzazione, con un numero ridotto di nodi e di elementi da assemblare, ben rispondendo quindi all'esigenza di realizzare un'opera di autocostruzione. Inoltre, forniva ampi spazi liberi da sovrastrutture adatti ad ospitare le funzioni flessibili e adattabili che caratterizzano il progetto.

Nel seguito si riporta l'analisi cinematica della struttura che permette di cogliere come i vari elementi interagiscono. A fronte delle difficoltà realizzative legate al contesto in cui si opera si è preferito individuare le connessioni tra gli elementi lignei con vincoli a cerniera, in quanto garantire vincoli d'incastro risulterebbe troppo oneroso in termini economici e di forza lavoro.

Lo schema statico presenta 26 gradi di vincolo e 24 gradi di libertà, la struttura risulta perciò due volte iperstatica. Durante l'analisi cinematica si è andati poi a semplificare man mano la struttura degradando le bielle a carelli e unendo questi ultimi poi in pattini.

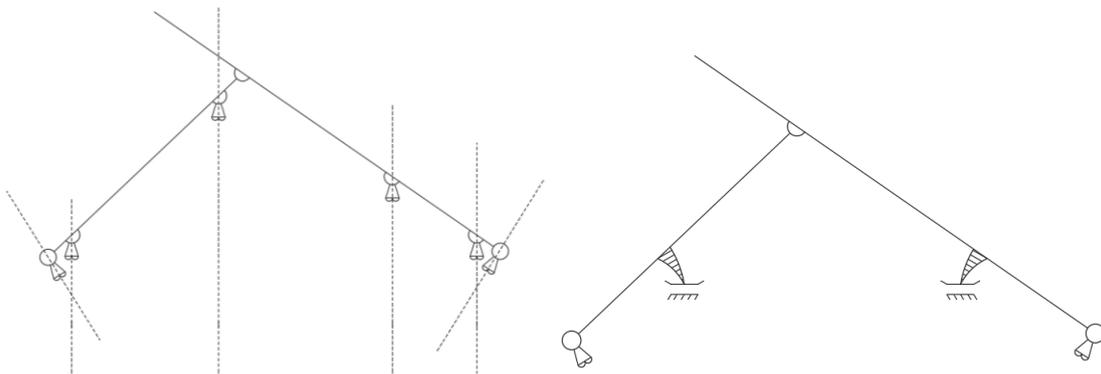


Figura 5.16: Risoluzione schema statico.

Si sono quindi ricavati, attraverso il metodo delle forze e l'uso del programma Telaio2D messo a disposizione dal Prof. Gelfi, i valori numerici delle incognite iperstatiche e le azioni interne, ottenendo i seguenti schemi sollecitati:

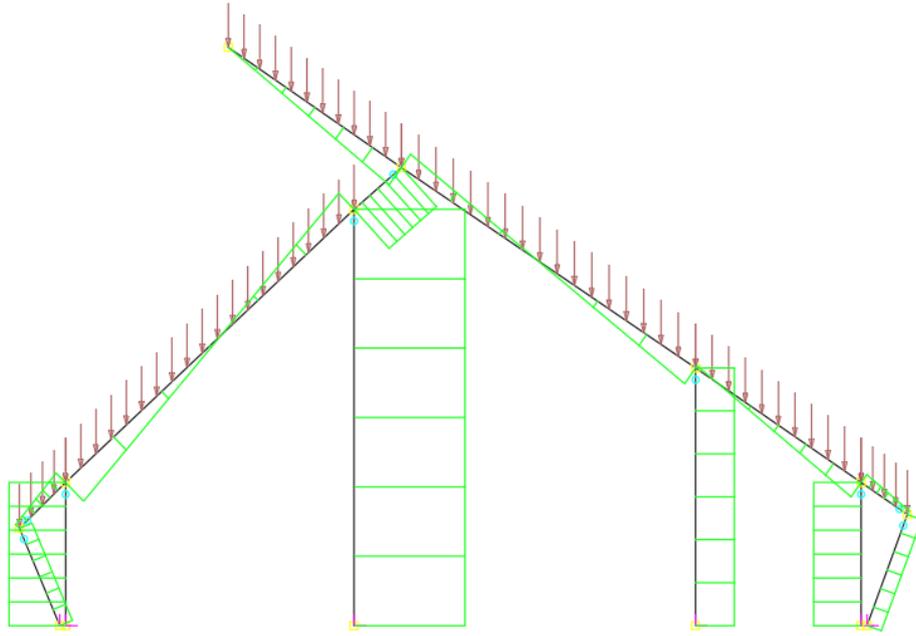


Figura 5.17: Azioni assili nello schema statico 1.

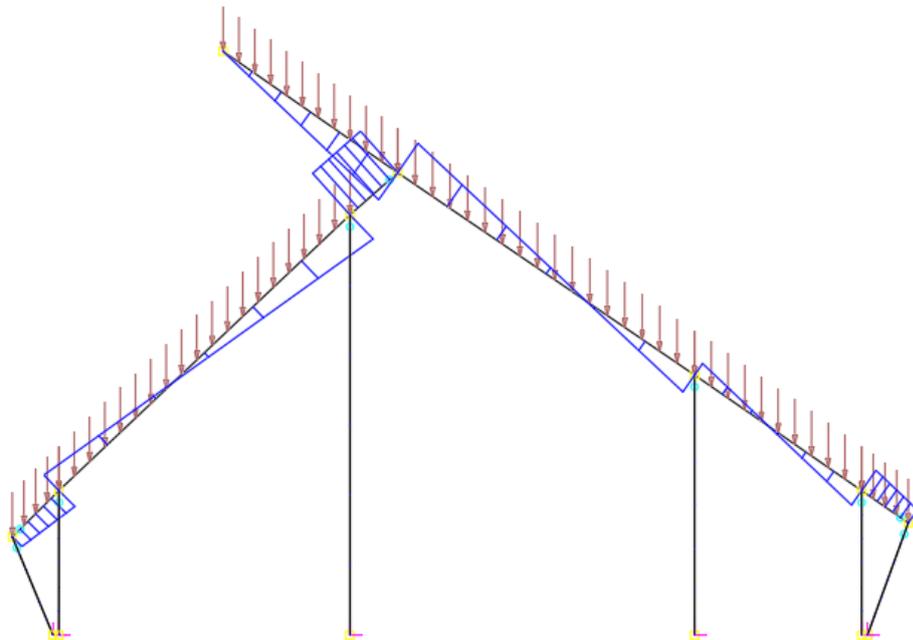


Figura 5.18: Azioni di taglio nello schema statico 1.

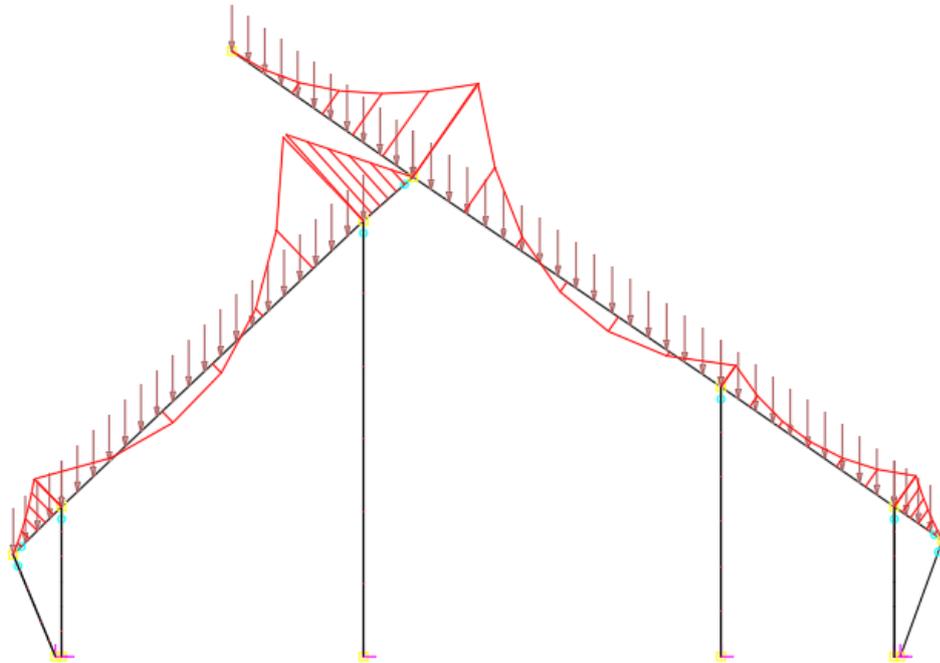


Figura 5.19: Andamento dei momenti nello schema statico 1.

Dagli schemi presentati e, in particolare, da quello inerente le azioni assiali, risulta evidente come l'elemento più snello, ossia il pilastro centrale, sia anche quello più caricato assialmente, ciò porta inevitabilmente l'elemento ad essere fortemente soggetto a instabilità flessionale e richiederebbe l'impiego di una sezione lignea troppo grande ed incompatibile con il legname da costruzione presente nella zona del sito (maggiori dettagli legati all'instabilità sono riportati nel *paragrafo §5.4.5 Verifiche pilastri in legno*).

Si è passati quindi a una struttura più complessa sfruttando anche il concetto di trave reticolare, una struttura i cui elementi sono sollecitati solamente in ambito assiale.

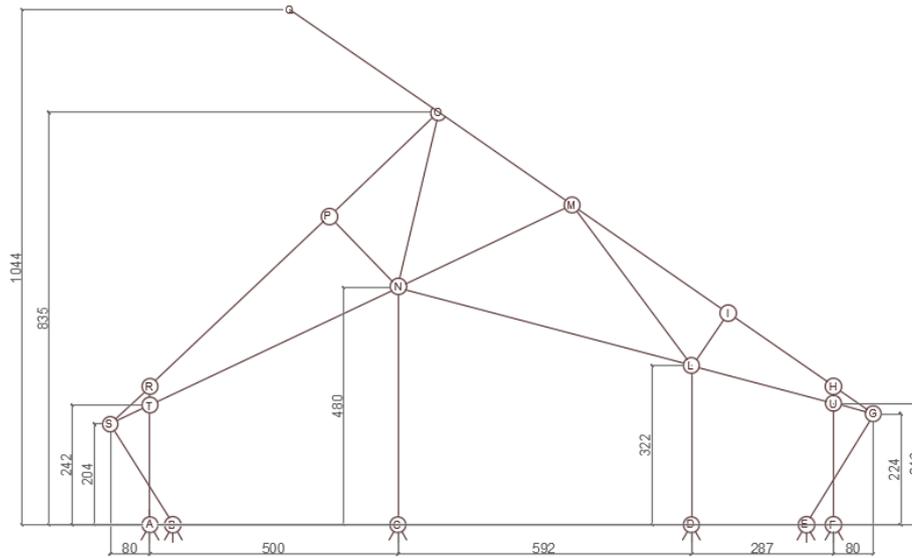


Figura 5.20: Schema statico 2.

Il nuovo schema mira a mantenere i vantaggi del precedente, congiuntamente al miglioramento del comportamento statico. I pilastri utilizzati rimangono 4 verticali e 2 inclinati ma vengono aggiunte bielle nella parte superiore, alternativamente tese e compresse in modo da diminuire la luce di libera inflessione dei pilastri rendendoli così meno snelli e riducendo il rischio di instabilità, consentendo l'impiego di sezioni lignee minori.



Figura 5.21: Vista frontale del modellino in legno della struttura.

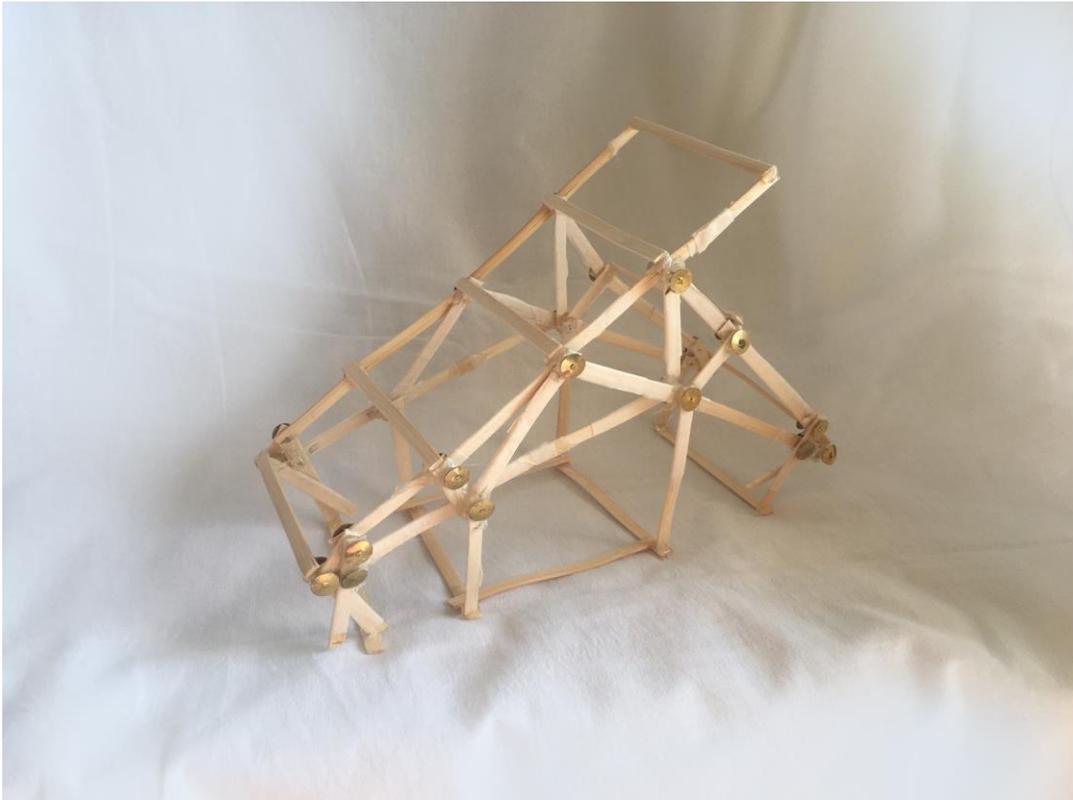


Figura 5.22: Vista dall'alto del modellino della struttura.

5.4.2 Predimensionamento e verifica elementi lignei

Per il predimensionamento degli elementi lignei si sono seguite due metodologie. La prima è quella che ha riguardato i travetti, in cui partendo dalle sezioni degli elementi localmente reperibili (5x8 cm) si sono conseguite le verifiche allo stato limite d'esercizio, flessione, taglio e instabilità. Mentre la seconda ha sviluppato un predimensionamento a priori delle sezioni disponibili, si sono quindi analizzate le sollecitazioni e su tale base si è scelta la sezione più idonea. Successivamente, come nella precedente situazione, si è proceduto all'esecuzione delle verifiche del caso.

Le verifiche riportate in seguito fanno riferimento al metodo delle tensioni ammissibili. Si adottano le grandezze σ , tensione, e R , sollecitazione nelle unioni, i valori ammissibili σ_A e R_A , così definiti:

$$\sigma_A = f_k \frac{k_{mod}}{1,5 \gamma_m} \quad ; \quad R_A = R_k \frac{k_{mod}}{1,5 \gamma_m}$$

Le grandezze f_k e R_k assumono i valori indicati in normativa, relativamente al particolare tipo di sollecitazione o al particolare collegamento. I parametri γ_m e k_{mod} assumono i valori indicati presentati precedentemente, relativamente al tipo di materiale e alle classi di durata del carico e di servizio. Le verifiche, quindi, verranno eseguite con le seguenti variazioni:

- Ai valori delle “sollecitazioni” di calcolo propri del metodo degli stati limite ultimi (σ_d , F_d) si sostituiscono i valori di calcolo propri del metodo delle tensioni ammissibili (σ , F);
- Ai valori di resistenza di calcolo propri del metodo degli stati ultimi (f_d , R_d) si sostituiscono i valori ammissibili (σ_A , R_A)

Le verifiche di sicurezza, nel rispetto del metodo alle tensioni ammissibili dovranno pertanto accertare che:

$$\sigma \leq \sigma_A \quad F \leq R_A$$

5.4.3 Verifiche travetti lignei

Caratteristiche geometriche	
Luce fra gli appoggi	$L = 2,0$ m
Interasse travetti	$i = 0,4$ m
Base della sezione	$b = 50$ mm
Altezza della sezione	$h = 80$ mm
Carichi	
Carichi permanenti	$f_g = 0,21$ kN/m
Carichi variabili di breve durata	$f_q = 0,3$ kN/m
Caratteristiche del materiale	
Legno di palissandro massiccio	D40
Classe di servizio 3	$k_{def} = 2,00$
Classe di durata del carico permanente	$k_{mod} = 0,5$
Classe di durata del carico di media durata	$k_{mod} = 0,65$

Valori di resistenza

Si determinano i valori di resistenza di progetto con $k_{mod} = 0,6$ e $k_{mod} = 0,5$.

$$f_d = f_k \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

Valori caratteristici [MPa]		Valori di progetto [MPa]		
			$K_{mod,ermanente} =$ 0,65	$K_{mod,breve} =$ 0,5
$f_{m,k}$	40	$f_{m,y,d}$	20,00	15,38
$f_{t,0,k}$	24	$f_{t,0,d}$	12,00	9,23
$f_{t,90,k}$	0,6	$f_{t,90,d}$	0,30	0,23
$f_{c,0,k}$	26	$f_{c,0,d}$	13,00	10,00
$f_{c,90,k}$	8,8	$f_{c,90,d}$	4,40	3,38
$f_{v,k}$	3,8	$f_{v,d}$	1,90	1,46

Valori di modulo elastico

Modulo elastico medio parallelo alle fibre: $E_{0,medio} = 11$ GPa

Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre: $E_{0,05} = 9,4$ GPa

Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre: $E_{90,medio} = 0,75$ GPa

Modulo di taglio medio: $G_{medio} = 0,7$ GPa

Si noti come la combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, è stato necessario perciò analizzare tutte le combinazioni di carico, in quanto non risultava immediato comprendere quale tra esse risultasse determinante nella verifica. Si considerano nel calcolo le seguenti due combinazioni di carico:

- Combinazione di carico I

Si considera l'effetto simultaneo dei carichi variabili e permanenti:

$$\begin{aligned}
 F_{d,I} &= \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{k,1} \\
 &= \left(0,34 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,4 m + 0,05 m \cdot 0,08 m \cdot 5,5 \frac{kN}{m^3} \right) \cdot 1,35 + 1,5 \cdot 0,5 \frac{kN}{m^2} \\
 &\quad \cdot 0,4 m = 0,51 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

Il momento in mezzeria risulta:

$$M_{d,I} = \frac{F_{d,I} \cdot l^2}{8} = \frac{0,51 \frac{kN}{m} \cdot (1 m)^2}{8} = 0,0627 kNm$$

Mentre il taglio agli appoggi vale:

$$T_{d,I} = \frac{F_{d,I} \cdot l}{2} = \frac{0,51 \frac{kN}{m} \cdot (1 m)}{2} = 0,25 kN$$

Poiché la combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata si sceglie il valore k_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata; per questa combinazione è stato dunque utilizzato il valore relativo alla media durata e alla classe di servizio 3.

$$k_{mod,permanente} = 0,65$$

- *Combinazione di carico II*

Si considerano agenti solamente i carichi permanenti ($\gamma_q = 0$):

$$\begin{aligned} F_{d,II} &= \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{k,1} \\ &= \left(0,34 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,4 m + 0,05 m \cdot 0,08 m \cdot 5,5 \frac{kN}{m^3} \right) \cdot 1,35 + 0 \cdot 0,5 \frac{kN}{m^2} \\ &\quad \cdot 0,4 m = 0,21 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

Il momento in mezzzeria risulta:

$$M_{d,II} = \frac{F_{d,II} \cdot l^2}{8} = \frac{0,21 \frac{kN}{m} \cdot (1 m)^2}{8} = 0,03 kNm$$

Mentre il taglio agli appoggi vale:

$$T_{d,II} = \frac{F_{d,II} \cdot l}{2} = \frac{0,21 \frac{kN}{m} \cdot (1 m)}{2} = 0,11 kN$$

In questo caso, agendo solamente il carico permanente, il valore di k_{mod} da utilizzare per la classe di servizio 3 sarà:

$$k_{mod,breve} = 0,5$$

5.4.3.1 Verifica agli stati limite di esercizio

Nel seguito si eseguiranno le verifiche di deformazione, nell'ipotesi di controfreccia nulla e considerando i rapporti luce-altezza. A tale scopo si è considerata una prima configurazione in cui il travetto copriva una luce di 6 metri e successivamente, sia a

seguito della non verifica dell'elemento alla condizione di esercizio sia a motivi legati alla reperibilità del materiale si è considerata una seconda configurazione.

Entrando nello specifico il primo schema statico prevedeva una trave appoggio-appoggio su una luce di 6 metri caricata con carico costante.

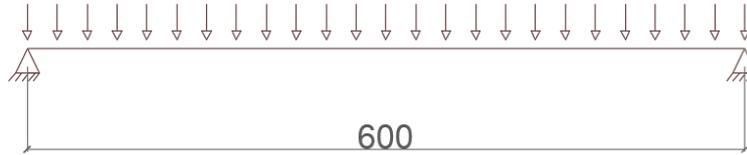


Figura 5.23: Primo schema statico travetto.

Tale configurazione conduceva a valori $L/H = 75$, di molto superiori al limite massimo tollerabile pari a 25.

Si è valutato perciò l'inserimento di un sistema reticolare, tale configurazione permette l'impiego di travetti di minore lunghezza, reperibili localmente, e consente di diminuire la luce di libera inflessione, dunque riducendo sensibilmente il rapporto L/H che raggiunge un valore di 12,5.

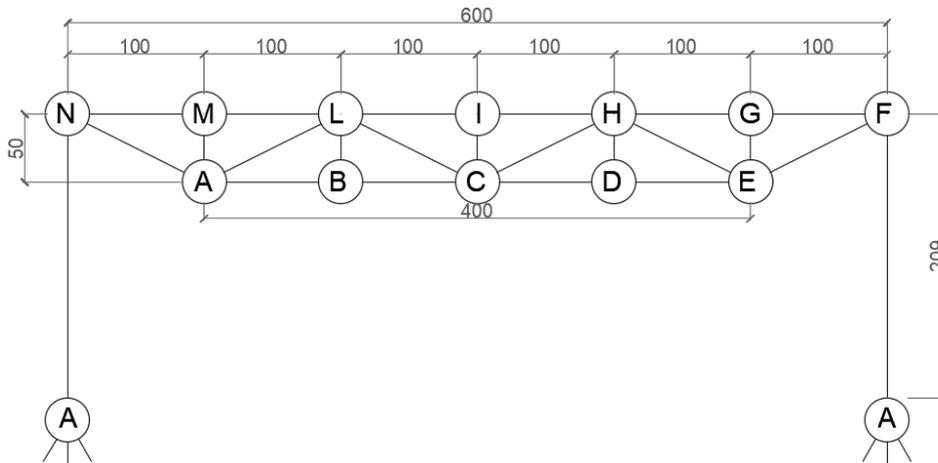


Figura 5.24: Secondo schema statico travetto.

$$\frac{L}{H} = \frac{1 \text{ m}}{0,08 \text{ m}} = 12,5$$

5.4.3.2 Verifica a flessione

La verifica a flessione si riconduce alla verifica della seguente equazione:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} \leq f_{m,d} = f_{m,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

La relazione mostra che la condizione di carico più severa per la verifica flessionale corrisponde a quella per cui il rapporto M_d/k_{mod} risulta maggiore. In questo caso risulta:

$$\frac{M_{d,I}}{k_{mod,breve}} = 0,07 > \frac{M_{d,II}}{k_{mod,perma}} = 0,05$$

Analogamente per le sollecitazioni taglianti si avrà:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{T_d}{A} \leq f_{v,d} = f_{v,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

e

$$\frac{T_{d,I}}{k_{mod,breve}} = 0,28 > \frac{T_{d,II}}{k_{mod,perma}} = 0,21$$

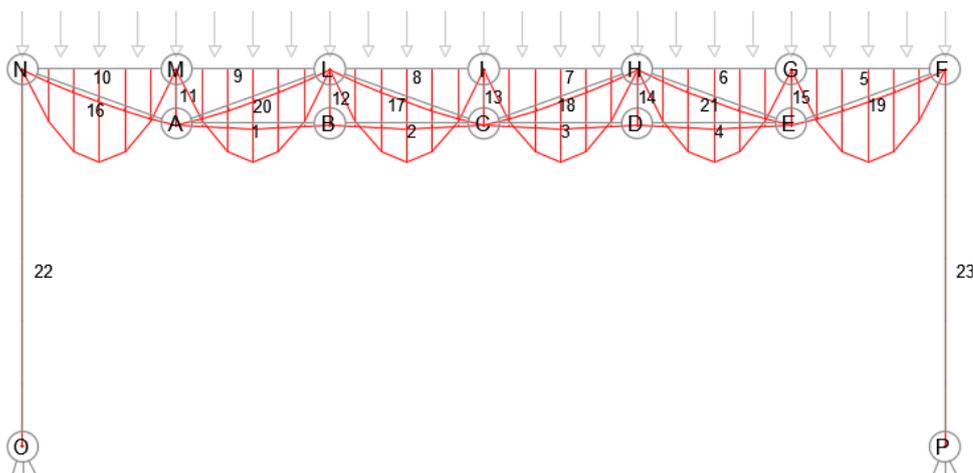


Figura 5.25: Andamento dei momenti nella reticolare di facciata.

La combinazione di carico I che considera l'effetto simultaneo di più azioni risulta quindi più severa della condizione di carico II che considera solamente il carico permanente.

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{0,06 \text{ kNm}}{5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3} = 1,18 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = f_{m,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 15,38 \text{ MPa}$$

5.4.3.3 Verifica a taglio

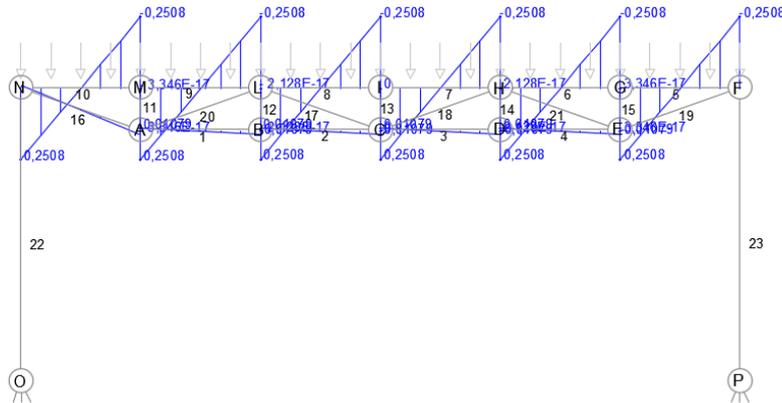


Figura 5.26: Andamento delle azioni taglianti nella reticolare di facciata.

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{T_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,25 \text{ kN}}{0,004 \text{ m}^3} = 0,09 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = f_{v,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 1,46 \text{ MPa}$$

5.4.3.4 Verifica a instabilità aste compresse

La verifica a instabilità degli elementi compressi della reticolare è stata eseguita con il metodo ω . Per una spiegazione esaustiva del procedimento di verifica, si faccia riferimento al *paragrafo §5.4.5 Verifiche pilastri in legno*.

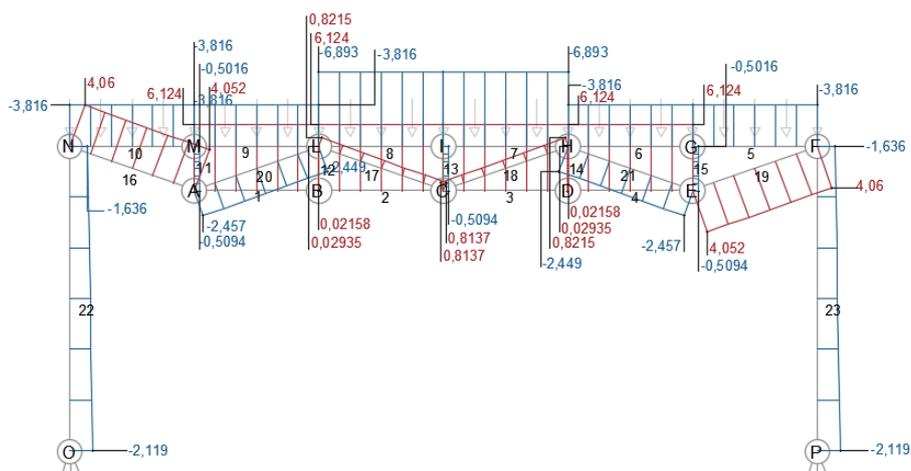


Figura 5.27: Andamento delle azioni assiali nella reticolare di facciata, in rosso le trazioni e in blu le compressioni.

Tabella 5.9: Tabella riassuntiva verifica a instabilità.

Asta	H [m]	B [m]	J [m ³]	l ₀ [m]	λ [-]	ω [-]	N [kN]	σ [MPa]	
10	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	3,82	1,24	VER
9	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	3,82	1,24	VER
8	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	6,89	2,24	VER
7	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	6,89	2,24	VER
6	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	3,82	1,24	VER
5	0,08	0,05	2,1E-06	1	43	1,3	3,82	1,24	VER
11	0,08	0,05	2,1E-06	0,36	16	1,06	0,51	0,13	VER
13	0,08	0,05	2,1E-06	0,36	16	1,06	0,51	0,13	VER
15	0,08	0,05	2,1E-06	0,36	16	1,06	0,51	0,13	VER

5.4.4 Predimensionamento e verifica travi in legno

Il carico r trasmesso dai travetti risulta pari alla loro reazione R , idealmente distribuita nel tratto di competenza pari all'interasse i ; pertanto risulta:

$$f = \frac{R}{i} = \frac{(g + q)l_0}{i} = 1,64 \frac{kN}{m}$$

dove

l_0 Distanza tra le travi principali misurata in pianta

i Interasse reticolari

Oltre al carico permanente non strutturale sulle falde agisce anche un carico orizzontale dinamico derivato dall'azione del vento, in particolare, si considerano le condizioni di carico suddivise per zone riportate nel paragrafo 5.3.2.

Carichi	
Carichi	$f_{tot} = 1,97 \text{ kN/m}$
Carichi variabili istantanei (vento)	Zona A 0,35 kN/m
	Zona B 0,32 kN/m
	Zona C 0,2 kN/m
Caratteristiche del materiale	
Legno di palissandro massiccio	D40
Classe di servizio 3	$k_{def} = 2,00$
Classe di durata del carico permanente	$k_{mod} = 0,5$
Classe di durata del carico di media durata	$k_{mod} = 0,65$
Classe di durata del carico istantaneo	$k_{mod} = 0,9$

Valori di resistenza

Si determinano i valori di resistenza di progetto con $k_{mod} = 0,5$, $k_{mod} = 0,6$ e $k_{mod} = 0,9$.

$$f_d = f_k \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

		Valori di progetto [MPa]			
		$k_{mod,permanente} = 0,65$	$k_{mod,breve} = 0,5$	$k_{mod,vento} = 0,9$	
$f_{m,k}$	40	$f_{m,y,d}$	20,00	15,38	27,69
$f_{t,0,k}$	24	$f_{t,0,d}$	12,00	9,23	16,61
$f_{t,90,k}$	0,6	$f_{t,90,d}$	0,30	0,23	0,41
$f_{c,0,k}$	26	$f_{c,0,d}$	13,00	10	18,00
$f_{c,90,k}$	8,8	$f_{c,90,d}$	4,40	3,38	6,09
$f_{v,k}$	3,8	$f_{v,d}$	1,90	1,4	2,63

Valori di modulo elastico

Modulo elastico medio parallelo alle fibre: $E_{0,medio} = 11$ GPa

Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre: $E_{0,05} = 9,4$ GPa

Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre: $E_{90,medio} = 0,75$ GPa

Modulo di taglio medio: $G_{medio} = 0,7$ GPa

La combinazione di carico comprendeva azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, è stato necessario perciò analizzare tutte le combinazioni di carico, in quanto non risultava immediato comprendere quale tra esse risultasse determinante nella verifica.

Si considerano nel calcolo le seguenti due combinazioni di carico:

- *Combinazione di carico I*: effetto simultaneo dei carichi variabili e permanenti

1. Configurazione vento I

Si riportano di seguito i grafici degli andamenti delle sollecitazioni interne:

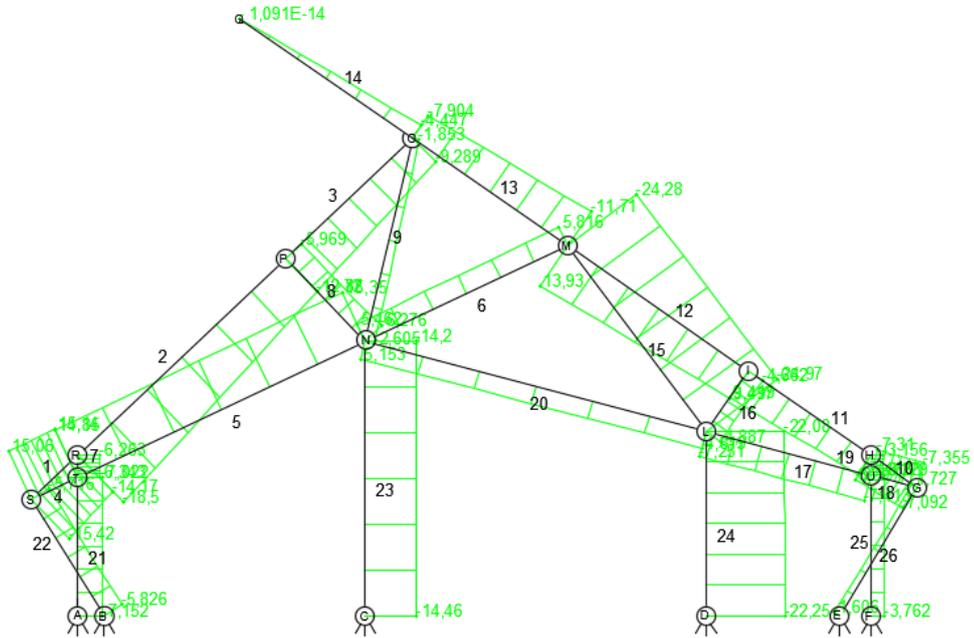


Figura 5.28: Andamento delle azioni assiali nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.

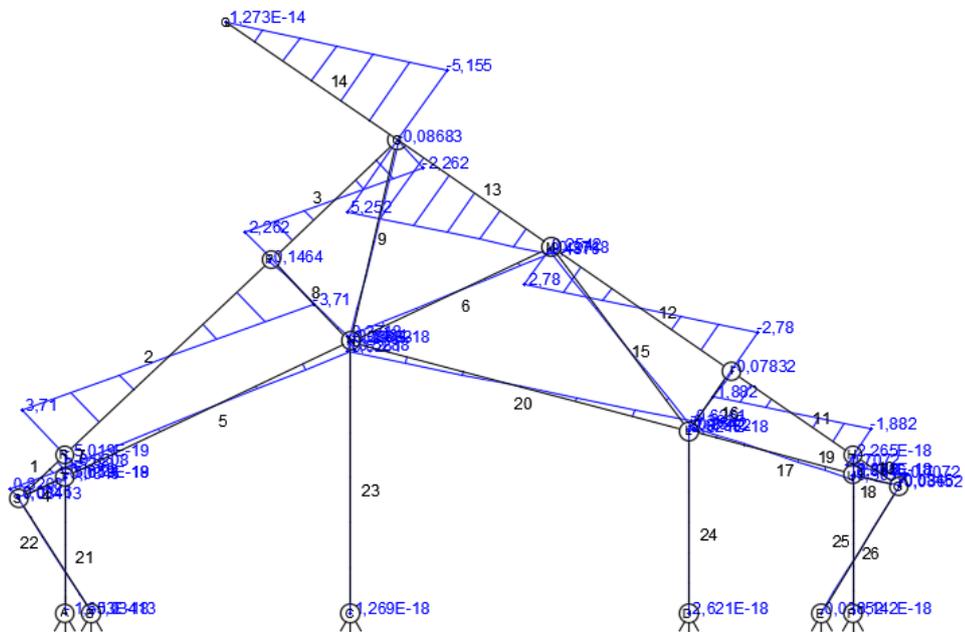


Figura 5.29: Andamento delle azioni di taglio nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.

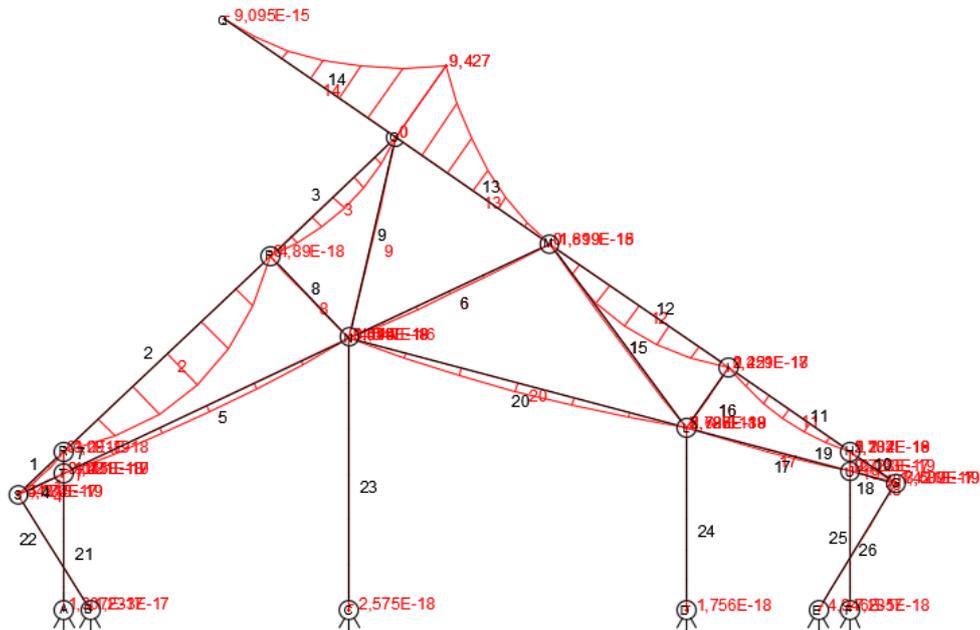


Figura 5.30: Andamento dei momenti nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.

Il momento massimo si verifica sull'asta 14 e risulta:

$$M_{d,IA} = 9,427 \text{ kNm}$$

Mentre il taglio massimo si registra sull'asta 14 e vale:

$$T_{d,IA} = 5,15 \text{ kN}$$

Poiché la combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata, si sceglie il valore di k_{mod} che corrisponde alla azione di minor durata, per questa combinazione si dovrà quindi utilizzare il valore relativo alla durata istantanea corrispondente alla classe di servizio 3:

$$k_{mod,vento} = 0,9$$

2. Configurazione vento II

Si riportano di seguito i grafici degli andamenti delle sollecitazioni interne:

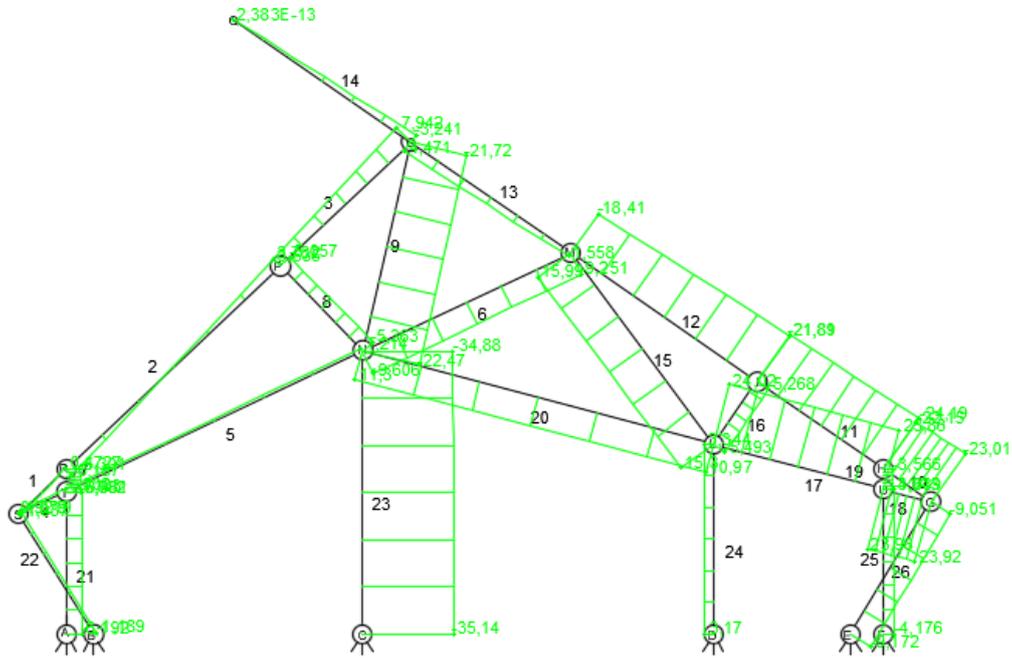


Figura 5.31: Andamento delle azioni assiali nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.

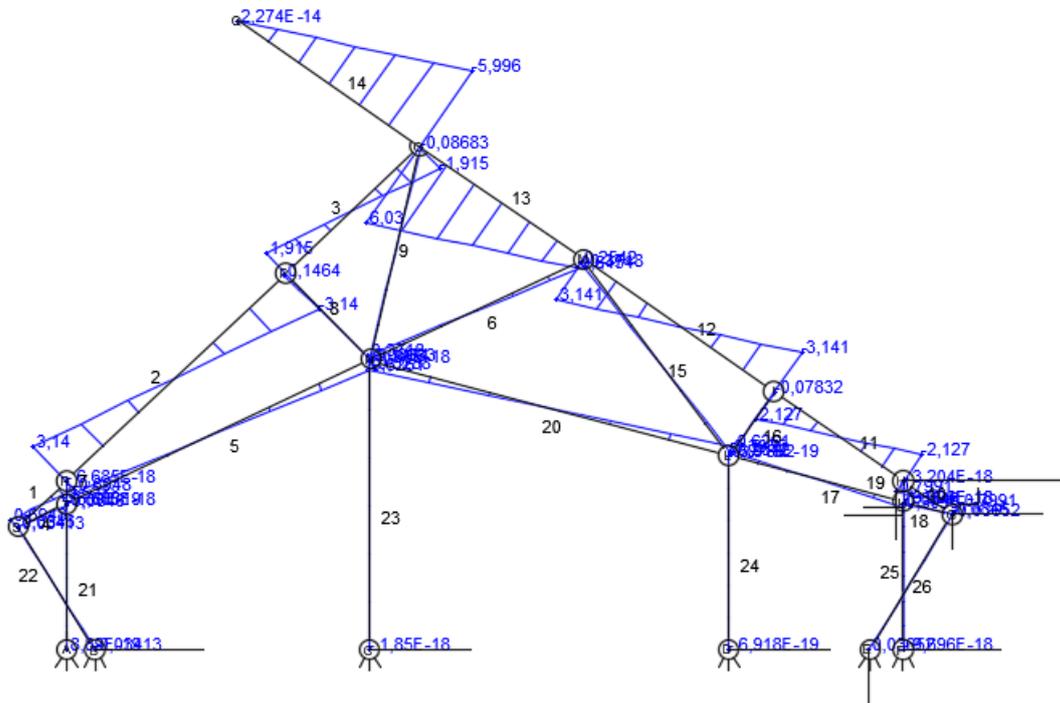


Figura 5.32: Andamento delle azioni di taglio nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.

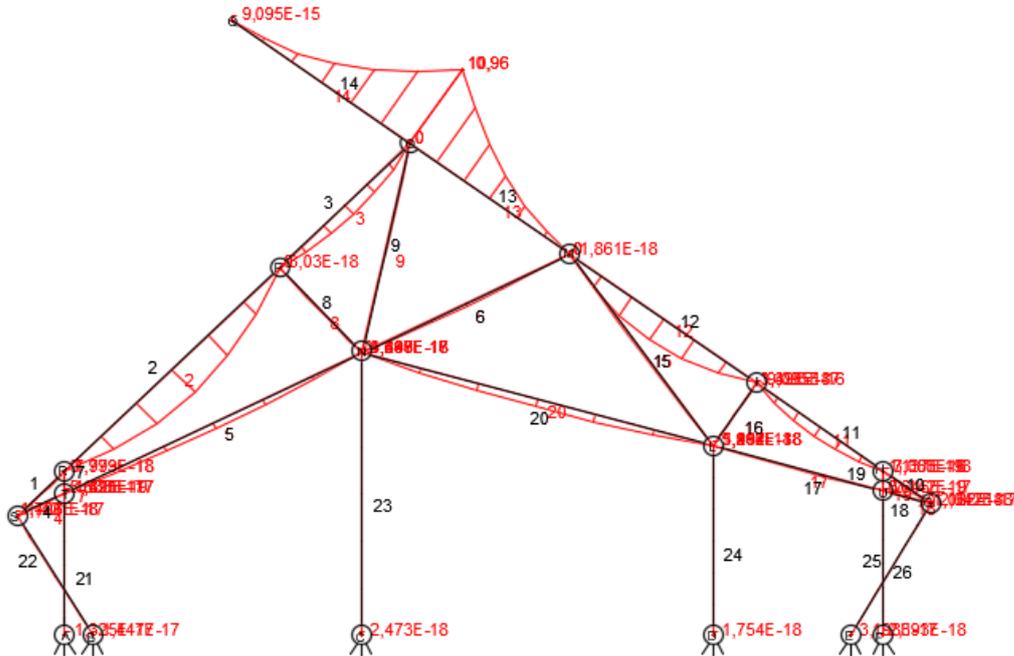


Figura 5.33: Andamento dei momenti nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.

Il momento massimo si verifica sull'asta 14 e risulta:

$$M_{d,II} = 10,96 \text{ kNm}$$

Mentre il taglio massimo si registra sull'asta 14 e vale:

$$T_{d,II} = 5,99 \text{ kN}$$

Poiché la combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata, si sceglie il valore di k_{mod} che corrisponde alla azione di minor durata, per questa combinazione si dovrà quindi utilizzare il valore relativo alla durata istantanea corrispondente alla classe di servizio 3:

$$k_{mod,vento} = 0,9$$

- *Combinazione di carico II*: effetto derivante dai soli carichi permanenti

Si considerano agenti solamente i carichi permanenti ($\gamma_q = 0$):

$$F_{d,II} = \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{k,1} = 1,34 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

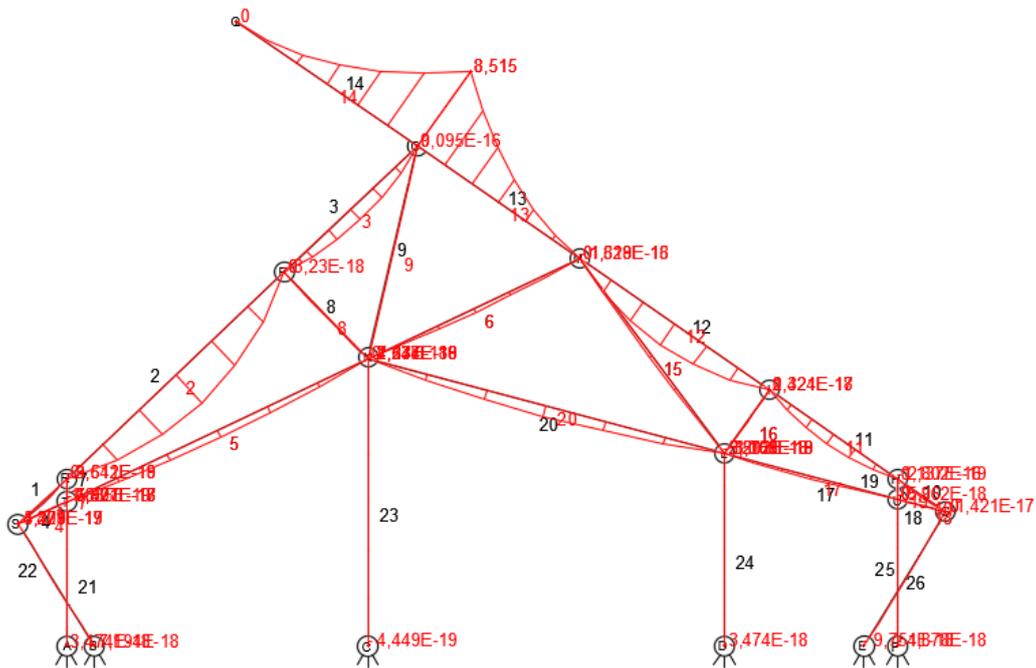


Figura 5.36: Andamento dei momenti nella condizione di carico 2.

Il momento massimo risulta:

$$M_{d,II} = 8,51 \text{ kNm}$$

Mentre il taglio massimo vale:

$$T_{d,II} = 4,656 \text{ kN}$$

In questo caso, agendo solamente il carico permanente, il valore di k_{mod} da utilizzare per la classe di servizio 3 sarà:

$$k_{mod,I} = 0,5$$

Confronto i valori per stabilire la condizione peggiore poiché la condizione di carico più severa per la verifica flessionale corrisponde a quella per cui il rapporto M_d/k_{mod} risulta maggiore. In questo caso risulta:

$$\frac{M_{d,II}}{k_{mod,permanente}} = 9,46 < \frac{M_{d,IB}}{k_{mod,ista}} = 10,47 < \frac{M_{d,IA}}{k_{mod,ista}} = 12,18$$

Analogamente per le sollecitazioni taglianti si avrà:

$$\frac{T_{d,II}}{k_{mod,permanente}} = 5,17 < \frac{T_{d,IA}}{k_{mod,ista}} = 5,72 < \frac{T_{d,IB}}{k_{mod,ista}} = 6,66$$

La combinazione di carico I che considera l'effetto simultaneo di più azioni caricata con la seconda configurazione del vento risulta quindi la più severa, il predimensionamento della struttura prenderà quindi in considerazione tale configurazione.

5.4.4.1 Predimensionamento

Il dimensionamento ha preso in considerazione l'elemento maggiormente sollecitato, di conseguenza gli altri elementi saranno sicuramente verificati sia a flessione che a taglio. Partendo dal momento massimo, ricavato dai grafici sopra riportati, e dallo sforzo parallelo massimo accettabile $\sigma_{//,max}$ in esercizio a cui può essere soggetta la trave, si è ricavato il momento resistente W , da cui, attraverso considerazioni geometriche è stato possibile individuare la sezione minima in grado di sopportare tale sollecitazione.

$$\sigma_{d,I} = f_k \frac{k_{mod,III}}{\gamma_m} = 27,69 \text{ MPa} \quad (k_{mod,istantaneo} = 0,9)$$

Il momento massimo si sviluppa in corrispondenza dello sbalzo QO e risulta essere pari a:

$$M_{max} = 10,96 \text{ kNm}$$

Da cui:

$$W_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_d} = 0,00071 \text{ m}^3$$

Imponendo l'altezza della sezione pari al doppio della base, è possibile scrivere il momento resistente in funzione di un solo parametro H :

$$H_{min} = \sqrt[3]{12W} = 0,20 \text{ m} \quad \rightarrow \quad B_{min} = 0,10 \text{ m}$$

Tale sezione risulta congruente con i materiali disponibili localmente.

5.4.4.2 Verifica agli stati limite di esercizio

Considerando che l'asta OQ presenta una lunghezza di 7,12 m, il rapporto luce-altezza risulta:

$$\frac{L}{H} = \frac{7,12 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} = 35$$

Notevolmente superiore al limite imposto per le buone prestazioni in esercizio dei solai lignei. Nel presente caso, trattandosi di una copertura non praticabile e non presentando le criticità di arredamento tipiche dei solai e quindi le necessità di modeste deformazioni, si poteva scegliere di confermare gli elementi lignei precedentemente ricavati ma si è preferito, a favore di sicurezza, scegliere un profilo 15x30 cm.

$$\frac{L}{H} = \frac{7,12 \text{ m}}{0,30 \text{ m}} = 23,7$$

VERIFICATO

5.4.4.3 Verifica a flessione

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{10,96 \text{ kNm}}{2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 4,87 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = f_{m,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 27,69 \text{ MPa}$$

VERIFICATO

5.4.4.4 Verifica a taglio

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{T_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{6,00 \text{ kN}}{0,045 \text{ m}^2} = 0,20 \text{ MPa} \leq f_{v,d} = f_{v,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 2,63 \text{ MPa}$$

VERIFICATO

5.4.4.5 Verifica a instabilità aste compresse

Le verifica a instabilità degli elementi compressi della reticolare sono stati eseguiti con il metodo ω . Per una spiegazione esaustiva del procedimento di verifica, si faccia riferimento al *paragrafo §5.4.5 Verifiche pilastri in legno*.

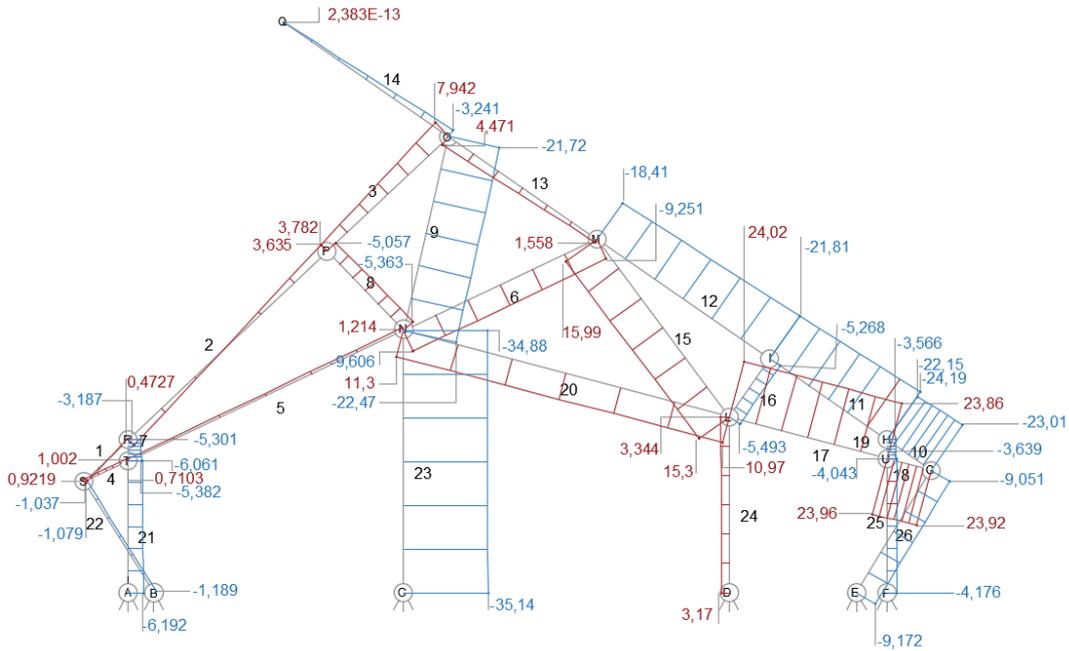


Figura 5.37: Azioni assiali agenti sulla configurazione 1, in rosso le trazioni, in blu le compressioni.

Tabella 5.10: Tabella riassuntiva della verifica a instabilità delle aste compresse.

Asta	H [m]	B [m]	J [m ³]	l ₀ [m]	λ [-]	ω [-]	N [kN]	σ [MPa]	
7	0,3	0,2	0,0003	0,382	4	1,02	5,38	0,1	VER
8	0,3	0,2	0,0003	2,005	23	1,1	5,36	0,11	VER
9	0,3	0,2	0,0003	3,648	42	1,29	22,47	0,6	VER
6	0,3	0,2	0,0003	3,895	45	1,33	9,61	0,28	VER
14	0,3	0,2	0,0003	3,657	42	1,29	3,24	0,08	VER
12	0,3	0,2	0,0003	3,833	44	1,32	21,81	0,6	VER
11	0,3	0,2	0,0003	2,595	30	1,15	24,19	0,6	VER
10	0,3	0,2	0,0003	0,9751	11	1,04	23,01	0,51	VER
16	0,3	0,2	0,0003	0,3441	4	1,02	3,64	0,07	VER

5.4.5 Tirante

Nello schema strutturale è stato inserito un tirante mettere in collegamento i due pilastri inclinati. Questo specifico accorgimento consente di ottenere un irrigidimento ulteriore della struttura, con questo sistema le spinte orizzontali instabilizzanti agenti sui pilastri, che potrebbero provocarne il ribaltamento, si autoequilibrano. Il tirante può essere realizzato con il getto di un cordolo armato. In figura 5.38 si può notare come, in una situazione ordinaria, il tirante sia soggetto a un'azione di modesta intensità, questo avviene a causa del fatto che la componente orizzontale portata dai pilastri è molto ridotta; infatti, l'attivazione di questo sistema si verifica nel caso di un aumento improvviso dei

carichi orizzontali, dovuto per esempio a raffiche di vento o al sisma. L'impiego dell'elemento concorre quindi a rendere la struttura più stabile e ne permette l'adattabilità in siti di progetto che presentano condizioni al contorno difformi dal caso studio.

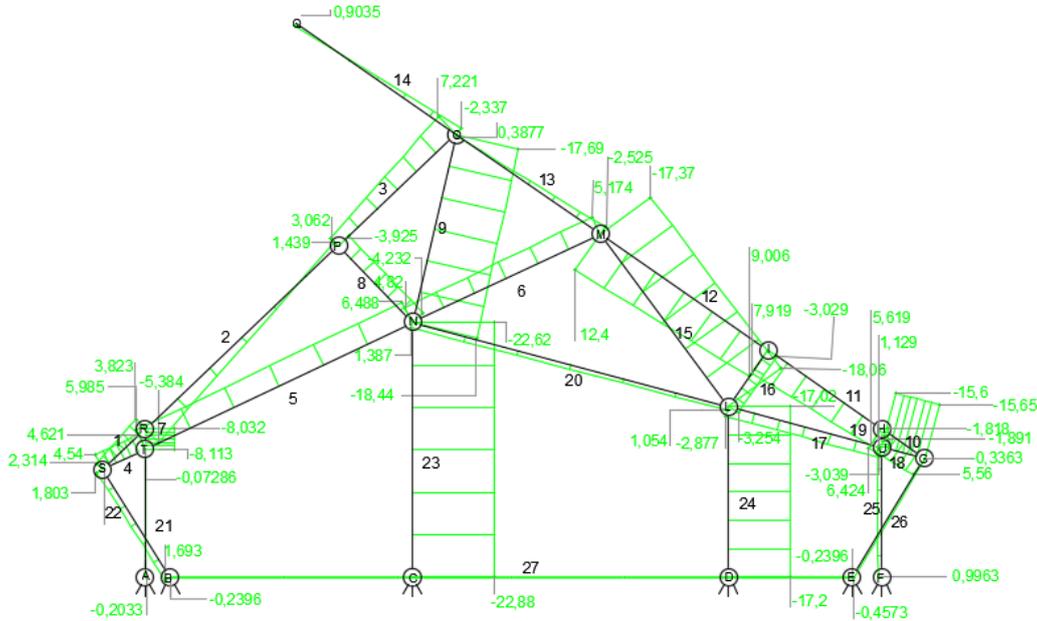


Figura 5.38: Azioni assiali a seguito dell'inserimento del tirante

5.4.6 Verifiche pilastri in legno

Un elemento viene considerato compresso quando risulta soggetto ad un'azione assiale centrata o debolmente eccentrica. L'equilibrio di un sistema elastico può essere di tipo stabile oppure instabile a seconda che il carico assiale agente sia, rispettivamente, inferiore, oppure superiore, di un parametro detto carico critico. Nel caso di equilibrio stabile ($N < N_{cr}$), se il sistema viene perturbato tende a ritornare nella configurazione iniziale, nel caso contrario ($N \geq N_{cr}$), il sistema si allontana dalla posizione di equilibrio.

Per questi elementi viene definito "carico critico" il valore di carico per il quale si attiva l'instabilità dell'elemento, che si dimostra essere legata a fenomeni del II ordine. Viene definito il carico critico Euleriano come

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{l_0^2}$$

l_0 Luce di libera inflessione e dipende dalle condizioni di vincolo.

Nel caso oggetto di studio, si fa riferimento a un'asta incernierata ad entrambe le estremità, pertanto la lunghezza di libera inflessione coincide con l'altezza dell'asta stessa.



Figura 5.39: Elemento maggiormente compresso.

Lo sforzo associato al raggiungimento del carico critico è definito come:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EJ}{l_0^2 \cdot A} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

Dove

λ Snellezza

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho}$$

ρ Raggio minore d'inerzia nel piano di sbandamento dell'asta e che, nel caso di asta a sezione rettangolare di altezza h, risulta pari a

$$\rho = i = \sqrt{\frac{J}{A}} = \frac{h}{\sqrt{12}}$$

Per il dimensionamento della sezione si è deciso di considerare un valore di snellezza limite pari a 100 ricavando poi a ritroso le dimensioni minime del pilastro. Considerando una l_0 pari a 4,83 m si ottiene:

$$100 = \frac{4,83 \text{ m}}{\rho} \rightarrow \rho = \frac{4,83 \text{ m}}{100} = 0,048 \text{ m}$$

$$0,048 \text{ m} = \sqrt{\frac{J}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b \cdot h^3}{12}}{b \cdot h}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \rightarrow$$

$$h^2 = 0,048^2 \cdot 12 = 0,028 \text{ m}^2 \rightarrow h_{min} = \sqrt{0,028} \cong 0,17 \text{ m} = 17 \text{ cm}$$

Si sceglie di adottare una sezione 20 x 20 cm, a cui corrisponde una $\lambda = 83$ e si procede poi con la verifica, riferendosi alla CNR 206 – 2018. Nel caso di asta soggetta solo a sforzo normale devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{cr,c} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1$$

nella quale:

$\sigma_{c,o,d}$ tensione di compressione di calcolo per sforzo normale;

$f_{c,o,d}$ resistenza di calcolo a compressione;

$k_{cr,c}$ coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna valutato per il piano in cui assume il valore minimo.

Il coefficiente riduttivo $k_{cr,c}$ si calcola in funzione della snellezza relativa di colonna $\lambda_{rel,c}$ che vale:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

dove:

$f_{c,o,k}$ resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura;

$\sigma_{c,crit}$ tensione critica calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici (frattile 5%);

λ snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo.

Quando $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$ si pone $k_{crit,c}$ pari a 1, altrimenti si calcola come:

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}$$

Con

$$k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3)) + \lambda_{rel,c}^2$$

Dove

β_c coefficiente di imperfezione, può assumere i seguenti valori:

- per legno massiccio $\beta_c = 0.2$
- per legno lamellare $\beta_c = 0.1$

Si procede quindi alla verifica del pilastro più sollecitato:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}} = \frac{83}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26}{9400}} = 1,39 (> 0,3)$$

È quindi necessario calcolare:

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}} = \frac{1}{1,57 + \sqrt{1,57^2 - 1,39^2}} = 0,43$$

Con

$$k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3)) + \lambda_{rel,c}^2 = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,39 - 0,3)) + 1,39^2 = 1,57$$

Ed infine

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{cr,c} \cdot f_{c,o,d}} = \frac{0,88}{0,43 \cdot 18} = 0,11 \leq 1$$

Con

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{A} = 0,82 \text{ MPa}$$

VERIFICATO

Si riportano in tabella 5.9 i risultati delle verifiche sugli altri elementi compressi:

Tabella 5.11: Verifiche a instabilità dei pilastri compressi.

	$f_{c,o,k}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [GPa]	λ [-]	β [-]	k [-]	$k_{cr,c}$ [-]	N [kN]	σ [MPa]	$f_{c,o,d}$ [MPa]		
23	26,00	9,40	1,39	0,20	1,57	0,43	35,14	0,88	18,00	0,11	VER
21	26,00	9,40	1,39	0,20	1,57	0,43	6,06	0,15	18,00	0,01	VER
22	26,00	9,40	1,39	0,20	1,57	0,43	1,19	0,03	18,00	0,002	VER
25	26,00	9,40	1,39	0,20	1,57	0,43	4,18	0,10	18,00	0,02	VER

26	26,00	9,40	1,39	0,20	1,57	0,43	9,17	0,23	18,00	0,01	VER
----	-------	------	------	------	------	------	------	------	-------	------	-----

5.5 Collegamenti

La tecnica di connessione è frutto di un ragionamento di tipo architettonico, economico e funzionale, in quanto l'aspetto di una costruzione in legno è contraddistinto in modo decisivo dai dettagli dei nodi. A connessioni di tipo legno-legno che necessitavano di specifiche lavorazioni di falegnameria, si sono preferite soluzioni a viti con piastre d'acciaio ove necessarie.

Per quanto consapevoli dei notevoli vantaggi portati in campo strutturale dai processi di prefabbricazione in officina e successivo montaggio in cantiere, non è stato possibile seguire tale filone di ricerca in quanto il territorio isolato non lo permette.

5.5.1 Collegamenti con viti

Il progetto prevede l'impiego di collegamenti a vite, ciò consente di avere un miglior comportamento in esercizio ed evita lo scalzamento che si avrebbe impiegando semplici chiodature.

Le viti in commercio sono caratterizzate da un diametro di testa d e una lunghezza di gambo l , tali parametri geometrici influenzano direttamente la capacità resistente del collegamento.

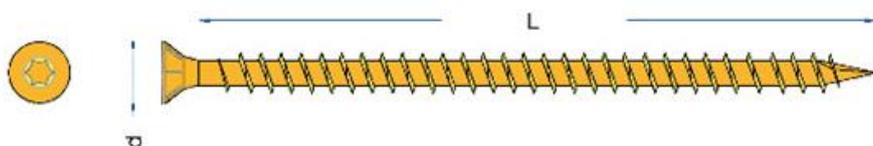


Figura 5.40: Misure fondamentali in una vite filettata.

Ai fini della presente tesi, si è scelto di dimensionare il collegamento più critico, ovvero la cerniera posta tra le due falde della copertura. Per realizzarlo si sono scelte viti a gambo filettato con diametro pari a 10 mm e lunghezza del gambo di 280 mm. Seguendo la UNI EN 1995-1-1, per la disposizione geometrica si adottano dei valori minimi di interassi e distanze da bordi ed estremità per evitare possibili rotture. Anche usando misure così limitate è comunque necessario che lo spessore degli elementi lignei t sia pari ad almeno $12d$.

Nel caso specifico $15 \text{ cm} > 12 \text{ cm}$.

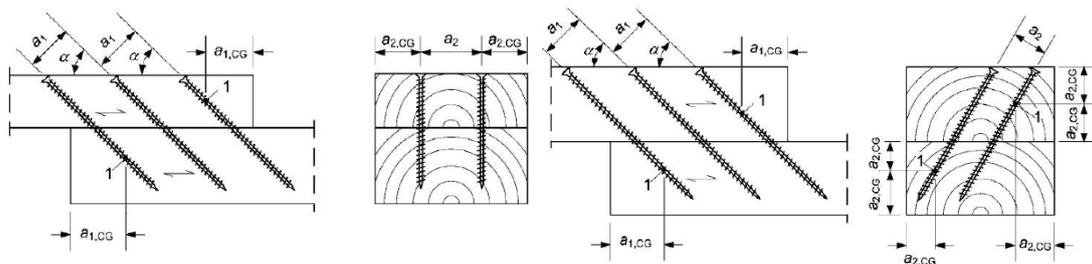


Figura 5.41: Distanze di sicurezza per viti (fonte: EN ISO 898-1 2009 *Caratteristiche meccaniche per viti e viti prigioniere*).

In tabella 5.11 sono riportati i valori minimi delle distanze geometriche da mantenere in funzione del diametro di progetto.

Tabella 5.12: Valori minimi delle distanze geometriche da mantenere.

Spaziature in mm		
	minimi	adottati
a_1	7d	7 cm
a_2	5d	5 cm
$a_{1,c}$	10d	10 cm
$a_{2,t}$	4d	4 cm

Figura 5.42: Distanze limite.

Affinché il collegamento possa lavorare efficacemente a taglio, la profondità di infissione della punta della vite deve essere pari ad almeno 6 volte il diametro, in tal modo è possibile escludere la possibilità di estrazione della vite. L'adozione di questi valori limite consente di evitare comportamenti a rottura fragili in esercizio.

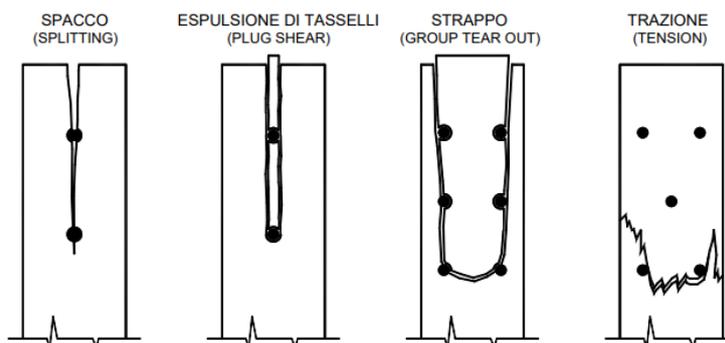


Figura 5.43: Modalità di rottura fragili per un'unione con connettori a gambo cilindrico: a) fenditura (*splitting*); b) estrazione di uno o più tasselli di legno corrispondenza dei singoli connettori (*plug shear*); c) strappo di parte di elemento in corrispondenza di un gruppo di connettori (*group tear out*); d) rottura dell'elemento ligneo per trazione (*tension*) (fonte: PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoplei, Trento 2009, p. 161).

Il calcolo della capacità portante si effettuerà adottando un diametro efficace d_{ef} maggiorato in modo da tener conto del contributo dato dalla filettatura della vite. Tale

valore efficace è utilizzato per la determinazione del momento resistente plastico e la resistenza a rifollamento della parte filettata. Il diametro esterno d viene utilizzato invece solo per la determinazione delle spaziature parallela e perpendicolare alla fibratura, le distanze dalle estremità e dai bordi nonché il numero efficace di viti.

$$d_{ef} = 1,1 \cdot d = 1,1 \cdot 1 \text{ cm} = 1,1 \text{ cm}$$

Siccome si prevede l'impiego di palissandro, un legno di latifoglia, la norma prescrive l'obbligo di preforatura. Il foro-guida per la porzione filettata della vite deve avere un diametro pari approssimativamente al 70% del diametro del filetto, mentre per la parte liscia della vite deve avere lo stesso diametro del gambo liscio. Per le chiodature oblique è necessario che la distanza dal bordo sollecitato ammonti ad almeno $10d$ e in ogni connessione dovranno essere presenti almeno due chiodi obliqui.

5.5.1.1 Calcolo della resistenza di progetto

I parametri meccanici e geometrici necessari per la determinazione dei valori di R_k per i diversi meccanismi di rottura sono le resistenze caratteristiche a rifollamento ed il loro rapporto, ossia il momento caratteristico di snervamento; vengono poi considerati il diametro d , il numero dei connettori n e le distanze t_1 e t_2 .

Le due grandezze geometriche t_1 e t_2 sono calcolate in accordo alla figura 5.46.

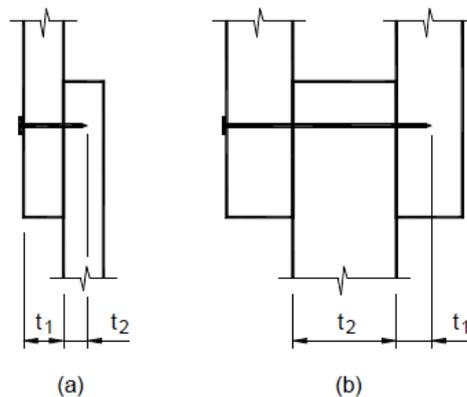


Figura 5.44: Definizione degli spessori t_1 e t_2 (fonte: PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hopfe, Trento 2009, p. 202).

Nel caso di un piano di taglio singolo (a), t_1 rappresenta lo spessore del legno o del pannello considerato mentre t_2 è la profondità di penetrazione; nel caso di doppio piano di taglio i due ruoli sono invertiti (b). Nel caso in esame si assumono:

$$t_1 = 150 \text{ mm}$$

$$t_2 = 150 \text{ mm}$$

Nelle unioni tra elementi di legno eseguite con connettori meccanici, la forza viene trasmessa attraverso le pareti di uno o più fori. Assume quindi notevole importanza valutare la resistenza al rifollamento delle pareti del foro, tale resistenza dipende dalla massa volumica del legno, dall'inclinazione con la direzione delle fibre e dalla dimensione del connettore e viene calcolata come:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 11) \cdot 590 \sim 43 \text{ MPa}$$

con $\rho_k = 590 \text{ kg/m}^3$

Il momento plastico del connettore si ricava come:

$$M_{y,Rk} = \zeta \cdot \frac{f_{u,k} d^3}{6} = 91810,7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

con

$$\zeta = 1,8 \cdot d^{-0,4};$$

$f_{u,k}$ tensione di rottura caratteristica dell'acciaio pari a 600 MPa ²⁴⁰

Per il calcolo della capacità portante caratteristica si considerano i possibili meccanismi di collasso nell'ipotesi di comportamento rigido-plastico sia per il legno che per il connettore, determinando poi il carico limite. I meccanismi di collasso sono i seguenti:

Modo I schiacciamento del legno davanti al connettore;

Modo II contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di una cerniera plastica nel connettore;

Modo III contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di due cerniere plastiche nel connettore;

Modo IV schiacciamento del legno e rotazione rigida del connettore.

²⁴⁰ Berardi, < EN ISO 898-1 2009. Caratteristiche meccaniche per viti e viti prigioniera (gberardi.com)>, ultima consultazione 07/09/2023.

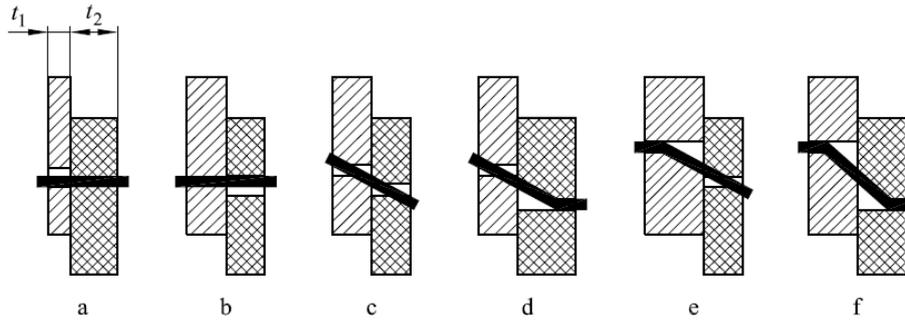


Figura 5.45: Modi di rottura per connessioni di legno con taglio singolo con a) Modo Ia, b) Modo Ib, c) Modo IV, d) Modo IIa, e) Modo IIb, f) Modo III (fonte: *EN ISO 898-1 2009 Caratteristiche meccaniche per viti e viti prigioniere*).

La capacità portante caratteristica, pertanto, per un singolo piano di taglio, è cautelativamente assunta come il valore minimo determinato dalle espressioni che seguono e che indicano le sei configurazioni di rottura riportate precedentemente:

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_2d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(2+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,1,k}d + \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \end{array} \right.$$

con:

$f_{v,Rk}$ capacità portante caratteristica per singolo piano di taglio e per singola vite;

$f_{h,1,k}$ resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento ligneo i-esimo;

$M_{y,Rk}$ momento caratteristico di snervamento della vite;

β rapporto fra le resistenze a rifollamento degli elementi;

$$\beta = 1$$

$F_{ax,Rk}$ capacità caratteristica assiale a sfilamento per la vite calcolata come

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,k} = 1,87 \cdot (\pi \cdot 11 \cdot 270)^{0,8} \cdot 43,5$$

$$= 122 \text{ kN}$$

l_{ef} lunghezza della parte filettata meno una volta il diametro della vite d (lordo).

Resistenza sfilamento perpendicolare

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 51,6 \text{ MPa}$$

Numero efficace di viti

$$n_{ef} = n^{0,9} = (2)^{0,9} = 1,87$$

Nel caso in esame otteniamo i seguenti valori:

Tabella 5.13: Resistenze a taglio dell'unione per le diverse casistiche.

Modo di rottura	R_k [N]
IA	70950
IB	70950
IV	29419
IIA	25502
IIB	25713
III	10748
Valore minimo caratteristico	
III	10748

Il valore di resistenza finale sarà ridotto tramite due coefficienti, perciò

$$R_d = R_{k,III} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma} = 10748 \cdot \frac{0,6}{1,3} = 4960,6 \text{ N}$$

Si dimensiona la connessione in funzione della condizione più gravosa che, nel nodo analizzato, risulta essere quella derivata dalla configurazione 2B con l'asta in esame soggetta a una trazione pari a 11,3 kN

$$n_{ef} > \frac{N_d}{2R_d} = \frac{7950 \text{ N}}{2 \cdot 4960,6} = 1,13$$

Si decide perciò di adottare due elementi resistenti per realizzare una connessione simmetrica come imposto da normativa.

Conclusioni e sviluppi futuri

La progettazione della scuola nell'area rurale del Senegal ha consentito di approfondire numerose tematiche, dalla sostenibilità all'istruzione, dall'implementazione di tecniche indigene e di materiali locali a basso impatto ambientale ai precetti dell'Industria 5.0²⁴¹. Quest'ultimo paradigma in particolare rappresenta un nuovo tentativo di integrare le tecnologie innovative con gli attori umani, sottolineando come la produzione non deve essere solo digitalizzata ma anche resiliente, sostenibile e umanocentrica. Il modello proposto, come anche il progetto sviluppato all'interno della tesi, mira a mettere al centro del processo produttivo la qualità della vita delle persone e la tutela dell'ambiente, affrontando in modo proattivo i problemi socio-ambientali, inoltre riconosce il valore fondamentale delle persone e si impegna a minimizzare l'impatto ambientale attraverso l'adozione di processi produttivi ecosostenibili tra cui l'efficientamento energetico, l'utilizzo di materiali e risorse rinnovabili, la riduzione degli sprechi e l'adozione di politiche di riciclo e riutilizzo. Infine, si concentra sulla creazione di sistemi produttivi flessibili e resilienti, in grado di adattarsi rapidamente ai cambiamenti.

Il progetto nella sua complessità non ha rappresentato esclusivamente un'opportunità per fornire un'istruzione di qualità ai giovani del Senegal ma anche un mezzo per contribuire al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs), migliorando la qualità della vita delle persone.

Di seguito, si riportano gli obiettivi direttamente interessati da *Teranga* e i loro principali impatti sulla comunità locale, introducendo delle riflessioni personali:



Obiettivo 1: Sradicare la povertà in tutte le sue forme e ovunque nel mondo.

La scuola offre l'opportunità di fornire istruzione a bambini e giovani che altrimenti potrebbero essere esclusi da questo diritto fondamentale e fornisce a studenti di diverse fasce sociali la possibilità di accedere alle stesse risorse educative, contribuendo a ridurre le disuguaglianze socioeconomiche.

²⁴¹ Commissione europea, Direzione generale della Ricerca e dell'innovazione, BREQUE, M., DE NUL, L., PETRIDIS, A., *Industria 5.0 – Verso un'industria europea sostenibile, incentrata sull'uomo e resiliente*, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>.

L'istruzione è in grado di interrompere il ciclo di povertà che spesso si trasmette da una generazione all'altra; infatti, i bambini che ricevono un'istruzione di qualità hanno maggiori probabilità di diventare adulti che contribuiscono positivamente all'economia e che possono fornire un futuro migliore alle proprie famiglie sia in termini di occupazione che di reddito. La costruzione e la gestione della scuola possono inoltre portare a nuove opportunità lavorative per la comunità locale.

Obiettivo 2: Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare l'alimentazione e promuovere l'agricoltura sostenibile.



Il programma del laboratorio alimentare fornisce pasti che possono contribuire a combattere la fame e la malnutrizione, garantendo che gli studenti ricevano almeno un pasto nutriente al giorno. La scuola insegna agli studenti l'importanza di una dieta equilibrata, influenzando positivamente le abitudini alimentari degli studenti e delle loro famiglie.

Nell'orto gli studenti possono imparare a coltivare frutta e verdura; quest'esperienza pratica non solo fornisce cibo fresco per i pasti scolastici ma insegna anche agli studenti abilità agricole utili per la loro vita futura. Contribuisce alla conservazione dell'agrobiodiversità e alla promozione di colture locali adatte alle condizioni ambientali. *Teranga* è poi un centro di coinvolgimento comunitario per affrontare le questioni alimentari, la comunità può essere coinvolta nella pianificazione e nella gestione dei programmi alimentari scolastici e nell'implementazione di pratiche agricole sostenibili, insegnando agli studenti l'importanza dell'acqua nella produzione alimentare e come utilizzare in modo efficiente le risorse idriche per l'irrigazione. Inoltre si configura come centro per volto all'autosufficienza alimentare mirando a produrre cibo fresco a sufficienza per soddisfare le esigenze della comunità e riducendo la sensibilità delle persone alle carestie e alle fluttuazioni dei prezzi dei prodotti alimentari. Infine, la comunità diventa più autonoma nella produzione e nella gestione delle risorse, riducendo la dipendenza da aiuti esterni.



Obiettivo 3: Garantire una vita sana e promuovere il benessere di tutti a tutte le età.

La scuola fornisce un'istruzione sanitaria agli studenti, insegnando loro abitudini igieniche, nutrizione equilibrata, riproduzione e svolgendo un ruolo nella sensibilizzazione sulla prevenzione delle malattie, ad esempio, la prevenzione dell'HIV/AIDS e delle malattie trasmesse da vettori come la malaria. Queste conoscenze possono influenzare positivamente il comportamento degli studenti, che diventano portavoce dell'informazione sulla salute nelle loro famiglie e nella comunità. La scuola è inoltre un punto d'accesso per i programmi di vaccinazione, in tal modo è possibile aumentare la copertura vaccinale, proteggendo gli studenti dalle malattie infettive, e per l'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienici, migliorando le condizioni igieniche degli studenti e del personale.

Obiettivo 4: Garantire un'istruzione di qualità inclusiva ed equa e promuovere opportunità di apprendimento continuo per tutti.



La realizzazione di una scuola primaria nell'area rurale del Senegal consente di migliorare l'accesso all'istruzione per i bambini che altrimenti dovrebbero percorrere lunghe distanze per raggiungere una scuola, adottando politiche e pratiche per garantire l'inclusività ed equità nell'istruzione e fornendo materiali didattici adeguati, come libri di testo e risorse didattiche, per supportare l'apprendimento degli studenti. La scuola è un ambiente sicuro, inclusivo e favorevole all'apprendimento, e adotta approcci didattici flessibili per rispondere alle specifiche esigenze degli studenti. *Teranga* è fondamentale per promuovere l'alfabetizzazione non solo tra gli studenti ma anche all'interno della comunità locale che è coinvolta nella gestione e nel supporto dell'istituto.



Obiettivo 5: Raggiungere l'uguaglianza di genere e l'autodeterminazione di tutte le donne e ragazze.

La scuola primaria fornisce alle ragazze l'opportunità di accedere all'istruzione, contribuendo a ridurre il divario di genere, inoltre può integrare l'educazione sulla parità di genere nei suoi programmi, insegnando agli studenti il valore dell'uguaglianza e combattendo gli stereotipi di genere dannosi. Durante le lezioni possono essere offerte informazioni sulla salute sessuale e riproduttiva alle ragazze, consentendo loro di prendere decisioni informate sulla propria salute e insegnando loro abilità di leadership e autostima.

L'istruzione inoltre contribuisce indirettamente a prevenire il matrimonio infantile, consentendo alle ragazze di rimanere a scuola invece di sposarsi precocemente.

Obiettivo 6: Garantire la disponibilità e la gestione sostenibile di acqua e servizi igienici per tutti.



La scuola è dotata di sistemi di raccolta che forniscono acqua potabile sicura agli studenti e al personale, ciò migliora la salute e promuove l'igiene, inoltre dispone di servizi igienici a secco, in grado di minimizzare il dispendio idrico e evitare l'inquinamento dell'acqua di falda. La scuola inoltre integra l'educazione all'igiene nei suoi programmi, insegnando agli studenti le pratiche igieniche corrette come il lavaggio delle mani, l'uso dei servizi igienici, la gestione dei rifiuti e la gestione sostenibile delle risorse idriche. Al fine di garantire un approvvigionamento costante d'acqua, la struttura è dotata di vasche d'accumulo che attraverso filtri e metodi di purificazione possono renderla sicura per essere bevuta oppure per essere utilizzata per l'irrigazione. L'accesso a fonti d'acqua potabile sicura e servizi igienici riduce il rischio di malattie trasmesse dall'acqua come il colera e la dissenteria.



Obiettivo 7: Garantire l'accesso all'energia a prezzo accessibile, affidabile, sostenibile e moderna per tutti.

La scuola è progettata secondo i principi dell'architettura bioclimatica, riducendo la dipendenza dalle fonti di energia inquinanti e contribuisce alla riduzione delle emissioni di gas serra. Viene inoltre insegnata agli studenti l'importanza delle energie rinnovabili, educandoli su come funzionano e sulle loro implicazioni positive per l'ambiente. La scuola costituisce inoltre un centro di accesso all'energia per la comunità circostante, migliorando la qualità della vita nell'area.

Obiettivo 8: Promuovere una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, la piena occupazione e il lavoro dignitoso per tutti.



La scuola fornisce istruzione e formazione professionale agli studenti, preparandoli con le competenze e le conoscenze

necessarie per inserirsi nel mercato del lavoro. Inoltre, insegna agli studenti l'alfabetizzazione finanziaria, aiutandoli a gestire efficacemente il denaro e ad avere una migliore comprensione delle questioni economiche.



Obiettivo 9: Costruire un'infrastruttura resiliente, promuovere l'industrializzazione inclusiva e sostenibile e sostenere l'innovazione.

I principi dell'architettura bioclimatica secondo cui la scuola è progettata contribuiscono, riducendo il consumo energetico dell'edificio, a una maggiore resilienza energetica; inoltre, l'utilizzo di materiali locali e l'impiego di accortezze progettuali portano a una maggiore resilienza economica e a una maggiore adattabilità nei confronti dei cambiamenti climatici, compresi eventi meteorologici estremi come piogge intense e siccità. Il regime di autocostruzione-comunitario, che viene seguito per la costruzione, sensibilizza e coinvolge la comunità nelle questioni legate all'infrastruttura rendendola più resiliente e introduce pratiche per massimizzare l'efficienza dell'edificio, promuovendo l'innovazione nel settore delle costruzioni e dell'architettura.

Obiettivo 10: Ridurre le disuguaglianze all'interno dei e fra i Paesi.



Una delle cause principali delle disuguaglianze è l'accesso limitato all'istruzione. La scuola, come citato più volte, è in grado di ridurre queste disuguaglianze offrendo un'istruzione di qualità

a tutti gli studenti, indipendentemente dalla loro origine sociale, di genere o condizione economica e promuovendo una cultura di uguaglianza, rispetto e inclusione tra gli studenti, contribuendo a ridurre le discriminazioni.

L'offerta di pasti scolastici può aiutare a ridurre le disuguaglianze nutrizionali, garantendo che gli studenti ricevano cibo nutriente, il che può influenzare positivamente il loro apprendimento.



Obiettivo 11: Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili.

La scuola può educare gli studenti sull'importanza dell'urbanizzazione sostenibile, insegnando loro come contribuire a una comunità più ecocompatibile e promuovere la consapevolezza ambientale, insegnando agli studenti come proteggere l'ambiente locale e come gestire i rifiuti in modo responsabile.

Teranga, in caso di necessità, può adattarsi a rifugio o centro di coordinamento in caso di emergenze o catastrofi naturali, contribuendo alla resilienza della comunità locale.

Obiettivo 12: Garantire modelli di consumo e produzione sostenibili.



L'orto destinato all'autosufficienza alimentare consente alla scuola e alla comunità di produrre cibo in modo sostenibile, riducendo la dipendenza da cibo proveniente da fonti esterne e promuovendo pratiche agricole sostenibili come l'uso di fertilizzanti organici e tecniche di coltivazione rispettose dell'ambiente, e, se pianificato in modo efficiente, riduce lo spreco alimentare e della risorsa idrica; inoltre gli alimenti prodotti possono essere utilizzati freschi, riducendo la necessità di conservanti e imballaggi e promuovendo un consumo più sostenibile.



Obiettivo 13: Adottare misure urgenti per combattere i cambiamenti climatici e le loro conseguenze.

La scuola è un esempio di edificio ecocompatibile, costruita seguendo criteri dell'efficienza energetica e della gestione ecologica del cantiere, contribuendo agli sforzi per affrontare i cambiamenti climatici.

Obiettivo 14: Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine.



Anche se l'obiettivo non è direttamente correlato al sito d'intervento, alcune delle pratiche implementate nel progetto possono avere impatti positivi a lungo termine sulla salute degli ecosistemi marini; in particolare, l'impiego di bagni a secco contribuisce alla riduzione dell'inquinamento delle acque superficiali e sotterranee e ciò può indirettamente influenzare la qualità dell'acqua che scorre nelle zone limitrofe.



Obiettivo 15: Proteggere, ripristinare e promuovere l'uso sostenibile degli ecosistemi terrestri, gestire in modo sostenibile le foreste, contrastare la desertificazione, arrestare e invertire il degrado dei suoli e fermare la perdita di biodiversità.

La costruzione della scuola incentiva l'utilizzo di materiali locali, limitando l'uso intensivo di materiali pregiati e protetti, inoltre per il mantenimento della copertura si prevede un piano di manutenzione e produzione di legnami e paglia nelle aree circostanti per combattere la deforestazione e incentivare la biodiversità. La scuola integra l'educazione ambientale nei suoi programmi, insegnando agli studenti l'importanza della biodiversità, della conservazione delle foreste e del suolo.

I bagni a secco istruiscono gli studenti su come realizzare il compostaggio per ridurre la quantità di rifiuti organici e migliorare la fertilità del suolo.

Obiettivo 16: Promuovere società pacifiche e inclusive orientate allo sviluppo sostenibile, garantire a tutti l'accesso alla giustizia e costruire istituzioni efficaci, responsabili e inclusive a tutti i livelli



L'accesso all'istruzione e la promozione di valori di tolleranza, diversità e rispetto contribuiscono alla creazione di società più giuste e pacifiche.



Figura C.1: Conseguenze dirette del progetto sugli obiettivi di sviluppo sostenibile.

Il progetto presentato in questa tesi rappresenta un esempio vivido di come l’innovazione nell’ambito dell’architettura e della progettazione non sia un processo statico, ma piuttosto dinamico e adattabile. *Teranga* è infatti un prototipo di scuola che non è limitato a una singola ubicazione o contesto, ma è concepito per essere replicato e adattato in diverse parti del mondo, con semplici aggiustamenti riguardanti le condizioni climatiche e i materiali localmente disponibili. Tale adattabilità consente, specialmente nelle comunità economicamente svantaggiate, d’intervenire sulla mancanza di infrastrutture scolastiche adeguate, permettendo un accesso equo all’istruzione.

Una delle caratteristiche distintive di questo prototipo è la sua flessibilità e la capacità di adattamento alle risorse locali disponibili. L’uso del bambù, in alternativa al legno, come materiale da costruzione rappresenta un esempio eccellente di questa filosofia. Il bambù è abbondante in molte regioni del mondo e offre una serie di vantaggi ecologici, proponendo una via sostenibile ed efficiente per estendere i benefici del progetto a livello globale.

Aspetti incoraggianti nell’impiego di tale materiale sono la rinnovabilità, in quanto il bambù cresce rapidamente e può essere raccolto in modo sostenibile, rendendolo una risorsa rinnovabile ideale per la costruzione. La sua leggerezza e resistenza lo rendono inoltre adatto a un’ampia varietà di condizioni climatiche e geografiche e, poiché la

coltivazione e la lavorazione del bambù richiedono meno energia e risorse rispetto ad altri materiali da costruzione, garantisce una riduzione dell'impatto ambientale complessivo del progetto.

Un altro aspetto di grande rilevanza risiede nella continuità della tradizione locale, molte comunità in tutto il mondo hanno una lunga tradizione nell'uso del bambù nella costruzione e integrare questa conoscenza locale con innovazioni moderne può portare a soluzioni costruttive altamente efficaci ed economiche, rispettando le radici culturali e valorizzando il patrimonio locale.

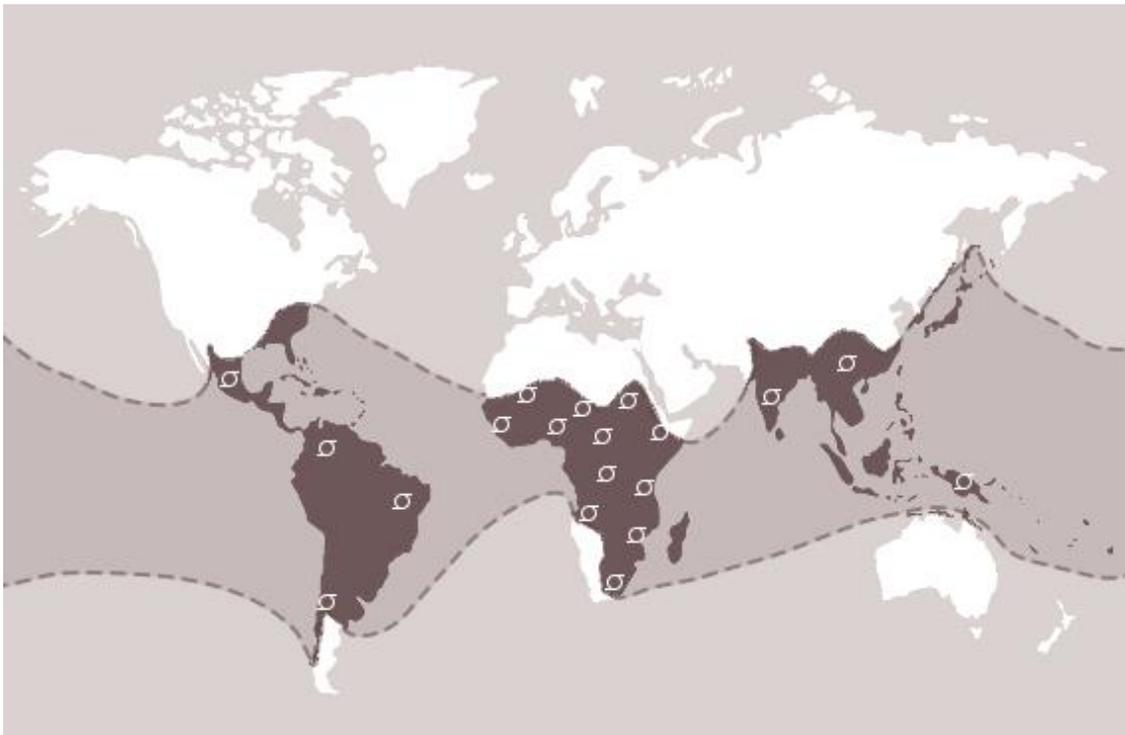


Figura C.2: Possibile diffusione del progetto nei territori con disponibilità di bambù e un elevato livello di povertà educativa.

La flessibilità di questo progetto va però oltre il materiale da costruzione; infatti, la sua progettazione modulare consente di adattare la scuola alle esigenze specifiche di ogni comunità e si rivela un'eredità duttile, disponibile a trasformazioni, capace di rispondere al presente e di accogliere le necessità future. Ad esempio, le dimensioni e la disposizione delle aule possono essere personalizzate in base al numero di studenti e alle esigenze educative locali.



Figura C.3: Possibile diffusione del progetto in zone climatiche affini e con elevato tasso di povertà educativa.

In conclusione, a nostro avviso, *Teranga* ha il potenziale per emancipare le comunità povere del mondo, fornendo l'accesso all'istruzione pubblica a tutti.

Appendice A. Il cambiamento climatico

L'entità del cambiamento climatico dipenderà principalmente dalla quantità di gas serra emessi a livello globale e dalla capacità del sistema terrestre di incassare tali emissioni. Con riduzioni significative delle emissioni di gas serra (GHG), l'aumento della temperatura media annuale globale potrebbe essere limitato a 2°C o meno. Tuttavia, senza importanti riduzioni, l'aumento delle temperature medie annuali globali, rispetto ai tempi preindustriali, potrebbe raggiungere i 5°C o più entro la fine di questo secolo.

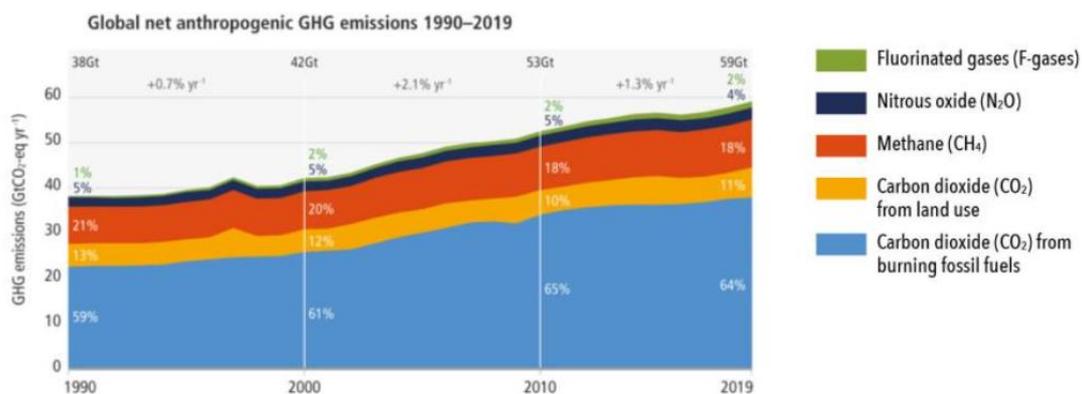


Figura A.1: Emissioni annue totali di gas a effetto serra (GHG) di origine antropica (gigatonnellate di CO₂-equivalenti all'anno, Gt CO₂-eq/anno) per il periodo dal 1970 al 2010, per gas (fonte: IPCC, < <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1/>>, ultima consultazione 12/09/2023).

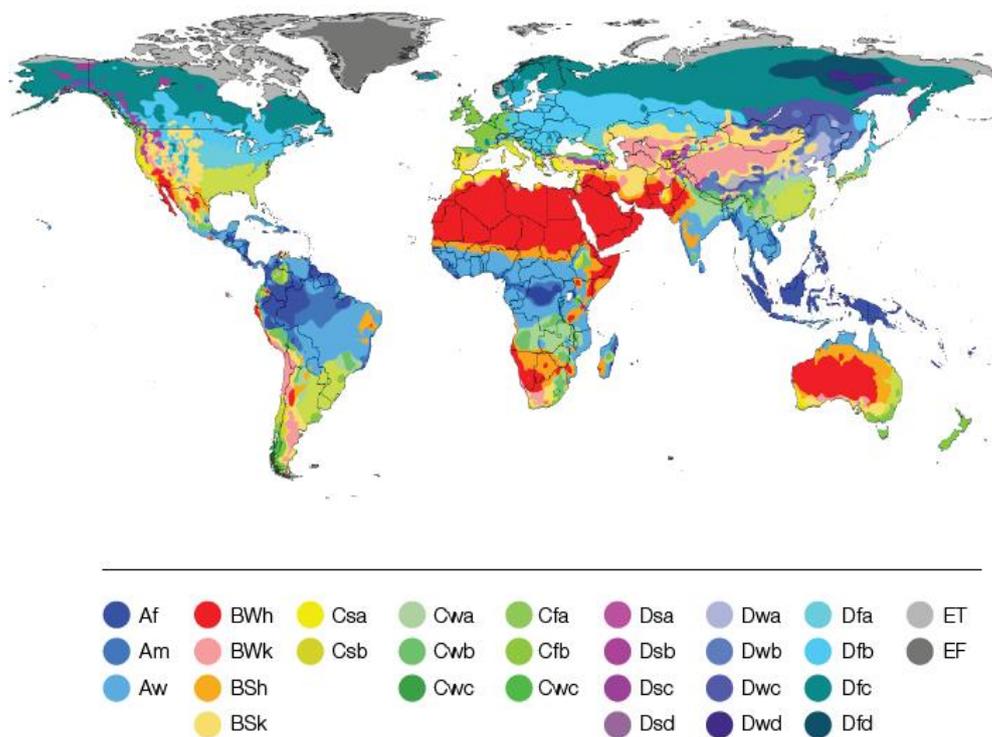
Il grafico mostra le emissioni causate dall'uomo nel tempo per i singoli gas serra. L'anidride carbonica (CO₂) derivante dall'uso di combustibili fossili e dall'industria è la principale fonte delle emissioni totali con il 64%, mentre la CO₂ derivante dal cambiamento dell'uso del suolo e dalla silvicoltura, rappresenta l'11% e il metano (CH₄) contribuisce per il 18%.

Il clima della Terra sta ora cambiando più velocemente che in qualsiasi momento della storia nota del clima, principalmente a causa delle attività umane, con conseguenti impatti elevati a livello locale, regionale e globale per la società umana e gli ecosistemi naturali. Gli impatti legati ai cambiamenti climatici sono evidenti in tutte le regioni e in molti settori importanti per la società, come la salute umana, l'agricoltura e la sicurezza alimentare, l'approvvigionamento idrico, i trasporti, l'energia, la biodiversità e gli ecosistemi.

A.1 Il cambiamento climatico in Senegal

Nella presente tesi, si fa riferimento più volte all'architettura bioclimatica, entrando nello specifico del significato del termine, si usa per designare la bioclimatologia che è però più recente e indica una disciplina fondata dal climatologo tedesco Wladimir Köppen (1846-1940). Tale studioso aveva come obiettivo il ricercare le cause di una determinata distribuzione della vegetazione nelle varie aree della superficie terrestre.

La classificazione climatica Köppen o Köppen - Geiger²⁴² è uno dei sistemi di classificazione climatica più utilizzati e combina le temperature e le precipitazioni medie annuali e mensili e la stagionalità delle precipitazioni.



²⁴² Venne proposta per la prima volta nel 1918 da Wladimir Köppen e perfezionata più volte, sino alla sua edizione definitiva del 1936. In tale classificazione non si tiene conto delle cause del clima in termini di pressione e di fasce di venti, di masse d'aria, di fronti o di perturbazioni, ma è possibile assegnare una certa località ad un particolare sottogruppo climatico soltanto sulla base dei dati locali di temperatura e di precipitazioni. Le classificazioni divide i climi in cinque gruppi climatici principali: A (tropicale), B (secco), C (temperato), D (continentale) ed E (polare). A tutti i climi, ad eccezione di quelli del gruppo E, viene assegnato un sottogruppo di precipitazioni stagionali (seconda lettera). Si rimanda al sito <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/> per visionare l'evoluzione subita dalla classificazione.

Main Climate

A - equatorial, B - arid, C - warm temperature, D - snow, E - polar

Precipitation

W - desert, S - steppe, F - fully humid, s - summer dry, w - winter dry, m - monsoonal

Temperature

H - hot, k - cool arid, a - hot summer, b - warm summer, c - cool summer,

d - extremely continental, F - polar frost, T - polar tundra

Figura A.2: Classificazione climatica di Koppen (fonte: TAMASSOCIATI, ARUP, *Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies*, Arup, Maggio 2019, p.17 [PDF file]).

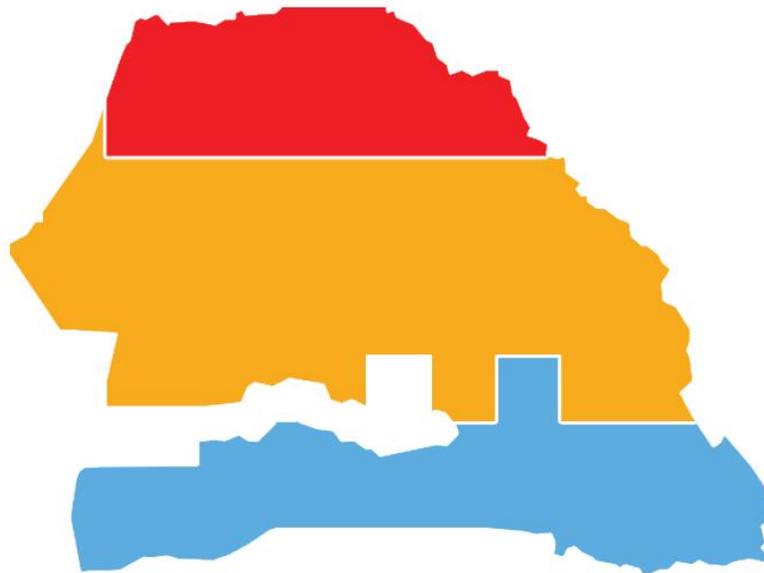


Figura A.3: Classificazione di Koppen-Geiger applicata al Senegal. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal>.

Per l'analisi dei parametri climatici, è stata scelta la serie storica dal 1991 al 2020. La scelta di questo periodo è giustificata dalla necessità di tenere conto di un periodo sufficientemente lungo per un'analisi più affidabile dei cambiamenti climatici.

L'analisi mensile delle precipitazioni mostra che la Casamance riceve le sue prime piogge a maggio e le ultime si verificano a novembre. Questa stagione è dovuta all'influenza del monzone, la cui intensità è legata al gradiente termico e barometrico tra la terraferma dell'Africa Occidentale, riscaldata durante l'estate boreale, e le acque fredde dell'Atlantico meridionale.

Temperatura media annuale osservata 1991-2020
Senegal

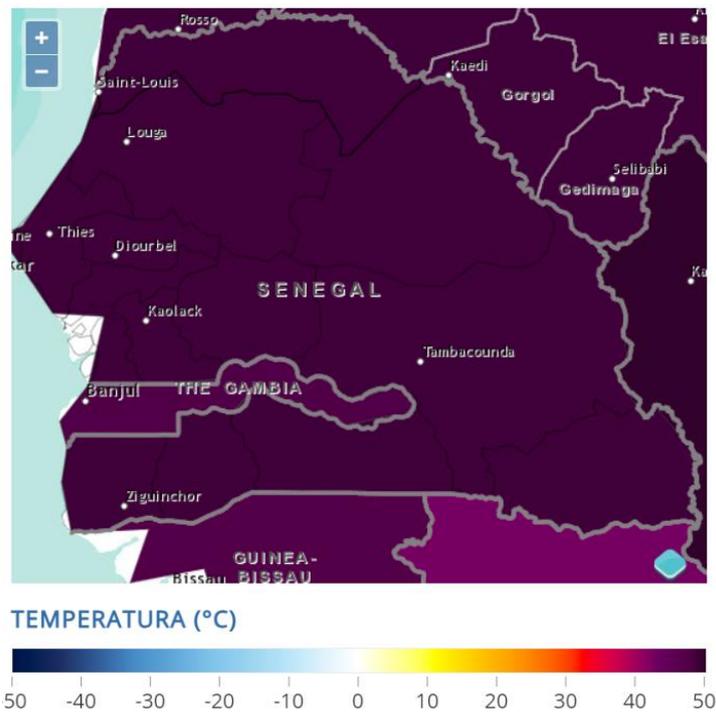


Figura A.4: Temperatura media annuale osservata dal 1991 al 2020 per il Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

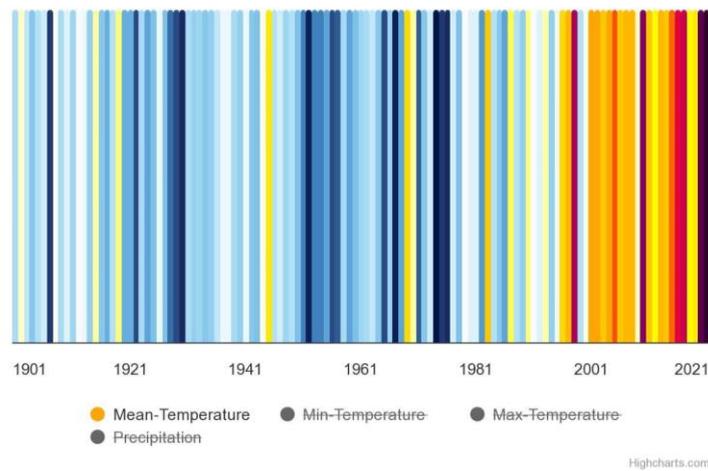


Figura A.5: Temperatura media annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

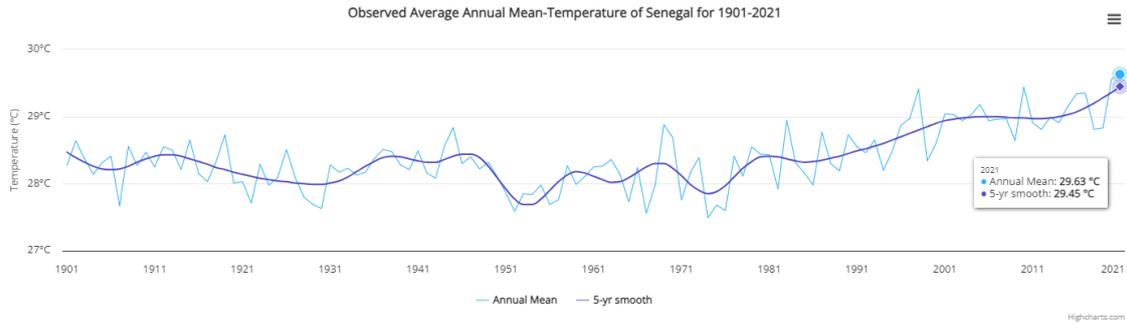


Figura A.6: Andamento delle temperature medie annuali osservate tra il 1901 e il 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

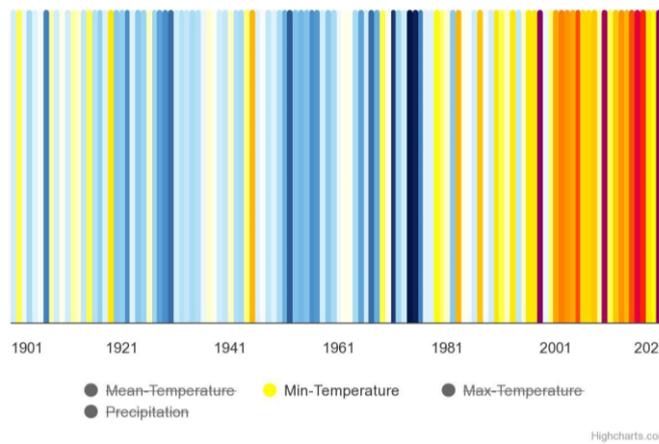


Figura A.7: Temperatura minima annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

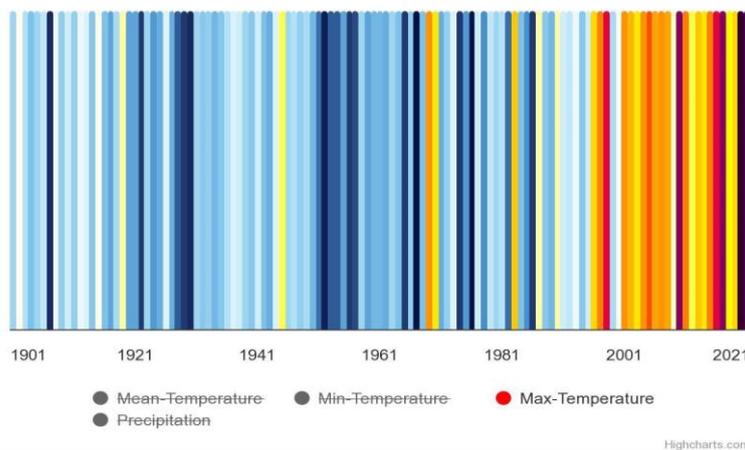


Figura A.8: Temperatura massima annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

Si evidenzia quindi come nel periodo di tempo 1901-2021 si sia manifestata una crescita delle temperature medie, massime e minime annuali e temperature massime annuali più elevate possono essere particolarmente problematiche, in quanto possono portare a condizioni di siccità che mettono a rischio la salute delle persone, specialmente nelle comunità più vulnerabili. Le temperature minime annuali più elevate invece possono avere un impatto sulle piante e gli animali, compresi quelli utilizzati per l'agricoltura e la produzione alimentare. Questi fenomeni sono una chiara indicazione dei cambiamenti climatici in corso e dei loro effetti sul Paese.

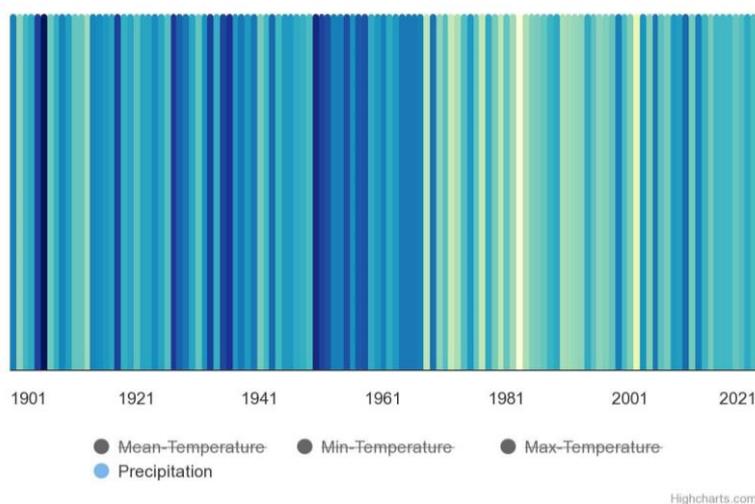


Figura A.9: Precipitazioni annuali osservate dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

Dal grafico riportato in figura A.11 si può notare che il trentennio tra il 1931 e il 1960 è stato quello che ha ricevuto le quantità di precipitazioni medie più importanti nella storia dell'ultimo secolo della Casamance. Il trentennio successivo, tra il 1961 e il 1990, invece manifesta una tendenza opposta, mentre in quello attuale si registra una controtendenza, con precipitazioni crescenti.

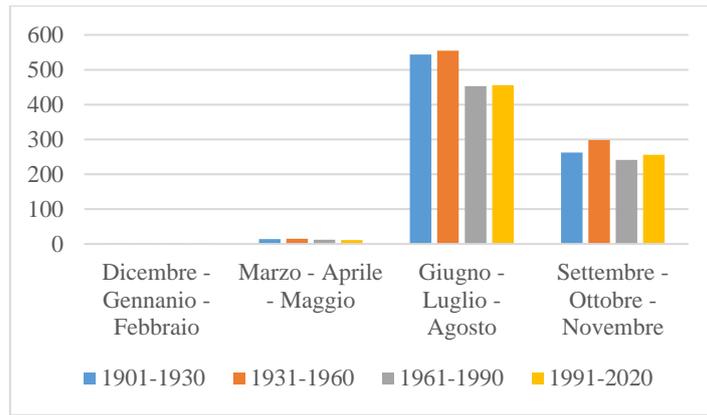


Figura A.10: Andamento precipitazioni nel periodo 1091- 2021 (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

Dai grafici in figura A.12 A.13, A.14 si osserva come le precipitazioni registrate da aprile a giugno aumentano gradualmente, per raggiungere i volumi più importanti tra luglio e settembre. Il mese di agosto si distingue per l'importanza dei totali registrati.

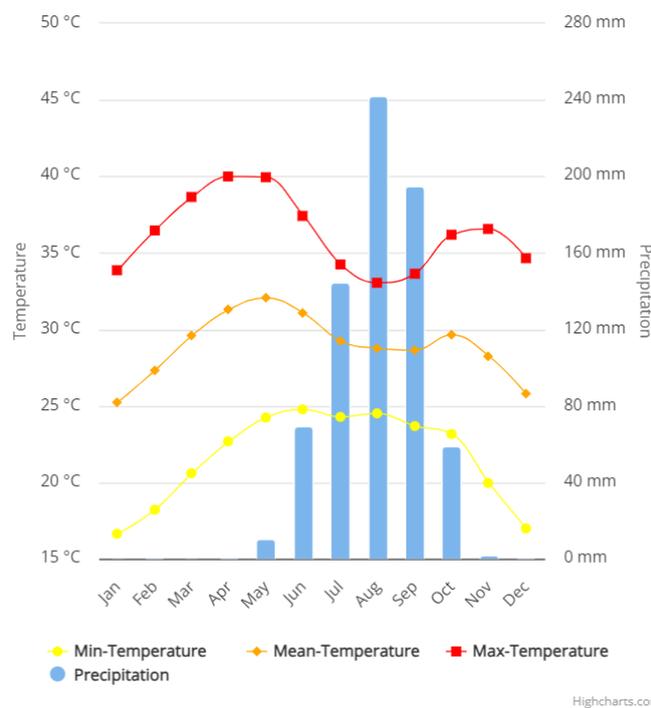


Figura A.11: Climatologia mensile delle temperature minime, medie e massime e delle precipitazioni osservate tra il 1991 e il 2020 a Kolda (fonte: Climate change Knowledge Portal, <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>, ultima visualizzazione 12/09/2023).

L'analisi della distribuzione mensile media delle precipitazioni mostra che la loro diminuzione ha inizio a settembre e prosegue fino a novembre, mese che segna la fine

della stagione delle piogge. La natura transitoria dei mesi di maggio e novembre è segnata da una bassa quantità di precipitazioni medie mensili, in generale i millimetri di pioggia rimangono intorno i 10,5 mm.

Il Senegal, come altri Paesi del pianeta, sta soffrendo gli effetti di variazioni significative delle temperature. In effetti, il clima del Paese è influenzato da diversi fattori, tra cui la posizione geografica, la vicinanza con l'oceano e la morfologia del territorio prevalentemente pianeggiante che favorisce la circolazione di venti. I settori socio-economici, dove gli effetti sfavorevoli del cambiamento climatico sono maggiormente percepibili, sono: agricoltura, attività balneari, pesca, risorse idriche, biodiversità e salute.

Il cambiamento climatico in Senegal porterà ad un aumento delle temperature medie annuali, con previsioni che indicano un incremento compreso tra 1,1°C e 3,1°C entro il 2060 e tra 1,7°C e 4,9°C entro il 2090, con un aumento più rapido all'interno del Paese rispetto alle zone costiere. Tutte le proiezioni indicano un significativo aumento della frequenza di giorni e notti considerate "caldi", con queste variazioni che si verificheranno più rapidamente nelle regioni meridionali ed orientali del paese. Al contrario, i giorni e le notti considerati "freddi" saranno meno frequenti.²⁴³

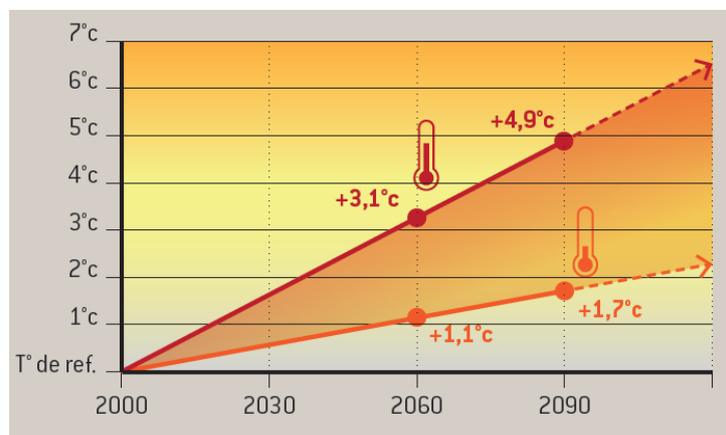


Figura A.12: Previsione dell'evoluzione delle temperature (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, gennaio 2017 [PDF file]).

²⁴³ MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, Gennaio 2017, p. 6 [PDF file].

Per quanto riguarda le precipitazioni, le previsioni sono ancora incerte: gli episodi di siccità e le inondazioni che il Paese ha già sperimentato potrebbero intensificarsi. Questo significa che il cambiamento climatico avrà un impatto significativo sul clima del Senegal, con un aumento delle temperature e potenziali cambiamenti nei modelli di precipitazione, che potrebbero avere conseguenze sia per l'ambiente che per le comunità locali.

A.2 I pericoli naturali

Siccità, inondazioni, innalzamento del livello del mare, e l'erosione costiera sono attualmente i pericoli naturali che rappresentano la minaccia maggiore per gli obiettivi di sviluppo del Paese.



Figura A.13: Distribuzione media annua dei disastri segnalati in Senegal.

Le inondazioni si verificano più frequentemente rispetto alla siccità, ma queste ultime sono più gravi in termini di persone coinvolte e saranno concentrate per lo più nelle zone aride e le regioni semi-aride del Sahel, e quindi nel nord e centro del Senegal. Tra il 1977 e 2002, sei grandi eventi di siccità hanno colpito il Paese. Le siccità sono il risultato della variabilità climatica, che si manifesta con un inizio tardivo della stagione delle piogge, una distribuzione spaziale irregolare e una fine anticipata del periodo piovoso. La siccità può causare un calo significativo della resa delle colture, i ricavi delle arachidi sono diminuiti da circa 68,4 a 17,4 miliardi di CFA, mentre quelli del miglio/sorgo hanno subito una variazione da 30 a 12 miliardi di CFA durante la siccità del 2000.

Le inondazioni hanno gravemente colpito e continuano a colpire il Senegal. Dal 1980 al 2008, le alluvioni hanno colpito da 400.000 a 600.000 persone l'anno e causato danni

stimati di oltre 42 milioni di USD. Sia le aree urbane che quelle rurali sono vulnerabili alle inondazioni; tuttavia, si presentano più a rischio le zone di Dakar e dintorni, Saint Louis, Matam, Kaolack, Thies, Diourbel, Kolda, Kaffrine, e Tambacunda. Le inondazioni nel Paese sono il risultato di esondazioni fluviali, in particolare dei fiumi Gambia e Senegal che straripano a causa delle forti piogge, una combinazione di piogge abbondanti e insufficienti infrastrutture di drenaggio, per quanto riguarda le regioni di Kaolack e Dakar, e mareggiate che portano nei terreni agricoli l'intrusione di acqua salata nei terreni agricoli, soprattutto nel delta del Saloum. Allo stesso tempo, la rapida urbanizzazione ha provocato un'esplosione di edifici e strade che hanno ridotto le infiltrazioni e aggravato gli effetti delle inondazioni. Aree urbane come la capitale Dakar hanno sperimentato alluvioni dovute al recente aumento delle precipitazioni, aggravate dalla mancanza di efficienti sistemi di drenaggio delle acque piovane, dall'espansione urbana incontrollata e dall'occupazione di depressioni e zone umide. Le inondazioni colpiscono i residenti più poveri, quelli che tendono a vivere in zone periurbane poco attrezzate. Durante ogni stagione delle piogge, le inondazioni infliggono gravi danni alle infrastrutture, attrezzature pubbliche e proprietà private, che spesso comportano la necessità di trasferire temporaneamente la popolazione. Anche le malattie trasmesse dall'acqua e dalle zanzare, come il colera e la malaria, possono diffondersi a causa della presenza di acqua stagnante. Solo nel 2008, le inondazioni hanno colpito oltre 250.000 famiglie e causato danni ingenti, con 88 scuole e 12 centri sanitari di base sott'acqua. E ancora, dopo Agosto 2009, forti piogge hanno causato gravi inondazioni.

È noto che i cambiamenti del livello del mare e l'aumento dell'intensità delle mareggiate portano all'erosione costiera, che rappresenta una grave minaccia per la popolazione e l'economia del Senegal. L'aumento del livello del mare è esacerbato dalla geologia del Paese, tra cui l'instabilità naturale di pendii e il deflusso superficiale e minaccia il 74% delle famiglie che vivono nelle zone costiere. Attività economiche come la pesca, il turismo e l'agricoltura sono influenzate negativamente dall'innalzamento del livello del mare. Il tasso di declino osservato del litorale varia da uno a due metri all'anno per i litorali sabbiosi, con le zone costiere tra Joal e Djiffere e tra Saint-Louis e il Mbao-Bargny tra i più colpiti. Le principali aree di erosione identificate all'interno di Dakar includono l'area di Camberene-Yoff, i bordi ovest e est di Dakar e la baia di Hann. Il Mbeubeuss e le cave mostrano gravi segni di erosione. L'erosione costiera è particolarmente sentita

nella zona di Rufisque-Bargny con il restringimento della spiaggia di Rufisque, in particolare lungo il centro della città, con conseguenti edifici a strapiombo e strade spoglie nei settori di Merina e Tiawlene. Un ampio calcolo dell'esposizione e della vulnerabilità delle attività economiche intorno all'area metropolitana di Dakar è stato dedotto da un'analisi spaziale dei valori dei prezzi dei terreni. È stato stimato un valore totale di terreni di 44 miliardi di dollari per l'area metropolitana di Dakar, di questi, oltre 2 miliardi o il 5% delle attività sono considerate esposte a potenziali rischi naturali elevati.

Appendice B. I materiali

Il continente africano è ricco di molte risorse naturali che possono essere utilizzate per la costruzione. Terre, pietre, sabbie, legnami e fibre sono solo alcune delle risorse disponibili, tali materiali si presentano in modo eterogeneo, data la varietà di contesti geografici, geologici e climatici, e questa diversità fisica si combina con una notevole diversità culturale. Ne risulta un mosaico complesso di situazioni, anche all'interno del singolo Paese, il che ha portato il Senegal a manifestare una grande ricchezza di culture costruttive tradizionali, nel seguito si riportano i materiali disponibili in Senegal²⁴⁴.



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

SHELLS AND OYSTERS

Shells and oysters are collected on the banks of the Casamance river, the shells of which are collected to be resold for decorative purposes or as an inert material for cement. Both uses are slowly being abandoned, leaving the shells to be used only for the creation of objects for commercial use.

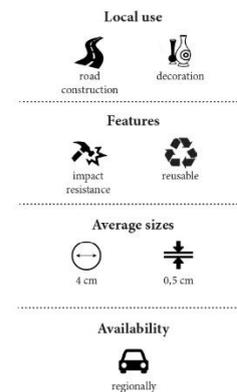


Figura B.1: Conchiglie (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).

²⁴⁴ Le schede sono state fornite in fase di concorso da Kaira Loro Architecture Competition.



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

MANGROVE

The Casamance basin has one of the most important expanses of Mangroves. The plant is used as firewood and leaves as a medicant. It favors the production of oysters and the conservation of a climate useful for the reproduction of the flora and fauna of the river. In recent years, mangrove plantations are used to limit coastal erosion.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.2: Mangrovie (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

WASTE MATERIALS

The streets of the villages or in the areas in front of the houses are often collected and burned waste such as plastics, fabrics, tires, broken bins etc. Sporadically the waste is collected and transported to landfills which are subsequently burned in the open air causing pollution and soil contamination. Such waste can, however, constitute a resource to be reused and regenerated through a recycling process.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.3: Rifiuti (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

CRUSHED STONE

The area develops in sandy lateritic soil. Laterite quarries are present where large boulders are extracted (without the use of machinery) subsequently crushed and sieved to obtain crushed stone. The material is mainly used for the construction of roads or dams.

Local use



Features



Average sizes



5 cm

Availability



locally

Figura B.4: Pietra spaccata (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

ROSEWOOD

The rosewood tree today risks instinct, however local authorities manage the cutting according to determined hierarchies and bureaucracies trying to control desertification. This type of wood is used in the form of planks especially for the production of furniture such as beds and sofas.

Local use



furniture

Features



resistance

Average sizes



3 cm



2 m



20 cm

Availability



locally

Figura B.5: Palissandro (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

TIRES

In the absence of landfills the tires are thrown into the river, on the roadside or burned in the surroundings of the village. They constitute a resource that can be reused to avoid pollution.

Local use



rubbish dump

Features



polluting

Average sizes



40 cm

Availability



locally

Figura B.6: Pneumatici (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

LATERITE STONE

The area develops on sandy lateritic soil. Laterite quarries are present where large boulders are extracted (without the use of machinery) mainly used for the construction of roads and dams.

Local use



road construction

Features



impact resistance

Average sizes



30 cm

Availability



regionally

Figura.B.7: Laterite (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

EARTH BRICKS

Building traditions made use of baked clay bricks in the sun. Today these types of bricks have been abandoned for cement and sand bricks. Bricks made with earth are often stabilized with cement.

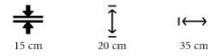
Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura.B.8: Mattoni in terra cruda (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

BAMBU VULGARISA

Bamboo is a protected plant because it is in extinction. The plant was once used for luxury furnishings, therefore for the prominent subjects of society. Today there are small reserves of bamboo which require many authorizations and certain bureaucratic procedures to be used.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.9: Bambù (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

BROKEN TILES

There are imported tiles that are used in construction. Sometimes the scraps of these broken tiles are reused in floors or decorations.

Local use



building

Features



fragile



waterproof

Average sizes



5 cm



10 cm

Availability



locally

Figura B.10: Piastrelle rotte (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

CIMENT BRICK

This is the currently favorite material. These are hollow or solid bricks made with a mixture of sand and cement, inside an iron box. Today almost all buildings are made with these bricks.

Local use



fence



building

Features



heavy



cement production

Average sizes



15 cm



20 cm



35 cm

Availability



locally

Figura B.11: Blocchi in cemento (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

ROSEWOOD BEAMS

Beams are produced for the construction of roofs. The wood is quite hard and resistant to termites because it is compact. The same wood, in the form of planks, is used for the creation of furnishings.

Local use



carpentry

Features



resistance

Average sizes



5 cm



2 m



8 cm

Availability



locally

Figura B.12: Travi in palissandro (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

FABRICS

Senegalese fabrics are a cultural and tradition emblem. Bright colors fill the streets and ceremonies. The clothes with these fabrics are today mainly used in ceremonies and on representative days.

Local use



tailoring



decoration

Features



slow elasticity

Average sizes



5 m



1,5 m

Availability



regionally

Figura B.13: Tessuti (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

IRON FOR CONCRETE

Reinforcement iron for concrete of various sections (6-8-12 mm) are available, used to reinforce pillars and beams. The material is imported from the north and some supplies often deliver disposable and recycled irons with characteristics other than those declared.

Local use



building

Features



resistance



durability

Average sizes



8 mm



6 m

Availability



nationally

Figura B.14: Ferri di armatura (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

BARBED WIRE

Barbed iron wires are produced in the north and imported in the south of the country, they are mainly used to create fences useful to prevent the entry of thieves or to prevent the loss of livestock.

Local use



fence

Features



resistance



durability

Average sizes



80 m

Availability



nationally

Figura B.15: Filo spinato (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

STRAW

Straw is a seasonal product that has always been used in traditional house roofing. This use is now being lost to the detriment of the sheets, also because constant maintenance is required and often in the laying method it is not possible to totally protect from the rains.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.16: Paglia (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

PALM TRUNK

Desertification and human action are slowly making palm forests disappear, which are therefore now protected and protected by the authorities. Once they were used for the construction of huts, beams and pillars. Today, with the necessary safeguards and bureaucratic procedures, it is possible to have palm trunks in small quantities.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.17: Tronchi di palma (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

BLACK CLAY

The valley is composed of a sandy clay bottom, with a high organic content and polluting element since rubble and waste are often thrown into the river.

Local use



agriculture

Features



high clay content

Average sizes



not available

Availability



locally

Figura B.18: Argilla nera (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

BAGS

The bags are used for the packaging and transport of rice, peanuts and other agricultural products. They are produced in Senegal with polypropylene fabrics. The bags are sometimes filled with sand and used to create banks and erosion containments.

Local use



road construction



agriculture

Features



cheap

Average sizes



60 cm



90 cm

Availability



nationally

Figura B.19: Borse di plastica (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

WILD BAMBOO

Wild bamboo is found in local forests, it is a plant that grows rapidly but is subject to protection due to desertification. This material is essentially used to create fences.

Local use



fence



heating

Features



termites



flexibility

Average sizes



5 cm



5 m

Availability



regionally

Figura B.20: Bambù selvatico (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

SAND

Numerous river sand quarries are available, mainly used for construction. The sand can take on different grades but always keeping gray, and has a small amount of clay.

Local use



brick production



building

Features



little clay content

Average sizes



not available

Availability



locally

Figura B.21: Sabbia (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

LOCAL BAMBOO FENCE

They are fences made with wild bamboo used to fence agricultural fields, houses or the pasture area. They are sold in sheets of 1.50 by 2.5 meters but it is also possible to request them in different sizes.

Local use



fence

Features



termites



cheap

Average sizes



Availability



regionally

Figura B.22: Recinzioni locali in bambù (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

LOCAL TRUNK

There are small sawmills that can produce and cut local tree trunks of limited size, to create rectangular or cubic elements.

Local use



building

Features



heavy



strong

Average sizes



Availability



regionally

Figura B.23: Tronchi in legno locale (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

RED EARTH

The soil substrate is lateritic-sandy. There are red earth quarries having a small amount of clay. Normally this earth is used to produce earth bricks, but its use is being abandoned and this earth is used to build roads in rural areas.

Local use



Features



Average sizes



Availability



Figura B.24: Terra rossa (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Loro Architecture Competition Materials datas

CORRUGATED SHEET

The sheet is used for roofing, and has replaced traditional roofs. There are poorly manufactured sheets that begin to corrode after a few years and aluminum sheets that are mainly used in the roofs of markets or other public buildings because they are more expensive.

Local use



Features



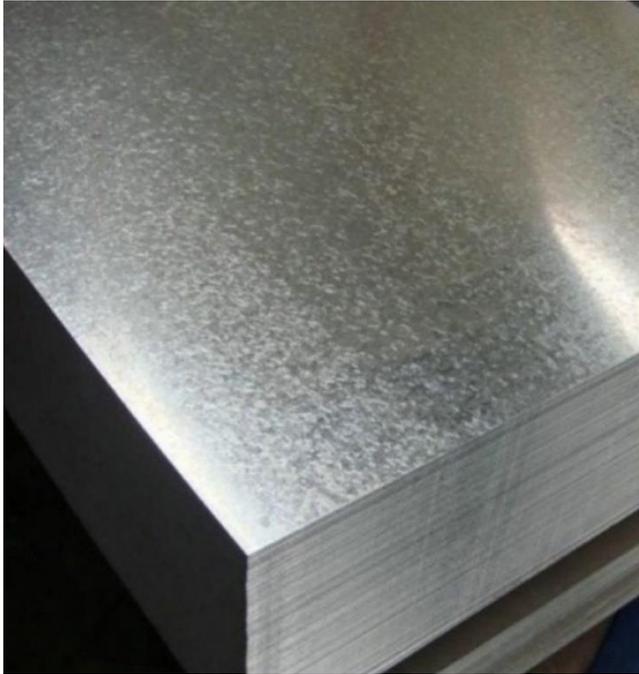
Average sizes



Availability



Figura B.25: Lamiera ondulata (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

METAL SHEET

Sheet metal sheets are used to make gates, doors and windows. The material is imported from the north of the country.

Local use



fence

Features



lightness



flexibility

Average sizes



2,5 m



1,2 m

Availability



nationally

Figura B.26: Lamiera in metallo (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

METAL PROFILES

Iron profiles of different sizes are available, mainly used to create furnishings, windows, doors and gates. The material is imported from the north of the country.

Local use



building



fence

Features



resistance



durability

Average sizes



different sizes

Availability



nationally

Figura B.27: Profili metallici (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

WOOD BEAMS

Samba or frakè wooden beams are available, used for the construction of the roofs. The wood is fairly porous and subject to termites so constant treatment and maintenance are required.

Local use



carpentry

Features



resistance



termites

Average sizes



5 cm



2 m



8 cm

Availability



nationally

Figura B.28: Travi in legno (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

WOOD PLANK

Samba or frakè wood boards are available, used for carpentry and as a formwork. The wood is fairly porous and subject to termites so constant treatment and maintenance are required.

Local use



carpentry

Features



resistance



termites

Average sizes



3 cm



4 m



20 cm

Availability



nationally

Figura B.29: Assi in legno (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).



Kaira Looro Architecture Competition Materials datas

METAL BEAMS

Iron beams and pillars are used in the capital for the construction of infrastructure and government buildings. The use of these materials requires the commitment of qualified personnel and professional equipment absent in rural areas.

Local use



building

Features



resistance



durability



expensive

Average sizes



different sizes

Availability



nationally

Figura B.30: Travi in metallo (fonte: KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).

Leopoldo Brignoni

Indice delle figure

Figura 0.1: Copertina del progetto presentato in sede del concorso internazionale di architettura Kaira Loro dal gruppo composto da Sveva Brignani, Elisa Masserdotti e Matteo Rota.	2
Figura 1.1 : Cartina politica del Senegal con evidenziati i confini dello Stato (fonte dati: Treccani, <Senegal nell'Enciclopedia Treccani>, ultima consultazione: 18/07/2023). ...	6
Figura 1.2: Cartina politica del Senegal che evidenzia la suddivisione amministrativa del Paese in 14 regioni (fonte dati: Treccani, <Senegal nell'Enciclopedia Treccani>, ultima consultazione: 18/07/2023).....	7
Figura 1.3 Organizzazione amministrativa della Casamance (fonte immagine base: Google Maps, < https://www.google.it/maps/search/casamance/@13.1003182,-15.8300263,8.69z?entry=ttu >, ultima consultazione 24/07/2023).....	8
Figura 1.4: Localizzazione del sito d'intervento (fonte immagine base: Google Maps, > https://www.google.it/maps/search/casamance/@13.1003182,-15.8300263,8.69z?entry=ttu >, ultima consultazione 24/07/2023).....	10
Figura 1.5: In rosso il sito d'intervento (fonte: Google Maps, < https://www.google.it/maps/place/Sine+Bilali,+Senegal/@12.8538815,-15.0072285,746m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xee5e26aa9123d4d:0x9aea0cdbde687837!8m2!3d12.851818!4d-15.009223!16s%2Fg%2F1tmplw7v?entry=ttu > ultima consultazione 19 luglio 2023).....	10
Figura 1.6: Fotografia del villaggio di Sine Bilali (fonte: Google Maps, < https://www.google.it/maps/@12.8530994,-15.0092156,3a,75y,173.11h,99.27t/data=!3m6!1e1!3m4!1sHARBZWw1uC0WidqI-j-Gdg!2e0!7i16384!8i8192?entry=ttu > ultima consultazione:19 luglio 2023).....	11
Figura 1.7: Distanze da Sine-Bilali a Kolda.	13

Figura 1.8: Servizi nella città di Kolda (fonte dati: Google Maps, < https://www.google.com/search?q=scuole+a+kolda+senegal&udm=1&sa=X&ved=2ahUKEwiIwrHR3qeAAxUAYPEDHRPTDuEQjGp6BAgaEAE&cshid=1690215365400463&biw=1536&bih=746&dpr=1.25 >, ultima consultazione 24/07/2023).....	14
Figura 1.9: Fotografia del paesaggio della Casamance © COPYRIGHT BY BALOUOSALO.....	15
Figura 1.10: Il fiume Senegal (fonte: Easyviaggio, https://www.easyviaggio.com/senegal/il-fiume-senegal-3145 , ultima consultazione 24/07/2023).....	16
Figura 1.11 Geomorfologia dell'alveo del fiume Casamance.....	17
Figura 1.12: Il letto del fiume Casamance (fonte: Kanaga Africa tours, < I verdi paesaggi della Casamance e del Sine-Saloum - Kanaga Africa Tours (kanaga-at.com)>, ultima consultazione 24/07/2023).....	17
Figura 1.13. Il fiume Casamance (fonte: © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	18
Figura 1.14 Discretizzazione delle zone ecogeografiche.	19
Figura 1.15: Localizzazione dei tre parchi nazionali principali (fonte: Google Maps, < https://www.google.com/maps/search/parchi+nazionali+senegal/@14.7025465,-15.6657995,7.26z?hl=it&entry=ttu >, ultima consultazione 24/07/2023).....	23
Figura 1.16: Classificazione e distribuzione dei suoli nella regione della Casamance, secondo i dati acquisiti dal Database del Suolo e del Terreno per il Senegal e la Gambia. SENSOTER ver. 1.0 (fonte: PIROVANO DANIELA, <i>Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche</i> , tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, p.33	24
Figura 1.17: <i>Gross national income (GNI) per capita</i> . (fonte: United Nations, < https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html >, ultima consultazione: 18/07/2023).....	26

Figura 1.18: <i>Human Assets Index</i> (HAI). (fonte: United Nations, < https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html >, ultima consultazione: 18/07/2023).....	27
Figura 1.19: Alcuni dati sulla situazione delle abitazioni in Casamance.	29
Figura 1.20: Stima evoluzione popolazione (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, Gennaio 2017 [PDF file]).....	30
Figura 1.21 Piramide della popolazione del Senegal. La popolazione è distribuita lungo l'asse verticale, suddivisa per fascia d'età e per sesso. La forma della piramide della popolazione si evolve gradualmente nel tempo in base alla fertilità, alla mortalità e alle tendenze migratorie internazionali, quella riportata fa riferimento ai dati raccolti nell'anno 2022 (fonte dati: THE WORLD BANK, < https://data.worldbank.org/country/senegal >, ultima consultazione: 18/07/2023).	30
Figura 1.22: Dati sulla popolazione del Senegal (fonte: PROGETTO FORMA, <i>Scheda Senegal</i> , 8 gennaio 2018, [PDF file]. Disponibile da https://progettoforma.eu/wp-content/uploads/2018/01/scheda-senegal.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	31
Figura 1.23: Mappa della densità demografica suddivisa per dipartimenti, realizzata in GIS tramite i dati raccolti dei censimenti (fonte: PIROVANO DANIELA, <i>Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche</i> , tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019, p.23).	34
Figura 1.24: Distribuzione della popolazione nella regione di Ziguinchor.	35
Figura 1.25: Distribuzione del credo religioso.	38
Figura 1.26 Carta delle Lingue.	42
Figura 1.27: Posizionamento e punteggio del Senegal rispetto gli SDGs (fonte dati: SUI SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, <	

https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	44
Figura 1.28: Andamento del progresso complessivo verso il raggiungimento di tutti i 17 obiettivi (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	44
Figura 1.29: Stato degli obiettivi SDG (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).....	45
Figura 1.30: Rendimento medio del Senegal rispetto a ogni SDG (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	45
Figura 1.31: Dashboard e tendenze degli SDGs in Senegal (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	46
Figura 1.32 Rendimento dei singoli indicatori degli SDGs per il Senegal (fonte: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	47
Figura 1.33: Indice spillover, confronto tra la situazione senegalese e gli altri continenti (fonte dati: SUISTAINABLE DEVELOPMENT REPORT, < https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal >, (ultima consultazione: 18/07/2023).	48
Figura 1.34: Alcuni dati sull'istruzione. (fonte dati: United Nations, < https://www.undp.org/ >, ultima consultazione: 18/07/2023).....	49

Figura 1.35: Mappa scalata che riporta la dimensioni dei territori in funzione del tasso di non frequentazione delle scuole elementari © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html).	50
Figura 1.36: Classifica dei primi 10 Paesi in cui l’istruzione è maggiormente negata. (fonte dati: UNICEF, < https://www.unicef.org/press-releases/10-countries-highest-out-school-rates-40-cent-children-are-not-accessing-basic >, ultima consultazione: 18/07/2023).....	51
Figura 1.37: Composizione ed evoluzione della popolazione africana, espressa in milioni (fonte dati: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.9 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	51
Figura 1.38: La popolazione africana di età compresa tra 3 e 24 anni rispetto a quella mondiale, confronto tra la situazione del 2000 e la stima al 2030 (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.10 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	52
Figura 1.39: Tasso di alfabetismo in Africa scomposto in base ai gruppi d’età e il sesso (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.10 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	53
Figura 1.40: Quota di bambini non scolarizzati in Africa, suddivisi per fascia d’età. (fonte: (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.11 [PDF file]. Disponibile da	

https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	54
Figura 1.41: Andamento del tasso di ammissione lordo dal 2000 al 2019 per la scuola primaria e secondaria inferiore (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.14 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	56
Figura 1.42: Alcuni dati sui servizi delle scuole. (fonte dati: UNICEF, < https://www.unicef.org/ >, ultima consultazione: 18/07/2023).	57
Figura 1.43: Percentuale di studenti che acquisiscono competenze in letture e matematica, suddivisi in base ai Paesi subsahariani (fonte dati: WORLD BANK GROUP, <i>World development report. Learning to realize education's promise</i> , 2018 [PDF file]).	57
Figura 1.44: Spesa pubblica per l'istruzione in % del PIL in Africa, 2018 (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.22 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	58
Figura 1.45: Organizzazione del sistema educativo elementare (fonte: CLASBY ERIN, <i>The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar</i> , in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, p.31 [PDF file]. Disponibile su <i>The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantag</i> " by Erin Clasby (sit.edu), (ultima consultazione: 23/07/2023).	59
Figura 1.46: Dati inerenti le infrastrutture scolastiche.	61
Figura 1.47: Tipologia scolastica diffusa nell'Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO	

< https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html > , ultima consultazione: 02/03/2023).....	63
Figura 1.48: Tipologia scolastica diffusa nell’Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO < https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html > , ultima consultazione: 02/03/2023).....	64
Figura 1.49: Tipologia scolastica diffusa nell’Africa sub-sahariana © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO < https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html > , ultima consultazione: 02/03/2023).....	64
Figura 1.50: Esempio di latrine presente nelle scuole rurali del Senegal © COPYRIGHT BY BALOUOSALO (fonte: KAIRA LOORO < https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html > , ultima consultazione: 02/03/2023).....	65
Figura 2.1: TEK è tradotto in un quadro scientifico occidentale e descritto come quattro livelli interconnessi dal Complesso Conoscenza-Pratica-Credenza (fonte: WATSON JULIA, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 19).	69
Figura 2.2: Orologio geologico: una proiezione dei 4,5 miliardi di anni della Terra sotto forma di orologio (Fonte: Zanichelli, <Antropocene: la specie umana come forza geologica - Aula di Scienze (zanichelli.it)> ultima consultazione 17/08/2023).....	70
Figura 2.3: Villaggio in Svanezia, Georgia, 1920 (Fonte: RUDOLFSKY BERNARD, <i>Architecture without architects</i> , Dumbleday & Co, New York 1964).	71
Figura 2.4: Il flusso idrologico nei campi <i>Waru Waru</i> alimentati dal fiume (fonte: WATSON JULIA, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 34)..	73
Figura 2.5: Vista paesaggistica di letti di terreno alternati a canali (Fonte: flickrs < https://www.flickr.com/photos/giahs/7555810470/in/photostream/ > , ultima consultazione: 17/08/2023).....	74

Figura 2.6: La microtopografia del taglio e del riempimento dei letti rialzati e dei canali protegge le coltivazioni dalla siccità, dalle inondazioni e dal gelo (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 38).	75
Figura 2.7: Le “Tre Sorelle” (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, pp. 134-135).	76
Figura 2.8: Le quattro fasi del ciclo delle coltivazioni nella foresta. Le quattro fasi (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 130). ..	77
Figura 2.9: Costruzione di un pozzo <i>Surangam</i> in roccia lateritica (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, pp. 156-157).	79
Figura 2.10: Vista aerea di un Qanat in Iran (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 237).	80
Figura 2.11: Costruzione di un <i>qanat</i> (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, pp. 240-241).	81
Figura 2.12: Il ciclo delle tre sorelle integrato al metodo <i>waffle garden</i> (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 208).	82
Figura 2.13: Realizzazione dei giardini 1910-1920 circa (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 208).	83
Figura 2.14: Le quattro fasi costruttive: (I) un gruppo esistente di canne è racchiuso da una recinzione di canne; (II) ulteriori strati vengono aggiunti per creare un'isola temporanea chiamata <i>kibasha</i> ; (III) un ultimo strato viene aggiunto per creare un'isola permanente, o <i>dibin</i> ; (IV) il villaggio, o <i>mudhif</i> , viene costruito sull'isola di insediamento, o <i>al-tahla</i> (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, pp. 298-299).	84
Figura 2.15: Esploso assonometrico della costruzione in canne e fango (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 302).	85
Figura 2.16: Costruzione di un Al-Tahla (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 303).	86

Figura 2.17: Vista aerea delle abitazioni Ma'dan (fonte: ZME Science, < https://www.zmescience.com/ecology/world-problems/mesopotamian-venice-lost-floating-homes-iraq/ >, ultima consultazione: 17/08/2023).	87
Figura 2.18: Vista area di un Boma (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 220).	88
Figura 2.19: Schema della protezione di un Boma (fonte: Watson Julia, <i>Lo-TEK Design by Radical Indigenism</i> , Taschen, Italia 2022, p. 222-223).	89
Figura 2.20: Il Senegal rispetto al Sahel (fonte: Sahel Of Africa, <Sahel Of Africa - WorldAtlas>, ultima consultazione 17/08/2023).	90
Figura 2.21: Schema applicativo della tecnica Zai (fonte: The Conversation, <Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel (theconversation.com)>, ultima consultazione: 17/08/2023).	91
Figura 2.22: Innovazioni legate alla Zai in Senegal (fonte: The conversation, <Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel (theconversation.com)>, ultima consultazione: 17/08/2023).	92
Figura 2.23: Manifesto del CIAM di Bergamo (fonte: Bijlmermeer, <Bijlmermeer (wijk), Amsterdam www.amsterdamhv.nl >, ultima consultazione: 18/08/2023).	94
Figura 2.24: L'Urban Re-Identification Grid di Alison e Peter Smithson (fonte: ResearchGate, <The Urban Re-Identification Grid di Alison e Peter Smithson presentato... Scarica il diagramma scientifico (researchgate.net)>, > ultima consultazione: 18/08/2023).	96
Figura 2.25: Vista su un parco giochi progettato da Aldo Van Eyck (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).	98
Figura 2.26: Confronto tra pre e post intervento di Aldo Van Eyck in zona degradata (fonte: MO, <Aldo van Eyck and the City as Playground – MO (merijnoudenampsen.org)>, ultima consultazione 18/08/2023).	99

Figura 2.27: Esempio d'intervento di Van Eyck (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).	99
Figura 2.28: Tavola di elementi fondamentali (fonte: SOCK studio, <Human Structures and Architectural Archetypes: Aldo Van Eyck's... – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 24/08/23).	100
Figura 2.29: Bruno Zevi firma la Carta di Machu Picchu, 1977 (fonte: Vitruvius, <resenhasonline 079.01: Os planos para a cidade no tempo vitruvius> ultima consultazione: 24/08/23).	102
Figura 2.30: Immagine delle <i>barriadas</i> di Lima (fonte: La prensa, < Se requieren más de 200 mil nuevas viviendas en el Perú Peru Economía La Prensa Peru>, ultima consultazione 23/08/2023).	103
Figura 2.31: Progetto di PREVI <i>housing</i> di James Stirling (fonte: SOCKS, <Clusters and Growth: PREVI Housing Project by James Stirling (1976) – SOCKS (socks-studio.com)>, ultima consultazione: 23/08/2023).	104
Figura 2.32: Modello del progetto di Previ (fonte: Architectuul, < PREVI Architectuul >, ultima consultazione 23/08/2023).	105
Figura 2.33: Modello del progetto di Previ (fonte: Architectuul, < PREVI Architectuul >, ultima consultazione 23/08/2023).	106
Figura 2.34: Alcune delle abitazioni di PREVI (fonte: Arquine, < https://arquine.com/previ-la-vivienda-como-proceso/ >, ultima consultazione: 23/08/2023).	107
Figura 2.35: Installazione di Aravena alla XV Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2021. Un muro circolare fatto di pali di legno grezzi e ostili che riproducono quelli che venivano eretti dagli spagnoli nei territori conquistati per delimitare un "parlamento" (fonte: domus, https://www.domusweb.it/it/speciali/biennale-architettura-veneziana-2021/gallery/2021/guida-aggiornata-alla-biennale-di-architettura-di-veneziana-2021.html >, ultima consultazione: 25/08/2023).	108

Figura 2.36: Pianta dell'intervento con previsione delle implementazioni future, Alejandro Aravena, Elemental, Iquique, 2004 (fonte: AV, <Viviendas Quinta Monroy, Iquique - Alejandro Aravena ELEMENTAL Arquitectura Viva>, ultima consultazione 23/08/2023).....	109
Figura 2.37: Diverse conformazioni a partire dalla stessa struttura (fonte: AV, < https://arquitecturaviva.com/obras/viviendas-quinta-monroy#lg=1&slide=24 >, ultima consultazione 23/08/2023).....	110
Figura 2.38: Piano Strategico UN-Habitat 2020-2023 (fonte: UN-Habitat, < https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf > , ultima consultazione 23/08/2023).....	111
Figura 2.39: Paesi coinvolti nei progetti di UN-Habitat.....	112
Figura 3.1: Anomalie della temperatura media globale, dal 1881-1910. Il grafico mostra quanto le temperature medie annuali globali per gli anni 1880-2022 siano state superiori o inferiori alla media 1881-1910. Le temperature per gli anni più caldi rispetto alla linea di riferimento industriale sono mostrate in rosso mentre gli anni più freddi sono indicati in viola (fonte: Climate Change Knowledge Portal, https://climateknowledgeportal.worldbank.org/overview , ultima visualizzazione 06/08/2023).....	115
Figura 3.2: Proposta di zonizzazione climatica del Senegal. Si evidenziano le cinque zone climatiche per la definizione delle condizioni di comfort igrotermico (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 10 [PDF file]).	119
Figura 3.3: Distribuzione spaziale delle temperature medie in Senegal, in °C (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 11 [PDF file]).	121
Figura 3.4: Precipitazione medie annue nel periodo 1970-1990 (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et</i>	

<i>efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 11 [PDF file]).	121
Figura 3.5: Rosa dei venti (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).	122
Figura 3.6: Diagramma solare di Dakar. L'immagine riporta la proiezione sferica del cielo sul piano, cioè una veduta completa della volta celeste, sulla quale sono rappresentate le diverse traiettorie del Sole a seconda delle stagioni (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).	123
Figura 3.7: Temperatura massima (riga rossa) e minima (riga blu) giornaliera media a Kolda. Le righe sottili tratteggiate rappresentano le temperature medie percepite (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).	125
Figura 3.8: Temperatura oraria media, con fasce di diversi colori. L'ombreggiatura indica la notte e il crepuscolo (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).	125
Figura 3.9: Nuvolosità a Kolda. La percentuale di tempo trascorso in ciascuna fascia di copertura nuvolosa, categorizzata secondo la percentuale di copertura nuvolosa del cielo (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).	126
Figura 3.10: Probabilità di precipitazioni giornaliere a Kolda (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).	126

Figura 3.11: Ore di luce diurna e crepuscolo a Kolda. Con la riga nera il grafico definisce il numero di ore in cui il Sole è visibile. Dal basso (giallo) all'alto (grigio) le fasce colorate indicano: piena luce diurna, crepuscolo (civico, nautico e astronomico) e piena notte (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023)..... 127

Figura 3.12: Giorno solare durante il 2023. Dal basso all'alto, le righe nere sono la precedente mezzanotte solare, alba, mezzogiorno solare, tramonto e la mezzanotte solare successiva. Il giorno, i crepuscoli (civico, nautico e astronomico) e la notte sono indicati dalle fasce di colore dal giallo al grigio (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023)..... 127

Figura 3.13: Elevazione solare e azimut durante l'anno 2023. Le righe nere sono righe di elevazione solare costante (angolo del sole al di sopra dell'orizzonte, in gradi). Il colore dello sfondo indica l'azimut del Sole (il suo rilevamento alla bussola). Le aree leggermente colorate ai bordi dei punti cardinali della bussola indicano le direzioni intermedie implicite (nord-est, sud-est, sud-ovest e nord-ovest) (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023)..... 128

Figura 3.14: La percentuale di tempo a diversi livelli di comfort umidità, categorizzata secondo il punto di rugiada (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023)..... 129

Figura 3.15: La riga in grigio scuro indica la velocità media oraria del vento (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023)..... 130

Figura 3.16: La percentuale di ore in cui la direzione media del vento è da ognuna delle quattro direzioni cardinali del vento, tranne le ore in cui la velocità media del vento è di meno di 1,6 km/h. Le aree leggermente colorate ai bordi sono la percentuale di ore passate

nelle direzioni intermedie implicite (nord-est, sud-est, sud-ovest e nord-ovest). (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).....	130
Figura 3.17: I gradi-giorno medi accumulati durante l'anno (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).....	131
Figura 3.18: L'energia solare a onde corte incidente media che raggiunge il suolo per metro quadrato (riga arancione) (fonte: Weather Spark, < https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >, ultima visualizzazione 22/08/2023).....	132
Figura 3.19: Il comfort globale.....	133
Figura 3.20: La produzione di calore a seconda dell'attività svolta (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 20 [PDF file]).	134
Figura 3.21: Diagramma di Givoni per le abitazioni a Dakar, Senegal (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 17 [PDF file]).	135
Figura 3.22: Il comfort termico (fonte dati: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 15 [PDF file]).	136
Figura 3.23: Modalità di trasferimento del calore corporeo (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 12 [PDF file]).	141

Figura 3.24: Grafico dello sfasamento dell'onda termica in funzione del tempo nei casi di risposta istantanea e inerzia termica bassa e alta (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, Gennaio 2017, p. 24 [PDF file]).	146
Figura 3.25: L'isola di calore urbano (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 14 [PDF file]).	148
Figura 3.26: La traiettoria solare (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).	149
Figura 3.27: L'inclinazione del raggio solare a mezzogiorno per il solstizio d'inverno e d'estate nella città di Dakar. Latitudine: 14°41'37" nord (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).	149
Figura 3.28: L'orientamento ottimale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 29 [PDF file]).	150
Figura 3.29: Compattezza, superficie di scambio con l'esterno per una costruzione con una slp. di 162 m ² (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 30 [PDF file]).	150
Figura 3.30: Energia ricevuta al giorno per m ² di parete in base alla sua orientazione per una giornata soleggiata (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).	151
Figura 3.31: Influenza dell'impianto solare per la stessa superficie di pavimento di 162 m ² (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE,	

<i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).	151
Figura 3.32: Abitazione bioclimatica (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).	152
Figura 3.33: Abitazione parzialmente climatizzata (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).	152
Figura 3.34: Locali per attività, spazi terziari e ambienti didattici bioclimatici o climatizzati (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).	153
Figura 3.35: L'interazione tra la vegetazione, la radiazione solare e l'edificio. Al mattino e alla sera, il sole è basso sull'orizzonte e la radiazione è quasi perpendicolare alla superficie delle pareti a est e a ovest. La parte ovest è generalmente una zona in cui il disagio causato dall'esposizione solare è significativo, tanto da provocarne il surriscaldamento nel tardo pomeriggio, quando già la temperatura all'interno dell'edificio è aumentata costantemente per tutto il giorno (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 34 [PDF file]).	154
Figura 3.36: Le diverse tecniche costruttive degli strati isolanti sulle coperture (fonte: TAMASSOCIATI, ARUP, <i>Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies</i> , Arup, Maggio 2019, p.25 [PDF file]).	156
Figura 3.37: Coefficiente di assorbimento α in funzione di diverse tonalità (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).	157

Figura 3.38: Principali tecniche murarie (fonte dati: TAMASSOCIATI, ARUP, <i>Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies</i> , Arup, Maggio 2019, p.29 [PDF file]).	158
Figura 3.39: Influenza del posizionamento dei parasole sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 51 [PDF file]).	159
Figura 3.40: Influenza della topografia sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 47 [PDF file]).	160
Figura 3.41: Influenza della tipologia di copertura sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).	161
Figura 3.42: Orientamento rispetto al vento (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 28 [PDF file]).	161
Figura 3.43: Influenza delle partizioni interne sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 51 [PDF file]).	162
Figura 3.44: Influenza della posizione delle aperture sulla ventilazione naturale (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, pp. 50-51 [PDF file]).	164
Figura 3.45: Strategie di orientamento per la progettazione architettonica per strutture ad uso permanente per la regione di Ziguinchor (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET	

DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 90 [PDF file]).	164
Figura 3.46 Strategie di orientamento per la progettazione architettonica per strutture ad uso diurno per la regione di Ziguinchor (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017, p. 91 [PDF file]).	165
Figura 4.1; Moodboard 1.	167
Figura 4.2: Moodboard 2.	168
Figura 4.3: Moodboard 3.	169
Figura 4.4: Moodboard 4.	170
Figura 4.5: Moodboard 5.	171
Figura 4.6: Moodboard 6.	172
Figura 4.7: Moodboard 7.	173
Figura 4.8: Concept.	175
Figura 4.9: Localizzazione del progetto all'interno del territorio di Sine Bilali (fonte: Google Maps, https://www.google.it/maps/place/12%C2%B051'15.1%22N+15%C2%B000'19.6%22W/@12.8535113,-15.0085296,972m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d12.854186!4d-15.00544?entry=ttu , ultima consultazione 20/08/2023).	176
Figura 4.10: Tipi di habitat rurale (fonte dati: ARECCHI ALBERTO, <i>Abitare in Africa</i> , Mimesis, Milano 1998, p. 34).	177
Figura 4.11: Foto di una capanna rotonda a Sine Bilali (fonte: Google earth, https://earth.google.com/web/search/Sine+Bilali,+Senegal/@12.85344479,-15.00704476,18.46839892a,0d,35.66239601y,327.37647808h,89.74757687t,0r/data=Ci giJgokCREtbqAcIiFAEQstbqAcIiHAGfWa62KSnyxAIZLneY4vsU3AIhoKfK94SXPV OEVHRVNsB3RqMUIzODJ4R0EQAg , ultima consultazione 19/08/2023).	178

Figura 4.12: Villaggio con case a <i>impluvium</i> , Casamance, Senegal (fonte: ARECCHI ALBERTO, <i>Abitare in Africa</i> , Mimesis, Milano 1998, p. 165).	178
Figura 4.13: Planimetria di espansione.	180
Figura 4.14: Vista prospetto sud, accesso studenti.	182
Figura 4.15: Vista prospetto est, accesso comunità.	182
Figura 4.16: Masterplan di progetto.	183
Figura 4.17: Gestione degli spazi relazionali.	186
Figura 4.18: Esempio di disposizione all'interno delle aule.	187
Figura 4.19: Render delle aule dall'interno.	187
Figura 4.20: Diposizione dei banchi scolastici per far fronte a diverse attività.	188
Figura 4.21: L'agorà vista nel corso delle due stagioni.	189
Figura 4.22: La multifunzionalità dell'agorà.	190
Figura 4.23: Il laboratorio alimentare.	192
Figura 4.24: I servizi igienici a secco.	193
Figura 4.25: Planimetria di progetto.	196
Figura 4.26: Vista dall'altro dell'andamento della copertura.	196
Figura 4.27: Sezione AA.	197
Figura 4.28: Sezione AA. Il laboratorio alimentare.	197
Figura 4.29: Sezione AA. L'agorà.	198
Figura 4.30: Sezione AA. Le aule.	198
Figura 4.31: Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus,	

https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghauna-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html , ultima consultazione 18/08/2023).	201
Figura 4.32: Mattone in Adobe (fonte: un passaggio per biotopia, https://www.unpassaggioperbiotopia.org/materiali/principali-tecniche-di-posa-con-la-terra/adobe/?doing_wp_cron=1692347236.8559050559997558593750 , ultima consultazione 18/08/2023).....	202
Figura 4.33: Blocchi in terra compressa (fonte: Terra cruda, https://terracruzaitalia.com/it/sistemi/componenti-costruttivi , ultima consultazione 18/08/2023).	203
Figura 4.34: Tecnica del Pisè, Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus, https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghauna-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html , ultima consultazione 18/08/2023).	203
Figura 4.35: Tecnica del Cob (fonte: DEJEANT F., GARNIER P., JOFFROY T., <i>Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa</i> , CRAterre, 2021, p. 23).	203
Figura 4.36 Tecnica del Wattle and daub. (fonte: GeeFix, https://www.geefix.com/wattle-and-daub/ , ultima consultazione 18/08/2023)	203
Figura 4.37: Tecnica del Superadobe (fonte: un passaggio per biotopia, https://www.unpassaggioperbiotopia.org/materiali/principali-tecniche-di-posa-con-la-terra/adobe/ , ultima consultazione 18/08/2023).	204
Figura 4.38: Parco nazionale del Mali, progetto di Francis Kéré, Mali, 2010 (fonte: domus, https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/it/architettura/2011/08/15/il-mali-di-francis-k-r-/big_355666_5781_DO110709011_UPD1.jpg.foto.rmedium.jpg , ultima consultazione 18/08/2023).	205
Figura 4.39: Apparecchiatura muraria irregolare (fonte: architettura di pietra, https://www.architetturadi pietra.it/wp/?p=5432 , ultima consultazione 18/08/2023)...	206

Figura 4.40: Pavimentazioni in pietra (fonte: calarmarmi, https://www.canalmarmi.it/pavimenti-esterni-pietra-naturale/ , ultima visualizzazione 18/08/2023).....	207
Figura 4.41: Fondazioni in pietra. Prototipo di scuola in Ghana, progetto di Andrea Tabocchini e Francesca Vittorini, Yeboahkrom, Ghana, 2017 (fonte: domus, https://www.domusweb.it/it/architettura/2018/02/21/Ghauna-scuola-costruita-a-mano-con-soli-12.000-euro.html , ultima consultazione 18/08/2023).	207
Figura 4.42: Elementi lignei utilizzati in varie modalità: serramenti, struttura portante. Aula per la <i>junior high school</i> del villaggio di Okorase, progetto di Irene Librando e Nadia Peruggi, Okorase, Ghana, 2018 (fonte: ARKT, < https://arkt.space/volontariato-ed-architettura-workshop-di-architettura-in-terra-cruda-in-ghana/ >, ultima consultazione 11/09/2023).....	208
Figura 4.43: Copertura in fibre vegetali Fass School and Teachers' Residence, Toshiko Mori, Fass, Senegal, 2019 (fonte: dezeen, https://www.dezeen.com/2017/01/25/toshiko-mori-compressed-earth-bamboo-thatch-cultural-centre-senegal-africa-architecture/ , ultima consultazione 18/08/2023)	211
Figura 4.44: Pavimento in piastrelle rotte. Fass School and Teachers' Residence, Toshiko Mori, Fass, Senegal, 2019 (fonte: dezeen, https://www.dezeen.com/2017/01/25/toshiko-mori-compressed-earth-bamboo-thatch-cultural-centre-senegal-africa-architecture/ , ultima consultazione 18/08/2023)	213
Figura 4.45: Materiali e principali fasi costruttive delle murature in cob.	214
Figura 4.46: Fasi di preparazione delle murature in cob (fonte: PELMOINE THOMAS, MAYOR ANNE, <i>Vernacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choise</i> , in «Journal of material culture», Volume 25, Issue 3, 2020, p.9)....	215
Figura 4.47: Fasi di realizzazione di un tetto in paglia. (fonte: PELMOINE THOMAS, MAYOR ANNE, <i>Vernacular architecture in eastern Senegal: Chaines opératoires and technical choise</i> , in «Journal of material culture», Volume 25, Issue 3, 2020, p.15).....	216

Figura 4.48: Fasi di costruzione. A destra la prima fase di scavo e il getto delle fondazioni, a sinistra la seconda, in cui si innalza la struttura lignea per la copertura.	217
Figura 4.49: III fase: realizzazione delle pareti in terra cruda.	218
Figura 4.50: IV e V fase: realizzazione della copertura in paglia e fase di finitura.	218
Figura 4.51: Tassonomia delle strategie bioclimatiche impiegate.	219
Figura 4.52: Andamento del sole nel laboratorio alimentare disposto lungo l'asse est-ovest.	221
Figura 4.53: Sfruttamento del processo di raffreddamento evaporativo.	222
Figura 4.54: Studio della ventilazione naturale in pianta.	223
Figura 4.55: Studio della ventilazione naturale in sezione.	223
Figura 4.56: Il comfort globale.	225
Figura 4.57: Prezzi dei materiali nell'africa sub-sahariana (fonte: KAIRA LOORO, <i>Concorso di architettura. Scuola elementare</i> , 2022).	226
Figura 4.58: Valutazione economica preliminare.	228
Figura 5.1: Sezione e nomenclatura del tronco, a sinistra la struttura cellulare di una conifera e a destra quella di una latifoglia (fonte: NATTERER JULIUS, HERZOG THOMAS, VOLZ MICHAEL, <i>Atlante del Legno</i> , Utet, Milano 2013, p.34).	231
Figura 5.2: Curve tipiche tensione-deformazione per legno netto di conifera, per tensioni di trazione (a) compressione (b), parallele alla direzione delle fibre e per trazione (c), compressione (d), ortogonali alla direzione delle fibre (fonte: FERRACUTI BARBARA, <i>La progettazione delle strutture in legno nella nuova NTC 2018</i> , disponibile su https://ording.roma.it/wp-content/uploads/2018/04/Ferracuti-16-4-18-NTC-Legno.pdf , ultima consultazione 23/08/2023).	231
Figura 5.3: Influenza dell'umidità su alcune proprietà meccaniche, ad esempio, per la resistenza a trazione parallela alla fibratura (a), resistenza a flessione MoR (b), resistenza	

a compressione parallela alla fibratura (c), resistenza a compressione ortogonale alla fibratura (d), resistenza a trazione ortogonale alla fibratura (e) (fonte: FERRACUTI BARBARA, <i>La progettazione delle strutture in legno nella nuova NTC 2018</i> , disponibile su https://ording.roma.it/wp-content/uploads/2018/04/Ferracuti-16-4-18-NTC-Legno.pdf , ultima consultazione 23/08/2023).....	232
Figura 5.4: Classi di resistenza secondo <i>EN 338:2002</i> , per legno di latifoglie (pioppo escluso) (fonte: promo legno, < https://risponde.promolegno.com/domanda/data/quali-sono-le-possibili-classi-di-resistenza-da-assegnare-al-legno-di-rovere/index.html , ultima consultazione: 30/08/2023).	233
Figura 5.5 Nomenclatura delle diverse essenze nelle normative.	233
Figura 5.6: Valori dei coefficienti di combinazione (fonte: <i>NTC 2018 §2.5.2</i>).	238
Figura 5.7: Prima configurazione e relativi coefficienti di pressione.....	244
Figura 5.8: Zona A.	244
Figura 5.9: Zona B.....	245
Figura 5.10: Zona C.....	245
Figura 5.11: Seconda configurazione.	246
Figura 5.12: Zona A.	246
Figura 5.13: Zona B.....	247
Figura 5.14: Planimetria di progetto, in rosso viene indicata la maglia strutturale.....	248
Figura 5.15: Primo schema statico.	248
Figura 5.16: Risoluzione schema statico.	249
Figura 5.17: Azioni assili nello schema statico 1.	250
Figura 5.18: Azioni di taglio nello schema statico 1.	250
Figura 5.19: Andamento dei momenti nello schema statico 1.	251

Figura 5.20: Schema statico 2.....	252
Figura 5.21: Vista frontale del modellino in legno della struttura.	252
Figura 5.22: Vista dall'alto del modellino della struttura.....	253
Figura 5.23: Primo schema statico travetto.	257
Figura 5.24: Secondo schema statico travetto.	257
Figura 5.25: Andamento dei momenti nella reticolare di facciata.	258
Figura 5.26: Andamento delle azioni taglianti nella reticolare di facciata.....	259
Figura 5.27: Andamento delle azioni assiali nella reticolare di facciata, in rosso le trazioni e in blu le compressioni.	259
Figura 5.28: Andamento delle azioni assiali nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.	262
Figura 5.29: Andamento delle azioni di taglio nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.	262
Figura 5.30: Andamento dei momenti nella condizione di carico 1 e configurazione 1 del vento.	263
Figura 5.31: Andamento delle azioni assiali nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.	264
Figura 5.32: Andamento delle azioni di taglio nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.	264
Figura 5.33: Andamento dei momenti nella condizione di carico 1 e configurazione 2 del vento.	265
Figura 5.34: Andamento delle azioni assiali nella condizione di carico 2.	266
Figura 5.35: Andamento delle azioni taglianti nella condizione di carico 2.	266
Figura 5.36: Andamento dei momenti nella condizione di carico 2.....	267

Figura 5.37: Azioni assiali agenti sulla configurazione 1, in rosso le trazioni, in blu le compressioni.....	270
Figura 5.38: Azioni assiali a seguito dell'inserimento del tirante	271
Figura 5.39: Elemento maggiormente compresso.	272
Figura 5.40: Misure fondamentali in una vite filettata.	275
Figura 5.41: Distanze di sicurezza per viti (fonte: <i>EN ISO 898-1 2009 Caratteristiche meccaniche per viti e viti prigioniere</i>).....	276
Figura 5.42: Distanze limite.	276
Figura 5.43: Modalità di rottura fragili per un'unione con connettori a gambo cilindrico: a) fenditura (<i>splitting</i>); b) estrazione di uno o più tasselli di legno corrispondenza dei singoli connettori (<i>plug shear</i>); c) strappo di parte di elemento in corrispondenza di un gruppo di connettori (<i>group tear out</i>); d) rottura dell'elemento ligneo per trazione (<i>tension</i>) (fonte: PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, <i>Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee</i> , Hoplei, Trento 2009, p. 161).....	276
Figura 5.44: Definizione degli spessori t_1 e t_2 (fonte: PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, <i>Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee</i> , Hoplei, Trento 2009, p. 202).....	277
Figura 5.45: Modi di rottura per connessioni di legno con taglio singolo con a) Modo Ia, b) Modo Ib, c) Modo IV, d) Modo IIa, e) Modo IIb, f) Modo III (fonte: <i>EN ISO 898-1 2009 Caratteristiche meccaniche per viti e viti prigioniere</i>).	279
Figura C.1: Conseguenze dirette del progetto sugli obiettivi di sviluppo sostenibile. .	288
Figura C.2: Possibile diffusione del progetto nei territori con disponibilità di bambù e un elevato livello di povertà educativa.	289
Figura C.3: Possibile diffusione del progetto in zone climatiche affini e con elevato tasso di povertà educativa.....	290

Figura A.1: Emissioni annue totali di gas a effetto serra (GHG) di origine antropica (gigatonnellate di CO ₂ -equivalenti all'anno, Gt CO ₂ -eq/anno) per il periodo dal 1970 al 2010, per gas (fonte: IPCC, < https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1/ >, ultima consultazione 12/09/2023).....	291
Figura A.2: Classificazione climatica di Koppen (fonte: TAMASSOCIATI, ARUP, <i>Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies</i> , Arup, Maggio 2019, p.17 [PDF file]).	293
Figura A.3: Classificazione di Koppen-Geiger applicata al Senegal. https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal	293
Figura A.4: Temperatura media annuale osservata dal 1991 al 2020 per il Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	294
Figura A.5: Temperatura media annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	294
Figura A.6: Andamento delle temperature medie annuali osservate tra il 1901 e il 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	295
Figura A.7: Temperatura minima annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	295
Figura A.8: Temperatura massima annuale osservata dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	295

Figura A.9: Precipitazioni annuali osservate dal 1901 al 2021 in Senegal (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	296
Figura A.10: Andamento precipitazioni nel periodo 1091- 2021 (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	297
Figura A.11: Climatologia mensile delle temperature minime, medie e massime e delle precipitazioni osservate tra il 1991 e il 2020 a Kolda (fonte: Climate change Knowledge Portal, < https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical >, ultima visualizzazione 12/09/2023).....	297
Figura A.12: Previsione dell'evoluzione delle temperature (fonte: MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, <i>Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal</i> , CRAterre, gennaio 2017 [PDF file]).	298
Figura A.13: Distribuzione media annua dei disastri segnalati in Senegal.	299
Figura B.1: Conchiglie (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	302
Figura B.2: Mangrovie (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	303
Figura B.3: Rifiuti (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	303
Figura B.4: Pietra spaccata (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	304
Figura B.5: Palissandro (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	304

Figura B.6: Pneumatici (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	305
Figura.B.7: Laterite (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	305
Figura.B.8: Mattoni in terra cruda (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	306
Figura B.9: Bambù (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	306
Figura B.10: Piastrelle rotte (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	307
Figura B.11: Blocchi in cemento (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	307
Figura B.12: Travi in palissandro (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	308
Figura B.13: Tessuti (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	308
Figura B.14: Ferri di armatura (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	309
Figura B.15: Filo spinato (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	309
Figura B.16: Paglia (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	310
Figura B.17: Tronchi di palma (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	310
Figura B.18: Argilla nera (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	311

Figura B.19: Borse di plastica (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	311
Figura B.20: Bambù selvatico (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	312
Figura B.21: Sabbia (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	312
Figura B.22: Recinzioni locali in bambù (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	313
Figura B.23: Tronchi in legno locale (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	313
Figura B.24: Terra rossa (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	314
Figura B.25: Lamiera ondulata (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	314
Figura B.26: Lamiera in metallo (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	315
Figura B.27: Profili metallici (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	315
Figura B.28: Travi in legno (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	316
Figura B.29: Assi in legno (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	316
Figura B.30: Travi in metallo (fonte: KAIRA LOORO, <i>Material data</i> , Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022, © COPYRIGHT BY BALOUOSALO).	317

Indice delle tabelle

Tabella 1.1 Tasso di alfabetismo e popolazione rurale in Africa, suddivisa in base alla regione (fonte: UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.11 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	54
Tabella 1.2: Tassi di completamento della scuola ai vari livelli in Africa (fonte: UNICEF, African Union Commission, <i>Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements</i> , 2021, p.15 [PDF file]. Disponibile da https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf , ultima consultazione: 19/07/2023).	56
Tabella 4.1: Tabella riassuntiva del computo metrico di progetto.	229
Tabella 5.1: Valori e proprietà fisiche.	234
Tabella 5.2: Resistenza alla rottura.	234
Tabella 5.3: Altre caratteristiche del legno di palissandro.	235
Tabella 5.4: Classi di durata del carico.....	236
Tabella 5.5: Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali (γ_m).....	238
Tabella 5.6: Valori di K_{mod} per il legno massiccio (EN 1995-1-1).	238
Tabella 5.7: Valori di k_{def} per il legno massiccio (EN 1995-1-1).....	239
Tabella 5.8: Carichi permanenti non strutturali solaio S3.	240

Tabella 5.9: Tabella riassuntiva verifica a instabilità.....	260
Tabella 5.10: Tabella riassuntiva della verifica a instabilità delle aste compresse.	270
Tabella 5.11: Verifiche a instabilità dei pilastri compressi.	274
Tabella 5.12: Valori minimi delle distanze geometriche da mantenere.	276
Tabella 5.13: Resistenze a taglio dell'unione per le diverse casistiche.....	280

Bibliografia

Bibliografia

AA. VV., *New Urban Agenda, Proceedings of United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III)*, Quito, Ecuador, 20 Ottobre 2016.

AGENCE NATIONALE DE LA STATISTIQUE ET DE LA DEMOGRAPHIE, *Situation économique et sociale du Sénégal 2017-2018*, luglio 2020 [PDF file].

ANGI BARBARA, *Ricomposizioni Architettoniche Parallelismi e analogie*, LetteraVentidue, Siracusa 2018.

ARECCHI ALBERTO, *Abitare in Africa*, Mimesis, Milano 1998.

ARECCHI ALBERTO, *L'estremo occidente dell'Africa*, CESVI, Bergamo 1995.

BARONE CRISTINA, *Lo spazio che insegna. Costruzione, significati ed esperienze*, tesi di Dottorato di Ricerca Internazionale in Filosofia dell'Interno Architettonico, Università degli studi di Napoli, tutor del dottorato Prof.ssa Santoianni Flavia, Co-tutor Prof. Ciarcia Saverio

BINETA DIAGNE, *Sénégal: inauguration de l'autoroute à péage reliant Dakar à Diamniadio*, in «Radio France internationale», 2 agosto 2013. Disponibile su [Sénégal: inauguration de l'autoroute à péage reliant Dakar à Diamniadio - Afrique économie \(rfi.fr\)](#)

BOERE GERARD C., GALBRAITH COLIN A., STROUD DAVID A. (EDS), *Waterbirds around the world*, The Stationery Office, Edinburgh, UK, 2006, pp. 541-542 Disponibile su [Waterbirds Around the World: A Global Overview of the Conservation ... - Google Libri](#) (ultima consultazione 19/07/2023).

CANDILIS GEORGE, *Les Documents de Sigtuna*, CIAM AR-X-9, 1952.

CARTA MAURIZIO, *Dalla Carta di Machu Picchu all'agenda per le città del XXI secolo*, in *Per un'architettura come ecologia umana. Studiosi a confronto*, a cura di Lima Iolanda Antonietta, Jaca Book, Milano 2010.

Cfr. «Metron», ,1949, p. 33-34

CLASBY ERIN, *The current education system in Senegal: a closer look at the advantages and disadvantages of attending a private Catholic institution in Dakar*, in «Independent Study Project (ISP) Collection. 1259», 2012, [PDF file]. Disponibile su [The Current Education System in Senegal: A Closer Look at the Advantag" by Erin Clasby \(sit.edu\)](#), (ultima consultazione: 23/07/2023).

CONGRESSO DELL'UNIONE INTERNAZIONALE DEGLI ARCHITETTI, *Carta di Machu Picchu*, Messico 1978.

COUNTRY BRIEF SENEGAL 2023 [PDF file]. Disponibile da [senegal_country_brief_final_en.pdf](#) (ultima consultazione: 20/08/2023).

D'ALESSANDRO VALERIO ING., *Sezione 06*, in «Appunti del corso di tecniche del controllo ambientale», Università Politecnica delle Marche, 2017-2018.

DALLORSO ELENA, *Adattati, sopravvivivi. Soluzioni tradizionali e tecnologie moderne per la crisi climatica: due urbanisti interrogano partendo dalle città più calde della Terra*, in «AD», luglio-agosto 2023, n.497, pp. 28-30.

DE CARLO GIANCARLO, *L'ultimo convegno CIAM*, in Id., *Questioni di architettura e urbanistica*, Argalìa, Urbino 1965, riedito da Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2008.

DEJEANT F., GARNIER P., JOFFROY T., *Local materials, materials of the future: Local resources for sustainable cities and territories in Africa*, CRAterre, 2021.

FERRETTI FEDERICO, *Patrick Geddes (1854-1932)*, in *Cos'è il mondo? È un globo di cartone* a cura di Marcella Schmidt di Friedberg, Unicopli, Milano 2010.

GENNARI M., *Pedagogia degli ambienti educativi*, Armando Editore, Roma, 1997.

GHIRELLI MASSIMO, *Scheda approfondita: Senegal*, [PDF file]. Disponibile da <http://massimoghirelli.net/documents/Scheda.paese.Senegal.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

GREGOTTI VITTORIO, *Editoriale*, in «Rassegna», 1992, n. 52.

IDEM R, ZIELONKO-JUNG K., KARPINSKA A., *Vernacular and low-tech technologies in humanitarian architecture on the example of Senegal*, in «Architectus», 2022, n.70

Inauguration des quais du port de Ziguinchor, in «Ambassade de France à Dakar», 11 ottobre 2006.

KAIRA LOORO, *Concorso di architettura. Scuola elementare*, 2022 p. 12 [PDF file].

KAIRA LOORO, *Material data*, Concorso di architettura. Scuola elementare, 2022 [PDF file].

KINGDOM JONATHAN, HAPPOLD DAVID, BUTYNSKI THOMAS, HAPPOLD MEREDIT, KALINA JAN, *Mammals of Africa*, vol. 1, Bloomsbury, Londra 2013, p. 447. Disponibile su [Mammals of Africa - Jonathan Kingdon, David Happold, Thomas Butynski, Michael Hoffmann, Meredith Happold, Jan Kalina - Google Libri](https://books.google.it/books?id=...) (ultima consultazione 19/07/2023).

LE CORBUSIER, *Towards a New Architecture*, Dover Publications, New York 1986.

LEFAIVRE LIANNE, DE ROODE INGEBORG, *Aldo van Eyck. Playgrounds*, NAI Publishers, Rotterdam 2002.

LE NESTOUR ALEXIS, *Demand for schooling in rural Senegal*, tesi di Dottorato in Filosofia, University of Otago, Sunedin, New Zealand, Giugno 2018.

MADSEN J.E., DIONE D., TRAORÉ A.S., SAMBOU B., *The Biodiversity of African Plants*, Atti del XIV AETFAT Congress, Wageningen (Netherlands) 22-27 Agosto 1994, a cura di Van der Maesen L.J.G., Van der Burgt X.M. Van Medenbach de Rooy J.M., Kluwer

Academic Publishers, Londra, UK, 1996, pp. 214-217 Disponibile su [The Biodiversity of African Plants: Proceedings XIVth AETFAT Congress 22–27 ... - Google Libri](#) (ultima consultazione 19/07/2023).

MALLON DAVID P., HOFFMANN MICHEAL, MCGOWAN PHILIP J.K., *An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and Central Africa*, 2015. Disponibile su [An IUCN situation analysis of terrestrial and freshwater fauna in West and ... - Google Libri](#) (ultima consultazione 19/07/2023).

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA PROTECTION DE LA NATURE DIRECTION DES PARCS NATIONAUX, *Quatrième rapport national sur la mise en Œuvre de la convention sur la diversité biologique*, Novembre 2010 [PDF file]. Disponibile da <https://www.cbd.int/doc/world/sn/sn-nr-04-fr.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, *Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal*, CRAterre, Gennaio 2017 [PDF file].

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*, Decreto del 17 gennaio 2018

MOMA CATALOGUE, *Architecture without architects*, 1964, [PDF file]. Disponibile da [Architecture without architects, an introduction to nonpedigreed architecture \(moma.org\)](#) (ultima consultazione: 17/08/2023).

MUMFORD ERIC, *The Ciam discourse on Urbanism, 1928-1960*, The MIT Press, Cambridge, 2000.

NDUNGUDU PATRICK, *Sénégal: réception du TER ed inauguration de la gare de Dakar rénovée*, in «African Shapers», gennaio 2019.

NATTERER JULIUS, HERZOG THOMAS, VOLZ MICHAEL, *Atlante del Legno*, Utet, Milano 2013

NEWMAN OSCAR, *A short review of CIAM activity*, Karl Kramer edition, Stoccarda, 1959.

PIAZZA MAURIZIO, TOMASI ROBERTO, MODENA ROBERTO, *Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee*, Hoplei, Trento 2009

PIROVANO DANIELA, *Deterioramento climatico e desertificazione in Casamance (Senegal meridionale): emergenze climatiche, controllo ambientale e gestione delle risorse idriche*, tesi di laurea magistrale, Università politecnica delle Marche, relatore prof.ssa Negri Alessandra, correlatore prof. Sarti Massimo, A.A. 2018-2019

PROGETTO FORMA, *Scheda Senegal*, 8 gennaio 2018, [PDF file]. Disponibile da <https://progettoforma.eu/wp-content/uploads/2018/01/scheda-senegal.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

RUDOLFSKY BERNARD, *Architecture without architects*, Doubleday & Co, New York 1964.

SANE, Y., PANTHOU, G., BODIAN, A., VISCHER, T., LEBEL, T., DACOSTA, H., QUANTIN, G., WILCOX, C., NDIAYE, O., DIONGUE-NIANG, A., DIOP KANE, M., *Intensity-*

durationfrequency (IDF) rainfall curves in Senegal, in «Nat. Hazards Earth Syst. Sci. », 2018. Disponibile da <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1849-2018>.

SOSSAI GIULIA, *Arte e dinamiche relazionali. Dalla teoria alle buone pratiche*, tesi di laurea magistrale in Economia e Gestione delle Arti e delle attività culturali, Università Ca' Foscari Venezia, relatore prof. Panozzo Fabrizio, correlatore prof. Dalla Gassa Marco, A.A. 2016-2017.

TAMASSOCIATI, ARUP, *Material Plabook for community resourced insulation materials in emerging economies*, Arup, Maggio 2019 [PDF file].

UN-HABITAT STRATEGIC PLAN 2020-2023 [PDF file]. Disponibile da [strategic_plan_2020-2023.pdf](https://www.unhabitat.org/strategic_plan_2020-2023.pdf) (unhabitat.org) (ultima consultazione: 19/08/2023).

UNICEF, AFRICAN UNION COMMISSION, *Transforming education in Africa. An evidence-based overview and recommendations for long-term improvements*, 2021, [PDF file]. Disponibile da <https://www.unicef.org/media/106686/file/Transforming%20Education%20in%20Africa.pdf> (ultima consultazione: 19/07/2023).

UNI ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE, *Eurocodice 5: Progettazione delle strutture di legno*, UNI EN 1995-1-1.

UNITED NATION DEVELOPMENT PROGRAMME, *Human development Report 2021-2022: Uncertain Times, Unsettled Lives: Shaping our Future in a Transforming World*, 8 settembre 2022, pp. 272-276 [PDF file]. Disponibile da [Wayback Machine \(archive.org\)](https://www.un.org/waybackmachine/) (ultima consultazione: 19/07/2023).

UNITED NATION, *The Sustainable Development Goals Report, 2022*, p. 3 [PDF file]. Disponibile da <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022> (ultima consultazione: 19/07/2023).

VAN EYCK ALDO, *Het Verhaal van een Andere Gedachte* (La storia di un altro pensiero), in *Forum* n. 7, Amsterdam and Hilversum 1959.

WATSON JULIA, *Il potere di Lo-TEK: un movimento di design per ricostruire la comprensione della filosofia indigena e dell'architettura vernacolare*, 21/06/2019. Disponibile da < <https://commonedge.org/the-power-of-lo-tek-a-design-movement-to-rebuild-understanding-of-indigenous-philosophy-and-vernacular-architecture/> >, ultima consultazione 21/08/2023.

WATSON JULIA, *Lo-TEK Design by Radical Indigenism*, Taschen, Italia 2022.

WHEATLEY NIGEL, *Where to watch birds in Africa*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 2014. Disponibile su [Where to Watch Birds in Africa - Nigel Wheatley - Google Libri](https://www.google.it/books/edition/Where_to_Watch_Birds_in_Africa/Nigel_Wheatley_-_Google_Libri) (ultima consultazione 19/07/2023).

WORLD BANK GROUP, *SABER Country Report 2016. Senegal*, 2016, [PDF file].

WORLD BANK GROUP, *World development report. Learning to realize education's promise*, 2018 [PDF file].

Sitografia

Africa e Affari

<[Senegal: Sotto i riflettori la mobilità sostenibile nel piano di trasporto di Dakar | Africa e Affari](#)>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

Ancient Pages

<[Waru Waru - Ancient Andean Irrigation System Brought Back To Life - Ancient Pages](#)>

(ultima consultazione: 17/08/2023 <https://aulascienze.scuola.zanichelli.it/multimedia-scienze/come-te-lo-spiego-scienze/antropocene-luomo-come-forza-geologica>)

Architectuul

<[PREVI | Architectuul](#)>

(ultima consultazione: 19/08/2023)

ARDA

<[Profili nazionali | Religione mondiale \(thearda.com\)](#)>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

Arquine

<[PREVI, La vivienda como proceso - Arquine](#) >

(ultima consultazione 17/08/2023)

Arquitectura Viva

<[Viviendas Quinta Monroy, Iquique - Alejandro Aravena ELEMENTAL | Arquitectura Viva](#)>

(ultima consultazione 17/08/2023)

Bijlmermeer

<[Bijlmermeer \(distretto\), Amsterdam | www.amsterdamhv.nl](#) >

(ultima consultazione: 18/08/2023)

BirdLife

<[Zona dati BirdLife](#)>

(ultima consultazione: 19/07/2023)

Climate Change Knowledge Portal

< <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal/climate-data-historical>>

(ultima consultazione: 06/08/2023)

Climate of change

< <https://climateofchange.info/italy/voci-e-storie-dal-senegal/> >

(ultima consultazione: 06/08/2023)

Convention on Biological Diversity

<[Dettagli principali \(cbd.int\)](#)>

(ultima consultazione: 19/07/2023)

CSE

<[Qanats, Surangams \(cseindia.org\)](http://Qanats.Surangams(cseindia.org))>
(ultima consultazione 17/08/2023)

Dezeen

<[Alejandro Aravena releases housing designs for free \(dezeen.com\)](http://AlejandroAravenareleaseshousingdesignsforfree(dezeen.com))>
(ultima consultazione: 19/08/2023)

Domus

<[PREVI. L'utopia metabolista - Domus \(domusweb.it\)](http://PREVI.L'utopiametabolista-Domus(domusweb.it))>
(ultima consultazione: 19/08/2023)

Domus

<[Elemental, Aravena! - Domus \(domusweb.it\)](http://Elemental,Aravena!-Domus(domusweb.it))>
(ultima consultazione 19/08/2023)

Easy viaggio

<<https://www.easyviaggio.com/senegal/il-fiume-senegal-3145>>
(ultima consultazione 24/07/2023).

Echo community

<[TN #78 Zai Pit System | ECHOcommunity.org](http://TN#78ZaiPitSystem|ECHOcommunity.org)>
(ultima consultazione: 18/08/2023)

Fondazione Bruno Zevi

<[Biografia - Fondazione Bruno Zevi](http://Biografia-FondazioneBrunoZevi)>
(ultima consultazione:19/08/2023)

GBIF

<[Sistema Nazionale Senegalese di Informazione sulla Biodiversità - SENBIO-INFOS \(gbif.org\)](http://SistemaNazionaleSenegalese di Informazione sulla Biodiversità - SENBIO-INFOS (gbif.org))>
(ultima consultazione: 19/07/2023)

Google Maps

<<https://www.google.it/maps/place/Sine+Bilali,+Senegal/@12.8538815,-15.0072285,746m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0xee5e26aa9123d4d:0x9aea0cdbde687837!8m2!3d12.851818!4d-15.009223!16s%2Fg%2F1tmplw7v?entry=ttu>>
(ultima consultazione 24/07/2023).

Google Maps

<<https://www.google.com/search?q=scuole+a+kolda+senegal&udm=1&sa=X&ved=2ahUKEwiIwrHR3qeAAxUAYPEDHRPTDuEQjGp6BAgaEAE&cshid=1690215365400463&biw=1536&bih=746&dpr=1.25>>
(ultima consultazione 24/07/2023).

Google Maps

<<https://www.google.it/maps/search/casamance/@13.1003182,-15.8300263,8.69z?entry=ttu>>
(ultima consultazione 24/07/2023).

Google Maps

<

https://www.google.com/search?q=ospedali+a+kolda+senegal&udm=1&biw=767&bih=736&ei=1qO-ZMecG-vmxc8P6omNuAk&ved=0ahUKEwjH39v73qeAAxVrc_EDHepEA5cQ4dUDCA8&uact=5&oq=ospedali+a+kolda+senegal&gs_l=Ep=Exnd3Mtd2l6LXNlcnAiGG9zcGvkYWxpIGEGa29sZGEgc2VuZWdhdDIFEAAYogQyBRAAGKIEMgUQABiiBEi1DVAAWN8KcAB4AJABAJgBe6AB8waqAQM2LjO4AQPIAQD4AQHCAggQIRigARjDBMICChAhGKABGMMEGArAwQYACBBiAYB&sclient=gws-wiz-serp >

(ultima consultazione 24/07/2023).

Index mundi

<https://www.indexmundi.com/it/senegal/linee_ferrovie.html>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

International Labour Organization

<[Statistiche sull'occupazione - ILOSTAT](#)>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

ITA

<[SENEGAL: RETE FERROVIARIA DAKAR PRESTO DOTATA DI NUOVI CONVOGLI \(ice.it\)](#)>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

KAIRA LOORO

<https://www.kairalooro.com/competition_elementaryschool/en_index.html>

(ultima consultazione: 02/03/2023)

Kanaga Africa tours

<[I verdi paesaggi della Casamance e del Sine-Saloum - Kanaga Africa Tours \(kanaga-at.com\)](#)>

(ultima consultazione 24/07/2023)

La Prensa Peru

<[Se requieren más de 200 mil nuevas viviendas en el Perú | Perú | Economía | La Prensa Peru](#)>

(ultima consultazione 17/08/2023)

MO

<[Aldo van Eyck and the City as Playground – MO \(merijnoudenampsen.org\)](#)>

(ultima consultazione 18/08/2023)

National Geographic

<[Habitat \(nationalgeographic.org\)](#)>

(ultima consultazione 17/08/2023)

Nazioni Unite

<<https://unric.org/it/agenda-2030/>>

(ultima consultazione: 18/07/2023)

Pinterest

<[Waru waru | Ancient civilizations, Natural landmarks, Ancient \(pinterest.it\)](#)>
(ultima consultazione: 17/08/2023)<https://aulascienze.scuola.zanichelli.it/multimedia-scienze/come-te-lo-spiego-scienze/antropocene-luomo-come-forza-geologica>)

Ramar

<[Parc national du Delta du Saloum | Ramsar Sites Information Service](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

ReserchGate

<[The Urban Re-Identification Grid by Alison and Peter Smithson presented... | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\)](#)<https://theconversation.com/cultiver-sans-eau-ou-presque-la-technique-du-za-au-sahel-210855> >
(ultima consultazione: 18/08/2023)

Sapere.it

<[illuminismo su Enciclopedia | Sapere.it](#)>
(ultima consultazione 17/08/2023)

SENEGAL EMERGENTE

<<https://www.presidence.sn/en/pse/presentation> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Socks

<[Clusters and Growth: PREVI Housing Project by James Stirling \(1976\) – SOCKS \(socks-studio.com\)](#)>
(ultima consultazione 17/08/2023)

Studio Civitare

<[Khoisan Aldeia - Africa - Studio Civitare](#)>
(ultima consultazione: 17/08/2023)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT REPORT

<<https://dashboards.sdgindex.org/profiles/senegal> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Survival

<[Masai \(survival.it\)](#) >
(ultima consultazione: 17/08/2023)

The Conversation

<[Coltivare con poca o nessuna acqua: la tecnica zai nel Sahel \(theconversation.com\)](#)>
(ultima consultazione: 18/08/2023)

THE WORLD BANK

<[Agricoltura, silvicoltura e pesca, valore aggiunto \(% del PIL\) - Senegal | Dati \(worldbank.org\)](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Aspettativa di vita alla nascita, totale (anni) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Crescita demografica (%) annua - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

< <https://data.worldbank.org/country/senegal> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Necessità contraccettiva insoddisfatta (% delle donne sposate di età compresa tra 15 e 49 anni) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Popolazione di età 0-14 (% della popolazione totale) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Popolazione rurale (% della popolazione totale) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Popolazione, totale - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

< Prevalenza contraccettiva, qualsiasi metodo moderno (% delle donne sposate di età 15-49) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

< Rimesse personali ricevute (% del PIL) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Saldo migratorio - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Spesa pubblica per l'istruzione, totale (% del PIL) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<Tasso di alfabetizzazione, adulti totali (% di persone di età pari o superiore a 15 anni) - Senegal | Dati (worldbank.org)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<[Tasso di completamento primario, totale \(% della pertinente fascia d'età\) - Senegal | Dati \(worldbank.org\)](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<[Tasso di fertilità totale \(nascite per donna\) - Senegal | Dati \(worldbank.org\)](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<[Tasso di mortalità infantile \(per 1.000 nati vivi\) - Senegal | Dati \(worldbank.org\)](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

THE WORLD BANK

<[Tasso di povertà a \\$ 2,15 al giorno \(2017 PPA\) \(% della popolazione\) - Senegal | Dati \(worldbank.org\)](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Transatlantic Perspectives

<[Congrès International d'Architecture Moderne \(CIAM\) | Transatlantic Perspectives](#) >
(ultima consultazione: 18/08/2023)

Treccani

<https://www.treccani.it/enciclopedia/bioarchitettura_%28Enciclopedia-Italiana%29/ >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Treccani

<[Senegal nell'Enciclopedia Treccani](#)>
(ultima consultazione: 18/07/2023)

UN-Habitat

<[UN-Habitat - A Better Urban Future | UN-Habitat \(unhabitat.org\)](#)>
(ultima consultazione 19/08/2023)

UN-Habitat

<[Urbanization in Africa Region: Building inclusive & sustainable cities \(unhabitat.org\)](#)>
(ultima consultazione: 19/08/2023)

UNICEF

<<https://www.unicef.org/> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

UNICEF

<<https://www.unicef.org/press-releases/10-countries-highest-out-school-rates-40-cent-children-are-not-accessing-basic> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

United Nations

< <https://www.undp.org/> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

United Nations

< <https://www.un.org/development/desa/dpad/least-developed-country-category-senegal.html> >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

United Nations

< [Paese meno sviluppato Categoria: Senegal Profilo | Dipartimento degli affari economici e sociali \(un.org\)](#) >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

United Nations

< <https://sdgs.un.org/goals> >
(ultima visualizzazione 30/08/2023)

Vishnuias

< [Surangam System - \(vishnuias.com\)](#) >
(ultima consultazione 17/08/2023)

Viva Decora

< [Alejandro Aravena: saiba mais sobre as obras de um dos arquitetos mais importantes e humanitários da América do Sul \(vivadecora.com.br\)](#) >
(ultima consultazione 17/08/2023)

Weather Spark

< https://it.weatherspark.com/y/31733/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Kolda-Senegal-tutto-l'anno#google_vignette >
(ultima visualizzazione 22/08/2023)

Watson Julia

< [Home | Julia Watson](#) >
(ultima consultazione 17/08/2023)

Wikipedia

< https://it.wikipedia.org/wiki/Parco_nazionale_del_delta_del_Saloum >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Wikipedia

< https://it.wikipedia.org/wiki/Santuario_nazionale_degli_uccelli_di_Djoudj >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

Wikipedia

< https://en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Senegal >
(ultima consultazione: 18/07/2023)

WFB

< [Senegal - The World Factbook \(cia.gov\)](#) >
(ultima consultazione: 19/07/2023)

WorldAtlas

<[Sahel Of Africa - WorldAtlas](#)>
(ultima consultazione 17/08/2023)

Zanichelli

<[Antropocene: la specie umana come forza geologica - Aula di Scienze \(zanichelli.it\)](#)>
(ultima consultazione 17/08/2023)

ZME Science

<[The Mesopotamian Venice: The Lost Floating Homes of Iraq \(zmescience.com\)](#)>
(ultima consultazione 17/08/2023)