



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Ingegneria Energetica e Nucleare
A.A. 2025/2026
Sessione di Laurea Marzo 2025

Identifying needs and developing appropriate technologies to support communities who lack access to energy in the Gulu area of Uganda.

Identificazione delle esigenze e sviluppo di tecnologie appropriate per supportare le comunità con difficoltà di accesso all'energia nell'area di Gulu in Uganda

Relatori:

Walter Franco
Marcello Rava
Amarilli Varesio

Candidato:

Emilio Pulvirenti

Sommario

L'accesso all'energia è un tema di fondamentale importanza: l'energia è indispensabile per soddisfare i bisogni primari e per il raggiungimento del benessere umano. Negli ultimi anni il numero stimato di persone con difficoltà di accesso a sistemi energetici moderni è diminuito, un'ampia fascia di popolazione ne fa però ancora parte. L'energia, in questo caso, va trattata non solo come un prodotto, ma va considerata in tutte le diverse implicazioni: tecniche, economiche, sociali, politiche e culturali. Per proporre soluzioni in grado di migliorare le condizioni di vita è necessario utilizzare un approccio trasversale, che superi le soluzioni standardizzate e i modelli di sviluppo dominanti.

Lo scopo principale della tesi è quello di sviluppare un metodo di identificazione e analisi dei bisogni energetici di comunità che vivono in condizioni di difficoltà di accesso all'energia, e strumenti di progettazione di soluzioni appropriate al contesto. Partendo dalla metodologia proposta da Sianipar (*Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered*, 2013), ne è stata sviluppata una adattata in particolare alle aree rurali e periurbane popolate dalle comunità Acholi, nel territorio di Gulu, nel Nord dell'Uganda, nell'Africa sub-sahariana.

Il metodo adottato risulta articolato in più fasi: analisi della letteratura, ricerca sul campo, rielaborazione informazioni e proposte.

Nella prima parte della tesi è presentato un approfondimento teorico sul concetto di diritto all'energia e quindi un'analisi delle disuguaglianze energetiche tra Nord e Sud globale. Vengono poi descritte le Tecnologie Appropriate, valutate sia come un possibile strumento di supporto per le comunità con difficoltà di accesso all'energia, ma anche come chiave di lettura per l'analisi dei sistemi esistenti e come riferimento per l'elaborazione di proposte progettuali di piccola scala. L'analisi sul campo, svolta in presenza nell'areale di Gulu (Uganda), descritta nella parte centrale dell'elaborato, ha permesso l'osservazione diretta delle condizioni di vita, le modalità di approvvigionamento energetico e le strategie di adattamento della popolazione. Seguono poi i risultati che evidenziano i bisogni prioritari ricorrenti e le criticità legate all'affidabilità, ai costi e alla sostenibilità dei sistemi energetici adottati. Emergono anche i limiti delle soluzioni tecnologiche già presenti, introdotte senza coinvolgimento delle comunità e senza un processo adeguato di adattamento al contesto. Infine è stato svolto un processo di valutazione dei sistemi esistenti e di elaborazione di proposte di soluzioni appropriate, valutate secondo criteri tecnici, economici, sociali e ambientali.

Il contributo principale di questo studio risiede nella metodologia adottata e nella riflessione critica sul ruolo della tecnologia nella transizione energetica, dove la differenza è data dall'approccio progettuale contestualizzato e inclusivo, che valorizza le conoscenze locali e i bisogni reali delle persone.

Abstract

Access to energy is a matter of fundamental importance as energy is essential for meeting basic needs and for achieving overall human well-being. In recent years, the estimated number of people facing difficulties in accessing modern energy systems has decreased; however, a large share of the population still lacks access. In this context, energy should not be treated merely as a product, but it has to be considered in all its different implications: technical, economic, social, political, and cultural. To propose solutions capable of improving living conditions, it is necessary to adopt a cross-cutting approach that goes beyond standardized solutions and dominant development models.

The main objective of this thesis is to develop a method for identifying and analyzing the energy needs of communities living under conditions of limited access to energy, as well as tools for designing solutions that are appropriate to their living situation. Starting from the methodology proposed by Sianipar (*Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered*, 2013), an adapted methodology was developed, specifically tailored to rural and peri-urban areas inhabited by Acholi communities in the Gulu district of northern Uganda, in sub-Saharan Africa.

The adopted method is structured into several phases: literature review, field research, and the processing of information and proposals.

The thesis first presents a theoretical discussion of the concept of the right to energy, followed by an analysis of energy inequalities between the Global North and the Global South. It then describes Appropriate Technologies, assessed both as a potential support tool for communities with limited access to energy and as an interpretative framework for analyzing existing systems. In addition to this, it also serves as a reference for developing small-scale project proposals. The core of this thesis is the field analysis, carried out in person in the Gulu area (Uganda), that enabled direct observation of living conditions, energy supply practices, and the population's adaptation strategies. Furthermore, the results highlight recurring priority needs and critical issues related to the reliability, costs, and sustainability of the adopted energy systems. The limitations of existing technological solutions also emerge, having been introduced without community involvement and without an adequate process of adaptation to the local context. Finally, an evaluation of existing systems was conducted, and proposals for appropriate solutions were developed and assessed according to technical, economic, social, and environmental criteria.

The main contribution of this study lies in the adopted methodology and in the critical reflection on the role of technology in the energy transition, where the distinguishing factor is a contextualized and inclusive design approach that values local knowledge and the real needs of people

Indice

	Sommario	2
	Abstract	4
1.	Introduzione: il Diritto all'Energia	8
1.1	Energia pulita e accessibile.....	12
1.2	La povertà energetica.....	18
1.3	Disparità tra Nord e Sud globale nell'accesso all'energia	21
1.4	Le alternative allo sviluppo sostenibile	26
1.5	Obiettivo di tesi.....	32
2.	Le Tecnologie Appropriate	34
2.1	Definizione e caratteristiche di appropriatezza	36
2.2	Il movimento al giorno d'oggi.....	40
2.2.1	Grassroot innovation e altri metodi di progettazione.....	41
2.2.2	Ingegneria Umanitaria.....	43
2.3	Esempi	45
2.3.1	Generale	45
2.3.2	Bicicletta Cargo.....	46
2.3.3	Bicicletta Frullatore.....	47
2.3.4	Pompe a pedale per l'irrigazione	48
2.3.5	Rulli d'acqua Hippo.....	49
2.3.5	Rubinetti Tippy	50
2.3.6	Programma Luz en Casa	51
2.3.7	Lampade solari ad alta autonomia Lagazel.....	52
2.3.8	Cucine elettriche pulite in Nepal.....	53
2.3.9	Kit frigorifero solare	54
2.3.10	Forno solare GoSun.....	55
2.4	La progettazione di una tecnologia appropriata	56
3.	Contestualizzazione: Africa subsahariana	64
3.1	La situazione energetica in Uganda.....	67
3.2	Il centro urbano di Gulu e la comunità Acholi	70
3.3	Comunità rurali e offgrid	72
3.4	I metodi di pagamento offgrid	73
3.5	Bricolage energetico	75
3.6	Il fine vita delle tecnologie off-grid.....	78

4.	Metodologia adottata per la progettazione di una tecnologia appropriata	81
4.1	Progettazione della tecnologia appropriata seguita.....	81
4.1.1	Revisione e ricerca della letteratura	82
4.1.2	Analisi sul campo.....	84
4.1.3	Definizione dei sistemi in uso e valutazione.....	86
4.1.4	Elaborazione di una proposta e valutazione.....	87
4.2	Origine metodo utilizzato per le interviste	88
4.2.1	Interviste qualitative.....	92
4.2.2	Questionario quantitativo	96
4.2.3	Ricerca delle tecnologie	99
4.2.4	Indice di appropriatezza	100
5.	Raccolta dati.....	108
5.1	Contestualizzazione del campione e caratteristiche generali delle famiglie	108
5.1.1	Fonti energetiche presenti nelle abitazioni periurbane	110
5.1.2	Fonti energetiche presenti nelle abitazioni rurali.....	112
5.2	Bisogni energetici quotidiani delle famiglie.....	115
5.2.1	Approvvigionamento energia elettrica.....	118
5.2.2	Energia per cucinare.....	125
5.2.3	Sistemi appropriati utilizzati per piccoli business	142
6.	Elaborazione dati e informazioni	153
6.1	Stima consumi.....	153
6.2	Confronto valori survey.....	157
6.3	Confronto tra tecnologie in uso ed eventuali proposte.....	157
6.4	Valutazione appropriatezza tecnologia.....	178
7.	Conclusioni	181
	Bibliografia	185
	Allegati.....	185

1. Introduzione: il Diritto all'Energia

L'energia è fondamentale per il funzionamento delle società moderne.

L'uso iniziale dell'energia era quello di semplificare il lavoro umano ma col tempo si è evoluto diventando un elemento indispensabile per il lavoro stesso. Ad oggi il suo ruolo è diventato centrale nello sviluppo delle società moderne.

Se in passato accedere all'energia significava avere un mezzo per sostituire il lavoro manuale con quello di una macchina (Franco, et al., 2020), ora è diventata una condizione necessaria per ottenere i servizi essenziali come ad esempio l'illuminazione, il riscaldamento e il raffrescamento ma anche la cucina e la conservazione degli alimenti. Oltre a questi usi primari vengono facilitati inoltre l'accesso alle informazioni e ai servizi sanitari.

La dipendenza diretta di molti servizi dalla disponibilità energetica ha reso le società dipendenti dall'energia stessa, ma ne ha anche consentito la loro propria evoluzione. L'energia, nonostante venga prodotta e venduta costantemente, non possiede solamente un valore economico ma diventa un fattore abilitante della qualità della vita (Shyu, 2021).

Sebbene questi concetti siano noti, a livello internazionale non sono molti i punti di riferimento in materia: da 80 anni è un argomento conosciuto essendo stato citato durante la fondazione delle Nazioni Unite (ONU), nel 1945 a San Francisco. Finora non è stato mai esplicitato come un Diritto, ma piuttosto è stato inteso e derivato dall'applicazione di altri articoli e norme. Tra questi il più inerente è il venticinquesimo articolo della Dichiarazione Universale dei Diritti Umani (DUDU) che riporta:

Articolo 25 Un letto e cibo per tutti

“1) Ogni individuo ha diritto ad un tenore di vita sufficiente a garantire la salute e il benessere proprio e della sua famiglia, con particolare riguardo all'alimentazione al vestiario, all'abitazione, e alle cure mediche e ai servizi sociali necessari; ed ha diritto alla sicurezza in caso di disoccupazione, malattia, invalidità, vedovanza, vecchiaia o in ogni altro caso di perdita dei mezzi di sussistenza per circostanze indipendenti dalla sua volontà” (DUDU, 1948).

Da questo enunciato si evince il diritto a un tenore di vita adeguato, alla salute e al benessere, vengono anche menzionati anche altri elementi come alimentazione e alloggio. L'energia non

viene citata esplicitamente ma è evidente che, sia da un punto di vista funzionale che tecnico, questi diritti sono oggi irrealizzabili senza l'utilizzo di essa.

L'accesso all'energia permette anche di facilitare l'ottenimento di altri diritti fondamentali riguardanti aspetti quali il lavoro, lo svago e l'istruzione:

Articolo 23 Diritti dei lavoratori

1) Ogni individuo ha diritto al lavoro, alla libera scelta dell'impiego, a giuste e soddisfacenti condizioni di lavoro ed alla protezione contro la disoccupazione
(DUDU, 1948).

A tal proposito, l'aumento della disponibilità di energia permette di far svolgere ad una macchina quello che altrimenti sarebbe lavoro fisico, con ovvie ripercussioni sulle condizioni di lavoro. In maniera analoga l'utilizzo dell'energia facilita anche i diritti all'istruzione, autorealizzazione e svago (Rosato, 2018).

Articolo 24 Diritto di giocare

“Ogni individuo ha diritto al riposo ed allo svago, comprendendo in ciò una ragionevole limitazione delle ore di lavoro e ferie periodiche retribuite.”
(DUDU, 1948)

Articolo 26 Diritto all'istruzione

1) “Ogni individuo ha diritto all'istruzione.” (DUDU, 1948)

Tutto ciò rende il diritto all'energia un'interpretazione, un diritto implicito o derivato, necessario per rendere effettivi i diritti socio-economici riconosciuti dalla dichiarazione universale negli anni '50. Secondo Walker (2015) l'energia è diventata un prerequisito per il godimento effettivo dei diritti civili e sociali nelle società moderne. Con l'evoluzione delle società, questa interpretazione si è resa necessaria per colmare il vuoto normativo: anche secondo Shyu (2021) c'è bisogno di utilizzare il *diritto all'energia*, sia come approccio pratico che come concetto teorico, per appianare le disuguaglianze energetiche e promuovere l'inclusione sociale.

In altri trattati internazionali viene menzionato il diritto all'energia, ma anche in questi casi viene subordinato ad altre questioni di maggior importanza: uno di essi riguarda l'eliminazione di tutte le forme di violenza contro le donne (CEDAW, 1979) dove nell'articolo 14.2 si assicura *“alle donne nelle zone rurali (al fine di porre parità con gli uomini e di conseguenza valido per chiunque a prescindere dal genere) il loro diritto di godere di condizioni di vita adeguate per*

quanto riguarda l'alloggio, i servizi igienici, la fornitura d'acqua ed elettricità, i trasporti e le comunicazioni.” Questo viene successivamente esplicitato nella raccomandazione 34 chiarendo che ... “oltre all'elettricità le donne rurali possono avere anche altre esigenze energetiche, ad esempio per cucinare, riscaldare, raffreddare e trasportare e ad esse venga assicurato l'accesso a servizi essenziali e beni pubblici, tra cui le fonti di energia sostenibili e rinnovabili, estendendo i servizi di rete alle aree rurali e sviluppando l'energia solare e altre fonti energetiche sostenibili con tecnologie a basso costo.”

Il contenuto di questo articolo, a differenza della dichiarazione universale dei diritti umani, porta in luce una distinzione (oltre alla disuguaglianza di genere per la quale nasce il trattato) dovuta alla provenienza di chi si avvale di tale diritto: se esse provengono da luoghi rurali si va a garantire almeno l'accesso minimo, sufficiente a soddisfare bisogni fondamentali come illuminazione, cottura e riscaldamento.

In altri casi, ma analogamente per chi proviene da paesi occidentali il focus è di garantire qualità, affidabilità e accessibilità. Viene dato per scontato che in questi paesi siano migliorati i mezzi per fruire delle fonti energetiche di base, garantendo standard di vita più elevati e favorendo la transizione verso un sistema a basse emissioni di carbonio (Sovacool, Burke, Baker, Kotikalapudi, & Wlokas, 2017).

Data l'assenza di un riconoscimento esplicito del diritto all'energia, con la sua definizione sarebbero chiarite le responsabilità dei Governi e le azioni da intraprendere contro la povertà energetica e le disuguaglianze. In molti contesti, l'accesso all'energia non è formalmente riconosciuto come un diritto (Shyu, 2021), ma viene trattato prevalentemente come un obiettivo economico o un tema di politica settoriale. Questo sta a significare che gli interventi governativi spesso mirano alla distribuzione efficiente di energia o alla regolazione del mercato, senza affrontare direttamente questioni di equità, giustizia sociale o tutela dei diritti fondamentali.

In letteratura non è un argomento ricorrente, malgrado ciò negli ultimi anni alcuni studi hanno affrontato la questione: ad esempio in *Governing Energy Poverty in the European Union* di Hesselman (2023) si sottolinea la necessità di adottare linee guida basate sui diritti. Ciò chiarirebbe in maniera netta le responsabilità dello Stato nell'assicurare l'accesso universale all'energia, oltre a rafforzare le politiche contro la povertà energetica riducendo le disuguaglianze tra cittadini e integrando principi a riguardo di giustizia e democrazia energetica (ciò avverrebbe promuovendo una partecipazione attiva dei cittadini nelle decisioni energetiche).

Il crescente interesse internazionale verso il diritto all'energia non è mai trasformato in norma, ma recentemente l'attenzione pubblica si è focalizzata sul tema, quando nel 2015 l'ONU ha stabilito un calendario tematico di misure da applicare per lo *sviluppo sostenibile*. Dato che si tratta di una lista di obiettivi e non di norme, al suo interno non si trovano rielaborazioni dei diritti ma argomenti quali l'universalità dell'accesso dell'energia. Viene anche auspicato il dovere di azione da parte degli Stati e il riconoscimento dell'energia come condizione necessaria per i fini dell'Agenda. Queste misure, nonostante i pareri contrastanti, hanno richiamato l'attenzione alla risoluzione sulle situazioni i cui effetti sono comuni a tutti. Fare analisi critica dei contenuti favorisce la comprensione di come il Nord globale propone di affrontare le difficoltà comuni.

Da un decennio a questa parte questo documento (ONU, Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, 2015), con un punto specifico al suo interno, rappresenta un riferimento operativo attraverso cui l'accesso all'energia viene perseguito a livello globale.

1.1 Energia pulita e accessibile

Da quando è cresciuta la consapevolezza degli effetti del cambiamento climatico quali riscaldamento globale, innalzamento dei mari, eventi metereologici estremi, etc... le questioni ambientali sono al centro del dibattito internazionale e rendono urgente l'intervento delle principali istituzioni internazionali. In questo ambito si colloca l'Agenda 2030, un programma per affrontare le tematiche di crisi, riconosciuta come elemento chiave per una transizione sostenibile.

Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile	
Obiettivo 1.	Porre fine ad ogni forma di povertà nel mondo
Obiettivo 2.	Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile
Obiettivo 3.	Assicurare la salute e il benessere per tutti e per tutte le età
Obiettivo 4.	Fornire un'educazione di qualità, equa ed inclusiva, e opportunità di apprendimento per tutti
Obiettivo 5.	Raggiungere l'uguaglianza di genere ed emancipare tutte le donne e le ragazze
Obiettivo 6.	Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie
Obiettivo 7.	Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni
Obiettivo 8.	Incentivare una crescita economica duratura, inclusiva e sostenibile, un'occupazione piena e produttiva ed un lavoro dignitoso per tutti
Obiettivo 9.	Costruire un'infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile
Obiettivo 10.	Ridurre l'ineguaglianza all'interno di e fra le nazioni
Obiettivo 11.	Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili
Obiettivo 12.	Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo
Obiettivo 13.	Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico*
Obiettivo 14.	Conservare e utilizzare in modo durevole gli oceani, i mari e le risorse marine per uno sviluppo sostenibile
Obiettivo 15.	Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre
Obiettivo 16.	Promuovere società pacifiche e inclusive per uno sviluppo sostenibile
Obiettivo 17.	Rafforzare i mezzi di attuazione e rinnovare il partenariato mondiale per lo sviluppo sostenibile

* Riconoscendo che la Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici è il principale forum internazionale e intergovernativo per la negoziazione della risposta globale al cambiamento climatico

Figura 1.1 Obiettivi di sviluppo sostenibile dell'agenda 2030 delle Nazioni Unite

Le Nazioni Unite hanno redatto una lista di obiettivi, riportati in figura 1, e i traguardi comuni per tutti. Tali punti si riferiscono a 4 macro aree tematiche di disparità: sociale, economica, ambientale e istituzionale-cooperativa. L'analisi di questi temi è importante in quanto sono strettamente collegati alla lotta contro la povertà e al contrasto dell'alterazione climatica. Dei 17 obiettivi denominati Sustainable Development Global (SDG) proposti dall'ONU (2015), uno in particolare, l'Obiettivo 7, punta a garantire l'accesso universale all'energia, attraverso l'utilizzo di sistemi energetici economici, affidabili, sostenibili e moderni.

Nella visione delle Nazioni Unite l'energia viene riconosciuta come elemento centrale delle necessità umane, della crescita economica e della preservazione ambientale. L'accesso ad essa viene ritenuto essenziale per diversi motivi: in primis per il lavoro, ma anche per la sicurezza, per la produzione alimentare e per l'istruzione.

L'obiettivo inerente all'energia è il “*Goal 7: Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni*”.

I principali sotto traguardi, come riportato nell'Agenda, sono:

7.1 La garanzia di servizi energetici moderni e accessibili per tutti;

7.2 l'aumento della quota di energie rinnovabili nel consumo totale;

7.3 il raddoppio del tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica;

7.a l'accrescimento della cooperazione internazionale in modo da facilitare l'accesso a tecnologie e investimenti in energia pulita;

7.b l'implementazione di infrastrutture e tecnologie per fornire servizi energetici sostenibili, con particolare attenzione ai paesi meno sviluppati, ai piccoli stati insulari e agli stati senza sbocco sul mare.

Tutte queste indicazioni intermedie si inseriscono nella lista di suggerimenti dell'ONU, che, se perseguiti come auspicato, contribuirebbero a creare una società sostenibile compensando in maniera adeguata le eccessive emissioni di gas climalteranti. Questi suggerimenti coesistono con altri programmi col compito di integrare e ampliare localmente gli obiettivi, l'Agenda 2030 può essere considerata come base comune dalla quale partire.

In questo ambito, l'SDG 7 si prefigge di contribuire alla lotta contro la povertà energetica e alla transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, integrando sviluppo sociale, crescita economica e tutela ambientale. L'utilizzo di fonti di energia rinnovabili non è solo consigliato ma intrinsecamente necessario al raggiungimento del traguardo proposto.

In figura 2, tratta dal report Tracking SDG7 The Energy Progress 2025, redatto dall’Agenzia Internazionale per l’Energia (IEA), è indicato lo stato di avanzamento dei suddetti sotto-obiettivi.

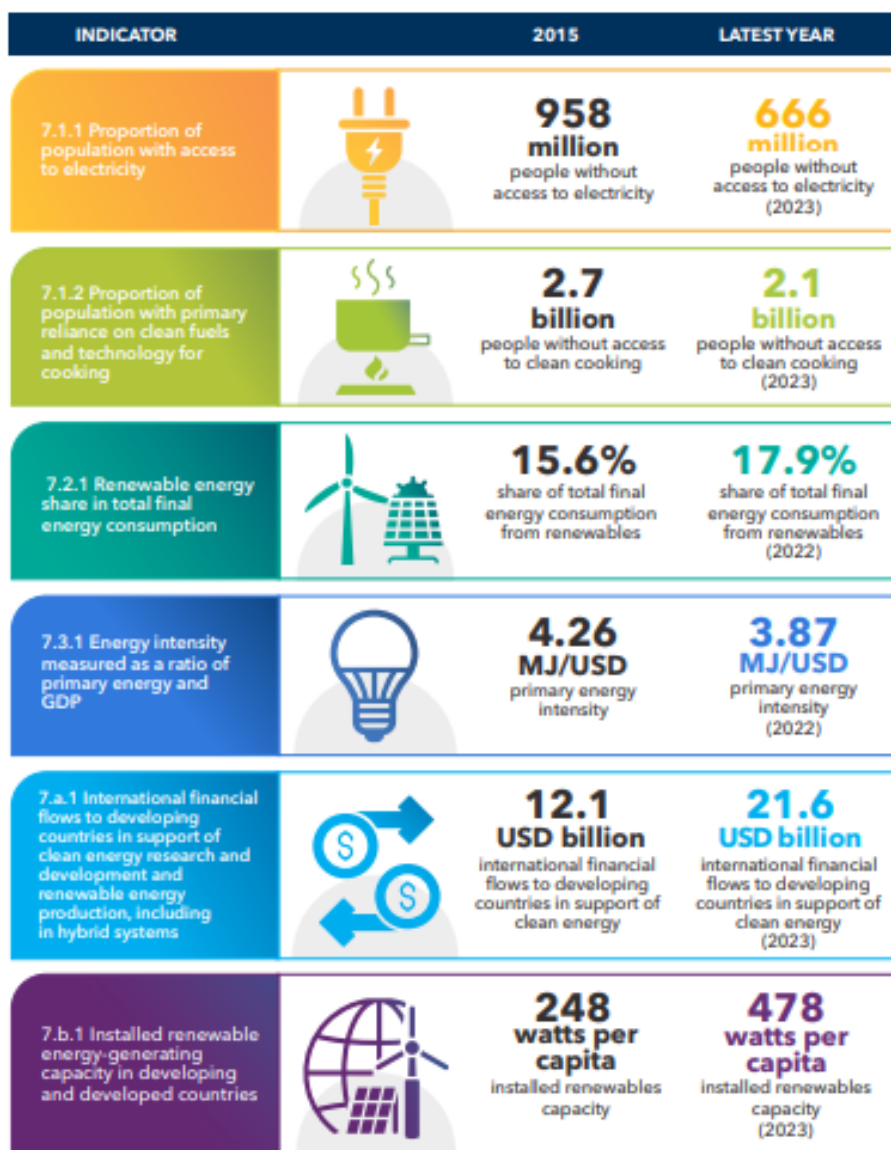


Figura 1.2 Stato di avanzamento del SDG 7, report IEA

I dati riportati evidenziano che nonostante i numerosi progressi raggiunti dall’inizio dell’applicazione dell’agenda, nel mondo ci sono ancora circa 666 milioni di persone (distribuiti come da Figura 3) senza accesso diretto all’elettricità (dati relativi all’anno 2023) e altri 2,1 miliardi che continuano a cucinare usando combustibili inquinanti con gravi conseguenze per la salute (IEA, Tracking SDG7: The Energy Progress Report, 2025).

Sull'attendibilità di questi dati ci sono delle perplessità riguardanti la neutralità e la precisione delle misure effettuate su popolazioni profondamente differenti tra loro, ma sono comunque utili a individuare le tematiche su cui porre attenzione.

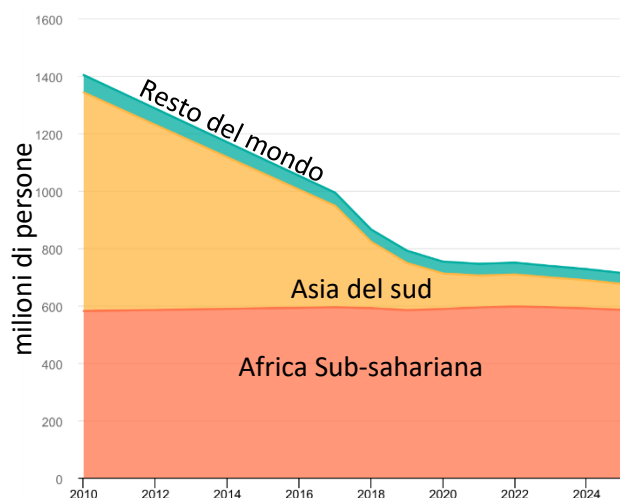


Figura 1.3 Analisi SDG 7.1: numero di persone senza accesso all'energia elettrica nel mondo, IEA

L'uso delle fonti rinnovabili e il miglioramento dell'efficienza energetica associati allo sviluppo di tecnologie decentralizzate (come mini-grid e sistemi fotovoltaici domestici capaci di raggiungere le aree rurali e remote) sono alcuni dei metodi proposti per far decrescere questi valori.

Un elemento altrettanto importante è la cooperazione internazionale che, mediante l'adeguato trasferimento tecnologico e il finanziamento di infrastrutture sostenibili, si pone come obiettivo la realizzazione di un accesso all'energia più equo.

Nell'enunciato del SDG 7, l'ONU specifica chiaramente "*Clean and Accesible energy*" e, da un punto di vista occidentale, viene quasi naturale sottintendere che l'utilizzo dell'energia più pulita e accessibile avvenga mediante l'uso dell'energia elettrica. Per la precisione, la corrente elettrica è un vettore energetico e come tale è solo un "mezzo" per trasportare energia, mentre una fonte è una risorsa naturale da cui si può ricavare energia. Le fonti si distinguono tra primarie, direttamente accessibili come ad esempio energia del sole o del vento, e secondarie che necessitano la trasformazione in vettore, per esempio benzina o elettricità.

Per esempio, l'energia solare, fonte di radiazione luminosa emessa dal sole, può essere vista come accessibile in quanto tutti possono entrarvi in contatto e hanno la potenzialità di usufruirne. L'accessibilità ai sistemi di conversione fotovoltaica è dettata dai prezzi e dalla disponibilità delle tecnologie che, dopo anni dall'introduzione, sono diventate alla portata di

molti. Per determinate zone del mondo (ad esempio quelle rurali e di difficile accesso) risultano più validi i sistemi solari off-grid, mentre l'elettrificazione tradizionale (il cui tasso è misurato in Figura 2) risulta la più semplice ed efficiente solo per i paesi del nord del mondo.

Analizzando i paesi nei quali nascono le tecnologie e le politiche energetiche, sembra consolidato che, per contrastare l'inquinamento climatico e tutte le conseguenze negative della combustione tradizionale, si sia incentivati a fare uso di sistemi più avanzati messi a disposizione di tutti, anche se a volte non strettamente necessari. Le fonti di energia rinnovabile, come si vede nel grafico in Figura 4 tratto dai dati IEA (2024), dal 2009 sono in aumento in tutto il mondo con consistenti aumenti nell'utilizzo di energia solare e eolica.

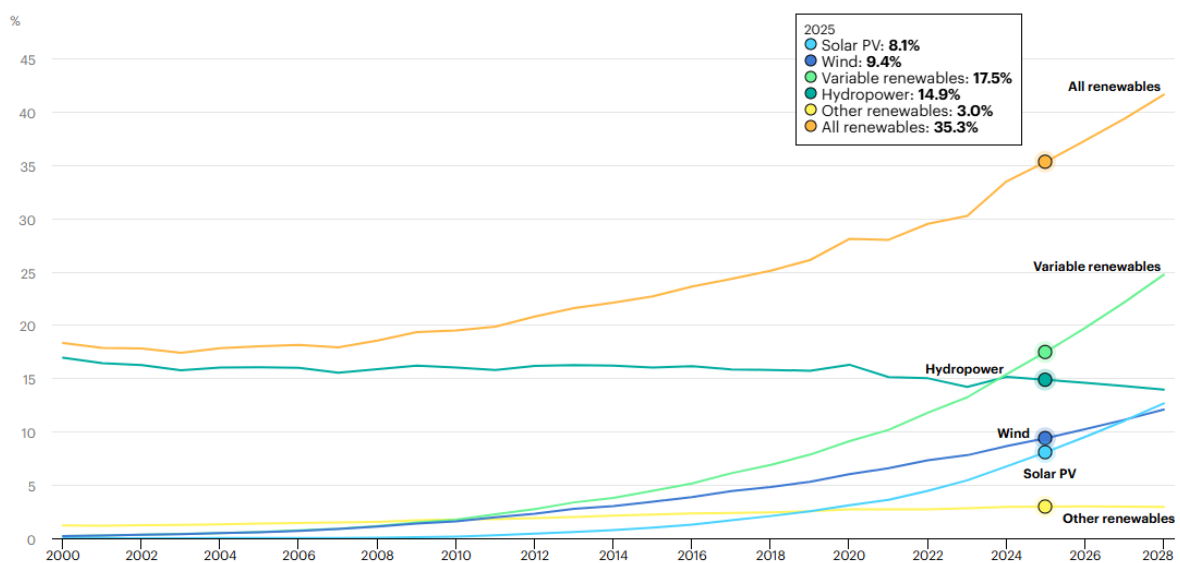


Figura 1.4 Grafico di confronto delle fonti rinnovabili primarie nel mix energetico del mondo (IEA)

Per quanto riguarda i paesi occidentali, essi hanno attraversato un'evoluzione tecnologica e industriale, utilizzando nel tempo tutte le possibili forme di energia. Proprio per questo, rendendosi conto dei gravi aspetti negativi delle fonti fossili, sono oggi più determinati ad attuare manovre politico-economiche che permettano il passaggio alle energie più pulite.

La questione è diversa per gli altri paesi del mondo: il loro percorso di transizione energetica viene oggi indirizzato dalle energie più semplici e comuni direttamente alle fasi finali, saltando i passaggi intermedi. Nell'esempio in figura 5 riguardante l'energia utilizzata in ambito domestico per la cucina, la *Scala Energetica* presupporrebbe il passaggio da combustibili semplici come paglia, fanghi e legna da ardere, per passare a cherosene e olii ed infine a gas ed elettricità. Per quanto sembri logico che il miglioramento del combustibile diminuisca i rischi ad esso correlati, il forzare quest'evoluzione (ad esempio con politiche di messa al bando del carbone) senza dare i giusti tempi alle comunità di adattarsi, può far sì che le famiglie non

possono permettersi le fonti più pulite e più costose e continuano a utilizzare quelle più semplici non avendo più la possibilità di utilizzare quelle di transizione. (Dobrowolski, Adamišin, Sługocki, & Kotylak, 2025)

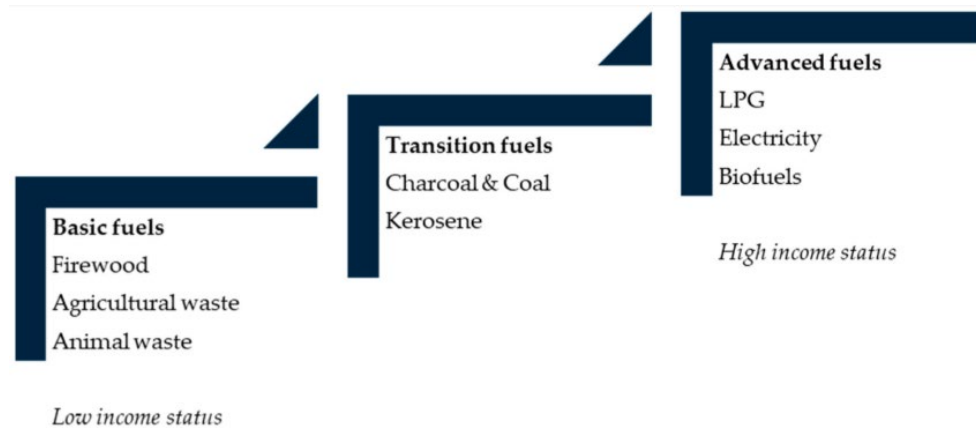


Figura 1.5 esempio di scala energetica, Dobrowolski 2025

L'IEA (2025), nel report sul raggiungimento dell'obiettivo n°7, stima che nel 2023 il 74% della popolazione mondiale prediligesse combustibili e tecnologie pulite per cucinare. Questo dato indica che circa un quarto della popolazione mondiale, circa 2,1 miliardi di persone, continua a dipendere da combustibili e tecnologie inquinanti per cucinare.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità circa 3,2 milioni di morti premature ogni anno (Puthumana, et al., 2021) sarebbero direttamente attribuibili ai fumi e agli inquinanti della combustione di legna, carbone, residui agricoli etc. per cucinare e per il riscaldamento domestico. Tra i principali effetti sulla salute dovuti al particolato e alle altre sostanze incombuste rilasciate in aria vi è l'infiammazione delle vie respiratorie e dei polmoni, oltre alla compromissione della risposta immunitaria e la riduzione della capacità di trasporto dell'ossigeno nel sangue. Occorre comprendere quanto il miglioramento dei sistemi utilizzati e la scelta delle fonti stesse sia determinante per l'efficacia delle soluzioni proposte. Ciò si può ottenere adattando queste ultime al contesto socio-culturale e al territorio, mantenendo standard di sicurezza minimi per garantire una qualità di vita dignitosa per ridurre malattie e morti non necessarie.

Tutti questi aspetti influiscono sulla condizione di povertà, intesa come privazione delle risorse necessarie. Questa è una limitazione che va a prescindere dal luogo dove in cui vive e la riduzione dei suoi effetti sulla qualità di vita non è geograficamente uniforme. La condizione di povertà determina la mancanza di sicurezza: dal report IEA emergono molti spunti di analisi da cui si evince che, anche se è presente in tutto il mondo, alcune zone sono più esposte di altre.

1.2 La povertà energetica

È difficile dare un'unica definizione che comprenda tutte le condizioni di difficoltà nell'accesso e disagio nell'uso dell'energia. Il termine povertà energetica fa riferimento a due espressioni inglesi che sebbene in italiano si traducano allo stesso modo, hanno un'area di riferimento e significati distinti: *energy poverty* e *fuel poverty*.

Il termine Energy Poverty è utilizzato per descrivere *l'incapacità di una famiglia o di un individuo di accedere a un livello minimo di beni e servizi energetici essenziali (o entro uno standard ritenuto minimo), come riscaldamento, illuminazione, raffrescamento e fornitura di elettricità e gas, necessari per una vita dignitosa e sana* (Parlamento Europeo, 2023). Questa espressione può essere talvolta confusa o associata alla Fuel Poverty che, seppur simile, si concentra sulla privazione energetica delle famiglie che vivono nelle economie avanzate. Concettualmente si tratta di due difficoltà diverse, poiché dal punto di vista di chi le vive si articolano diversamente tra accessibilità in termini di impossibilità fisica (*l'incapacità ad accedere a tali beni e servizi*, data la mancanza di infrastrutture), o impossibilità nel permettersi tali beni (*incapacità di acquistare o affordability*). È corretto pensare che abbiano modalità diverse di attenuazione: per la fuel poverty, più diffusa nei paesi aventi economie avanzate, può aiutare una comprensione economica e strategica di come utilizzare le risorse a disposizione. Invece per l'energy poverty, oggetto di questa tesi, può essere utile calarsi di persona nel contesto per capire le soluzioni proposte e fornire un punto di vista differente sull'utilizzo delle risorse disponibili, al fine di migliorare la condizione delle persone e non solo l'economia del paese.

Questa differenza tra i due termini è un argomento divisivo e, sebbene sembrino definiti da due ambienti geografici diversi, il punto di vista di chi è soggetto a questa condizione è il medesimo. Secondo Bouzarovski e Petrova (2015) il parallelismo tra i consumi energetici domestici di economie avanzate e di quelle emergenti nasce dal fatto che il ruolo dei servizi energetici è quello di portare beneficio alle condizioni di vita di chi se ne avvale: ciò consente di analizzare la questione dal punto di vista della domanda e non da quello dell'offerta, cioè sugli effettivi bisogni degli individui.

Dallo studio di Munro (2019), emerge che nei primi accessi all'energia le famiglie dell'Africa subsahariana sfruttano la novità energetica per ottenere sicurezza dall'illuminazione, successivamente anche per avere informazione e svago tramite l'utilizzo apparecchi come tv e radio, oltre che un pasto cucinato, una stanza ben riscaldata e illuminata, e un pc connesso ad

internet. Infatti, le persone del Sud globale necessitano di energia per i vantaggi e i servizi energetici che da essa ne derivano, come mobilità, pulizia, riscaldamento, cottura, raffreddamento e illuminazione (Bouzarovski & Petrova, 2015). L'accesso energetico consente alle famiglie di realizzare le proprie attività quotidiane in autonomia e raggiungere, o perlomeno avvicinarsi, ad una condizione di benessere.

Inoltre, dato che tutti coloro che beneficiano dell'accesso all'energia richiedono servizi standard per avere l'opportunità concreta di intraprendere azioni e realizzarsi secondo le proprie scelte e potenzialità, il fine dei generici consumatori è di avere la possibilità di scegliere arbitrariamente come condurre la propria vita (Grazini, 2022). Ciò vale a dire che tutte le forme di privazione energetica, anche non condividendo la stessa matrice, condividono la stessa conseguenza: la mancanza di un livello socialmente e materialmente adeguato di servizi energetici primari. Bouzarovski e Petrova (2015) concludono che *fuel e energy poverty* possono essere fusi in un unico termine *energy services poverty* al fine di non riferirsi solo ad uno o all'altro ma mantenendo le loro identità distinte, ovvero l'insieme di tutte le situazioni energetiche domestiche che non permettono di far parte della società, in riferimento agli stili di vita, agli usi e alle attività.

L'energia è una questione tecnica, ma è anche un prerequisito fondamentale per il progresso umano. Numerosi studiosi e organizzazioni internazionali (IEA, Tracking SDG7: The Energy Progress Report, 2025) affermano che non può esserci progresso senza energia, perché essa funziona come un *enabler* (il cui significato letterale è facilitatore): non è un fine in sé, ma la condizione che consente alle altre capacità essenziali di attivarsi.

Alcuni esempi possono aiutare a capire meglio il concetto racchiuso in questo termine: se si pensa che l'illuminazione consente la visibilità dopo il tramonto, l'energia elettrica è il mezzo più facile e sicuro da utilizzare per avere luce. Allo stesso modo, l'elettricità può essere preferita per la refrigerazione perché dà più margine di utilizzo agli alimenti e la conservazione dei medicinali, ma può essere anche un supporto delle tecnologie per comunicare o che permettono alle persone di accedere alle informazioni, o come già rimarcato precedentemente, per cucinare in maniera pulita, riducendo i rischi per la salute e permettendo di dedicare più tempo ad altre attività produttive (Puthumana, et al., 2021).

L'idea dell'accesso all'elettricità come *enabler* si avvicina molto a quella di *capabilities approach*, sviluppato da Amartya Sen e Martha Nussbaum (1993), per cui la definizione di povertà non si riferisce solo alla mancanza di reddito ma anche alla privazione delle capacità

(*capability*) intese come opportunità e libertà di scelta. L'energia è un fattore chiave per realizzare le ambizioni delle persone e permettere loro di emergere: l'accesso all'elettricità, ai combustibili moderni o alle tecnologie rinnovabili è direttamente collegato alla possibilità di studiare, proteggere la propria salute, partecipare alla vita sociale ed entrare in attività economiche (Grazini, 2022; Bouzarovski & Petrova, 2015)

In questa visione, la questione energetica può essere intesa al tempo stesso come obiettivo o come prerequisito per il miglioramento delle condizioni di vita.

Per tali motivi, diversi autori e studiosi sostengono che l'accesso all'energia dovrebbe essere considerato un diritto umano implicito, come accennato precedentemente. Senza energia gli altri diritti non possono essere esercitati in modo effettivo. La sfida dell'accesso universale all'energia non è solo tecnica ed economica, ma anche sociale ed etica, in quanto i benefici che ne derivano determinano le possibilità di vita, crescita e dignità umana.

1.3 Disparità tra Nord e Sud globale nell'accesso all'energia

Anche se l'accesso all'energia è considerato una sfida globale, non si possono ignorare le differenze tra le regioni. Tra le disparità sostanziali che distinguono i paesi del Nord globale da quelli del Sud, quelle relative agli usi dell'energia sono evidenti. Come precedentemente accennato, l'energia dovrebbe essere un diritto e tutti dovrebbero avere pari opportunità di accesso. Nonostante ciò, i paesi ricchi presentano livelli di consumo energetico molto più elevati evidenziando differenze su come è concepita la società e chi ne partecipa.

Secondo i dati presenti nel World Development Indicators (World Bank), l'Unione Europea registra valori medi di energia primaria superiore a 3.000 kg di petrolio equivalente pro capite (comprendente sia l'utilizzo dei combustibili diretti che la normalizzazione delle altre fonti), mentre molti Paesi a basso reddito, come ad esempio quelli dell'Africa subsahariana, rimangono sotto i 500 kg di petrolio equivalente pro capite. Questi dati, riferiti al 2022, sono impressionanti se confrontati con il consumo pro capite del nord America che arriva sino a 6623 kg di petrolio equivalente: 14 volte il valore sub-sahariano. Anche rispetto alla media globale, che è di 1853 kg di petrolio equivalente, il valore dell'Africa sub-sahariana è di 4 volte inferiore. Questo trend nei consumi (figura 6) è persistente nel tempo e non si è significativamente ridotto negli ultimi decenni, nonostante la crescita di alcune economie emergenti.

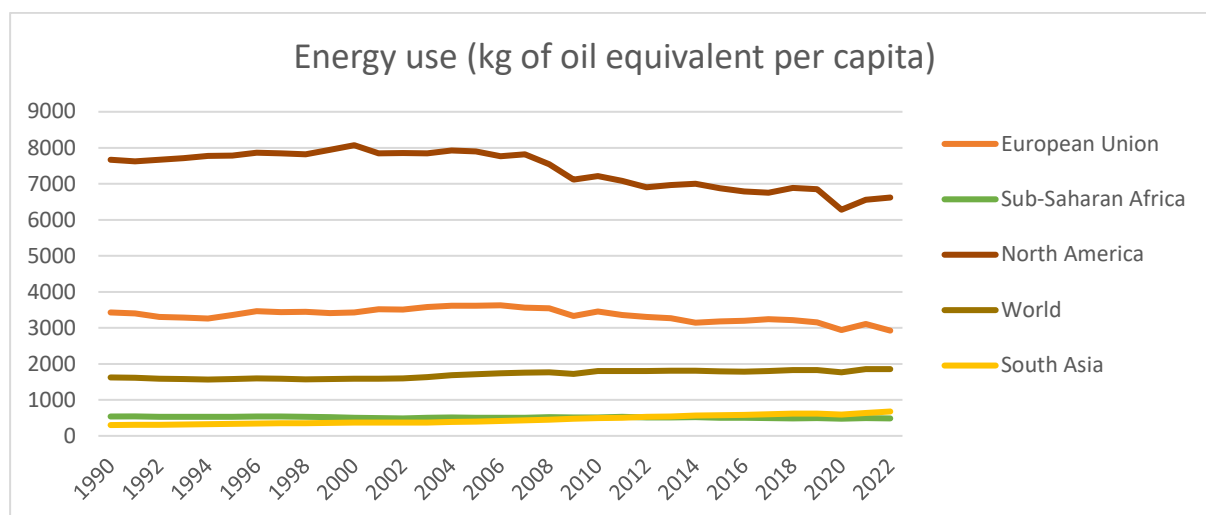


Figura 1.6 Differenza nei consumi di energia pro capite in diversi paesi, Fonte World Bank

Nei Paesi occidentali, dove l'accesso all'elettricità è prossimo al 100% della popolazione (World Bank, s.d.), i dati UE e del Nord America assumono valori sin più abbondanti rispetto al consumo equivalente di combustibile. Se si fa riferimento all'energia elettrica utilizzata direttamente da ogni singola persona questo rapporto aumenta notevolmente arrivando a un ordine di 34 volte maggiore tra nord America e Africa Sub Sahariana (World Bank, s.d.). A

condizionare queste differenze in questo caso non è solo l'eccesso di consumo di alcuni paesi, ma anche il tasso di accesso della popolazione all'elettricità. A differenza di UE e Nord America, che hanno raggiunto da decenni il collegamento di pressoché tutti gli utenti alla rete, alcuni paesi non garantiscono ancora possibilità di accesso per tutti. Come illustrato in figura 3 la maggior parte attualmente si trova nell'Africa subsahariana e in minor parte in Asia meridionale (India), per dare un'idea sull'andamento di questa percentuale la figura 7 riporta le curve di accesso percentuale per queste regioni. Nel caso dell'Asia del sud si vedono marcati miglioramenti in entrambi i grafici e nel caso dell'Africa subsahariana, seppur duplicati i valori iniziali riferiti all'2000, supera solo il 50 % degli abitanti (World Bank, s.d.).

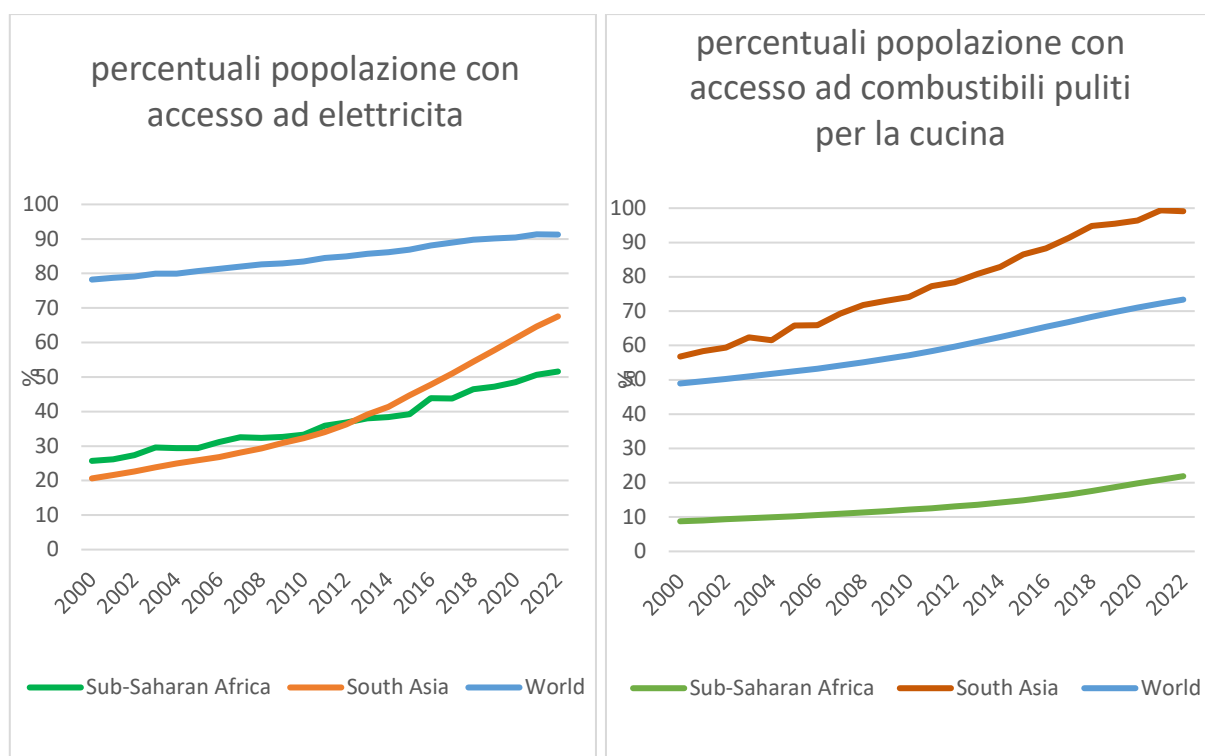


Figura 1.7 Grafici percentuali di accesso all'elettricità e a sistemi di cucina puliti in determinati paesi, Fonte Word Bank

In particolare, in Africa subsahariana l'accesso all'elettricità rimane fortemente diseguale, con centinaia di milioni di persone ancora escluse. Questa disparità si traduce non solo in minori consumi pro capite, ma anche in limitazioni strutturali per tutti i servizi di supporto alle esigenze delle persone.

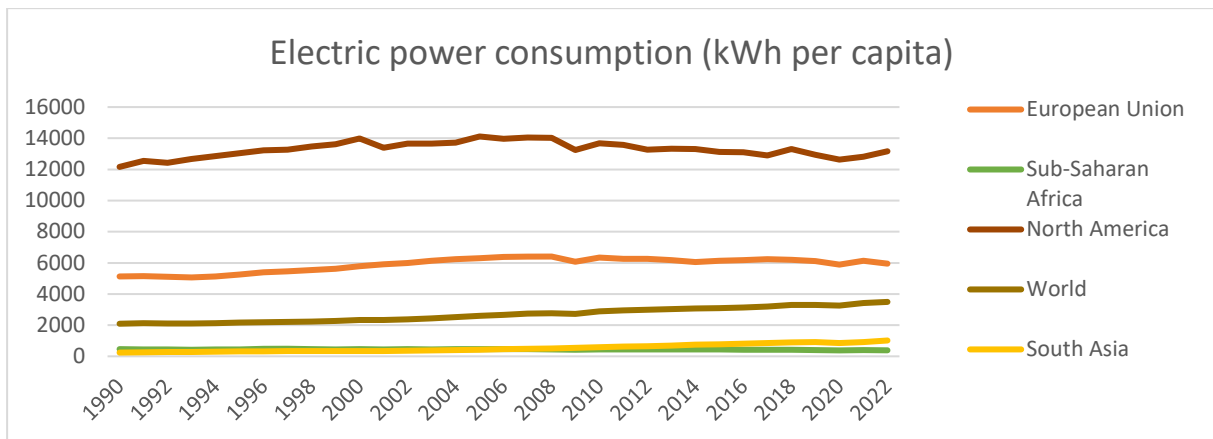


Figura 1.8 Grafico differenza nei consumi di elettricità pro capite in diversi paesi, Fonte Word Bank

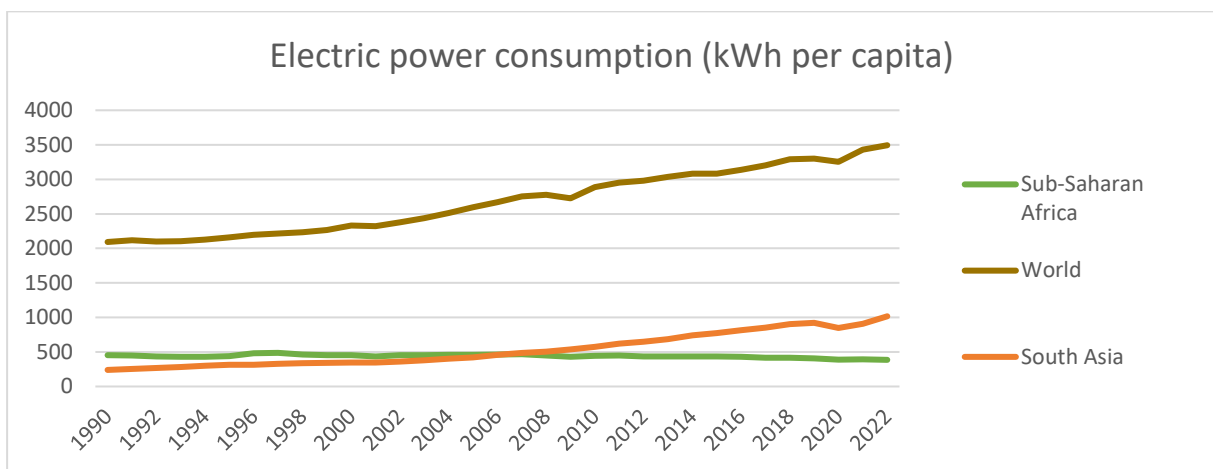


Figura 1.9 Grafico consumi di elettricità pro capite in determinati paesi, Fonte Word Bank

Nei Paesi occidentali, l'elevato consumo energetico pro capite è associato alla maggiore elettrificazione e agli usi industriali avanzati, ma anche alla diffusione di servizi energetici moderni (IEA, World Energy Outlook, 2024). A contrario nei Paesi del Sud globale, il consumo energetico è spesso limitato ai bisogni di base e concentrato su fonti tradizionali e meno efficienti. Questo implica che bassi consumi pro capite non indichino necessariamente efficienza, ma spesso l'impossibilità di connessione precedentemente descritta.

Negli ultimi anni, l'aumento dei prezzi dell'energia ha ridotto i consumi in tutti i paesi ma l'effetto è decisamente più forte nei paesi emergenti come mostrato nello studio di Sadaf & Hussain (2025). Emerge anche che il capitale umano (in termini di istruzione e competenze) amplifica la capacità di adattamento: nei Paesi del Nord globale favorisce l'efficienza energetica mentre nei Paesi del sud mitiga l'impatto negativo dei prezzi sull'accesso all'energia. Ciò evidenzia che la disparità energetica non è solo economica, ma dipende anche dal

funzionamento delle istituzioni e dal livello di istruzione e formazione. (Sadaf & Hussain, 2025).

Allo stesso modo l'analisi della disparità nei consumi di energia rinnovabile pro capite, condotta da Min Su et al. (2022) basata su 116 paesi diversi, evidenzia che il consumo di energia rinnovabile pro capite, significativamente più alto nei paesi economicamente avanzati, è favorito dallo sviluppo urbano, dall'integrazione nei mercati internazionali e da una struttura demografica più sviluppata. Negli altri paesi i bassi livelli di industrializzazione e infrastrutture limitate riducono il consumo rinnovabile pro capite, rafforzando il divario.

Ciò indica che le disuguaglianze nei consumi e nell'accesso all'energia contribuiscono alle differenze di opportunità e complicano una transizione energetica equa, già ostacolata da altri fattori.

I report ONU e IEA (World Energy Outlook, 2024; IEA, Tracking SDG7: The Energy Progress Report, 2025) sottolineano che ridurre il gap energetico è una condizione necessaria per raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, in particolare l'SDG 7.

Dall'analisi di tutte queste informazioni emerge che la disparità nell'accesso e nel consumo di energia rimane una delle principali forme di disuguaglianza strutturale globale. Mentre le economie avanzate progrediscono ed aumentano il loro potere, grazie anche ai consumi energetici incontrollati e all'accesso ai servizi energetici moderni, molti Paesi a basso reddito sono caratterizzati invece da bassi livelli di consumo non dettati dalla volontà ma dall'impossibilità di crescere alla stessa velocità degli altri paesi. L'esclusione energetica e la dipendenza da fonti tradizionali sono aspetti costanti nella vita degli abitanti dei paesi economicamente più svantaggiati. Emerge anche, dalla letteratura recente, che esistono fattori su cui si può lavorare per colmare le differenze quali il capitale umano, il tasso di urbanizzazione e l'apertura commerciale. Essi influenzano significativamente tali divari, suggerendo che le disuguaglianze energetiche sono il risultato di interazioni complesse tra lo sviluppo economico, le istituzioni e le politiche pubbliche.

È chiaro che sia il diritto all'energia che l'obiettivo di far sì che tutti abbiano accesso all'energia non possono essere valutati solo attraverso numeri o analisi tecniche ed economiche. I dati sui consumi, sull'accesso e sulle fonti di energia mostrano quanto siano grandi le disuguaglianze nel mondo, ma allo stesso tempo rivelano i limiti di un approccio che presume l'esistenza di un solo modello di comunità e un unico modo di raggiungere il benessere. Le differenze tra Nord e Sud globale, così come le difficoltà persistenti nel raggiungimento dell'SDG 7, suggeriscono

che il problema non sia soltanto di implementazione o di risorse, ma anche di natura concettuale. Questo induce a interrogarsi criticamente sul paradigma dello sviluppo sostenibile che guida le politiche energetiche globali e sul modo in cui esso propone di definire i bisogni, le priorità e le traiettorie di progresso. Occorre spostare l'analisi dal piano degli obiettivi e degli indicatori a quello di altre visioni differenti, introducendo il dibattito sul superamento del paradigma svilupppista e sulle proposte alternative offerte dal tema del Pluriverso (Dizionario dello postsviluppo, 2021).

1.4 Le alternative allo sviluppo sostenibile

L'analisi degli obiettivi e dei dati di avanzamento relativi all'SDG 7 non ci dà solo un'idea di chi potrebbe esercitare il diritto all'energia, ma solleva anche interrogativi che vanno oltre la dimensione tecnica e quantitativa del caso. Se da un lato l'Agenda 2030 riconosce il ruolo centrale dell'energia nello sviluppo umano e nella transizione ecologica, dall'altro emerge la necessità di interrogarsi criticamente sul quadro concettuale entro cui tali obiettivi sono formulati. I numeri forniti precedentemente ci aiutano a inquadrare un settore di studio ma non possono essere considerati come del tutto rappresentativi perché rispecchiano una differenza che non tiene conto del contesto e delle diverse dimensioni di appartenenza. Se per esempio può sembrare impreciso quantificare chi non è collegato alla rete elettrica come non avente accesso all'energia o definire l'uso dei generici carburanti puliti senza capire se essi si adattino alle persone locali, se si guarda il quadro generale dello *sviluppo sostenibile* emergono ancora più incomprensioni e imprecisioni. I dati non sono neutri, ci mostrano chi resta escluso senza spiegare perché alcune esclusioni persistono. I parametri misurati non sono prioritari per tutti.

La persistenza di ampie disuguaglianze, così come segnalate e nonostante i progressi registrati, può essere analizzata con diverse chiavi di lettura. L'idea di sviluppo portata avanti dalle Nazioni Unite prevede di doversi allineare ad un determinato standard di *paese sviluppato* in termini più economici che umani. Con questi termini, essendo la differenza basata sullo sviluppo, viene suggerito di far crescere economicamente i paesi del Sud globale per colmare questo divario. Riflettere sui limiti strutturali del paradigma dello *sviluppo sostenibile* e sul modo in cui l'Agenda 2030 lo affronta, o tende a neutralizzare conflitti, paradossi e asimmetrie di potere a livello globale può realmente aiutare a capire come utilizzare le risorse per aiutare chi subisce più ingiustizie. A partire da queste considerazioni, può essere necessario effettuare un'analisi critica delle proposte dell'ONU per integrare pareri e contributi diversi a questo studio, collocandola nel più ampio dibattito sul fallimento del *paradigma sviluppatista* e sull'esigenza di ripensarne i presupposti teorici.

L'Agenda 2030 e gli SDG rappresentano il principale quadro di riferimento globale per affrontare sfide quali povertà, disuguaglianze, crisi ecologica e instabilità sociale. Essa propone indicazioni sulle finalità ma non è esattamente un trattato dove vengono constatate le necessità per ottenere un livello di vita accettabile. Infatti, questo strumento funziona più come cornice di coordinamento che come progetto di trasformazione e potrebbe avere un buon utilizzo per evidenziare i problemi, ma può non essere uno strumento da seguire alla lettera per il cambiamento, in quanto non mette in discussione le cause strutturali alla base dei problemi.

Il consenso quasi unanime attorno agli SDG solleva interrogativi sul loro statuto politico e teorico: essi non costituiscono una rottura con il paradigma dello sviluppo, ovvero il vedere affiancati lo sviluppo moderno (storicamente legato a crescita, estrazione, consumo energetico e sfruttamento della natura) e la sostenibilità (che richiede una riduzione della pressione ecologica, il contenimento dei consumi per il rispetto dei limiti planetari) (Sachs, 2021). Secondo quanto emerge nel *Pluriverso – Dizionario del post-sviluppo* (2021), oggi le proposte come l'Agenda 2030 sembrerebbero adattare l'approccio sopra descritto per far fronte a un periodo di crisi riguardante l'insieme di economia, politica, conoscenza, natura e società (Sachs, 2021; Pellizzoni, 2023).

Storicamente l'idea di sviluppo nasce come programma geopolitico dell'era postcoloniale dove col discorso inaugurale di Harry S. Truman del 1949 (Inaugural Address) viene introdotta la categoria di "aree sottosviluppate", inaugurando una nuova gerarchia globale che metteva al vertice i paesi più ricchi e avanzati tecnologicamente (Sachs, 2021). Questo concetto presuppone:

1. una concezione lineare del tempo storico;
2. una traiettoria unica di progresso;
3. l'universalizzazione dell'esperienza occidentale;
4. la misurazione della vita sociale attraverso indicatori economici.

Lo sviluppo, come riporta Sachs, inizialmente prometteva che tutte le società avrebbero potuto raggiungere il livello di benessere delle nazioni industrializzate e così è rimasto fintanto che non sono emersi i limiti ecologici, sociali e simbolici di questa promessa.

Attualmente, il fallimento dello sviluppo non dipende solo dal mancato ottenimento dei risultati preposti, ma anche dal modo stesso in cui l'idea di sviluppo è costruita perché produrrebbe disuguaglianze e crisi anche se funzionasse. È in questo contesto che nasce l'Agenda 2030, dalle rovine del *paradigma sviluppista* ma senza mai abbandonarlo realmente. Alla sostenibilità viene attribuito il ruolo di sostituire la *promessa di sviluppo*, con la *gestione della sopravvivenza* in un mondo segnato da limiti planetari. Ed è qui che gli SDG non promettono più emancipazione universale, ma la sola riduzione del danno e pertanto Sachs propone di interpretarli come *Sustainable Survival Goals* (Sachs, 2021).

Dichiarando universali gli obiettivi, e quindi validi tanto per il Nord quanto per il Sud globale, si pone così fine al mito del *raggiungimento* delle nazioni sviluppate dato che se le ripercussioni, per esempio, del riscaldamento globale ricadono su tutti non ci si può dire

sviluppati finché non si attenuino per tutti: nessuna nazione oggi può quindi dirsi *sviluppata in modo sostenibile*, come si può vedere dal grafico in Figura 1.10 dove alla soglia dell'indice di sviluppo umano (secondo l'ONU) corrispondente ad un livello di vita buono corrispondono valori di impronta ecologica non supportati dal pianeta quasi come a indicare l'impossibilità nel raggiungere lo standard di vita (secondo i canoni delle Nazioni Unite) e un impatto ambientale moderato. Il modello occidentale non è più presentabile come destino universale (Sachs, 2021) e la sostenibilità diventa non più una promessa di condizioni di vita migliori, ma la semplice necessità di evitare il collasso, priva di qualsiasi progresso futuro (Pellizzoni, 2023).

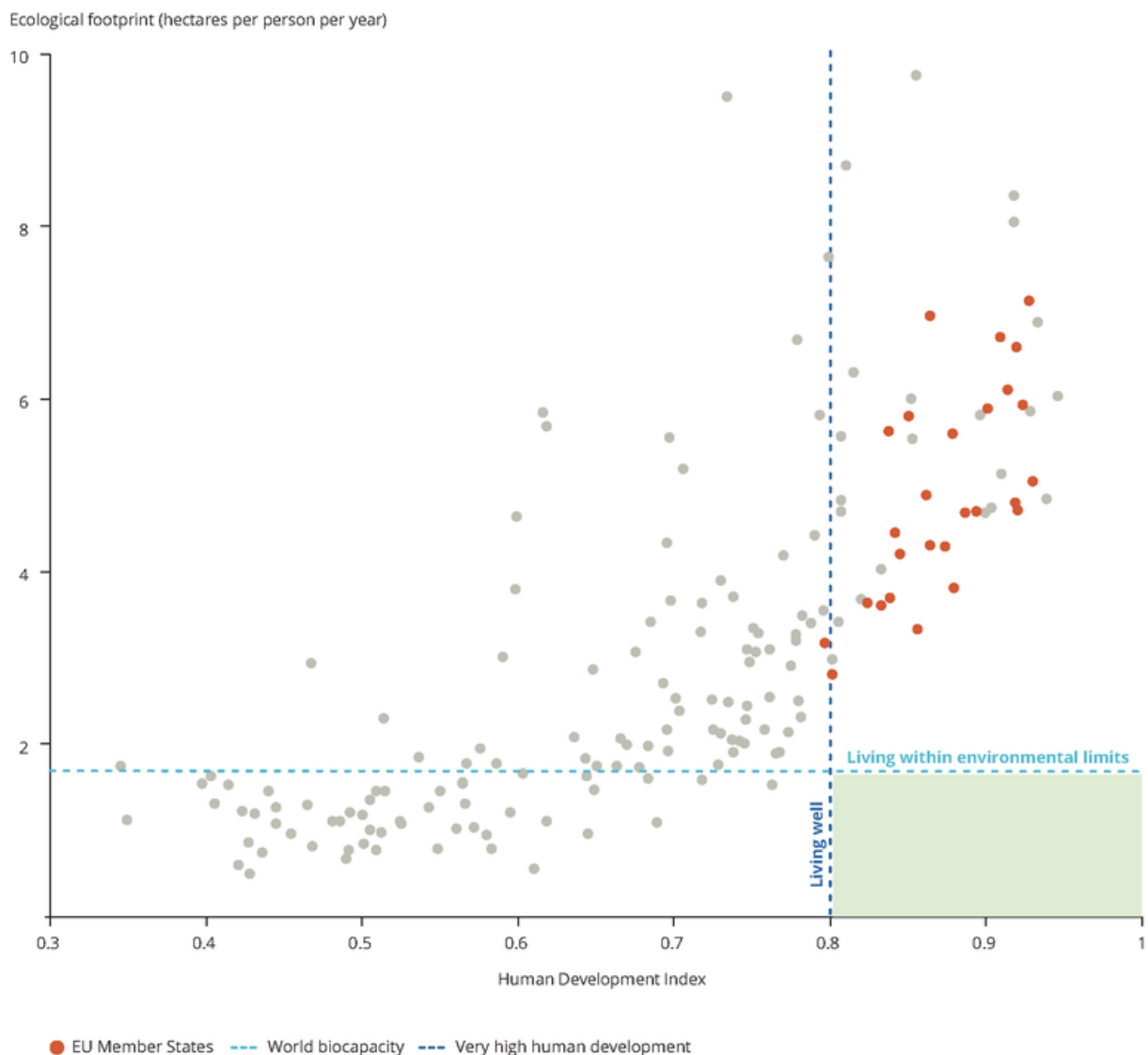


Figura 1.10 Grafico di confronto tra impronta ecologica e indice di sviluppo umano (UNPD)

Anche secondo Engebretsen (2025) gli SDG sono sistematicamente in ritardo o fuori traiettoria rispetto ai loro obiettivi e il non essere in grado di raggiungerli è dovuto alle difficoltà e ai deficit di implementazione invece che a una crisi del paradigma. E a ciò si risponde con l'intensificazione degli sforzi (per esempio più investimenti, più dati, più cooperazione)

facendo così diventare il fallimento parte integrante del funzionamento del sistema SDG. Gli SDG operano quindi come strumenti performativi e manageriali, ma non hanno la capacità di cambiare le cose (Engebretsen, 2025).

Gli SDG per come sono stati creati possono occultare paradossi strutturali, come ad esempio: la crescita economica a scapito dei limiti ecologici; la riduzione della povertà malgrado l'aumento delle disuguaglianze; la tutela ambientale contro gli interessi geopolitici (Engebretsen, 2025). Questi paradossi non sono anomalie, ma sono caratteristiche intrinseche del sistema globale trattate dall'Agenda 2030 come problemi tecnici risolvibili, anche se forse hanno l'accezione più simile a conflitti politici (Engebretsen, 2025). Ed è in questo ambiente che viene introdotta la sostenibilità utilizzata come linguaggio consensuale che neutralizza il dissenso (Pellizzoni, 2023).

Come descritto da Sachs, lo sviluppo è sempre stato un costrutto statistico, che si basa sul confronto delle differenze quantitative tra le nazioni. Anche quando il PIL viene affiancato o sostituito da indicatori sociali e ambientali, la logica rimane quella di classificare, misurare, individuare i deficit lungo una traiettoria unica. Allo stesso modo l'Indice di Sviluppo Umano mantiene una logica di classifica e progresso unico (Sachs, 2021), essendo basato sulle macro aree salute (speranza di vita), istruzione (anni medi di scolarizzazione) e tenore di vita (reddito pro capite) è facile capire quanto si adatti ad uno standard da nord del mondo. La misurazione intrinseca degli indici e delle quantificazioni, ma applicata a percezioni e problemi politici, trasforma le variabili tecniche in numeri da amministrare: la sostenibilità diventa così un dispositivo amministrativo anziché una trasformazione sociale (Pellizzoni, 2023).

Gli obiettivi 2030 anche se dichiaratamente globali mantengono un'universalità implicitamente nord-centrica in cui le differenze storiche e culturali vengono appiattite in un unico quadro normativo al quale allinearsi. Apertamente si fa riferimento all'essere inclusivi anche se si convive allo stesso tempo con l'imposizione di categorie occidentali (come quelle di valore, progresso e benessere) ignorando le conoscenze e le pratiche locali che purtroppo vengono integrate solo se compatibili con la linea comune (Arora-Jonsson, 2023).

Dal punto di vista tecnologico le soluzioni proposte dagli SDG (come ad esempio green economy, innovazione, smartness) non mettono mai in discussione il fatto che siano necessarie alla produzione eccessiva (Pellizzoni, 2023); ciò fa sì che tecnologia e mercato vengono presentati come strumenti neutrali mentre le asimmetrie di potere globali vengono ignorate nella distribuzione dei benefici della sostenibilità (Arora-Jonsson, 2023).

Per Engebretsen, superare i limiti dello sviluppo richiede di abbandonare l'idea di soluzioni universali e di affrontare criticamente paradossi e conflitti, senza neutralizzarli. Il conflitto è una risorsa politica, non un fallimento della *governance*.

Il termine Pluriverso, indica un “mondo fatto di molti mondi”, senza traiettoria unica di sviluppo dove le soluzioni sono già presenti al suo interno, non esterne o inesistenti. Le alternative allo sviluppo sono pratiche già esistenti: decrescita, agro-ecologia, eco-femminismo, economie comunitarie, *buen vivir* (Arora-Jonsson, 2023; Sachs, 2021; Pellizzoni, 2023).

Le strategie generalmente adottate nel mondo per fronteggiare la crisi dello sviluppo, precedentemente descritta, sono tre: la forza (neo-nazionalismi, xenofobia), il globalismo (fiducia nel mercato globale e nella crescita verde), e la solidarietà. Sebbene ad oggi molti governi utilizzino le prime due, la strategia che sostiene questa narrazione è la terza: la Solidarietà indica un'alternativa trasformativa che implica l'abbandono dello stile di vita consumista e richiede una ridefinizione della ricchezza (Sachs, 2021).

L'analisi dell'SDG 7 può essere riletta non solo come una questione di accesso infrastrutturale all'energia, ma come un caso emblematico dei limiti dell'Agenda 2030 nel confrontarsi con i conflitti e le differenze che attraversano la transizione energetica globale. L'energia, infatti, non è da considerare semplicemente come una risorsa tecnica da distribuire, bensì ha un valore sociale e territoriale, che coinvolge modalità di produzione, consumo, adattamento alle specifiche esigenze oltre a esser adattabile ad ambienti profondamente differenti.

Le difficoltà riscontrate nel raggiungimento degli obiettivi del SDG 7 non può essere interpretata esclusivamente come un problema di implementazione o di insufficienza degli investimenti, ma riguarda la differenza tra un modello di sviluppo energetico universalizzante e la pluralità delle condizioni locali. Insistere su soluzioni standard (come l'elettrificazione rapida, l'efficienza energetica o l'innovazione tecnologica) rischia di riprodurre le medesime dinamiche di esclusione, già viste nel corso della storia, laddove non si tenga conto delle specificità sociali, culturali ed economiche dei contesti in cui tali interventi vengono applicati.

L'analisi del *Pluriverso*, in questa prospettiva, offre un punto di vista importante per analizzare il rapporto tra energia e sviluppo. Occorre considerare e riconoscere che le alternative allo sviluppo energetico dominante non sono assenti o da progettare ex novo, ma sono già presenti in pratiche locali di gestione comunitaria delle risorse, in forme di economia solidale e in concezioni non estrattive del rapporto tra umani e ambiente.

L'energia, letta attraverso questa lente, non è più solo un mezzo per raggiungere obiettivi di crescita sostenibile, ma mira a dare aiuto diretto alle persone in funzione delle loro percezioni e necessità, considerandole sia come singoli individui che come comunità sociale, in cui la solidarietà e l'adattamento locale assumono un ruolo centrale.

1.5 Obiettivo di tesi

Lo scopo di questo progetto di tesi, oltre ad essere l'elaborato conclusivo del corso di studi in Ingegneria Energetica e Nucleare, si articola su diversi livelli di approfondimento (interpretazione). Già dal titolo, *Identificare le esigenze e sviluppare tecnologie appropriate per supportare le comunità con difficoltà di accesso all'energia nell'area di Gulu in Uganda*, l'obiettivo è evidente, ma il suo completo raggiungimento si ottiene attraverso lo sviluppo di più fasi: la ricerca bibliografica, la raccolta dei dati, l'elaborazione progettuale, la valutazione e la discussione delle possibili proposte di attenuazione.

L'elaborato si propone di approfondire la letteratura esistente, sia sul piano teorico che su quello metodologico, riguardante le tecnologie appropriate e la loro applicazione nei contesti di necessità, evidenziandone i punti di forza ma anche analizzandone le criticità e i limiti applicativi, soprattutto in relazione allo scarto che spesso si riscontra tra soluzioni progettate in ambito teorico e la loro effettiva applicazione sul campo. Si inserisce quindi nel più ampio dibattito scientifico sul corretto trasferimento tecnologico.

Questo studio rientra quindi in un ambito dove viene messa in discussione l'efficacia dei metodi progettuali standardizzati applicati a contesti profondamente differenti rispetto a quelli dove sono stati concepiti. Al contempo fornisce un contributo tecnico-pratico basato su osservazioni dirette e su un caso studio empirico, affiancando così all'esame della letteratura un'analisi basata su un'esperienza di applicazione diretta.

Grazie a un periodo di ricerca sul campo svolto direttamente all'interno di una comunità oggetto di studio, l'elaborato mira a comprendere in maniera approfondita le reali necessità energetiche degli individui di un contesto socio-economico e culturale diverso, se confrontato col panorama europeo di riferimento, sia personale che universitario. Si considerano, in questo livello, non solo gli aspetti teorici, ma anche gli esiti di installazioni e di progetti realizzati precedentemente in modo da trarre informazioni intorno all'intero ciclo vita della tecnologia, raccogliendo percezioni e pareri tanto dall'interazione con gli utilizzatori, quanto da quello con gli installatori. Si cerca quindi di delineare una metodologia di progettazione inclusiva (in accordo coi principi delle TA ruota attorno alle esigenze) dove il contributo è di tutti i membri della comunità.

Tale obiettivo viene perseguito attraverso un periodo di permanenza in Uganda, in una comunità Acholi, nel villaggio periurbano di Bungatira, nei pressi di Gulu, che ha permesso di osservare e comprendere concretamente le conseguenze quotidiane legate alla difficoltà di fruizione di

servizi essenziali quali l'accesso all'energia, e di conseguenza, all'acqua corrente e a infrastrutture collettive (ad esempio la viabilità e illuminazione pubblica), interpretando tali criticità dal punto di vista di chi le sperimenta direttamente.

A guidare la successiva fase del progetto vi è l'analisi e il confronto tra le possibili alternative tecnologiche e i sistemi effettivamente adottati nel contesto studiato con le alternative disponibili in ambienti simili. Vengono incluse nella ricerca soluzioni e pratiche che spesso non rientrano nei modelli standard di progettazione o nei circuiti formali di pianificazione. Nello specifico vengono valutate le modalità di utilizzo delle tecnologie viste in loco, le modalità utilizzate dalla popolazione per adattarle alle proprie esigenze e le ragioni che ne hanno determinato l'adozione, l'adattamento o il fallimento. A partire da questa analisi, si intende proporre, valutandone l'esito, possibili soluzioni.

L'obiettivo finale è dunque quello di individuare un approccio progettuale capace di combinare i punti di forza di aree diverse, riducendone le debolezze, col fine di sviluppare soluzioni tecnologiche adeguate, sostenibili e replicabili.

Il contributo di questa tesi va pertanto inteso come l'approfondimento di un caso studio che effettua una sperimentazione metodologica. Il valore del progetto risiede principalmente nell'approccio adottato e nella metodologia di analisi piuttosto che nella generalizzazione dei risultati ottenuti. Pur essendo un'analisi limitata a un contesto specifico, la ricerca intende fornire spunti e indicazioni utili e possibilmente replicabili per la progettazione di tecnologie appropriate, contribuendo allo sviluppo di soluzioni energetiche più sostenibili, efficaci e adatte alle condizioni di utilizzo.

Qui di seguito verranno affrontate le diverse fasi descritte: l'analisi del panorama teorico di riferimento, la ricerca bibliografica per la definizione del contesto, dei metodi e modelli seguiti in questa analisi, le metodologie per la raccolta dati e i dati rilevati, l'analisi proposta e la discussione dei risultati.

2. Le Tecnologie Appropriate

Il concetto di tecnologia appropriata è legato all'idea egualitaria che le persone e le comunità abbiano le stesse esigenze, per cui si cerca di utilizzare la tecnologia per colmare le differenze e dare pari opportunità a chi si trova in condizioni di svantaggio rispetto a chi si trova in uno stato di benessere: l'obiettivo, in altre parole, è di soddisfare i bisogni fondamentali di tutte le persone, specialmente di coloro che vivono in comunità e territori marginali, sotto-serviti, svantaggiati, e/o in una fase di transizione socio-ecologica.

Analizzandone e comprendendone le esigenze, con l'introduzione di tecnologie semplici, di piccola scala, energeticamente efficienti, ecocompatibili e controllate dalle comunità locali, si potrebbe migliorare il benessere dei cittadini di uno specifico territorio, in un'ottica di inclusione, coesione sociale e sostenibilità ambientale ed economica.

Perseguendo l'idea di poter utilizzare il progresso e l'avanzamento negli studi tecnologici a supporto di tutti, si può ottenere un gran risparmio (in termini sia di costi effettivi, che di materie prime, di inquinamento, di consumo di territorio e così via), se si effettua una scelta ponderata del sistema tecnologico più "appropriato". Se si considera quanto l'efficienza (aumento di rendimento) faccia risparmiare in termini economici, la scelta di una tecnologia piuttosto che un'altra può fare la differenza. Basti pensare ad esempio alle materie prime di cui essa necessita: anche se pulite e sostenibili, se si trovano dall'altra parte del mondo saranno i trasporti e i carburanti a inquinare per poterla rendere disponibile. Anche la scelta delle dimensioni può aiutare a spiegarne il concetto, perché un impianto di grande taglia risulta più efficiente, ma, se non si necessita di grandi quantità di energia, ciò che viene prodotto in più viene facilmente sprecato o non sfruttato adeguatamente. O ancora una determinata tecnologia può richiedere un livello di conoscenza elevato che non tutti hanno per il poterla mantenere, pertanto il solo trasferimento non è adeguato se non supportato e seguito dalle conoscenze necessarie.

L'insieme di tutte le necessità, le scelte, la comprensione dei contesti, i destinatari, le risorse ma anche gli obiettivi, le conseguenze, gli scopi e i valori, è contenuto nel concetto di "Appropriatezza tecnologica", che nasce come movimento negli anni 60', con l'obiettivo di migliorare il trasferimento tecnologico dai paesi industrializzati ai riceventi paesi in via di sviluppo, ma di fatto ad ora si configura come approccio metodologico col fine di proporre e analizzare il più corretto processo dalla scelta tecnologica idonea alla sua effettiva applicazione, e tutto ciò che da essa ne deriva, considerando che non esiste uno studio che va solo in una

direzione, ma si possono trovare idee e soluzioni scaturite dallo scambio di opinioni e differenti mentalità, che possono tornare utili a chi proviene dal emisfero industrializzato.

2.1 Definizione e caratteristiche di appropriatezza

Il ruolo di padre delle “*appropriate technology*” viene attribuito all’economista E.F. Schumacher quando riformula i concetti del Mahatma Gandhi per la prima volta nel 1968 in una conferenza alla Oxford University e successivamente nel 1973 presentandoli nel suo libro “*Piccolo è bello: uno studio di economia come se la gente contasse qualcosa*” (Franco, et al., 2020).

Nel suo lavoro Schumacher fa emergere il concetto di "tecnologia intermedia" che si inserisce a metà tra le tecnologie tradizionali e quelle industrializzate (definite a loro volta come moderne e capitaliste), andando a modificare l’idea comune di tecnologia per adattarla alle necessità e non alla sola possibilità di sviluppo, all’evoluzione e al miglioramento fine a se stesso.

Le tecnologie appropriate si possono intendere quindi come l’insieme di tutti quegli strumenti e processi che sono (1) accessibili da un punto di vista economico, (2) localmente costruibili e (3) sostenibili, e che migliorano e/o facilitano la produttività senza causare problemi di (4) impatto ecologico o (5) sociale e adatte alla cultura di un popolo (6).

Schumacher nel suo libro sostiene che dovrebbero essere decentralizzate, semplici, adatte ai bisogni umani e rispettose dell'ambiente e delle risorse; si può quindi partire dalle caratteristiche da lui descritte per elencarne le peculiarità di tecnologia appropriata:

1. Scala e accessibilità: tecnologia di piccole dimensioni, economica e alla portata di tutti, soprattutto delle persone povere.
2. Produzione e autonomia locale: realizzata con materiali e competenze locali, così da poter essere gestita e mantenuta autonomamente dalla comunità.
3. Impatto ambientale: sicura, a basso consumo energetico, basata su risorse rinnovabili e rispettosa degli ecosistemi.
4. Impatto sociale: decentralizzata, semplice, compatibile con i bisogni umani e promotrice di dignità e indipendenza.
5. Uso delle risorse: sfrutta i fattori abbondanti (lavoro, risorse naturali) e riduce la dipendenza da quelli scarsi (capitale).
6. Adattabilità culturale: coerente con tradizioni, costumi e stili di vita locali.

La tecnologia appropriata può esser interpretata quindi come una “soluzione tecnica” che si adatta e integra al contesto locale, che cerca di migliorar il benessere umano senza compromettere l'ambiente, la cultura e l'economia. L’essere sostenibile è quindi un requisito

essenziale e necessario che rappresenta un compromesso tra tecnologia rudimentale e quella avanzata.

Questa definizione passa attraverso il concetto di “scelta tecnologica” (Willoughby, 1990): una volta individuato l’obiettivo principale, significa disporre di una moltitudine di tecnologie alternative adatte al raggiungimento degli obiettivi all’interno di un dato contesto; le possibili alternative possono essere aumentate nel tempo mediante un processo di progettazione consapevole.

Una scelta dei mezzi tecnologici che tenga conto degli obiettivi, combinata con sforzi a lungo termine per ampliare la gamma di alternative disponibili, è importante per la politica sociale, economica e ambientale.

Grazie ai concetti espressi da Willoughby (1990), si riesce a definire in modo più preciso la Tecnologia Appropriata, come una tecnologia sviluppata a valle di un corretto processo di scelta tecnologica, adattata al contesto psicosociale e biofisico prevalente, in un luogo e in un periodo specifici.

Dai due diversi approcci utilizzati in materia -l’approccio dei principi generali e quello delle caratteristiche specifiche-, che individuano rispettivamente i valori complessivi che rendono una tecnologia “appropriata” e i criteri concreti e misurabili di quei principi, emergono una moltitudine di caratteristiche di diverso tipo, utili per comprendere meglio le diverse definizioni. Occorre considerare che non esiste una definizione valida in tutti i casi, essendo le tecnologie appropriate relative ad un determinato contesto, ma ne verrà data una generica per poi analizzare singolarmente ogni caso.

1. Caratteristiche economiche

- Uso economico ed efficiente delle risorse naturali di un paese.
- Coerenza con le proporzioni relative di capitale, lavoro e competenze disponibili.
- Bassi costi di investimento per posto di lavoro e per unità di prodotto.
- Costo finale del prodotto contenuto.
- Favorisce la massima occupazione (*labour-intensive*).
- Sostenibilità economica nel lungo periodo.
- Stimola piccole imprese locali e operazioni su scala umana.

2. Caratteristiche tecniche e operative

- Semplicità organizzativa e gestionale.
- Facilità di costruzione, manutenzione e utilizzo.
- Adattabilità e flessibilità alle diverse condizioni locali e ai cambiamenti nel tempo.
- Accessibilità agli utenti (non richiede tecnici altamente specializzati o macchinari complessi).
- Gestibile da individui o piccoli gruppi, non dipende da grandi strutture industriali.
- Favorisce l'uso di risorse rinnovabili e a bassa concentrazione energetica.
- Non intrusiva o distruttiva rispetto all'ambiente naturale.

3. Caratteristiche ambientali

- Risparmio di risorse naturali (frugalità).
- Uso preferenziale di energie rinnovabili.
- Ridotto impatto ecologico, rispetto dell'ambiente biologico e naturale.
- Compatibilità ecologica (*ecologically sound*).
- Promuove una coabitazione armoniosa tra tecnologia e ambiente.

4. Caratteristiche sociali e umane

- Alta intensità di lavoro umano: valorizza le competenze delle persone.
- Favorisce coesione comunitaria e sviluppo locale.
- Tutela della salute umana e del benessere sociale.
- Promuove la creatività e la partecipazione nel processo produttivo.
- Si orienta ai bisogni reali e non al profitto o al consumo illimitato.
- È socialmente inclusiva, adatta anche ai contesti a basso reddito.

5. Caratteristiche culturali e politiche

- Non esiste una tecnologia neutrale o universale: ogni società ha la propria tecnologia appropriata.
- Riconosce l'importanza della diversità culturale e geografica.
- Promuove la determinazione tecnologica autonoma dei popoli (*self-determination*).
- Rinforza l'identità culturale e l'indipendenza politica.

- Le nuove tecnologie devono nascere dalle tradizioni tecnologiche locali.
- Lo sviluppo autentico è quello “delle persone, per le persone e fatto dalle persone”.

6. Natura concettuale

- È un concetto dinamico e flessibile, non fisso né rigido.
- Si adatta a condizioni variabili nel tempo e nello spazio.
- Considera la tecnologia come strumento sociale, non neutrale.
- Mira a un equilibrio tra efficienza economica, giustizia sociale e sostenibilità ambientale.

2.2 Il movimento al giorno d'oggi

Il movimento delle Tecnologie Appropriate ha conosciuto nel tempo un progressivo declino a causa di diversi ostacoli. Innanzitutto la stessa definizione è stata spesso troppo rigida: questo ha frenato la crescita e l'adattamento del movimento in contesti più marginali. In alcuni casi, sono state persino interpretate come un modo per imporre ai paesi in via di sviluppo soluzioni "povere" pensate da altri. Dal punto di vista tecnico, il movimento ha incontrato difficoltà nel garantire tecnologie durature e trasferibili, e l'eccessiva attenzione agli aspetti tecnici ha fatto perdere di vista la dimensione sociale e partecipativa. Sono mancati anche supporti istituzionali e finanziamenti stabili, e ciò ha impedito di costruire reti solide e di raggiungere una massa critica di persone, la collaborazione tra ricercatori era limitata e spesso non arrivavano feedback concreti dalle comunità locali, rendendo difficile migliorare le soluzioni proposte.

Un altro problema, come evidenzia Zelenika (2011) in "Barriers to Appropriate Technology Growth in Sustainable Development", è stato di tipo culturale e ha riguardato l'accettazione: le tecnologie appropriate venivano spesso considerate "tecnologie per poveri", e questo stigma sociale ne ha ostacolato la diffusione. Esistevano poi le difficoltà pratiche, come la distanza geografica dalle comunità, la mancanza di manutenzione costante e la scarsa comunicazione tra chi progettava e chi utilizzava le tecnologie. Tutto questo ha reso difficile creare un vero scambio di esperienze e migliorare nel tempo i progetti. Inoltre la mancanza di competenze tecniche e organizzative all'interno delle comunità ha spesso impedito di mantenere in vita i progetti nel lungo periodo, limitandone la crescita e l'impatto. Tutti questi fattori (Zelenika & Pearce, 2011), hanno contribuito al lento ma costante indebolimento del movimento delle Tecnologie Appropriate.

Alcuni principi alla base delle Tecnologie Appropriate vengono ripresi in chiave attuale grazie alla diffusione delle energie rinnovabili di piccola scala e alla crescente attenzione verso l'ambiente. Complice la sensibilità verso il cambiamento climatico in aumento, aiutata dai movimenti ambientalisti (più ascoltati ora che in passato), è tornata in primo piano l'esigenza di trovare soluzioni pensate insieme alle comunità, non imposte dall'alto ma, al contrario, provenienti dal basso. L'idea di creare tecnologie semplici, sostenibili e adatte ai bisogni reali delle persone si lega infatti ai temi attuali, come la transizione energetica e il rispetto del pianeta.

2.2.1 Grassroot innovation e altri metodi di progettazione

Il modo in cui si progetta è tanto importante quanto il risultato finale. I metodi di progettazione che si sono sviluppati negli ultimi anni puntano a coinvolgere direttamente le persone, promuovendo un approccio più aperto, collaborativo e attento ai bisogni reali delle comunità (Franco, et al., 2020).

Nascono quindi termini quali *bottom-up design*, *grassroots design*, *co-design re-design* che indicano modi di pensare e creare che partono dalle persone.

Il *bottom-up design* si basa sull'idea che i progetti debbano nascere dalle esigenze e dalle esperienze delle comunità locali, invece di essere imposti dall'alto, e letteralmente significa "dal basso verso l'alto". È un modo di progettare che valorizza le risorse del territorio e coinvolge direttamente chi poi userà la tecnologia.

Il *grassroots design*, che significa letteralmente metodo di progettazione dalle radici vista la natura di inclusione delle idee provenienti dal basso, è invece più specifico: nasce dall'iniziativa spontanea delle comunità, che si organizzano per trovare soluzioni ai propri bisogni, spesso in modo indipendente da istituzioni o aziende.

Il *co-design* porta avanti la stessa logica, ma in maniera più strutturata: progettisti, tecnici e utenti lavorano insieme sin dalle prime fasi del progetto, condividendo idee e conoscenze.

Il *re-design*, invece, consiste nel migliorare o riadattare strumenti e tecnologie già esistenti, rendendoli più accessibili, efficienti e rispettosi dell'ambiente.

Tutti questi approcci sono centrati sull'uomo (*human-centered design*) e puntano a creare tecnologie più semplici, accessibili e sostenibili, ideate insieme alle persone, partendo dal presupposto che la tecnologia è un mezzo al servizio delle persone, non il contrario (Franco, et al., 2020). Ciò significa che occorre osservare, ascoltare e comprendere chi utilizzerà un oggetto o un sistema, per progettare qualcosa che sia utile, comprensibile e sostenibile. Questi approcci non sono solo un modo di produrre ma un modo di ri-pensare la progettazione alla luce delle esigenze degli utenti finali.

Col tempo è stato trovato un metodo più aperto e collaborativo che integra nuove forme di espressione e continuità, quello dell'*open source* o dell'*open design*, che possono rappresentare una via per usar bene e condividere gli insegnamenti del movimento, favorendo la condivisione delle conoscenze e l'adattamento locale delle tecnologie. L'Open Source Appropriate Technology (OSAT) rappresenta una naturale evoluzione delle idee originarie delle AT,

mantenendo lo spirito etico e sociale e inserendosi nello scenario attuale della condivisione digitale e della collaborazione in rete. Alla base vi è l'idea che le conoscenze tecniche debbano essere aperte, accessibili e liberamente modificabili, in modo che ogni comunità possa adattarle alle proprie condizioni economiche, culturali e ambientali. La difficoltà di diffusione e trasferibilità, e la logica proprietaria vengono sostituite con quella della conoscenza condivisa e del fare collettivo.

Ne sono esempi le reti e piattaforme come *Open Source Ecology*, *Farm Hack*, *Rural Hack* e *l'Atelier Paysan* che incarnano pienamente questa visione: sono comunità di pratica dove agricoltori, artigiani, tecnici e progettisti cooperano per sviluppare tecnologie frugali, riparabili, facilmente riproducibili e sostenibili. Queste esperienze mettono in evidenza un aspetto centrale già presente nella filosofia delle AT: la volontà di restituire controllo e autonomia tecnologica alle persone, favorendo una produzione più locale, partecipata e consapevole. Le piattaforme OSAT, inoltre, non si limitano a fornire strumenti, ma promuovono nuove modalità di apprendimento collettivo, attraverso la documentazione aperta dei progetti, la pubblicazione di manuali e la sperimentazione collaborativa.

L'*Open Source* rappresenta una forma contemporanea di progettazione dal basso, che unisce l'approccio partecipativo con le potenzialità delle reti digitali. Esse rilanciano il concetto di tecnologia come bene comune, ponendo al centro non il profitto, ma la capacità delle persone di agire e innovare in modo autonomo e sostenibile. Esempi come i pannelli solari domestici, i sistemi di raccolta dell'acqua, le micro-reti energetiche mostrano che è possibile unire innovazione e semplicità, mantenendo l'attenzione sulla sostenibilità. La possibilità di condividere idee e progetti online rende più facile collaborare a livello globale, permettendo alle tecnologie appropriate di evolversi in una forma più moderna, partecipativa e vicina alle esigenze delle persone e dell'ambiente.

2.2.2 Ingegneria Umanitaria

Un'alternativa attuale che può essere presa in considerazione è l'ingegneria umanitaria, essa ripropone i medesimi valori ponendo l'attenzione sull'uso della tecnica e della progettazione per cercare di migliorare il benessere delle popolazioni in difficoltà.

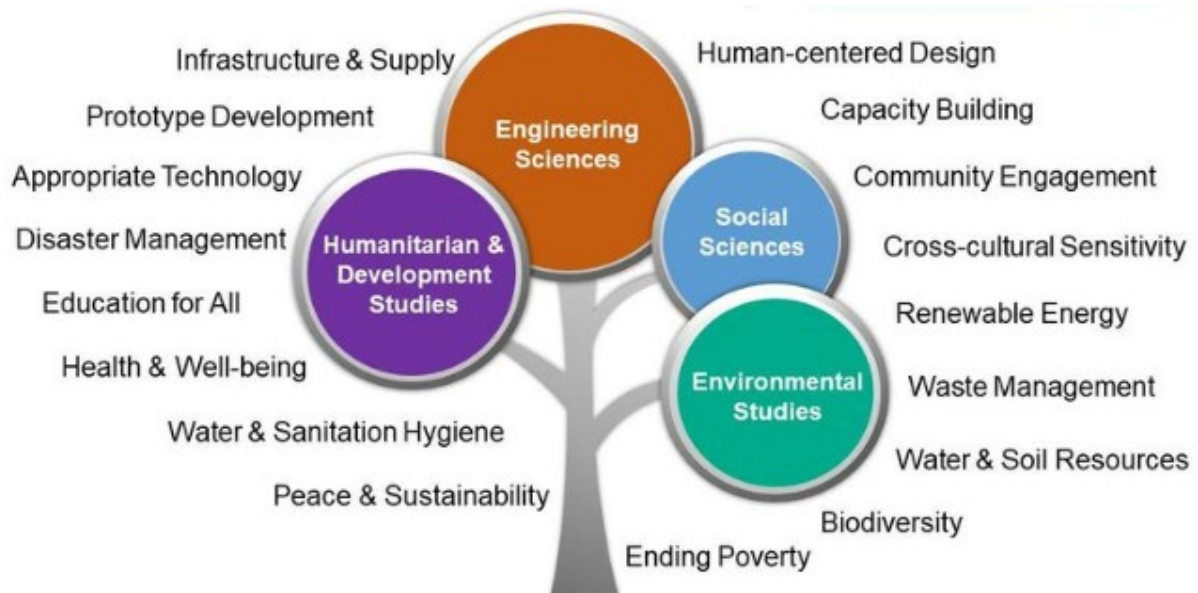


Figura 2.1 Schema argomenti contenuti nell'ingegneria umanitaria (fonte Britannica.com)

Negli ultimi anni, è cresciuta l'attenzione verso temi come l'applicazione delle competenze ingegneristiche per aiutare le persone in difficoltà. L'Ingegneria Umanitaria non si tratta di una scienza esatta, ma piuttosto di un modo per utilizzare le competenze ingegneristiche per rispondere ai bisogni fondamentali delle persone, soprattutto quelle più vulnerabili.

Gli studiosi Mitcham e Muñoz (2012) hanno definito l'Ingegneria Umanitaria come *“l'uso consapevole della scienza per dirigere le risorse della natura, con compassione attiva, al fine di soddisfare i bisogni fondamentali di tutti, soprattutto dei poveri o marginalizzati”*. Altri autori la descrivono come *“l'applicazione delle competenze ingegneristiche per scopi di aiuto umanitario, come la ricostruzione post-disastro o lo sviluppo internazionale”* (Campbell & Wilson, 2011). L'obiettivo è quello di utilizzare le capacità dell'ingegneria per aiutare le persone in difficoltà. Questo uno strumento può essere utilizzato per migliorare il benessere delle popolazioni svantaggiate (Muñoz & Mitcham, 2012) attraverso un approccio di intervento nelle situazioni di emergenza che nello sviluppo di processi a lungo termine.

La progettazione umanitaria deve rispondere a criteri non solo tecnici, ma anche sociali, politici, culturali, ambientali ed etici. I progetti richiedono il coinvolgimento diretto delle popolazioni interessate e il loro successo dipende dalla collaborazione con le comunità e dal riconoscimento

del loro sapere locale. (Vandersteen, Baillie, & Hall, 2009). Questa disciplina integra le diverse aree ingegneristiche e campi non tecnici, come ad esempio la sanità, le scienze sociali, l'educazione e il design. Attraverso questa materia viene introdotta anche un'etica della responsabilità sociale e viene messa in evidenza l'importanza di empatia e attenzione al benessere delle persone coinvolte. L'Ingegneria Umanitaria contribuisce a superare la visione della disciplina puramente tecnica e favorisce una maggiore consapevolezza delle conseguenze sociali delle decisioni professionali (Campbell & Wilson, 2011).

Alcune organizzazioni come ad esempio *Engineers Without Borders* (EWB), di cui l'ente italiano corrispondente è Ingegneri Senza Frontiere (ISF), sono un esempio pratico del funzionamento di questo approccio: essi combinano discipline tecniche e ingegneristiche al fine di affrontare molte delle crisi e delle emergenze umanitarie mondiali, emarginate e si concentrano in genere su programmi accessibili, sostenibili e basati sulle risorse locali. I progetti sono in genere guidati dalla comunità e interdisciplinari e ricercano soluzioni semplici per i bisogni di base (come l'accesso ravvicinato all'acqua pulita, il riscaldamento, il riparo, servizi igienici adeguati e percorsi affidabili verso i mercati) con una forte attenzione sociale e ambientale.

2.3 Esempi

2.3.1 Generale

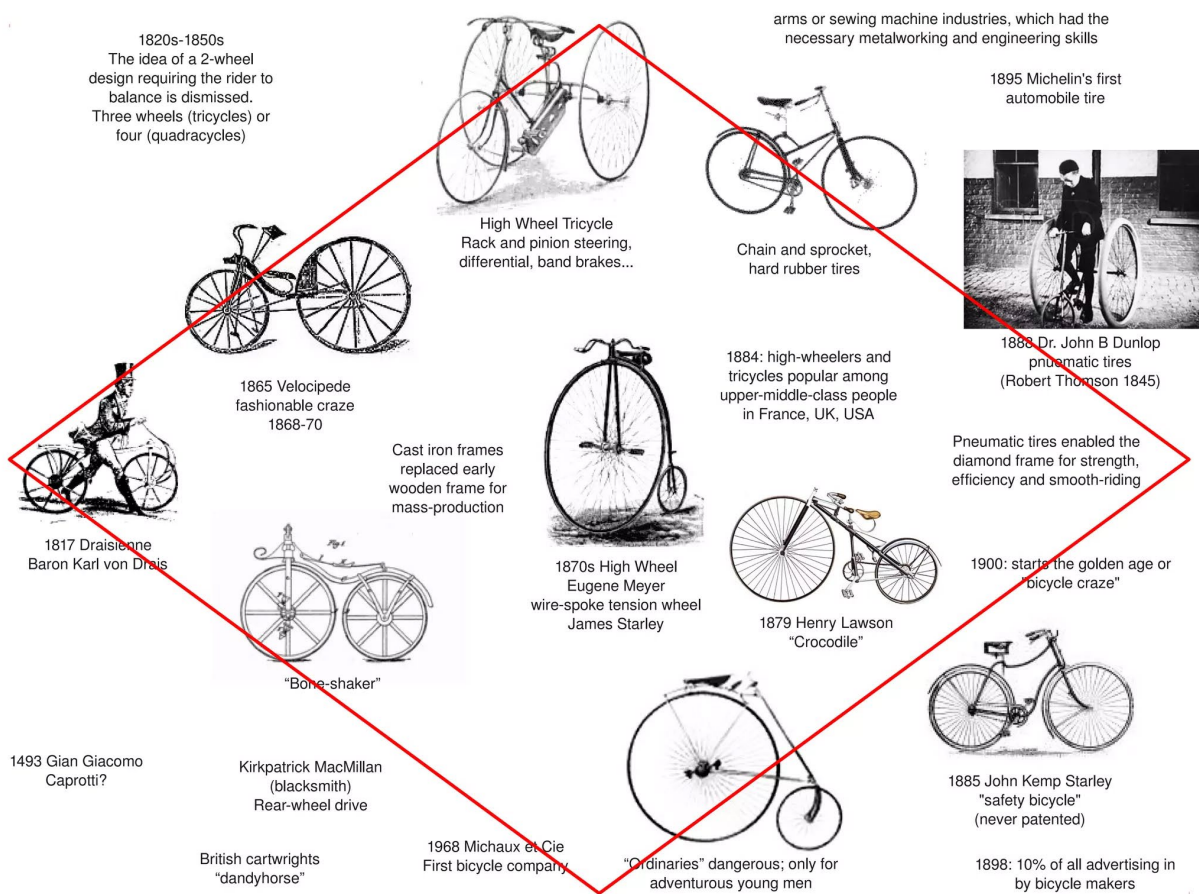


Figura 2.2 Evoluzione della bicicletta, esempio di tecnologia appropriata (slidesharecdn.com)

La bicicletta viene considerata uno dei principali esempi di appropriatezza essendo al contempo semplice e accessibile, non richiede di sostenere un costo e una manutenzione eccessivi e facilita il trasporto usando energia muscolare apportata gratuitamente. È adatta al contesto umano e ambientale, non necessita di infrastrutture e può essere facilmente costruita, riparata e mantenuta con risorse locali. Richiede poca energia per funzionare, non inquina e, utilizzata al posto di altri mezzi di trasporto, contribuisce a ridurre le emissioni e il consumo di combustibile. Ma soprattutto, la bicicletta è "appropriata" perché mette la persona al centro: è un mezzo proporzionato alle capacità umane, che unisce efficienza e libertà di movimento. In molti paesi del mondo rappresenta uno strumento essenziale di mobilità, autonomia e lavoro, migliorando concretamente la qualità della vita quotidiana. È anche una tecnologia scalabile e adattabile: può essere modificata e personalizzata secondo i bisogni mantenendo la sua semplicità di base.

2.3.2 Bicicletta Cargo



Figura 2.3 Esempio di bicicletta adibita al trasporto di grandi quantità di frutta (fonte italian.sportmountainbikes.com)

In molte aree rurali il trasporto delle merci rappresenta un ostacolo significativo allo sviluppo economico locale. L'utilizzo di biciclette adattate per sostenere carichi pesanti e progettate per affrontare strade sterrate, pendii in condizioni climatiche avverse è un esempio di come la tecnologia può essere adattata alle necessità. Le biciclette hanno capacità di trasporto elevate con costi di manutenzione contenuti, possono quindi essere considerate un'alternativa agli analoghi veicoli a motore per trasporto merci, che in alcuni casi sono troppo costosi e difficili da mantenere. Come tecnologia è semplice ma robusta e ha permesso alle persone di aumentare la propria produttività, riducendo al contempo le spese. L'iniziativa ha un impatto sociale positivo, crea nuove opportunità di lavoro nei settori della manutenzione e della distribuzione. Si tratta di un esempio emblematico di adattabilità della tecnologia appropriata, capace di autoregolarsi per rispondere ai bisogni reali con soluzioni economicamente accessibili e sostenibili.

2.3.3 Bicicletta Frullatore



Figura 2.4 esempio di bicicletta frullatore azionato da sistema dynamo (fonte link)

La bici-frullino è diffusa in numerosi paesi e rappresenta un'interessante iniziativa sociale che adatta una tecnologia già appropriata (la bici per spostarsi) ad un secondo uso che viene aggiunto e integrato con strumenti e pezzi assemblati semplicemente e senza necessità di modificare la trasmissione principale ma semplicemente “aggiungendo” un ingranaggio per attrito che muove il frullatore. Il suo funzionamento è tanto semplice ed efficace: pedalando si produce l'energia necessaria ad azionare il moto rotatorio delle lame. Questo dispositivo diffonde la consapevolezza che l'energia può essere autoprodotta con mezzi semplici e a impatto ambientale nullo e consente di utilizzare la frutta invenduta nei mercati, creando un prodotto secondario.

2.3.4 Pompe a pedale per l'irrigazione



Figura 2.5 Pompa per pescaggio acqua azionata da sistema a pedali (fonte International Development Enterprises)

L'introduzione delle pompe a pedale da parte di Paul Polak e dell'organizzazione *International Development Enterprises* negli anni Ottanta ha rappresentato un punto di svolta nell'agricoltura di sussistenza nei Paesi in via di sviluppo. Queste pompe sono basate su un meccanismo semplice ed efficiente, che consente di sollevare acqua da fiumi o falde poco profonde utilizzando l'energia muscolare delle gambe, riducendo la fatica rispetto ai metodi manuali tradizionali. Avendo un costo basso e integrando oggetti comuni, la tecnologia ha reso possibile irrigare terreni in precedenza improduttivi, migliorando i raccolti e la sicurezza alimentare. Diffuse in Asia e in Africa, le pompe a pedale si sono adattate a diverse condizioni geografiche attraverso la sperimentazione di versioni differenti, dimostrando una notevole versatilità.

Un aspetto interessante è che, essendo acquistate direttamente dagli agricoltori, si sviluppa il concetto di proprietà e la manutenzione autonoma, elementi chiave per l'indipendenza, che garantisce una sostenibilità a lungo termine del sistema.

2.3.5 Rulli d'acqua Hippo



Figura 2.6 Barili scorrevoli per trasporto acqua (fonte WIPO)

Un' alternativa al trasporto tradizionale dell'acqua, laddove un'infrastruttura idrica affidabile fosse troppo lontana per avvalersi solo di pompe e tubi, l'Hippo Water Roller ha rivoluzionato il modo in cui le comunità accedono alla risorsa più essenziale. Questo dispositivo combina semplicità e tecnologia in quanto andando a sviluppare una forma adeguata delle taniche si ottiene un cilindro che grazie al moto di rotolamento consente agli utenti di trasportare grandi quantitativi d'acqua che, trasportati in diverso modo, richiederebbero forza ed energia non disponibile a tutti: si stima consentano alle persone di raccogliere cinque volte più acqua con uno sforzo fisico notevolmente inferiore al trasporto tradizionale sulla testa o a mano. La realizzazione in plastica dura e con maniglia in acciaio, rende il dispositivo durevole anche in condizioni difficili. L'impatto sociale è rilevante in quanto tendenzialmente è compito di donne e bambini e consente di risparmiare tempo prezioso da dedicare all'istruzione o ad altre attività produttive. L'Hippo Roller rappresenta un perfetto esempio di innovazione low-tech che, attraverso semplicità e accessibilità, genera benefici tangibili per l'intera comunità.

2.3.5 Rubinetti Tippy



Figura 2.7 Sistema per lavaggio mani ad azionamento a pedale (nurseryworld.co.uk)

I rubinetti a ribalta sono dispositivi per il lavaggio delle mani ingegnosamente semplici, realizzati con materiali disponibili localmente, che permettono pratiche igieniche in contesti con risorse limitate. Questi dispositivi sono in genere costituiti da contenitori di plastica, ovvero taniche appese a telai di legno. Permettono il movimento dell'acqua grazie ad un pedale, eliminando la necessità di toccare superfici contaminate. Si tratta di una tecnologia appropriata di ampia praticità: non necessitano di acqua corrente, consumano circa il 90% di acqua in meno rispetto ai lavaggi tradizionali, non costano quasi nulla e possono essere costruiti ovunque utilizzando materiali facilmente reperibili.

Questi dispositivi sono particolarmente efficaci nelle scuole, dove il loro design interattivo attrae i bambini se stimolati a farne uso. Sono identificabili reali benefici per la salute derivanti da questa innovazione *low-tech* che supera molte alternative più sofisticate in aree rurali/extra urbane in cui acqua e risorse sono scarse.

Questi semplici esempi danno una chiara visione di tecnologia appropriata e dei suoi elementi principali, sebbene ne esistano anche altre di natura più tecnica e complicata.

Altri esempi possono essere proposti per avvicinarsi al tema dell'accesso all'energia e al settore della cucina e della conservazione alimentare.

2.3.6 Programma Luz en Casa



Figura 2.8 Fotografia sistema di approvvigionamento elettricità domestica tramite pannello fotovoltaico (fonte acciona.org)

Un utile esempio di tecnologia appropriata in contesto energetico si trova nell'utilizzo di fotovoltaico per generazione di luce: il programma *Luz en Casa* (Luce in casa) a Panama sta portando l'accesso all'energia a prezzi accessibili alle famiglie indigene rurali isolate. Finora ha migliorato la situazione di famiglie fuori dalla rete a Ngäbe-Buglé, una delle aree meno sviluppate e meno elettrificate di Panama, attraverso la fornitura di elettricità di base, tramite sistemi di terza generazione per produzione e accumulo. Introducendo sistemi *plug-and-play* compatti ed efficienti, che incorporano pannelli solari fotovoltaici, lampade a LED ad alta efficienza, batterie al litio e una lunga durata (almeno 20 anni). Le piccole imprese locali ospitano anche corsi di formazione per supportare l'installazione e la manutenzione dei sistemi, andando ad auto mantenersi e generando al contempo un reddito.

2.3.7 Lampade solari ad alta autonomia



Figura 2.9 Fotografia d'esempio utilizzo lampade solari (fonte Lagazel Kalo)

Un altro esempio è rappresentato dalle lampade solari (in questo caso di Lagazel Kalo), pensate per portare luce a chi vive in aree prive di rete elettrica, soprattutto nell'Africa subsahariana. Questi dispositivi nella loro semplicità offrono una soluzione sostenibile a un problema con ricadute complesse. L'accesso all'illuminazione consente di risolvere problemi di sicurezza, dare più tempo ad attività personali e di studio e quindi si può prestare ad una tecnologia più appropriata di un'altra. Un esempio è il modello Kalo 3000, progettato per essere resistente e duraturo, grazie a un alloggiamento in acciaio che protegge la lampada dalle intemperie e dalle condizioni climatiche difficili. Dotata di pannello PV integrato, in poche ore di ricarica solare (una sola giornata), la lampada può fornire fino a 38 ore di luce, e include anche una porta USB che permette di ricaricare piccoli dispositivi come i telefoni cellulari, un servizio essenziale in molte aree rurali. Utilizza una batteria al litio-polimero, che garantisce una lunga durata nel tempo, e pannelli solari policristallini ad alta efficienza. Le lampade rappresentano così equilibrio tra tecnologia, sostenibilità e utilità sociale, offrendo energia pulita e autonomia a chi altrimenti resterebbe escluso dai benefici della modernità.

2.3.8 Cucine elettriche pulite



Figura 2.10 Fotografia cucina elettrica in contesto rurale (fonte Clean Cooking Alliance)

Un caso esplicativo di cucina si trova nella provincia di Madhesh, in Nepal, dove quasi il 70% delle famiglie cucina con legna e letame essiccato in stufe a biomassa o fuochi aperti, che hanno diversi aspetti negativi, tra cui tendenza alla mortalità precoce, o il tempo impiegato da donne e bambini per la raccolta della legna. La diffusione delle cucine elettriche amovibili rappresenta un esempio di tecnologia appropriata poiché unisce sostenibilità, efficienza e adattamento al contesto locale. In un Paese dove l'elettricità è prodotta quasi interamente da fonti idroelettriche, il passaggio alla cottura elettrica riduce drasticamente l'inquinamento domestico e le emissioni di CO₂ senza dipendere da combustibili fossili. Rispetto alle stufe a gas o ai fornelli tradizionali, le nuove cucine elettriche (promosse dal governo e dalla *Clean Cooking Alliance*) sono più sicure, pulite e facili da mantenere. Integrano inoltre sistemi di monitoraggio dei consumi che ne abbassa il costo finale e ne aumenta la sostenibilità economica. L'equilibrio tra semplicità d'uso, impatto ambientale ridotto e adattabilità infrastrutturale rende la cucina elettrica una soluzione più adatta e duratura rispetto ad altre.

2.3.9 Kit frigorifero solare



Figura 2.11 Esempio kit frigorifero alimentato da pannello solare (fonte Amped Innovation)

L'EasyFreeze (sviluppato da Amped Innovation) rappresenta una alternativa per le comunità prive di accesso stabile alla rete elettrica. Si tratta di un frigorifero-congelatore da 100 litri alimentato a energia solare, capace di mantenere la temperatura anche durante lunghi blackout grazie a una batteria al litio e a un sistema di isolamento ottimizzato. L'utilizzo del refrigerante R600a è molto più efficiente e crea un minore impatto ambientale rispetto ai frigoriferi tradizionali ad HFC.

A differenza dei refrigeratori convenzionali, l'EasyFreeze non richiede connessioni alla rete e può funzionare autonomamente in aree rurali. La sua robustezza e la manutenzione minima lo rendono facilmente gestibile dalle famiglie o dalle microimprese locali. Rispetto alle soluzioni elettriche tradizionali, questa tecnologia si distingue per adattabilità e affidabilità, offrendo un'alternativa solare per il raffreddamento, nei contesti dove non si può far affidamento alla elettrificazione da rete.

2.3.10 Forno solare

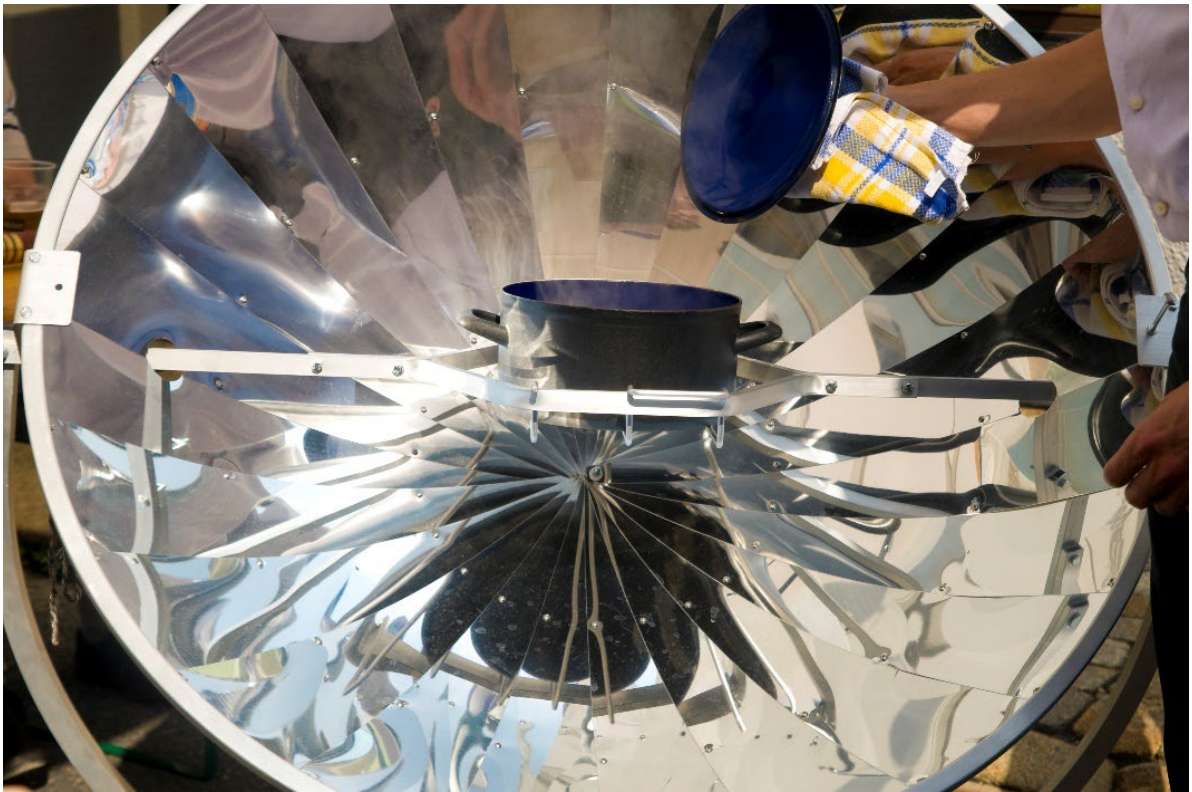


Figura 2.12 Esempio cucina solare (fonte)

Il forno solare ibrido GoSun Fusion costituisce un chiaro esempio di tecnologia appropriata, capace di combinare sostenibilità, efficienza e adattabilità ai contesti off-grid. Grazie al suo sistema ibrido, che utilizza sia l'energia solare termica sia una fonte elettrica a bassa tensione (12 V), il dispositivo consente la cottura anche in assenza di luce solare diretta, garantendo continuità d'uso in caso di ombreggiamenti. Il tubo a vuoto che funge da isolante termico permette di raggiungere temperature elevate fino a 288 °C e di mantenere i cibi caldi per oltre 12 ore, riducendo gli sprechi energetici. Rispetto ai fornelli tradizionali a legna o a gas, il GoSun Fusion non produce fumi né emissioni, contribuisce alla salute domestica e alla tutela ambientale. Particolarmente adatto a contesti rurali, emergenze o situazioni di mobilità, si distingue da tecnologie più complesse o costose per la sua semplicità, sicurezza e capacità di funzionare in totale indipendenza energetica.

2.4 La progettazione di una tecnologia appropriata

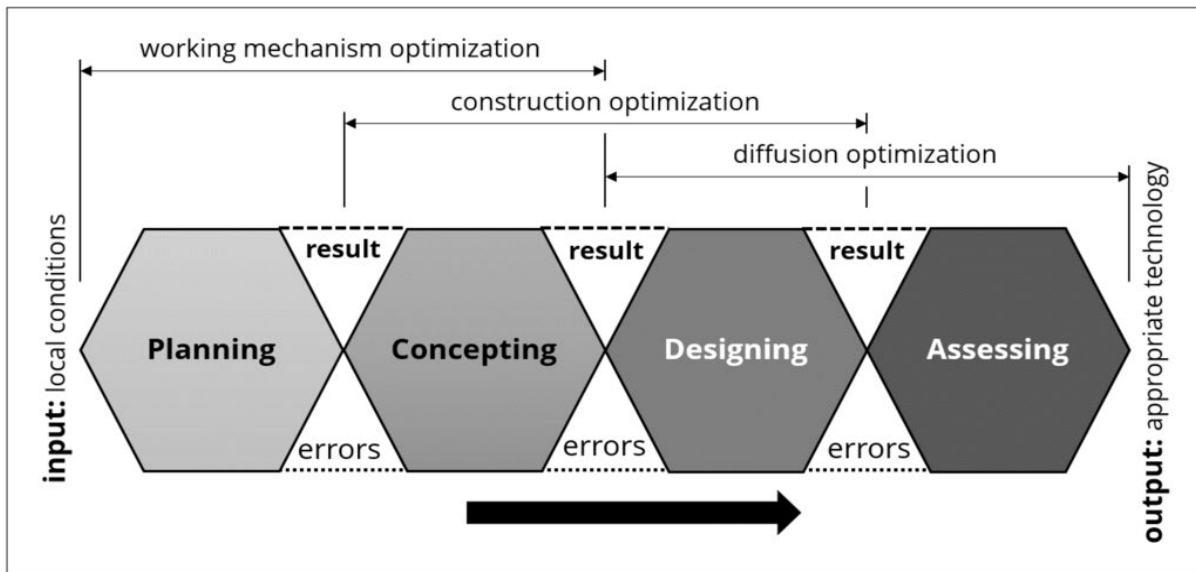


Figura 2.13 Flusso di lavoro generico (fonte Sianipar 2013)

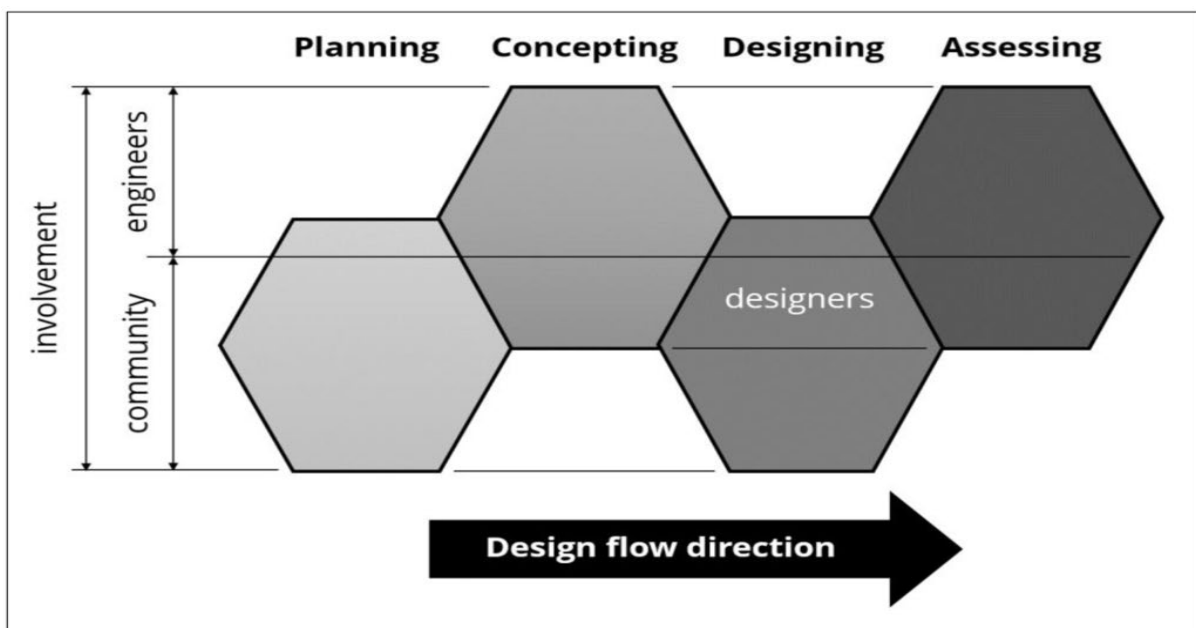


Figura 2.14 Ripartizione flusso di lavoro nella progettazione appropriata (fonte Sianipar 2013)

L'approccio alla progettazione di tecnologie appropriate è costituito da quattro fasi comuni, ovvero "analisi", "ideazione", "progettazione" e "finalizzazione", con tutti i passaggi inclusi in ognuna di esse. Proposto come da flusso di lavoro di base (Figura 2.13), la sua peculiarità è l'inclusione progettuale della comunità locale, che sin dai primi passi è soggetto fondamentale del processo e fino alla fine ne è parte integrante. La Figura 2.14 dà idea di questo dettaglio mostrando la percentuale di coinvolgimento delle parti interessate in ognuna delle fasi corrispondenti al flusso di lavoro (Figura 2.13). In questo modo il ruolo del tecnologo diventa

quello di uno strumento per le esigenze della comunità invece di sostituirsi ad essa, con il compito di usare la propria esperienza per proporre e ideare soluzioni, ma senza dover obbligatoriamente portare avanti uno scopo se non in funzione di un effettiva necessità. Attorno a queste idee si colloca la progettazione appropriata, della quale non vi è una definizione specifica in quanto limiterebbe la libertà di adattarsi alle aree di competenza, ma una sua visione ampia e generica può fornire le linee guida atte a semplificarne la comprensione.

Le aree della progettazione attorno alle quali si crea questo approccio interdisciplinare sono diverse: il fine è quello di cercare il modo coniugare conoscenze tecniche ed approcci sociali e culturali cercando di ottenere progetti sostenibili, accessibili e radicati nel contesto in cui vengono sviluppati. L'obiettivo, come già precisato, non è tanto introdurre tecnologie più "avanzate", ma costruire sistemi socio-tecnici adatti alle risorse locali, alle capacità della popolazione e alle condizioni ambientali (Sianipar, Yudoko, Dowaki, & Adhiutama, 2013). Le tecnologie "avanzate" sarebbero in molti casi non consone in quanto non permettono a tutti di comprenderne il funzionamento e necessiterebbero quindi di esperti per farle funzionare, oltre che di materiali e componenti avanzati che risulterebbero difficili da reperire e riparare, ...

La progettazione di TA nasce per reagire alle problematiche precedentemente descritte e al fallimento dei processi di trasferimento tecnologico unilaterale (inteso come un solo soggetto che propone e uno solo che accetta la tecnologia), dove soluzioni importate da contesti industrializzati risultavano inadeguate, difficili da mantenere e culturalmente estranee alle comunità beneficiarie. Per far fronte a questi errori alcuni studiosi hanno cercato sviluppare un metodo di design che aiuti i tecnologi a non ripetere i medesimi errori del passato.

Tra i vari studi il metodo di Sianipar, e dei suoi colleghi (2013), rappresenta una delle elaborazioni più sistematiche ed estese riguardanti la progettazione di tecnologie appropriate. Tale metodologia articola le quattro fasi principali in dieci passaggi operativi, collegando in modo organico l'analisi del contesto, la creatività progettuale e la valutazione dell'appropriatezza.

Tabella 2.1 fasi progettuali metodo Sianipar

	Nome del passaggio	Attività
A	Fase di pianificazione	
1	Scegliere i gatekeeper	Test di affidabilità
		Categorizzazione dei gatekeeper
		Selezione dei gatekeeper
2	Rivelazione degli input di campo	Creare una domanda principale
		Domande e risposte informali
		Informazioni di terze parti
		Triangolazione
3	Requisiti di compilazione	Requisiti di denominazione
		Requisiti di raggruppamento
		Formattazione delle specifiche quantitative/qualitative
B	Fase di ideazione	
4	Scalabilità del grado di creatività	Distinguere libertà e vincoli
		Raggruppamento dello stesso modello di libertà e vincoli
		Compilazione di standard e note aggiuntive
5	Stabilire concetti fisiologici	Derivazione delle funzioni fisiologiche (PF)
		Esplorazione delle alternative per ciascuno dei PF
		Composizione di concetti fisiologici
		Dettagliare i concetti fisiologici
C	Fase di progettazione	
6	Progettazione di edifici	Progettazione di bozze
		Costruzione di progetti AT
7	Test sul campo	Posizionamento degli AT nel campo di utilizzo futuro
		Sviluppo di procedure di test

		Preparazione dei moduli richiesti e formazione dei collaudatori sul campo
		Esecuzione di test sul campo in alcune ripetizioni
		Compilazione dei risultati dei test
D	Fase di valutazione	
8	Valutazione delle prestazioni	Stabilire standard di valutazione
		Raccolta degli standard di calcolo richiesti
		Valutazione delle prestazioni di ogni progetto testato
9	Valutazione del livello di appropriatezza	Ponderazione delle variabili operative
		Valutazione delle prestazioni
10	Valutare la tecnologia appropriata	Compilazione della valutazione di tutti i progetti in tutti gli aspetti
		Mappatura della semplice appropriatezza tecnologica
		Giudizio (primo livello)
		Mappatura dell'appropriatezza invertita
		Giudizio (primo livello, giudizio alternativo)
		Ricalcolo mediante l'incorporazione del moltiplicatore IA
		Giudizio (secondo livello)

La fase di pianificazione descritta brevemente inizia con la selezione dei *gatekeeper* (attori locali con conoscenza diretta del territorio e capacità di mediazione) e prosegue con la raccolta partecipata dei bisogni della popolazione attraverso osservazioni, interviste e discussioni informali. Le informazioni vengono poi sintetizzate in un set di requisiti standardizzati, distinti in categorie tecniche, economiche, sociali e ambientali. Segue poi la fase di ideazione che prevede la traduzione di tali requisiti in concetti progettuali flessibili, regolati da gradi di libertà variabili a seconda del livello di vincolo imposto dal contesto. Nello studio emerge che ogni funzione fisiologica del sistema tecnologico viene quindi esplorata in più alternative, combinando elementi locali e innovativi. A seguire la fase di progettazione, in cui i concetti vengono concretizzati in prototipi costruiti con materiali e conoscenze locali, successivamente

testati sul campo. La popolazione diviene così parte attiva della sperimentazione, fornendo osservazioni qualitative e quantitative sull'efficacia e sull'utilizzabilità delle soluzioni.

Infine, la fase di valutazione misura le prestazioni dei prototipi in base ai requisiti iniziali e determina il livello di appropriatezza complessiva del progetto, valutandone la dimensione tecnica, economica, ambientale e sociale. La tecnologia più appropriata è quella che, pur con prestazioni moderate, ottiene la massima coerenza con il contesto e il coinvolgimento degli attori locali.

Sebbene elaborato in versione teorica questo metodo fornisce una linea guida che viene rispettata dai casi studio pratici, la cui analisi si può utilizzare direttamente per trarre similitudini processuali per altri casi studio: ad esempio López-Sosa et al. (2019) propongono un metodo concepito unendo l'ideazione da parte di un gruppo multidisciplinare composto da ingegneri e fisici esperti in simulazione e progettazione, analisi del ciclo di vita e sviluppo di tecnologie ecologiche con esperienza nell'implementazione nelle comunità indigene. Sebbene venga proposto da “esperti”, è opportuno ricordare che anche i loro studi precedenti hanno evidenziato la necessità che i potenziali utenti partecipino attivamente, dall'identificazione dei bisogni energetici prioritari allo sviluppo della tecnologia e ai relativi processi di trasferimento, poiché come riportano *“non è possibile concepire una metodologia di questo tipo senza la presenza della comunità che utilizzerà la tecnologia”*. Pertanto l'integrazione degli aspetti tecnici, ambientali e sociali sopra menzionati favorisce la creazione di un progetto che non solo soddisfi le richieste ingegneristiche, ma tenga anche conto delle opinioni e delle esigenze degli utenti nell'intero processo. L'integrazione dei vari aspetti è fondamentale perché contribuisce alle funzionalità e all'operabilità della tecnologia proposta. Prioritario è dunque stabilire dei collegamenti con i membri strategici della comunità che riceve la tecnologia, vale a dire identificare le persone (nell'articolo precedente chiamati *gatekeeper*) che possono fungere da intermediari tra la comunità e gli eco-tecnologi.

La metodologia d'esempio si compone di un totale di nove fasi interconnesse, in cui le prime due identificano il consumo di energia o le risorse naturali, mentre le fasi rimanenti sono relative allo sviluppo della proposta tecnologica. In tal senso, il metodo di López-Sosa et al. (López-Sosa, et al., 2019) aggiunge alla già ampia prospettiva di Sianipar, strumenti quantitativi e analitici propri di alcuni approcci tecno-economici, come il *Life Cycle Assessment (LCA)* e la simulazione tecnico-economica, per valutare la sostenibilità di soluzioni specifiche. Attraverso l'analisi di un caso di studio esemplificativo, un essiccatore solare in legno per comunità rurali in Messico, gli autori articolano una progettazione che semplifica quella precedentemente

riportata, adattandola ai propri obiettivi. Il processo mantiene la partecipazione comunitaria come fulcro, ma integra le metriche ambientali e modelli economici per bilanciare efficienza e impatto ecologico.

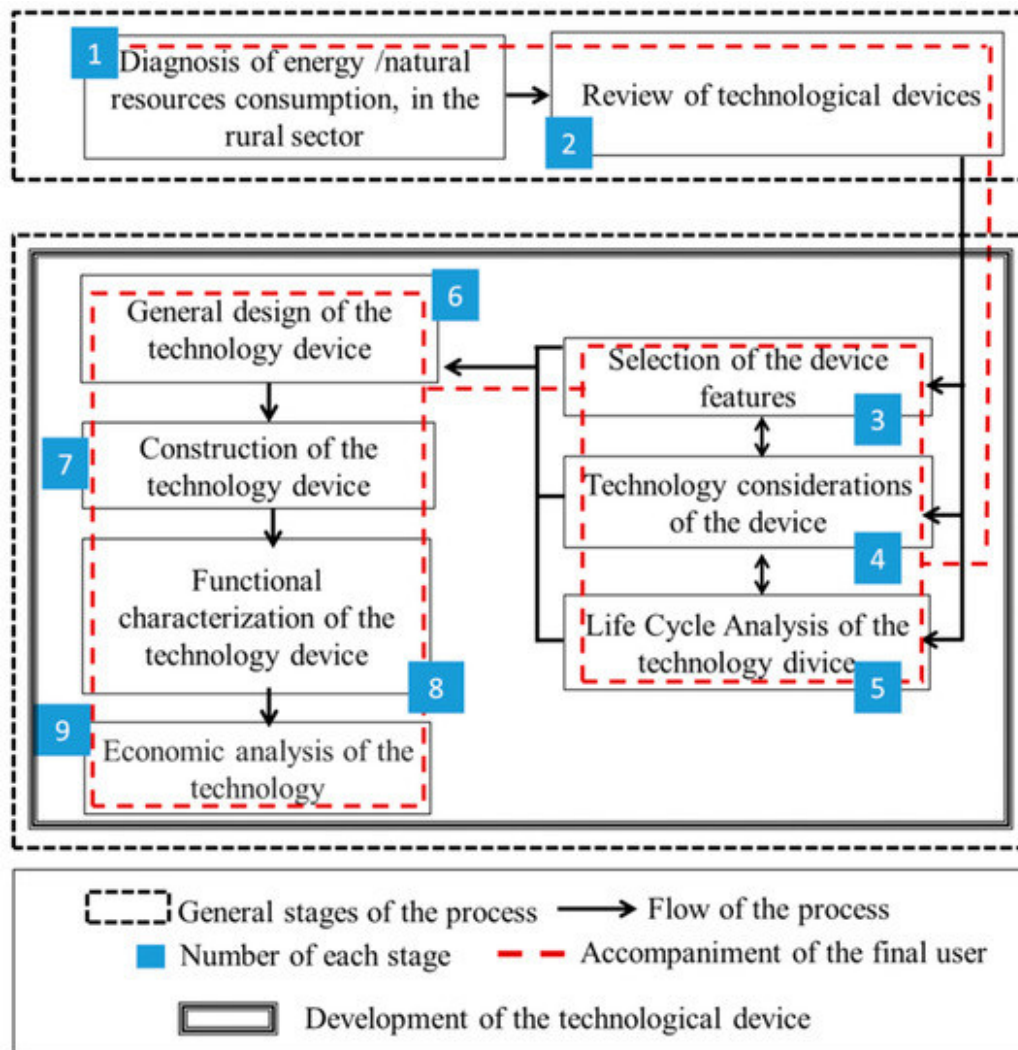


Figura 2.15 Schema metodo di progettazione utilizzato nello studio di López-Sosa et al.

1. Diagnosi del consumo di energia/risorse: Raccogliere dati sui bisogni energetici e sulle risorse naturali della comunità rurale tramite sondaggi e strumenti di valutazione.
2. Revisione dei dispositivi tecnologici: Esaminare le tecnologie disponibili, valutando l'impatto ambientale, l'adattabilità e l'accettazione dalla comunità.
3. Definire caratteristiche del dispositivo: Progettare concettualmente il dispositivo (geometria, materiali, prestazioni) usando simulazioni e considerando le raccomandazioni degli utenti.
4. Valutare il contesto d'uso: Considerare le condizioni meteorologiche, i materiali a basso impatto e la compatibilità tecnica e sociale con la comunità.

5. Analizzare il ciclo di vita: Eseguire un'analisi LCA per misurare l'impatto ambientale complessivo del dispositivo, dalla produzione allo smaltimento.
6. Progettazione integrata: Combinare tutte le informazioni raccolte per sviluppare il progetto definitivo del dispositivo.
7. Costruzione del dispositivo: Realizzare il dispositivo nella comunità, coinvolgere gli abitanti, raccogliere feedback e validare le funzionalità.
8. Testare e formare: Verificare prestazioni energetiche e sociali, formare gli utenti iniziali e fornire supporto tecnico per favorire l'adozione.
9. Analisi economica: Confrontare i costi e i benefici del dispositivo rispetto alle tecnologie esistenti per valutare i vantaggi e i compromessi.

Per completezza sono state vagliate altre proposte, tra cui quelle di Rahman, Yassierli e Widyanti (2023), che elaborano un metodo centrato sui fattori umani e sull'esperienza d'uso per migliorare l'adozione e la durabilità delle tecnologie agricole. Il loro processo, articolato in tre fasi (tra cui l'analisi dell'uso attuale, la selezione e la ponderazione dei criteri di design, e la priorità dei fattori chiave), identifica sei dimensioni fondamentali per il design appropriato:

1. sicurezza e prevenzione errori,
2. funzionalità ed economia,
3. usabilità,
4. compatibilità ergonomica,
5. riduzione dello sforzo fisico
6. informazione percepibile.

Tale approccio antropocentrico consente di progettare tecnologie più intuitive e sicure, adatte alle capacità e alle condizioni reali degli utenti rurali.

Infine si possono menzionare anche altri studi che rafforzano l'idea di una progettazione aperta, collaborativa e replicabile. Pearce (2012) propone il tema (caratteristico delle TA) Open Source Appropriate Technology (OSAT), che incoraggia alla condivisione di progetti e conoscenze, in formato digitale, per dare l'opportunità alle comunità di modificarli, migliorarli e adattarli in maniera indipendente.

Tekpe et al. (Tekpe, Ansah, & Akomah, 2022), invece, hanno applicato i principi dell'AT alla pianificazione urbana e all'edilizia sostenibile, dimostrando come una progettazione appropriata possa promuovere l'inclusione sociale e la riduzione dei costi senza compromettere la qualità della vita.

I diversi contributi convergono verso una visione comune: la progettazione di tecnologie appropriate è un processo interattivo, contestualizzato, partecipativo e nato dal basso. La popolazione non è semplicemente un destinatario, ma un co-progettista attivo. Il metodo integra strumenti di analisi socio-tecnica, progettazione creativa, valutazione multidimensionale e *governance* partecipativa. Questo pone al centro la sostenibilità umana e territoriale, piuttosto che una mera efficienza tecnica ed economica.

L'AT non è solo una pratica ingegneristica sostenibile, ma anche un insieme di punti di vista di innovazione sociale in grado di generare *empowerment* (inteso sia come crescita personale che come rivalsa sociale acquisendo il controllo della tecnologia e non essendone subordinati), autonomia e resilienza nelle comunità locali.

3. Contestualizzazione: Africa subsahariana

La positiva tendenza globale ad una transizione verso energie pulite ed efficienti ha evidenziato il divario energetico tra alcune aree del mondo. In determinati paesi questo argomento rimane particolarmente critico: uno di questi è l’Africa subsahariana, dove si concentra il 70% della popolazione mondiale considerata dall’ONU priva dell’accesso all’energia elettrica, non soddisfacendo il quantitativo minimo di 250kwh annui in contesto rurale e 500kwh in ambito urbano (IEA, World Energy Outlook, 2024). Quest’informazione, pur discutendone la quantificazione, ci dà senz’altro un’indicazione qualitativa su quali argomenti richiedono attenzione.

Il territorio subsahariano è contraddistinto da una gran percentuale di comunità rurali e in minor parte da grandi città. Negli ultimi anni è stato soggetto a un incremento demografico e ad un contemporaneo aumento della domanda energetica. Queste due fattori hanno portato alla luce le problematiche impiantistiche dovute alla scarsità di estensione della rete, le carenze infrastrutturali nazionali e i costi proibitivi di estensione e fornitura dell’energia.

Anche se nelle città è meno evidente, nelle aree rurali la difficoltà si manifesta soprattutto sotto forma di continui blackout, dovuti a difficoltà nel connettere le comunità più esterne. Ciò si ripercuote limitando la qualità della vita, creando complicazioni per l’istruzione e per apprendimento, problemi di sicurezza, criticità nei servizi sanitari di base e nella conservazione degli alimenti. Queste conseguenze ledono i diritti degli individui che vivono in tali aree limitandone le possibilità di crescita sia personale che collettiva.

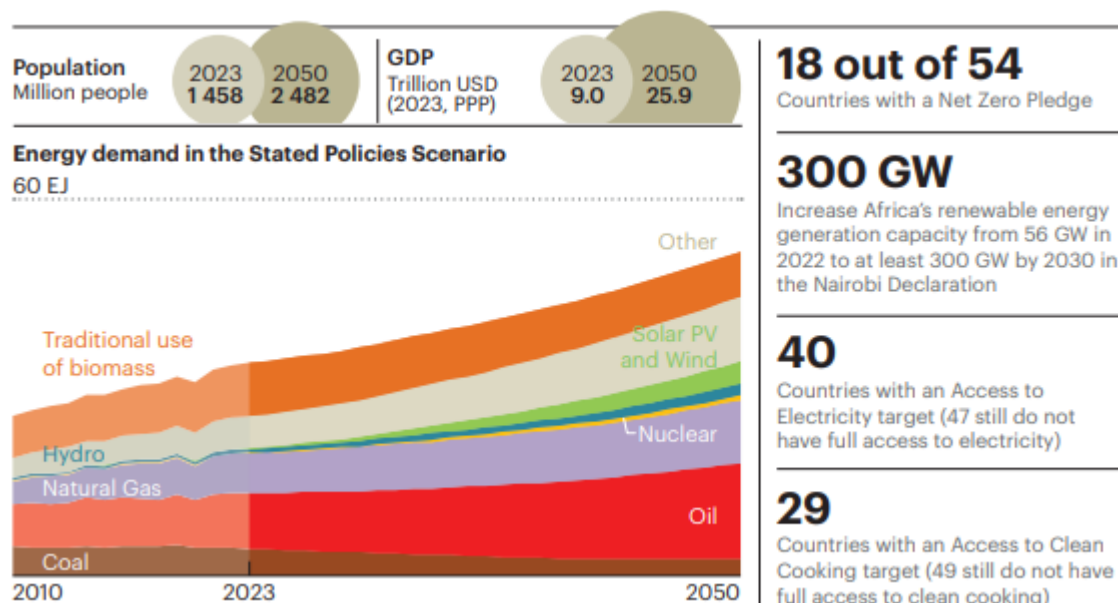


Figura 3.1 Informazioni estratte da World Energy Outlook 2024 a riguardo dell’SDG7 per l’Africa

I dati IEA (World Energy Outlook, 2024) evidenziano che l'economia del continente crescerà in media del 4% all'anno entro il 2030 e che la sua popolazione aumenterà di oltre 1 miliardo di persone entro il 2050; per sopperire a entrambi questi fattori sarà richiesta una significativa espansione del sistema energetico dell'intero continente. Attualmente 40 stati hanno soddisfatto la cifra imposta come target per l'accesso all'elettricità, mentre altri 47 non soddisfano i requisiti. Il divario è ancora maggiore sul fronte della cucina pulita, soli 29 paesi rispettano lo standard richiesto a fronte di 49 che non lo raggiungono completamente. Come mostra il grafico nella figura 3.1 riguardanti le sole quote di energie rinnovabili, le fonti a basse emissioni stanno crescendo rapidamente. Questa crescita è spinta dall'aumento degli investimenti in energia pulita (aumentata del 16% nel 2023), ma si concentra in una manciata di paesi con contesto politico favorevole e minori rischi percepiti: infatti solo pochi paesi hanno attratto la maggior parte degli investimenti privati nelle infrastrutture energetiche in Africa negli ultimi cinque anni (IEA, World Energy Outlook, 2024). Per raggiungere gli obiettivi fissati, saranno necessari molti più progetti, così da raddoppiare gli investimenti in energia pulita entro il 2030 come previsto nello Scenario degli Impegni Annunciati (*Announced Pledges Scenario*, APS), insieme a nuovi sforzi internazionali per migliorare la finanziabilità dei progetti. Entro il 2030 si prevede che circa l'80% della nuova capacità di generazione sarà dovuta a fonti rinnovabili, principalmente solare fotovoltaico, geotermico e idroelettrico, sia nello Scenario delle Politiche Dichiarate (*Stated Policies Scenario*, STEPS) che nell'APS. In parallelo, si registra una traiettoria positiva nell'accesso a soluzioni di cottura pulita: nuovi impegni politici e investimenti, inclusi quelli annunciati al Summit IEA per la cucina pulita, tenutosi in Parigi nel maggio 2024, hanno migliorato le prospettive: per la prima volta si è previsto che il numero di persone senza accesso a sistemi di cucina sicuri raggiungerà il suo limite entro il 2030 per poi decrescere, nell'ambito del programma STEPS.

Bisogna considerare che l'Africa ospita il 17% della popolazione mondiale, ma genera solo il 4% dell'approvvigionamento energetico globale. Nel 2018, il tasso di elettrificazione nell'Africa subsahariana era del 45%, con frequenti interruzioni di corrente e perdite economiche. Questo e molti altri fattori hanno ostacolato l'espansione industriale nel continente. Al contrario di quanto a prima lettura può essere dedotto da queste informazioni, il continente possiede le risorse solari più ricche al mondo, ma purtroppo la capacità solare fotovoltaica installata a livello globale è inferiore all'1% (IEA, World Energy Outlook, 2024). Uno dei principali vantaggi intrinseci alle risorse solari è quello di offrire la possibilità di soluzioni decentralizzate (e off-grid) per gli insediamenti più remoti. Secondo i dati si registra un aumento nel numero

di persone che hanno avuto accesso all'elettricità attraverso sistemi solari domestici, nell'Africa subsahariana, da 2 milioni nel 2016 a circa 5 milioni nel 2018 (IEA, World Energy Outlook, 2024). Da ciò si può dedurre che, con le giuste politiche, il solare potrebbe diventare una delle principali risorse per superare il deficit energetico del continente. Pertanto, è necessario approfondire e ampliare la ricerca sulle tecnologie solari nel continente per un processo decisionale informato da parte delle parti interessate. (Abdul-Ganiyu, Quansah, Ramde, Seidu, & Adaramola, 2020)

I tassi di elettrificazione divergono notevolmente nelle diverse regioni del mondo. Mentre diverse regioni del Nord del mondo sono destinate a raggiungere o hanno già raggiunto l'accesso universale all'elettricità, il Sud globale ancora deve intervenire per superare questa sfida, in particolare nei paesi dell'Africa subsahariana (Trotter, McManus, & Maconachie, 2017). La parte subsahariana del continente comprende tutti i paesi situati a sud dell'omonimo deserto. Tra i primi 20 paesi africani con scarso tasso di elettrificazione o addirittura senza accesso all'elettricità, 16 si trovano nell'Africa subsahariana, e 11 di questi sono colpiti da conflitti, fragilità e violenza (IEA, 2025). Oltre a ciò, i paesi subsahariani si trovano ad affrontare una forte sviluppo dell'elettrificazione a livello urbano. Il divario tra aree urbane e rurali nell'accesso all'elettricità nei paesi dell'Africa subsahariana si è ampliato ulteriormente, passando dal 49,71% nel 2000 al 50,30% nel 2022 (IEA, 2024). Questa divergenza è dovuta principalmente al fatto che le istituzioni politiche hanno storicamente concentrato il processo decisionale nei centri urbani, emarginando di conseguenza le comunità rurali. Boone (2003) nel suo articolo ha spiegato che ciò è dovuto al fatto che la configurazione territoriale dell'autorità in molti stati africani tende maggiormente al controllo politico centralizzato nelle aree urbane e nelle capitali. Ciò significa che le comunità rurali sono spesso trascurate in termini di partecipazione alla *governance* pubblica (Dianda, Tou, & Zidouemba., 2025).

Region	Share of Population Without Access (%)		Population Without Access (millions)
	2015	2022	2022
Sub-Saharan Africa	61	49	588
East Asia and Pacific	3	2	42
South Asia	13	2	33
Middle East and North Africa	3	3	13
Latin America and the Caribbean	3	1	9
Europe and Central Asia	1	0	0
All	13	9	688

Source: World Development Indicators.

Figura 3.2 Dati IEA sulle percentuali e sull'ubicazione della popolazione senza accesso all'energia

3.1 La situazione energetica in Uganda

L'Uganda è un paese dell'Africa subsahariana attraversato dall'equatore senza sbocco al mare, con popolazione di più di 45 milioni di abitanti e un tasso di crescita demografica tra i più alti al mondo, circa il 3% annuo (IEA EPR, 2023; World Bank). Nei due rapporti redatti dall'IEA denominati Energy Policy Review (EPR) e Energy Transmission Plan (ETP) emerge che questo stato riporta il tipico profilo energetico dei paesi del sud globale con rapida crescita demografica e domanda energetica in espansione.

Economicamente è classificata come paese in crescita ma ancora a basso livello di reddito, con una economia basata prevalentemente sulla produzione agricola (IEA EPR, 2023). L'indicatore PIL è cresciuto stabilmente negli ultimi anni, sebbene il consumo energetico pro capite continui a rimanere tra i più bassi globalmente (IEA ETP, 2023).

La struttura del sistema energetico vede il quasi totale dominio dell'energia fossile prodotta dalla biomassa tradizionale, per circa l'80–85% del consumo finale di energia, questo è dovuto in particolare all'utilizzo combustibile per la cottura domestica, per soddisfare i bisogni energetici delle aree rurali e per le attività del settore informale, ovvero tutti i piccoli business non regolamentati, di piccola dimensione e spesso a conduzione familiare (IEA EPR, 2023; IEA ETP, 2023).

Le fonti di energia moderna, come le fonti rinnovabili e quelle a basse emissioni (gas naturale), rappresentano ancora una quota limitata del mix nazionale (IEA EPR, 2023). Il problema principale quindi, come riportato nel documento Uganda 2023 Energy Policy Review (2023), non è la produzione di energia elettrica ma la transizione da biomassa a energia moderna.

L'accesso all'elettricità risulta ancora limitato con valori di circa 45–50% nazionale ma molto più basso se si considerano le aree rurali (IEA ETP, 2023; World Bank). Tuttavia la domanda di energia elettrica è in rapida crescita (circa 10% annuo) negli ultimi anni (IEA EPR, 2023).

A caratterizzare il mix di produzione di elettricità è per la maggior parte il settore idroelettrico, che risulta la fonte principale, seguito da piccole quote di solare e dal termoelettrico utilizzato come backup (IEA ETP, 2023). A tal proposito si legge sul Energy Policy Review che grandi progetti idroelettrici recenti, come Karuma e Isimba, hanno aumentato di molto la capacità installata sebbene si siano creati anche problemi di sostenibilità finanziaria nel sistema (IEA EPR, 2023) Le difficoltà non riguardano la capacità installata bensì sono legate all'accesso, alla rete e all'insufficiente domanda industriale.

Se si considerano invece le risorse e le riserve energetiche fruibili, vi è ancora un grande potenziale nel settore idroelettrico, vista la possibilità di installare un'ulteriore capacità di produzione; si potrebbe sfruttare di più anche l'energia solare considerato l'elevato valore di irradiazione (circa 5.1 kWh/m²/giorno). Oltre a ciò vi è il potenziale utilizzo della biomassa moderna e del petrolio, contenuto nel sottosuolo della regione, che attualmente viene utilizzato dal governo come leva per industrializzazione e export. (IEA EPR, 2023; IEA ETP, 2023).

Il paese si trova di conseguenza in una fase duale, portando avanti da un lato l'espansione fossile e dall'altro la pianificazione della transizione energetica.

Considerate queste premesse, le politiche energetiche attuali e la strategia portata avanti dal governo ugandese combinano l'elettrificazione decentralizzata, l'espansione idroelettrica e lo sviluppo petrolifero. Il piano di transizione mira a garantire l'accesso entro il 2050, riducendo l'uso di biomassa e aumento rinnovabili. Forte enfasi, nell'Energy Transition Plan (2023), viene posta sulla creazione di mini-grid come piano per l'elettrificazione rurale decentralizzata con l'obiettivo di riuscire a connetterle tutte assieme sotto un'unica rete nazionale. (IEA ETP, 2023) Il governo punta anche a sviluppare l'industria locale per sostenere domanda elettrica (IEA EPR, 2023).

Il piano di transizione richiede investimenti molto superiori ai livelli attuali (IEA ETP, 2023). Il suo finanziamento, attualmente, dipende fortemente dagli aiuti internazionali e dagli investimenti dei privati (IEA EPR, 2023). Il costo della transizione energetica resta uno dei principali ostacoli trasversali allo sviluppo energetico (IEA ETP, 2023).

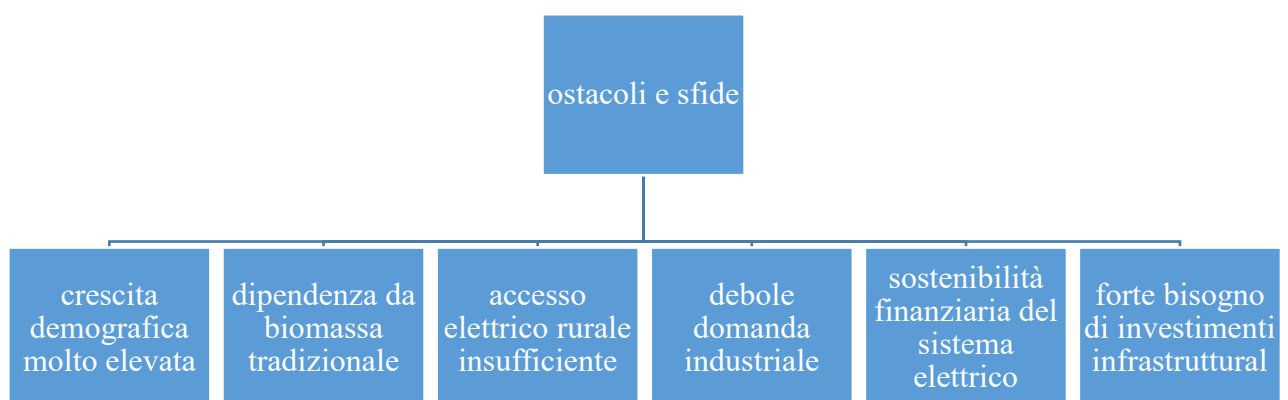


Figura 3.3 Schema difficoltà trasversali settore energetico Uganda - Africa subsahariana

La situazione dell'Uganda è interessante perché rappresenta un caso studio di un paese in cui si potrebbero sviluppare strategie differenti per poter contribuire all'abbattimento delle barriere e delle difficoltà di accesso. Dato che il piano attuale combina sviluppo fossile e rinnovabile, si

presentano le sfide tipiche dell'Africa subsahariana e dei paesi sud globali che hanno forte crescita futura della domanda energetica. Questo è uno tra i diversi motivi della scelta del luogo oggetto di studio.

Il ruolo di connessione tra tradizione e modernità è stato lasciato ai giovani, visti come mediatori tra valori culturali pre-bellici e influenze urbane/globali (Vorhölter, 2014). Per questo sono nate tensioni tra le norme tradizionali e i modelli culturali moderni, ma anche altre sfide riguardanti la trasformazione dell'identità del popolo Acholi e la frammentazione delle relazioni intergenerazionali. Dopo il conflitto le persone ambivano l'istruzione superiore, il lavoro e la possibilità di mobilità urbana, ciò è stato influenzato sia dalla guerra che da enti esterni come: media, ONG, istruzione urbana. (Vorhölter, 2014; Abaho, Mawa, & Asiiimwe, 2019).

Le condizioni di vita nei campi per sfollati interni erano drastiche, i superstiti che qui venivano obbligati a risiedere dovevano adattarsi al sovraffollamento dell'area difesa, nella quale l'accesso alle risorse era limitato e la comunità di origine era completamente isolata. Ciò ha avuto un effetto negativo sulla cultura Acholi con la percezione di perdita delle norme tradizionali e l'alterazione delle relazioni familiari a partire dai ruoli paterni, fino alla trasmissione delle responsabilità.

Socialmente ha causato fragilità delle reti di protezione sociale tradizionali e ha imposto una dipendenza dalle strutture esterne (ONG, chiese, progetti di sviluppo) che si percepisce tutt'ora (Joireman, 2018). Le atrocità commesse attraverso violenze, rapimenti, uccisioni di familiari hanno rappresentato un trauma indelebile che ha condizionato le scelte educative e professionali e la formazione dell'identità collettiva e individuale (Vorhölter, 2014; Abaho, Mawa, & Asiiimwe, 2019).

La città di Gulu, ufficialmente riconosciuta dal 2020, ha un ruolo di centro di ricostruzione infrastrutturale ed economica, essendo un punto di negoziazione interculturale e dando la possibilità di interazione tra vecchi e nuovi modelli di vita.

Le condizioni economiche post-conflitto vedono una povertà diffusa, caratterizzata da un apio tasso di disoccupazione giovanile. Il ruolo di supporto educativo, sanitario ed economico è attribuito alle ONG e ai progetti di sviluppo. Ciò ha messo in relazione modelli esterni (anche dovuti alla globalizzazione e alla velocità di diffusione delle informazioni) e pratiche culturali tradizionali causando cambiamenti nella vita familiare e comunitaria, dovuti all'integrazione tra questi due mondi diversi. Ne consegue una marcata influenza urbana e globale da parte dei media, dell'istruzione, e dei valori delle ONG (Vorhölter, 2014).

3.3 Comunità rurali e offgrid

L'esigenza di fornire energia equa e sicura per tutti fa sì che non si possano ignorare le necessità chi vive in un contesto non favorevole alla connessione. Esistono insediamenti autosufficienti che vivono senza essere collegati alle reti di distribuzione tradizionali, come la rete elettrica nazionale o l'acquedotto, basandosi invece sulle proprie capacità e le risorse locali tramite tecnologie autonome per soddisfare i propri bisogni. Generalmente sono indicate come “*comunità rurali*” e, a differenza di chi vive in realtà urbane, hanno bisogno in maniera rapida, affidabile e conveniente di elettricità per i residenti nelle aree remote, che attualmente ne sono privi. In questi posti dove le famiglie hanno meno possibilità di approvvigionamento di energia, alcune si organizzano in vere e proprie comunità autonome cercando di costituire una mini-grid (diventando a loro volta una piccola cittadina), altre si accordano tra di loro generando e condividendo in maniera flessibile, rendendosi così parte fondamentale del sistema energetico, dando vita ad un alternativa detta “bricolage energetico” (di questo concetto si tratterà in seguito). Per chi decide di far parte di una mini-grid, i sistemi adottati promuovono un approvvigionamento energetico più rapido e flessibile, soprattutto se integrati con componenti aggiuntivi come l'accumulo di elettricità in un sistema ibrido (Mazzeo, et al., 2021). Data la lenta estensione dei sistemi di rete convenzionali e date le necessità prima descritte, i generatori di energia rinnovabile hanno creato sempre più interesse come possibile alternativa e soluzione decentralizzata, non collegata alla rete pubblica, e che genera elettricità basata su varie tecnologie pulite. Una di queste è l'elettificazione rurale fotovoltaica e rappresenta, in molti casi, l'unica speranza di accesso all'elettricità. Diversi studi dimostrano come nelle regioni dei paesi in via di sviluppo con una bassa densità di popolazione vengano preferite soluzioni autonome per ottenere accesso all'energia. Implementare il fotovoltaico in questo contesto può essere una delle soluzioni sostenibili per i villaggi rurali. Con il calo dei prezzi di mercato dei pannelli PV vi è stato un cambiamento di scala nell'ultimo decennio in termini di dimensioni e sostenibilità e si sono sviluppati programmi su larga scala con migliaia di sistemi solari domestici e lunghi periodi di servizio di funzionamento e manutenzione. (Carrasco, Martín-Campo, Narvarte, Ortuño, & Vitoriano, 2016).

I piccoli sistemi energetici, come i sistemi solari domestici, stanno rapidamente diventando una tecnologia popolare per l'elettificazione rurale distribuita in molte parti del mondo grazie alle loro dimensioni relativamente ridotte, alla facilità di installazione e alla scalabilità. Il loro costo, permissivo per alcuni e proibitivo per altri, ha impedito loro la completa espansione (Levin & Thomas, 2014).

3.4 I metodi di pagamento offgrid

Un fattore importante che influisce sull'adozione di queste tecnologie è il costo: per garantire l'accesso all'elettricità alle famiglie è necessario che questo sia inferiore al costo delle alternative comunemente utilizzate (ad esempio per l'illuminazione l'utilizzo di lampade a cherosene).

Diversi fattori socioeconomici influenzano l'elettrificazione rurale nell'Africa subsahariana. La richiesta crescente di generazione di energia elettrica in luoghi remoti è dovuta in parte alla crescita demografica e industriale, in parte alle politiche governative: essa svolge un ruolo importante nella promozione dell'elettrificazione rurale (Carabajal, et al., 2024). I progressi tecnologici svolgono altresì un ruolo importante nel rendere il processo di elettrificazione più fattibile e conveniente per fornire elettricità alle aree rurali. Nell'articolo *Social and Economic Impact Analysis of Solar Mini-Grids in Rural Africa: A Cohort Study from Kenya and Nigeria* si evince che i livelli di reddito sono un fattore chiave per l'elettrificazione rurale. È immaginabile che con l'aumento dei redditi, le famiglie possano permettersi più elettricità e ritengano utile l'investimento in elettrodomestici (Carabajal, et al., 2024).

In molti paesi, la struttura tariffaria della rete elettrica implica un certo benessere economico, in particolare ci sono regioni dove i consumi elettrici sono tendenzialmente bassi e i costi di allacciamento alla rete elettrica risultano eccessivamente elevati.

Esistono diversi specifici meccanismi finanziari che possono essere utilizzati per superare il requisito di capitale: sussidi, programmi di noleggio e micro crediti. Alcuni governi e agenzie di sviluppo hanno erogato sussidi e sviluppato programmi di micro credito per piccoli sistemi energetici distribuiti, e dei sussidi per l'elettrificazione rurale basata sulla rete (questi ultimi sono spesso significativamente più elevati) (Levin & Thomas, 2014). Il risultato è che, nei programmi di impianti solari domestici, le popolazioni rurali povere pagano un prezzo elevato per ogni unità di consumo di elettricità e non ricevono la stessa assistenza governativa di coloro che assumono elettricità dalla rete. Le famiglie rurali accedono all'energia tramite sistemi rateizzabili (anche descritti come *pay-as-you-go*) che forniscono sì il materiale in anticipo, ma costringono a vivere costantemente sotto il timore di venir scollegati se non son in grado di pagare. In molte situazioni, il benessere potrebbe essere migliorato erogando gli stessi ingenti sussidi ma mirati agli impianti solari domestici, portandoli ad un costo nominale. Esempi, come il programma SHS sovvenzionato a pagamento in Sudafrica e il programma di micro credito in

Ghana, suggeriscono che alcuni governi ne sono consapevoli e hanno iniziato a incanalare i sussidi verso tecnologie decentralizzate. (Levin & Thomas, 2014).

Il modello finanziario a pagamento per servizio (Cabraal, 2012) è stato ampiamente adottato in molti di questi programmi, delegando la responsabilità dell'implementazione e della gestione dei programmi a società di servizi energetici specializzate (ESCO) (Carrasco, Martín-Campo, Narvarte, Ortuño, & Vitoriano, 2016).

Ad esempio (Munro P. , 2019), in alcuni paesi come l'Uganda, la distribuzione dell'energia elettrica è gestita da società di servizi privatizzate, nate nell'ambito delle politiche di liberalizzazione del settore energetico. Queste imprese hanno introdotto (a partire dagli anni 2010) sistemi di misurazione prepagata che hanno progressivamente sostituito i precedenti metodi post-pagamento.

Tali sistemi richiedono che gli utenti acquistino anticipatamente crediti per l'elettricità, utilizzando canali bancari, servizi digitali o piattaforme di pagamento mobile. Sebbene inizialmente destinati alle piccole e medie imprese, i contatori prepagati si sono diffusi anche in ambito residenziale. In molti casi, un unico contatore viene condiviso da più abitazioni o unità di consumo, e i costi vengono suddivisi tra gli utenti attraverso accordi informali o collaborativi. Questo modello collettivo di pagamento riflette un approccio adattivo e flessibile, in cui la gestione dell'energia diventa una pratica comunitaria e negoziata.

Accanto ai sistemi collegati alla rete elettrica, si sono sviluppate soluzioni *pay-as-you-go* (PAYG) per l'energia solare, basate su micro finanziamenti e tecnologie di controllo remoto. Questi dispositivi consentono di acquistare impianti fotovoltaici con un acconto iniziale e di saldarli gradualmente attraverso pagamenti periodici. In caso di mancato versamento, la tecnologia integrata di blocco remoto interrompe automaticamente l'erogazione dell'energia. In entrambi i casi (misurazione prepagata e sistemi PAYG) l'accesso all'elettricità avviene tramite pagamenti anticipati e digitalizzati, spesso gestiti attraverso servizi di denaro mobile. Tuttavia, il costo e l'affidabilità del servizio restano soggetti a variazioni, determinando una condizione di incertezza che incide sulla pianificazione economica delle famiglie. Queste modalità di pagamento riflettono modelli energetici decentralizzati, basati sulla combinazione di risorse formali e informali e su pratiche di adattamento quotidiano che caratterizzano molte economie contemporanee.

3.5 Bricolage energetico

Un altro elemento caratteristico che emerge dalla letteratura riguardante le comunità emergenti è il bricolage energetico: nel articolo "On, Off, Below and Beyond the Urban Electrical Grid" (Munro P. , 2019) viene presentato come il metodo utilizzato da chi vive in ambiente rurale per il proprio sostenimento, sopravvivenza e mantenimento. L'identificazione di queste figure, permette di analizzare un fenomeno interessante: le abilità utilizzate per adattare la tecnologia nascono dai concetti acquisiti empiricamente. L'analisi dei sistemi "ri-arrangiati" fa capire che il solo trasferimento tecnologico, inteso sia come tecnologie che metodi, non sia in molti casi né necessario né funzionale. Al contrario lo studio e lo sviluppo di idee ad create ad hoc per adattarsi al contesto che le ospiterà può portare un maggiore beneficio. Nell'articolo, a supporto di questa tesi, vengono citati "fallimenti" infrastrutturali nel Sud del mondo e pertanto l'idea di poter contribuire studiando e supportando/contribuendo a idee locali si presuppone più utile e adeguata per supportare le comunità. L'allontanarsi dai concetti tradizionali, per chi ha studiato con una visione Nord centrica, risulta quindi necessario: allontanandosi da una prospettiva di fornitura di reti centralizzate funzionanti per paesi industrializzati si può dare maggiore comprensione alle forme di adattamento creativo, parte integrante delle geografie infrastrutturali rurali e periurbane.

Nei contesti del Sud globale questo fenomeno è tendenzialmente promettente e merita un ulteriore analisi. In queste aree, che sono caratterizzate dalla carenza di servizi pubblici e da infrastrutture non sempre adeguate e funzionanti, le popolazioni hanno sviluppato strategie per accedere a risorse fondamentali come elettricità, acqua, trasporti e comunicazioni. Tali pratiche, spesso informali o marginali, sono un modo di "fare città" dal basso, costruendo soluzioni funzionali e resilienti a partire da ciò che è disponibile.

La logica materiale del "fare con ciò che si ha" nel campo delle infrastrutture e dei servizi ne dà una descrizione sommaria: come nel "fai da te" si combinano oggetti per creare nuove funzioni, gli abitanti delle città combinano risorse, tecnologie e relazioni per generare forme alternative di utenza. Questo processo collettivo e dinamico si manifesta attraverso adattamenti, riparazioni, collegamenti provvisori e pratiche quotidiane di sopravvivenza.

Le azioni nascono principalmente da necessità economica, ma anche da conoscenze locali/tradizionali e da forme di cooperazione sociale. Gli abitanti costruiscono reti di scambio, apprendono strategie tecniche e sviluppano sistemi di solidarietà che permettono alla comunità di "funzionare", soprattutto quando le alternative risultano inaccessibili. Le famiglie e gli

individui in Africa possano essere considerati dei "bricolage", che utilizzano in modo creativo e ingegnoso qualsiasi materiale a disposizione per cercare di soddisfare i propri bisogni e desideri energetici (Munro & Bartlett, 2019).

Dove la rete nazionale è presente ma insufficiente, gli abitanti attraverso soluzioni ibride e creative riescono a soddisfare i propri bisogni energetici. Alcuni utilizzano piccoli pannelli solari fotovoltaici di produzione cinese, altri condividono generatori o batterie ricaricabili, altri ancora dipendono da connessioni collettive informali alla rete pubblica (dove vengono ripartiti i consumi degli allacciati ad un unico contatore). In questo mix di pratiche, l'elettricità non è uniformemente distribuita, ma un insieme di flussi e configurazioni di diverso tipo.

Munro osserva che il bricolage energetico di Gulu non rappresenta un fallimento dell'elettrificazione, ma una sua reinterpretazione dal basso adattata alle esigenze. Gli abitanti non attendono passivamente l'estensione della rete statale, costruiscono "vite socio-elettriche" attraverso la condivisione e le molteplici strategie di adattamento. L'energia torna così ad una negoziazione economica, politica e simbolica, in cui le persone non si adattano semplicemente alle imposizioni ma cercano di farsi valere ridefinendo le relazioni di potere e di dipendenza nei confronti di quello Stato e del mercato che altrimenti li taglierebbero fuori.

La visione tradizionale della città come sistema ordinato e unitario, integrato da infrastrutture centralizzate, è quindi messa in discussione. Come mostrano autori quali Lawhon, Ernstson e Silver (2013), nelle città africane e latinoamericane prevalgono invece "configurazioni infrastrutturali eterogenee": reti parziali, frammentate, spesso autogestite, che convivono con quelle ufficiali.

Il bricolage non è soltanto una risposta temporanea alla mancanza di servizi, ma un principio strutturale del funzionamento delle comunità emergenti: il fatto che le periferie e gli insediamenti funzionino, e continuino a funzionare adattandosi, rappresenta sia una forma di resilienza sia un sintomo di disuguaglianza. Le popolazioni più povere sono costrette a improvvisare, ma questa improvvisazione rivela la capacità di resistere a un sistema escludente e talvolta elitario. Come sostiene Simone (2004) con la formula "people as infrastructure", gli abitanti stessi diventano infrastruttura: attraverso la cooperazione, la fiducia e lo scambio di conoscenze, costruiscono reti sociali che suppliscono alle mancanze dello Stato.

Questo non è solo un fenomeno tecnico, ma anche (1) politico. Esso mette in luce il modo in cui i cittadini producono collettivamente spazio, potere e appartenenza. La città non è più vista

come un'entità progettata dall'alto, ma come un campo di negoziazione continua tra formale e informale, tra controllo e libertà, tra stabilità e flessibilità.

È una forma di (2) sostenibilità informale: in molti casi le soluzioni di bricolage riducono l'impatto ambientale e promuovono il riuso di materiali o energie. L'uso diffuso di piccoli impianti solari, sistemi di raccolta dell'acqua piovana o reti di scambio locale rappresenta un modello alternativo di sostenibilità fondato su economie circolari e su pratiche comunitarie.

Il bricolage si lega ai concetti di (3) resilienza urbana e (4) innovazione sociale. Le comunità rurali non sono solo luoghi di vulnerabilità, ma anche nidi di soluzioni sperimentali. Laddove le infrastrutture ufficiali falliscono, emergono nuove forme di ingegno collettivo che ridefiniscono il significato stesso di modernità e sviluppo.

Infine, il bricolage può essere letto anche come un (5) linguaggio simbolico della città contemporanea. Le connessioni improvvisate, gli oggetti riadattati, le costruzioni ibride raccontano storie di creatività, di sopravvivenza e di identità. Le città del mondo globalizzato sono fatte di bricolage visivo e materiale, dove il moderno e il tradizionale, il tecnologico e il manuale si intrecciano continuamente.

Le relazioni con la rete elettrica possano variare: attraverso azioni di bricolage energetico stanno emergendo relazioni più ambivalenti con la rete elettrica, sostituendosi (sebbene non eliminando completamente) allo sviluppo energetico basato sulla relazione rete-rete tradizionale. Il ruolo degli abitanti delle città è l'elemento principale che contraddistingue le modifiche e gli adattamenti composti ad hoc. Nessi non sono "clienti" o "utenti di servizi" passivi, ma attraverso diversi movimenti e connettività, spesso in condizioni di precarietà, sono gli autori e progettisti del miglior uso della tecnologia adeguandolo alle loro necessità (Lawhon, Ernstson, & Silver, 2013).

3.6 Il fine vita delle tecnologie off-grid

Con il calo dei prezzi delle tecnologie solari i dispositivi off-grid hanno subito un enorme espansione in zone come l’Africa subsahariana, dove hanno cambiato le possibilità di accesso all’energia. Pannelli, batterie e lampade fotovoltaiche hanno raggiunto milioni di famiglie distribuite su territori non urbani, offrendo nuove possibilità di illuminazione e comunicazione. Tuttavia, dietro questa immagine di progresso sostenibile si nasconde un problema crescente riguardante l’uso e smaltimento delle tecnologie a fine vita. Alcuni prodotti non hanno altra possibilità se non quella di esser catalogati come rifiuti.

La vita dei prodotti solari non termina nel momento in cui smettono di funzionare. In contesti privi di infrastrutture di riciclaggio, basandosi sulle informazioni riportate da Cross e Murray (2018) come descritto nel loro articolo “The afterlives of solar power: Waste and repair off the grid in Kenya”, le tecnologie a fine vita seguono percorsi multipli e imprevisi. Circa il 65% dei dispositivi guasti rimane nelle abitazioni: vengono riposti sotto i letti, nei cassetti o sopra gli armadi, come oggetti in attesa di una seconda possibilità. Alcuni vengono smontati per ricavarne componenti utili (fili, batterie o pannelli) altri vengono adattati a nuovi usi, come torce o carica batterie artigianali. In molti casi, i prodotti non vengono considerati “rifiuti”, ma beni dormienti, conservati per il loro potenziale valore futuro o per l’investimento economico che hanno rappresentato (Cross & Murray, 2018).

Oltre alla conservazione domestica, un’intera economia della riparazione prolunga la durata di questi oggetti distinguendosi fortemente dalle tendenze consumiste di paesi sviluppati (che oltre a sostituire direttamente gli oggetti malfunzionanti prediligono il “nuovo” e così facendo la possibilità riparativa viene scoraggiata). Nei mercati rurali e nelle piccole città operano artigiani e tecnici locali che riparano radio, lampade, telefoni e sistemi solari, utilizzando strumenti minimi (saldatori, cacciaviti, fili elettrici) e competenze pratiche acquisite nel tempo. Questi interventi, dal costo ridotto, permettono alle famiglie di continuare a usare la luce solare e di trarne anche piccoli guadagni economici, ad esempio ricaricando telefoni per altri utenti (Cross & Murray, 2018).

Le pratiche di riparazione rappresentano così un sistema funzionante e decentralizzato di gestione del fine vita, fondato sulle conoscenze empiriche, sullo scambio locale e sulla creatività tecnica. Allontanandosi dai modelli centralizzati di riciclo promossi da agenzie internazionali, questo ecosistema informale mantiene in circolazione materiali e competenze, riducendo la quantità effettiva di rifiuti elettronici. La riparazione, come sottolineano Cross e

Murray (2018) è interpretata anche come atto sociale: produce relazioni di fiducia, solidarietà e reciprocità, ponendosi come alternativa concreta alle altre strategie riesce a restituire la giusta importanza agli oggetti e ai materiali che hanno richiesto sforzo e impegno nel procurarseli.

Sebbene alcuni dispositivi raggiungono invece le officine aziendali nelle grandi città, dove vengono sostituiti o accumulati in magazzini, la maggior parte dei flussi materiali rimane intrappolata nei villaggi, lontano dai centri di raccolta e dalle filiere di recupero (Cross & Murray, 2018). Le politiche che promuovono il riciclaggio formale (basate sulla “responsabilità estesa del produttore”) risultano spesso inapplicabili e finiscono per penalizzare i riparatori locali, considerati impropriamente “generatori di rifiuti”.

Il caso del solare off-grid in Kenya mostra che il fine vita delle tecnologie non coincide con la loro morte materiale. Tra guasto e smaltimento si apre uno spazio sociale denso, popolato da oggetti semi-funzionanti, pezzi recuperati e saperi artigianali (Cross & Murray, 2018). Riconoscere queste forme di riuso e riparazione significa ampliare l’idea stessa di giustizia energetica: non solo diritto all’accesso alla tecnologia, ma anche possibilità di prolungarne la vita, di trarne valore e di gestirne in modo equo le conseguenze ambientali.

In parallelo, anche le batterie al piombo (elemento fondamentale per lo stoccaggio di energia nei sistemi off-grid) seguono percorsi alternativi di riuso e riparazione. In uno studio sul riutilizzo delle batterie di auto usate come sistemi di accumulo domestici, Varesio (2025) osserva che, nelle economie locali dell’Uganda settentrionale le batterie usate per automobili e sistemi di accumulo sono un esempio calzante dato che non vengono immediatamente smaltite, ma rigenerate, ricaricate o adattate a nuovi impieghi, rendendole così oggetti che non hanno un vero e proprio fine vita, ma concettualmente potrebbero avere durata infinita se correttamente mantenuti. Tecnici e artigiani verificano la densità dell’acido, sostituiscono l’elettrolita con acqua distillata o piovana (in mancanza d’altro), puliscono i terminali e recuperano le piastre ancora attive. Attraverso questi interventi manuali e iterativi, le batterie “liquide” vengono ricondizionate più volte, a differenza delle moderne batterie sigillate o al litio, progettate per non essere riparate (Varesio, 2025).

Il riuso sociale delle batterie segue anche esso modalità creative e decentralizzate: dispositivi non più adatti all’avviamento dei veicoli vengono impiegati come riserve di energia domestica per alimentare lampade, radio o piccoli sistemi fotovoltaici. Le batterie rigenerate vengono scambiate, vendute o donate, costruendo reti di condivisione energetica che colmano il divario infrastrutturale tra aree urbane e rurali (Varesio, 2025). Queste pratiche rappresentano una

tecnologia di accumulo dal basso, che combina sostenibilità economica e adattamento tecnico alle risorse disponibili. Le batterie al piombo, considerate obsolete nel Nord industrializzato, si rivelano invece strumenti resilienti, capaci di mantenere in vita sistemi energetici locali e di accrescere l'autonomia delle comunità.

Tuttavia, come viene fatto notare, il riuso delle batterie presenta anche rischi ambientali e sanitari. La manipolazione del piombo e dell'acido solforico senza dispositivi di protezione adeguati può generare ustioni, intossicazioni e contaminazione del suolo e delle acque. L'assenza di impianti di trattamento e di regolamentazioni efficaci accentua queste vulnerabilità. Nonostante ciò, le pratiche di rigenerazione e riutilizzo contribuiscono a limitare la dispersione dei materiali e a mantenere l'accesso energetico a fasce di popolazione escluse dal mercato formale. Questo evidenzia una necessità energetica che ha valore maggiore del potenziale rischio per soddisfarla, è pertanto un argomento da trattare e analizzare ai fini della miglior comprensione delle soluzioni per queste "famiglie".

Il ciclo di vita delle batterie e dei dispositivi solari nel Sud globale non segue quindi la linearità "produzione-uso-smaltimento" ma piuttosto di un circuito circolare di riutilizzo e manutenzione, dove la conoscenza locale e la riparazione sostituiscono il riciclo industriale (Cross & Murray, 2018; Varesio, 2025), rispettando ancor più etica e sostenibilità ambientali. In queste reti di microimprese, tecnici e utenti ne sono parte integrante, costituendo "un'infrastruttura sociale" dell'energia, capace di integrare innovazione, economia popolare e pratiche di sostenibilità quotidiana.

In molte regioni dell'Africa e del Sud del mondo, il "fine vita" tecnologico è dunque anche un inizio. Le tecnologie rotte non muoiono: si trasformano, circolano e sostengono la vita quotidiana di milioni di persone. La riparazione e il riuso, pur nella loro precarietà, rappresentano una risposta concreta alle disuguaglianze energetiche e ambientali, e una via di transizione più equa e sostenibile verso il futuro (Cross & Murray, 2018; Varesio, 2025).

4. Metodologia adottata per la progettazione di una tecnologia appropriata

All'interno di questo capitolo viene analizzato il procedimento della ricerca, articolando le diverse fasi e fornendo le informazioni necessarie sulla metodologia di ricerca e dei metodi seguiti per delineare la successione dei diversi periodi che compongono l'intero progetto.

4.1 Progettazione della tecnologia appropriata seguita

Come delineato in maniera più ampia, teorica e generale da Sianipar (Sianipar, Yudoko, Dowaki, & Adhiutama, 2013) e più specifico-pratica nell'esempio esposto da López-Sosa et al. (2019) e da altri studiosi in diversi altri *Paper*, la progettazione appropriata consta di più fasi che si possono riassumere in pianificazione, ideazione, progettazione e valutazione. Si adattano quindi le suddette al presente progetto e mantenendo l'ordine gerarchico dal carpire le informazione, elaborarle, riformularle sotto aspetti utili alla ricerca per poi valutarle e dare così un contenuto non solo ricco di informazioni selezionate ma anche adeguato al tipo di ricerca.

Nello specifico lo studio è stato svolto seguendo la linea:

1. *Research and Literature Review*
2. *Field Analysis*
3. *Define and evaluation of used system*
4. *Make a proposal and evaluate it*

dove le differenti fasi comprendono, a loro volta, più sottocategorie che vengono esplorate singolarmente.

4.1.1 Revisione e ricerca della letteratura



Figura 4.1 Fasi di progettazione seguite

La fase di ricerca e revisione bibliografica si è articolata in una prima parte generale nel mese di agosto 2025; l'obiettivo era attingere e selezionare più informazioni possibili tra le fonti di interesse attorno ai seguenti ambiti:

- strumenti di valutazione dell'appropriatezza della tecnologia
- strumenti e metodi di valutazione dell'impatto sociale della tecnologia
- sistemi modulari di generazione di energia elettrica/meccanica in contesti off grid
- sistemi di utilizzo dell'energia non convenzionali per ridurre i consumi in comunità in povertà energetica
- fine vita di pannelli fotovoltaici in Europa e in Africa
- “bricolage energetico”
- batterie per stoccaggio dell'energia in ambito rurale
- povertà energetica
- analisi tecnica e sociale di diverse tipologie di pannelli solari in Africa subsahariana (usato europei; generico cinese/indiano; nuovo certificato start-up internazionali) per uso domestico
- analisi e impatto sociale dei commerci formali o informali di biciclette usate o pannelli solari (o entrambi) di seconda mano tra Europa e Uganda
- analisi della circolazione delle batterie al litio a Kampala per mobilità elettrica (mototaxi e auto ibride/elettriche), delle loro applicazione secondarie e della gestione del loro fine vita

- analisi tecnico e sociale di una mini-grid in ambito rurale, vicino a Gulu, e di come le persone alterano la tecnologia per rispondere ai propri valori, conoscenze e bisogni.

All'atto pratico la ricerca è stata condotta mediante parole chiave (almeno due per ogni punto elencato) sulle biblioteche di ateneo, e su riviste open source disponibili su *google scholar*. La conclusione del suddetto passaggio ha permesso quindi di aver un'idea sommaria relativa alle applicazioni appropriate, al contesto generale riguardante la difficoltà di accesso all'energia e la situazione energetica riguardante l'Africa subsahariana, oggetto dello studio.

4.1.2 Analisi sul campo

La fase successiva è stata la preparazione e l'effettiva analisi sul campo: grazie al contatto con due Dottori di Ricerca, Amarilli Varesio (PhD in Antropologia) e Marcello Rava (PhD in Meccanica), a contatto con l'università di appartenenza e al professore Walter Franco (PhD in Meccanica Applicata), referente del progetto, è stato possibile scegliere l'ubicazione della ricerca e utilizzare una rete di contatti che ne ha permesso lo svolgimento. Questa collaborazione ha permesso di individuare e creare un rapporto con un ente di riferimento per poter svolgere l'attività in territorio straniero, perseguendo gli obiettivi di ricerca e rimanendo tutelati e aiutati nelle pratiche burocratiche e nell'iter di conduzione del lavoro nel paese ospite. L'istituzione individuata è il "Centre for African Research" (Centro per la Ricerca Africana) di Gulu, amministrato dal Dott. Arthur Owor. È stato svolto un primo incontro conoscitivo il 23 ottobre 2025 e sono stati predisposti dei documenti, consultabili nella sezione degli allegati, riguardanti la presentazione del progetto e la proposta di ricerca.

Oltre all'aspetto burocratico, coperto dall'ente, la rete di contatti condivisa dai co-supervisor ha permesso di individuare un collaboratore di ricerca locale, l'ing. David Kilama, che oltre a svolgere un ruolo di assistente, interprete e guida locale ha contribuito attivamente alla ricerca, fornendo le sue competenze di Ingegnere dei Biosistemi, con competenze sia sull'aspetto dell'energia da biomassa che su quello agrario (motore delle attività locali), e offrendomi la possibilità di soggiorno come ospite nella sua abitazione e nella sua comunità: ciò ha permesso di ottenere un punto di vista interno e più sensibile alle esigenze della comunità locale.

Segue la *field analysis* ovvero la ricerca sul campo grazie a un periodo di 5 settimane in una comunità rurale periurbana, nei pressi della città di Gulu, nell'Uganda settentrionale, finalizzata a raccogliere informazioni e dati in modo diretto e comprendere la mentalità nonché gli usi e abitudini della comunità: sono state condotte interviste ad utenti seguendo la linea guida di un questionario pre-redatto e adattato e perfezionato, con l'aiuto dei referenti universitari oltre che quelli locali, per meglio comprendere il contesto locale. La flessibilità gioca un ruolo importante nell'ottenere le informazioni e farvi convergere la discussione, lasciando sempre che l'intervistato, libero anche di non rispondere, condivida ciò che ritiene più importante della sua esperienza. Il target di tali interviste era quello di famiglie utenti all'interno dell'area abitativa, ed è stato poi esteso considerando anche i piccoli business che richiedono consumi energetici per essere svolti. Molte informazioni sono state rielaborate e analizzate in conversazioni con esperti quali: studenti e membri dell'università, inventori e tecnici, i quali

hanno fatto emergere le varie problematiche da un punto di vista differente, oltre a fornire indicazioni e contatti basati sulle loro conoscenze.

Alla fase di intervista segue una valutazione quantitativa attraverso un questionario, che ha lo scopo di dare un valore confrontabile sulle percezioni individuali corrispondenti alle informazioni precedentemente condivise.

Al contempo è stato ricercato un gruppo di tre persone esperte per condurre una scelta sulle caratteristiche a cui dare più attenzione durante la progettazione, oltre che ottenere da loro l'ubicazione di mercati, compagnie o fabbriche che potessero utilizzare tecnologie appropriate.

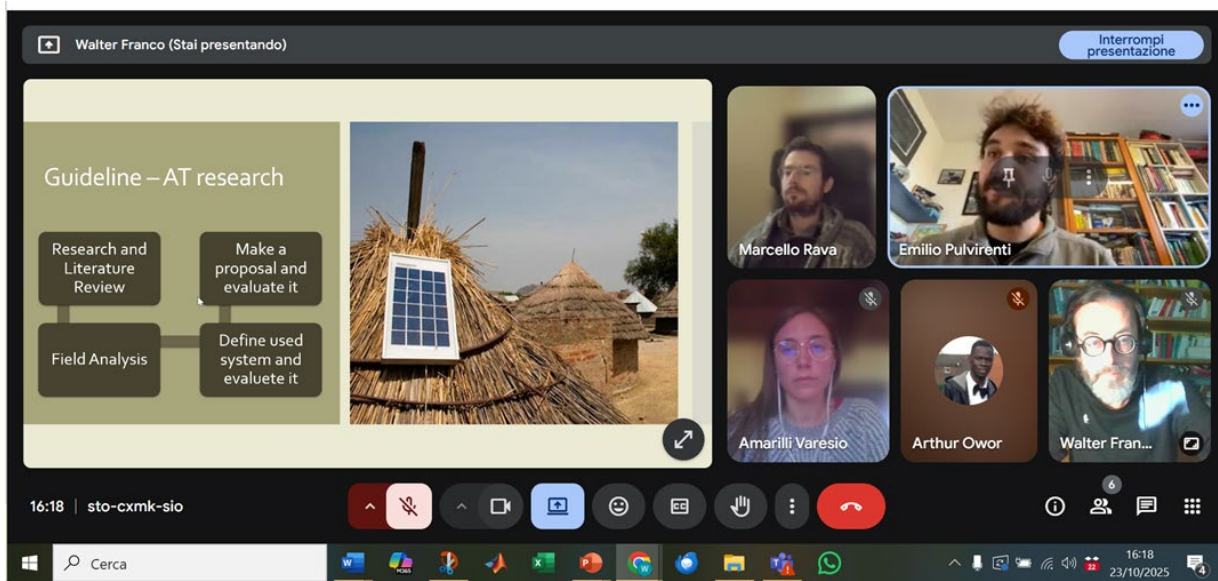


Figura 4.2 Prima riunione conoscitiva e di presentazione del progetto al ente ospitante 23/10/2025

4.1.3 Definizione dei sistemi in uso e valutazione

Nel periodo successivo al rientro dal soggiorno di ricerca in Uganda, le informazioni e i dati raccolti sono stati rielaborati e trascritti per poter effettuare valutazioni, da utilizzare nella stesura della tesi e svolgere un'analisi comparativa. Come prima fase sono state riportate le pratiche quotidiane adottate, le abitudini nel rapportarsi all'energia e le modalità di accesso, la ricostruzione dei sistemi energetici effettivamente in uso e le dinamiche decisionali legate all'adozione delle soluzioni energetiche: questa rielaborazione ha consentito di definire le esigenze e di individuare schemi ricorrenti nelle abitudini di consumo energetico, nei vincoli tecnici ed economici e nelle strategie locali di adattamento. Nella scrittura di quanto emerso non ci si è limitati a una descrizione tecnica delle soluzioni adottate, ma sono anche state riportate le ripercussioni, sia positive che negative, sociali, culturali e di organizzazione di questi diversi elementi. Ciò è stato fondamentale per definire in modo strutturato i bisogni energetici, le criticità dei sistemi esistenti e le priorità percepite dagli utenti, costituendo una base conoscitiva necessaria per l'elaborazione di interventi successivi coerenti con il contesto locale.

4.1.4 Elaborazione di una proposta e valutazione

Sulla base delle evidenze emerse nella fase precedente, relativa all'analisi dei sistemi in uso e dei bisogni locali, la fase successiva è stata lo sviluppo di una o più proposte di tecnologie appropriate che si potrebbero bene innestare nel panorama osservato. Le informazioni raccolte sulle caratteristiche dei sistemi in uso ha permesso di proporre solo soluzioni realmente utilizzabili, andando a scremare il lungo elenco di TA relativo ai diversi contesti. Le proposte sono state quindi costruite integrando i risultati qualitativi delle interviste con gli indicatori quantitativi derivanti dai questionari e dal modello di valutazione dell'appropriatezza tecnologica. L'obiettivo non è stato solo l'individuazione di una soluzione tecnica, ma la definizione di più sistemi energetici potenzialmente implementabili che rispondano ai criteri di accessibilità economica, semplicità d'uso, sostenibilità ambientale, compatibilità socio-culturale e possibilità di gestione locale e che potrebbero diminuire i consumi primari di elettricità. Segue quindi un processo di valutazione e confronto preliminare, utilizzando gli stessi criteri adottati nell'analisi dei sistemi esistenti, al fine di verificarne la coerenza con i bisogni individuati e stimarne il potenziale impatto, oltre che a redigere una scaletta comparativa di tutte le tecnologie dei due gruppi (in uso e proposte). Questa fase consente di passare da una lettura analitica del contesto a una dimensione progettuale, mantenendo un approccio basato sulle evidenze e centrato sull'utente.

4.2 Origine metodo utilizzato per le interviste

Per analizzare il livello di appropriatezza delle tecnologie energetiche in contesti rurali è bene approfondire i diversi argomenti utilizzando strumenti capaci di cogliere la complessità delle dimensioni sociali, culturali, tecniche ed economiche che influenzano e motivano l'adozione delle soluzioni proposte. A tale scopo, nella letteratura recente, sono state scelte alcune metodologie che, se integrate, combinano approcci qualitativi partecipativi e modelli quantitativi basati sull'analisi multicriteriale. Tra questi, assumono particolare rilievo tre strumenti: l'Appropriate Technology Assessment Tool (ATAT) sviluppato da Bauer e Brow (2014), il User-Perceived Value Game proposto da Hirmer e Guthrie (2016) e il Mini-Delphi Method, utilizzato come procedura di consolidamento del consenso tra stakeholder nei medesimi studi. L'integrazione di questi metodi consente di formulare un quadro valutativo ampio e vario, capace di rappresentare sia le dimensioni misurabili dell'appropriatezza tecnologica, sia la percezione soggettiva degli utenti.

Il User-Perceived Value Game di Hirmer e Guthrie (2016) è particolarmente importante perché costituisce un contributo innovativo per la comprensione dei valori e delle priorità degli utenti nei processi di elettrificazione rurale, inoltre è stato applicato nel medesimo paese e ciò, sebbene l'Uganda sia caratterizzata da una moltitudine di diverse tribù con differenti caratteristiche, può fornire un apporto diretto al contenuto teorico specifico per questo contesto. Anche secondo gli autori dell'articolo numerosi progetti falliscono non per deficit tecnici, ma bensì per una carente comprensione dei significati attribuiti dagli utenti finali ai benefici delle tecnologie proposte. Il loro metodo si basa su un approccio indiretto, costruito sull'utilizzo di immagini rappresentanti oggetti, risorse o situazioni della vita quotidiana, che i partecipanti sono chiamati a selezionare, ordinare e discutere. Questa procedura consente di far emergere in modo non verbale, e quindi più immediato, dei valori che orientano le decisioni degli utenti: sicurezza, reddito, comfort, status sociale, accesso all'istruzione, salute, efficienza del lavoro domestico e agricolo, ecc. L'analisi qualitativa dei dati, come dimostrato da Hirmer e Guthrie (2016), permette di costruire un *framework* multilivello di valori percepiti (User-Perceived Value Wheel), capace di mettere in relazione bisogni fondamentali, significati culturali e aspettative rispetto alle tecnologie energetiche. Tale strumento, grazie alla sua natura esplorativa e partecipativa, costituisce una base adeguata per progettare soluzioni energetiche realmente coerenti con il contesto socio-culturale delle comunità, ed è per questo che alcune domande poste nelle interviste sul campo ruotavano attorno a temi di percezione.

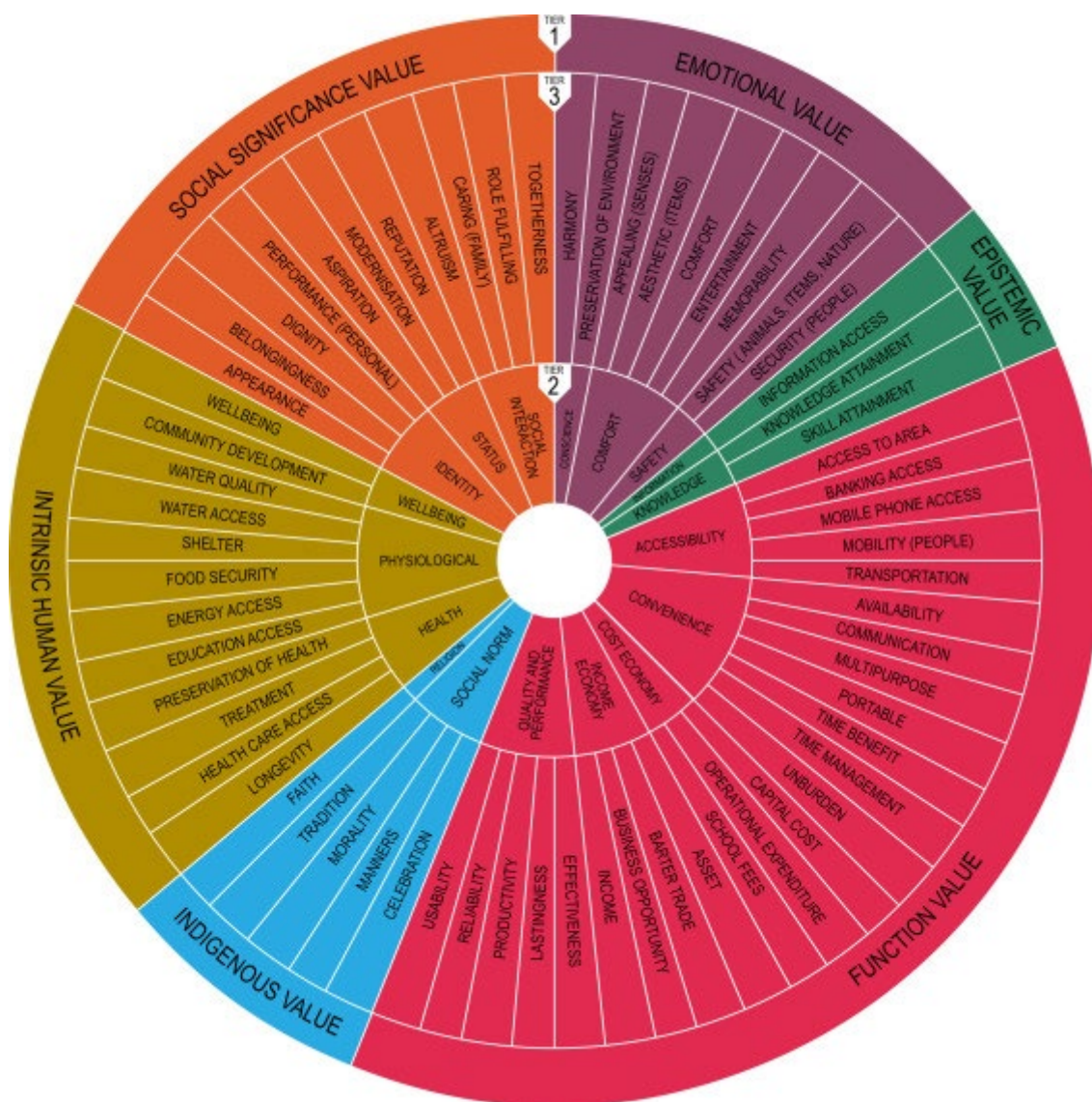
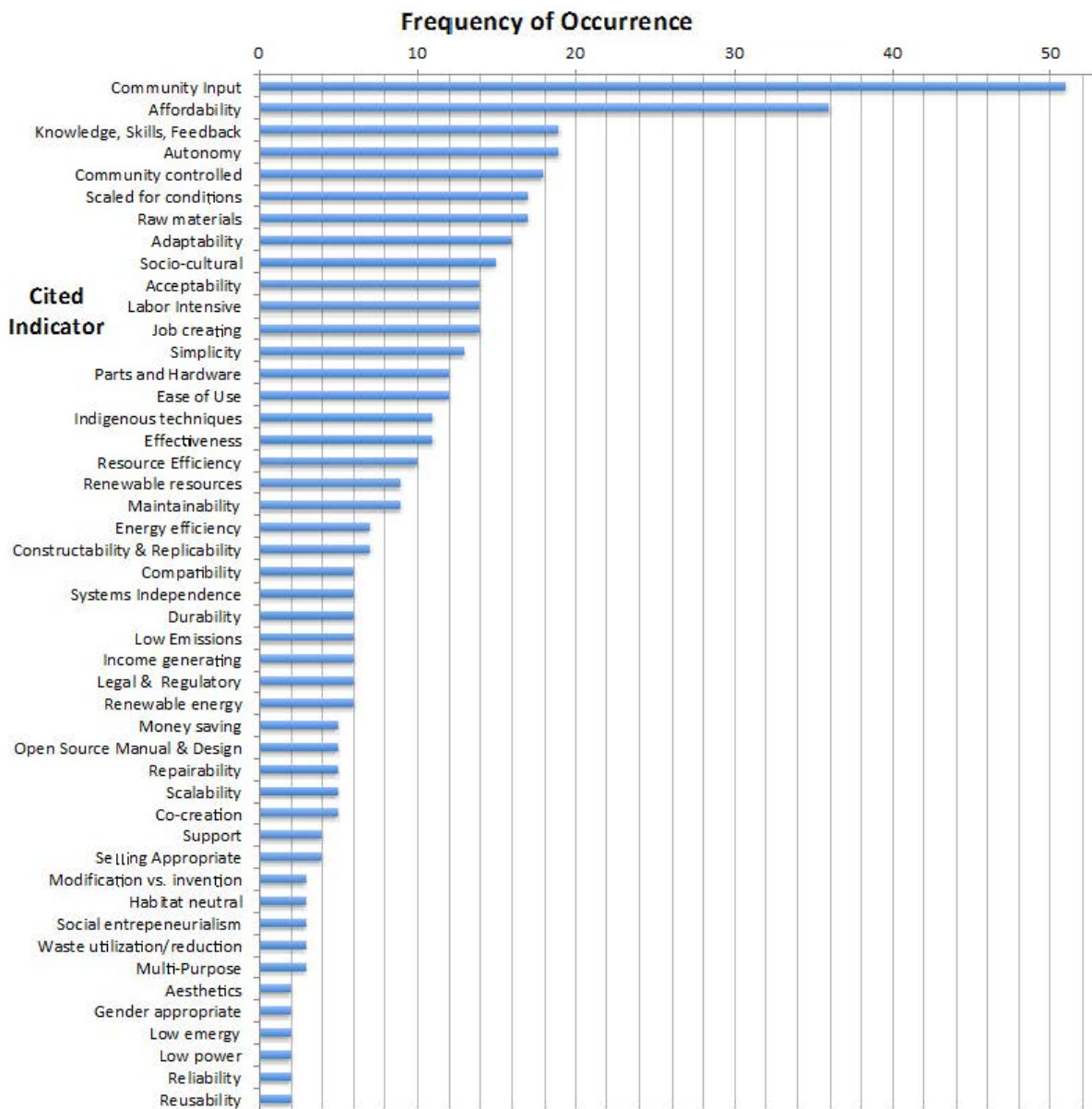


Figura 4.3 Ruota delle frasi chiave per aiutare ad allineare le affermazioni con i valori percepiti dall'utente (Hirmer & Guthrie, 2016)

A questo approccio qualitativo si affianca il modello quantitativo proposto da Bauer e Brown (2014) con l'Appropriate Technology Assessment Tool (ATAT). Questo strumento è basato invece sull'analisi multicriteriale (MCDA) ed è pensato per supportare progetti, comunità e organizzazioni nello sviluppare valutazioni comparative delle tecnologie, basate su indicatori derivati da una vasta meta-analisi della letteratura.



Indicators of Appropriateness from a Literature Meta-Analysis

Figura 4.4 Ricorrenze degli indicatori (caratteristiche) di appropriatezza nella letteratura on-line (Bauer & Brown, 2014)

Gli autori identificano 49 indicatori indipendenti di appropriatezza, tra cui accessibilità economica, disponibilità di materiali locali, riparabilità, semplicità, creazione di lavoro, efficienza energetica, compatibilità socio-culturale, uso di risorse rinnovabili, durabilità e indipendenza dai sistemi esterni. Nel processo valutativo, viene chiesto ad un determinato gruppo di esperti di selezionare un sottoinsieme di criteri ritenuti prioritari (generalmente 5–7), di ordinarli per importanza e di attribuire a ciascun criterio un punteggio di prestazione della tecnologia secondo una scala Likert. Dalla combinazione dei pesi, ottenuti tramite apposito

software, e delle valutazioni emerge un “Appropriateness Index” (AI) numerico che sintetizza, in una scala da 1 a 5, il grado complessivo di appropriatezza della tecnologia rispetto alle esigenze e alle capacità locali. Secondo l’articolo l’ATAT si configura come uno strumento trasparente e pertanto replicabile, utile non solo per confrontare soluzioni alternative, ma anche per evidenziare punti di forza e criticità da affrontare nel processo di progettazione o implementazione.

Entrambi i metodi, il gioco dei valori percepiti e l’analisi multicriteriale, trovano ulteriore consolidamento attraverso il ricorso al Mini-Delphi Method, impiegato in entrambi gli studi come procedura di deliberazione strutturata e iterativa. Tale tecnica, derivata dal metodo Delphi classico, ma semplificata per essere utilizzata anche in contesti comunitari con risorse limitate, consiste in una sequenza di consultazioni guidate in cui i partecipanti discutono, rivedono e armonizzano le proprie valutazioni o preferenze. L’obiettivo principale è raggiungere un consenso informato sulle priorità, riducendo la variabilità individuale e mitigando l’influenza di posizioni dominanti o dinamiche di gruppo. Come evidenziano Bauer e Brown (2014), l’inclusione del Mini-Delphi aumenta la robustezza dei risultati dell’ATAT, migliorandone l’affidabilità statistica e la legittimità partecipativa. Allo stesso tempo, nel contesto del metodo di Hirmer e Guthrie (2016), la discussione iterativa permette di trasformare intuizioni qualitative in risultati condivisi e operativi.

Nel complesso, la combinazione di questi tre approcci fornisce un quadro metodologico articolato e rigoroso per la valutazione delle tecnologie appropriate in ambito energetico. Il User-Perceived Value Game permette di comprendere i valori fondamentali che orientano la percezione dell’utilità della tecnologia; l’ATAT offre una misurazione sistematica e comparabile dell’appropriatezza; e il Mini-Delphi assicura che tali valutazioni emergano da un processo di consenso, rafforzando il legame con la comunità e migliorando la qualità delle decisioni progettuali.

4.2.1 Interviste qualitative

Per analizzare la percezione e l'appropriatezza delle tecnologie energetiche introdotte nelle comunità oggetto dello studio, come già accennato, la ricerca è stata organizzata con approccio misto combinando sia interviste semi-strutturate, che survey quantitativi e strumenti di co-design partecipativo.

Le domande sono articolate in diverse sezioni: contesto e introduzione, valori e percezioni, aspetti tecnici e pratici, dimensioni sociali e culturali, aspetti economici e ambientali e visione futura.

Una tale valutazione si basa su tre principali dimensioni analitiche riconosciute come pilastri nella letteratura sull'*appropriate technology*:

1. Tecnica, che comprende aspetti quali funzionalità, affidabilità e facilità d'uso;
2. Socio-culturale, relativa all'accettazione sociale, alla coerenza con i valori locali e alla compatibilità con pratiche e consuetudini;
3. Economica e ambientale, focalizzata su costi, benefici percepiti e sostenibilità ecologica.

Il processo di raccolta dati permette di ricostruire sia la profondità delle esperienze individuali, sia la distribuzione delle opinioni nella comunità, elementi chiave per valutare l'appropriatezza complessiva della tecnologia e orientare eventuali interventi di miglioramento o implementazione.

Il target dal quale vengono desunte informazioni ruota attorno a utenti che vivono la casa e le sue utilità, piccoli business che comportano un consumo di energia, leader locali come punto di riferimento per eventuali malfunzionamenti, tecnici installatori, esperti del settore e beneficiari di progetti energetici. A guidare l'intervista vi è la specifica peculiarità di ogni candidato rispondendo domande e condividendo riflessioni attorno alla propria esperienza personale, cercando di approfondire informazioni proprie e differenti dagli altri utenti: le rappresentazioni soggettive della tecnologia, il suo utilizzo quotidiano, le aspettative degli utenti, i benefici e le criticità riscontrate. La durata è lasciata aperta per lasciare esprimere gli utenti sulle loro esperienze e aspirazioni; questa struttura flessibile permette di adattare il dialogo al contesto dell'intervistato, mantenendo tuttavia una coerenza tematica funzionale all'analisi, attraverso una scaletta di domande ideata per guidare i contenuti e fornire uno spunto laddove mancante. Sia per questioni di traduzione che di libertà di dialogo la durata dell'intervista era compresa tra un'ora e un'ora e mezza, tenuto conto del fatto che le interviste son state condotte in inglese con traduzione simultanea in Acholi.

OBJECTIVE OF THE INTERVIEWS AND SURVEY

Collect data on why an energy technology is perceived as “appropriate” by the local community, as well as the amount of people with different views on this, according to 3 main dimensions:

1. **Technique**→ functionality, reliability, ease of use
2. **Socio-cultural**→ acceptance, values, local customs
3. **Economic and environmental**→ cost, benefits, sustainability

1. SEMI-STRUCTURED INTERVIEW (qualitative)

Duration:30–45 min

Target:users, local leaders, technicians, project beneficiaries

Goals:understand the values, experiences, and perceived impact of technology.

Sections and sample questions

A. Introduction and context

- In your own words, can you explain what energy technology is or the concept of appropriate technology?
- Can you briefly describe your experience with energy technology (e.g., solar panels, biogas, etc.)?
- How long have you been using it? Who decided to adopt it?

B. Values and Perceptions (inspired by the User-Perceived Value Game)

- What are the main benefits this technology offers you in your daily life?
- How has it changed your or your family's routine?
- Is something not working as you expected?
- If you had to recommend this technology to a neighbor, what would you say?

C. Technical and practical aspects

- How simple is it to use and maintain?
- Can you fix it yourself or do you need an outside technician?
- Have you experienced any interruptions, breakdowns, or difficulties in use?

D. Social and cultural aspects

- Is it accepted by the community? Can everyone afford it?
- Does the technology respect local traditions or customs (e.g. cooking, lighting, working)?
- Has it changed community relationships in any way (collaboration, conflict, status)?

E. Economic and environmental aspects

- How much does it cost compared to the benefits it offers?
- Did it help you save money or time?
- Have you reduced your use of wood, coal, or other resources?

F. Future vision

- How do you imagine the future of this technology in your area?
- What would you change to make it more useful or sustainable?

Figura 4.5 Questionario qualitativo utilizzato per condurre le interviste

Ogni intervista inizia generalmente con un'introduzione generale sull'ambito della ricerca e sullo scopo delle domande, per poi passare ad un inquadramento generale dell'idea dell'intervistato: la prima sezione mira a ricostruire il quadro di riferimento. Le domande esplorano la conoscenza generale dell'intervistato sulla tecnologia energetica e sul concetto di "tecnologia appropriata", nonché la sua esperienza diretta con strumenti quali pannelli solari, sistemi di cottura o altre soluzioni locali. Altre informazioni richieste riguardano il tempo di utilizzo e quale processo decisionale ha seguito per l'adozione, questi elementi sono utili ad avere un'idea quantitativa dell'utilizzo e inoltre le risposte permettono di identificare: il livello di familiarità e competenza dell'utente, la tipologia di processo decisionale (top-down o bottom-up), eventuali differenze generazionali, di genere o di ruolo sociale nell'adozione ed infine un'idea sommaria del grado di appropriazione della tecnologia. Queste informazioni sono altresì essenziali per interpretare tutte le risposte successive e per comprendere come la tecnologia si integri nel contesto quotidiano.

Nella seconda parte le domande cercano di analizzare i valori e le percezioni, si inizia indagando i benefici riconosciuti dagli utenti, poi i cambiamenti che la tecnologia ha introdotto nella vita quotidiana e infine l'eventuale presenza di elementi di insoddisfazione. L'obiettivo è quello di far emergere le qualità che gli utilizzatori associano alla tecnologia e anche una loro valutazione soggettiva della sua utilità. Si chiede anche di immaginare se e come raccomanderebbe a un vicino la propria scelta tecnologica, ciò rappresenta un indicatore indiretto dell'accettazione sociale e della fiducia nello strumento.

Segue un'analisi degli aspetti tecnici e pratici: le domande esplorano la semplicità d'uso, la facilità di manutenzione ma anche l'affidabilità del sistema. Viene fatta particolare attenzione all'eventuale capacità dell'utente di eseguire autonomamente le riparazioni e alla frequenza con la quale sperimenta interruzioni o guasti. Da questi elementi si può comprendere la sostenibilità operativa e la longevità della tecnologia nonché la sua adeguatezza alle competenze locali (se queste sono in grado di adoperare a loro volta modifiche).

Per quanto riguarda la sfera sociale e culturale, una sezione approfondisce la dimensione comunitaria e culturale dell'adozione tecnologica. Le domande indagano il grado di accettazione sociale, l'equità nell'accesso, la compatibilità con tradizioni e usi locali, nonché eventuali effetti sulle relazioni comunitarie. L'obiettivo è valutare se la tecnologia rafforzi o

modifichi le dinamiche sociali: ad esempio se vi è collaborazione, o si vive conflittualità con gli altri membri della comunità circostante.

Un'altra sezione indaga gli aspetti economici e ambientali facendo domande che affrontano il rapporto tra costi e benefici percepiti, la possibilità di risparmio di tempo o denaro e la riduzione dell'uso di risorse tradizionali come legna o carbone. Dalle risposte emergono elementi che permettono di valutare la sostenibilità economica per gli utenti e il contributo alla riduzione dell'impatto ambientale.

Infine si indagano le prospettive dell'intervistato circa il futuro della tecnologia nel contesto locale e le modifiche desiderate per migliorarne utilità e sostenibilità. Anche qui le risposte forniscono indicazioni sulla potenziale diffusione futura e sulla capacità della comunità di contribuire a processi di innovazione adattativa.

E' importante precisare che, anche se le domande poste seguivano una logica e una direzione definita, la conversazione veniva comunque adattata all'interlocutore in modo da soffermarsi sugli aspetti più interessanti per l'intervistato, riuscendo a spaziare su tutti gli ambiti di appropriatezza e percezione e coprendo la più ampia gamma di argomenti relativi alla ricerca, dove l'intervistato potesse sempre avere almeno un apporto di unicità.

4.2.2 Questionario quantitativo

Parallelamente alle domande, è stato sviluppato un questionario quantitativo basato su scala numerica da 1 a 5 per misurare l'appropriatezza percepita dall'utente della tecnologia; muovendosi anche in questo caso lungo le medesime caratteristiche principali delle tecnologie appropriate (tecnica, ambientale, economica e socio-culturale) si è cercato di quantificare in maniera uniforme le percezioni soggettive degli utenti sulle tecnologie possedute e sulle loro prospettive. I punteggi raccolti permettono di dare quindi un valore utile per confrontare tra loro le proprietà delle tecnologie possedute, rispetto anche a quelle auspiccate, fornendo quindi un'indicazione comparativa e quantitativa della percezione di adeguatezza della tecnologia.

L'obiettivo principale di interviste e *survey* è raccogliere dati empirici utili a comprendere perché una tecnologia energetica venga vista come "appropriata" dalla comunità locale e in quale misura tali percezioni siano condivise o divergenti all'interno della popolazione. Più nello specifico l'applicazione del *survey* nasce per integrare l'intervista qualitativa, al fine di quantificare la percezione di appropriatezza emersa nella fase di indagine.

La scala utilizzata per questa valutazione è di tipo Likert a 5 punti, ciò permette di dare una forma accessibile di valutazione anche a utenti che per differenze culturali o attitudini personali non si intendono degli argomenti proposti: eliminando così difficoltà sia traduttive che esplicative si mantiene una semplicità di scelta, che varia dal sì al no, e che consente di misurare il grado di accordo percepito con buona attendibilità.

Gli indicatori che fanno da caposaldo anche di questa analisi sono organizzati in dimensioni analitiche, coerenti con la letteratura, come segue: tecnica, socio-culturale, economica e ambientale aggiungendo anche qui una tabella (l'ultima) per analizzare il livello di appropriazione e autonomia, valutando in qualche misura anche gli aspetti legati al controllo locale sulla tecnologia, alla capacità di gestione autonoma e alla coerenza culturale. Ciò può aiutare a capire quanto la comprensione degli strumenti sia utile o se invece agli utenti sia sufficiente utilizzarli. I temi oggetto di quantificazione derivano direttamente dalle categorie individuate nelle interviste e dai modelli consolidati, in particolare dall'ATAT (Bauer & Brown, 2014), ed anch'essi a loro volta cercano di spaziare nella sottocategoria di appartenenza. Ad esempio la sezione dedicata alla funzionalità tecnica valuta l'affidabilità, il livello di usabilità, la disponibilità dei materiali e la possibilità di riparo locale. Questi elementi ricorrenti nelle teorie di appropriatezza della tecnologia rappresentano il nucleo della sostenibilità operativa.

Le altre sezioni misurano invece i benefici sociali mediante la valutazione degli effetti sulla qualità della vita, la sicurezza domestica, la coesione comunitaria e l'accettazione sociale. Ciò è importante per capire se la tecnologia possa radicarsi nella comunità, o se si inserisce soltanto come una da abbandonarsi alle prime difficoltà.

Per quanto riguarda i benefici economici, le valutazioni permettono di quantificare i risparmi percepiti, la generazione di reddito e le valutazioni soggettive del rapporto costi/benefici.

Nella dimensione della sostenibilità ambientale, le domande delle interviste sono finalizzate a valutare la riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili, l'impatto sull'igiene e sulla salute domestica ed infine la percezione del rispetto dell'ambiente.

Le risposte numeriche consentono quindi di costruire un indice sintetico della percezione di appropriatezza, tramite la media dei punteggi, coerentemente con gli strumenti MCDA utilizzati nel modello ATAT (Bauer & Brown, 2014) ma valutati percettivamente come nel User-Perceived Value Game di Hirmer e Guthrie (2016).

La trasformazione delle percezioni individuali in valori numerici permette confronti tra gruppi (sesso, età, ruolo, tempo d'uso), valutazioni longitudinali e calcolo di correlazioni tra dimensioni.

La *survey* fornisce dunque una base empirica quantificabile che, combinata con i dati qualitativi, permette una valutazione robusta, triangolata e metodologicamente coerente con l'apporto tecnico dell'appropriatezza tecnologica nel contesto locale.

2. QUANTITATIVE SURVEY

Objective: measure the “perceived appropriateness” of the technology with numerical indicators.

Recommended scale: Likert 1–5 (1 = totally disagree; 5 = totally agree)

Example sections and items

A. Technical functionality

Item	Stairs	No	More no than yes	\	More yes than no	Yes
The technology is reliable over time	1–5					
It's easy to use for the whole family	1–5					
Materials are available locally	1–5					
It is easy to repair with local expertise	1–5					

B. Social benefits

Item	Stairs	No	More no than yes	\	More yes than no	Yes
It has improved the quality of my family's life	1–5					
It has increased home safety and comfort	1–5					
It has strengthened relationships in the community	1–5					
It is accepted and appreciated by my neighbors	1–5					

C. Economic benefits

Item	Stairs	No	More no than yes	\	More yes than no	Yes
It has reduced energy costs	1–5					
It has generated new income opportunities	1–5					
The cost-benefit ratio is favorable	1–5					

D. Environmental sustainability

Item	Stairs	No	More no than yes	\	More yes than no	Yes
It has reduced the consumption of non-renewable resources	1–5					
It improved cleanliness and the home environment	1–5					
It is respectful of the surrounding environment	1–5					

E. Appropriation and autonomy

Item	Stairs	No	More no than yes	\	More yes than no	Yes
I feel like I own the technology	1–5					
I can manage it without outside help	1–5					
It is suitable for our living conditions and culture	1–5					

Figura 4.6 Questionario utilizzato per quantificare gli aspetti delle tecnologie approfonditi nelle interviste

4.2.3 Ricerca delle tecnologie

Ulteriore passo della ricerca sul campo è stata l'identificazione di sistemi e tecnologie che potessero ridurre i consumi energetici base dell'abitazione e di piccoli business lavorativi. Pertanto a partire dalle interviste, dalle conversazioni informali e dal confronto con esperti del settore come studenti e ricercatori in università, tecnici installatori e manutentori di progetti e figure di leader sul territorio, sono state raccolte le informazioni sull'ubicazione di tecnologie che appartenessero al mondo della appropriatezza. Nel cercarle è stato necessario dare una definizione più generica di TA e alcuni esempi pratici per canalizzare l'indagine. Questo passo aveva un duplice obiettivo: in primis scoprire, documentare e catalogare i sistemi auto-costruiti artigianalmente, che sfuggono a metodi di ricerca convenzionali online, in modo da aver una buona base di idee e necessità. In secondo luogo attingere ad eventuali tecnologie nate da un esigenza pratica dando applicazione delle nozioni apprese per migliorarne l'efficienza e ridurre le perdite.

4.2.4 Indice di appropriatezza

La parte riguardante il *Co-Design* rappresenta, come emerge dalla teoria dell'*appropriate technology* e dagli approcci di design partecipativo e co-creazione, una fase partecipativa del processo decisionale e valutativo dove gli utenti finali possiedono conoscenze contestuali indispensabili per definire priorità progettuali significative. La selezione delle caratteristiche è lasciata direttamente a elementi scelti della comunità che insieme portano un contributo personale su cosa rende una tecnologia “appropriata” al contesto, aggiungendo un apporto personale e unico alla ricerca. Anche questo metodo più dei precedenti deriva dallo studio ATAT (Bauer & Brown, 2014) in quanto replicabile e adatto al progetto intrapreso. La lista di indicatori proposta ai partecipanti non era arbitraria, ma è il risultato di una meta-analisi condotta da Bauer & Brown (2014) nel medesimo studio, valutando a loro volta la letteratura in un numero elevato superiore ai 50 articoli che hanno permesso di sistematizzare oltre 40 caratteristiche ricorrenti nella letteratura.

La richiesta ai partecipanti è quella di selezionare all'incirca 5–7 caratteristiche, numero non casuale che permette di bilanciare completezza e capacità cognitiva, focalizzando la loro attenzione sugli aspetti percepiti come realmente centrali per la comunità. Nel processo valutativo anche l'ordinamento dei criteri conta: dal più importante (1) al meno importante (7 per esempio). Ciò consente successivamente di trasformare le scelte in pesi quantitativi da utilizzare nell'analisi multicriteriale (MCDA) e nel calcolo dell'*Appropriateness Index*. Anche il motivare le prime due scelte ha una funzione qualitativa: permette di valutarne la comprensione e la posizione dei valori, le esperienze e le aspettative profonde che guidano le preferenze, il che rafforza la triangolazione tra dati (qualitativi e quantitativi insieme questa volta).

Gli indicatori proposti riflettono la natura multidimensionale delle TA e, allo stesso tempo, guidando in un esercizio di co-design che funziona da meccanismo di *empowerment*, rendendo gli utenti non solo informatori ma anche co-progettatori, tramite l'effettuazione di scelte di criteri valutativi, trasferendo parte dell'autorità decisionale dai tecnologi alla comunità stessa. Attraverso questo meccanismo, analogamente al lavoro di Hirmer & Guthrie, gli individui acquisiscono maggiore capacità di controllo sulle decisioni che influenzano la loro vita quotidiana (2016). *L'empowerment* implica anche il diretto rafforzamento dell'autonomia, della consapevolezza critica e della possibilità di incidere sulle scelte tecniche e organizzative che riguardano la comunità (Hirmer & Guthrie, 2016).

Le domande finali permettono di approfondire tre aspetti fondamentali:

- le caratteristiche più difficili da ottenere localmente (identificando barriere strutturali);
- eventuali indicatori mancanti (lasciando spazio all'emergere di valori locali non contemplati dalla letteratura);
- la distinzione tra caratteristiche dipendenti dalla comunità e quelle dipendenti da progettisti ed enti esterni (ciò mette in evidenza responsabilità e margini di intervento).

Questa distinzione finale è particolarmente rilevante perché permette di capire quali aspetti dell'appropriatezza possono essere affrontati tramite miglioramenti tecnici locali e quali richiedono invece supporto istituzionale o interventi di policy.

3. CO-DESIGN OPTION – Choice of “appropriate technology” characteristics

Instructions for participants:

Below is a list of possible characteristics that make a technology "appropriate." We ask you to:

1. Select the 5–7 characteristics that you think are most important for your community.
2. Order your choices from most important (1) to least important (7).
3. Briefly explain why you chose the first and second.

List of appropriateness indicators

- Community input
- Affordability
- Knowledge, skills, feedback
- Autonomy
- Community controlled
- Scaled for conditions
- Raw materials
- Adaptability
- Socio-cultural acceptability
- Labor intensive
- Job creation
- Simplicity
- Parts and hardware
- Ease of use
- Indigenous techniques
- Effectiveness
- Resource efficiency
- Renewable resources
- Energy efficiency
- Constructability & replicability
- Compatibility
- Systems independence
- Durability
- Low emissions
- Income-generating
- Legal & regulatory compliance
- Renewable energy
- Money saving
- Open source manual & design
- Reparability
- Cooperation
- Support
- Setting appropriate modifications & innovation
- Metal vs. non-metal
- Social enterprise inclusion
- Waste utilization/reduction
- Multi-purpose
- Aesthetics
- Gender appropriateness
- Low energy
- Power reliability
- Reusability

Completion questions

- Which of these characteristics do you find most difficult to achieve in your community?
- Are there any other important features not included in the list?
- Of the features chosen, which depend on the community and which on external designers or institutions?

Figura 4.7 Elenco caratteristiche proposte per redazione dell'indice di appropriatezza

Segue poi la valutazione col metodo proposto da Bauer & Brown (2014): andando a definire tramite programma software, per ogni set di indici, dei pesi numerici normalizzati, associati all'ordine di scelta della caratteristica ricercata nelle tecnologie, che vengono fatti corrispondere a valori compresi tra 0 e 1 e somma totale pari a 1, operazione che l'Appropriate Technology Assessment Tool effettua automaticamente. I pesi riflettono la priorità assegnata ogni utente selezionato a ciascun aspetto tecnologico.

Tabella 4.1 Corrispondenza scala valori appropriatezza (Bauer & Brown, 2014)

Valore	Significato
1	Davvero inadeguato
2	Non molto appropriato
3	Moderatamente appropriato
4	Appropriato
5	Davvero appropriato

$$w_j = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{n=j}^M \frac{1}{n}, \quad j = 1, 2, \dots, M$$

dove: w_j è il peso applicato al j – esimo criterio

M è il numero di criteri considerati, e

$$\sum_{j=1}^M w_j = 1.$$

Come nel caso degli utenti semplici anche qui i partecipanti esprimono un giudizio su ciascun criterio tramite una scala Likert a 5 punti, che misura quanto la tecnologia soddisfa ogni indicatore scelto, in modo da trasformare percezioni qualitative in dati numerici comparabili.

$$AI_i = \sum_{j=1}^N w_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

dove: x_{ij} è il j – esimo attributo della i – esima alternativa

w_j è il peso relativo a x_{ij} , e

$$0 \leq w_i \leq 1$$

L'Indice di Appropriatezza viene calcolato combinando i pesi dei criteri e i punteggi assegnati dai partecipanti attraverso la formula della sommatoria dei prodotti tra peso e punteggio assegnato.

Esempio:

Tabella 4.2 Criteri e pesi corrispondenti nello studio ATAT (Bauer & Brown, 2014)

Criterio scelto	Ordine	Peso normalizzato
Accessibile economicamente	1	0.25
Facile da usare	2	0.20
Riparabile	3	0.15
Energicamente efficiente	4	0.12
Crea posti di lavoro	5	0.10
Input comunitario	6	0.10
Adattabile	7	0.08

Ciò rappresenterà una misura sintetica e quantitativa dell'appropriatezza percepita della tecnologia.

Specifica che i risultati vengono analizzati attraverso:

- confronti tra gruppi (genere, età, ruoli, livello tecnico),
- visualizzazioni grafiche, come i grafici a ragnatela, che mostrano punti di forza e aree critiche,
- discussioni partecipative volte a interpretare i dati e formulare proposte.

Attraverso una fase di validazione partecipativa i risultati vengono restituiti al gruppo di soggetti selezionati. Tramite un processo di tipo Mini-Delphi, i partecipanti rivedono collettivamente pesi e punteggi fino al raggiungimento di un consenso. Questa fase assicura la legittimità sociale della valutazione.

Alla fine del processo si otterrà quindi:

- un Appropriateness Index numerico,
- un profilo radar della tecnologia,
- una serie di raccomandazioni operative basate sulle priorità e percezioni della comunità.

Questi risultati possono sia influenzare le decisioni progettuali, andando a focalizzare le attenzioni dei tecnologi progettisti su determinate caratteristiche invece di altre, sia condizionando eventuali interventi di policy atti a delineare una linea comune a riguardo delle tecnologie, per esempio dettare ai produttori di PV un obbligo di garanzia di prodotto.

Di seguito viene riportata una descrizione degli indici riportati nell'ATAT col fine di chiarire e giustificare le eventuali scelte:

Tabella 4.3 traduzione e spiegazione caratteristiche di appropriatezza

Indice ATAT	Traduzione italiana	Spiegazione
Community input	Coinvolgimento della comunità	La comunità partecipa alla progettazione e alle decisioni.
Affordability	Accessibilità economica	Il costo è sostenibile per gli utenti locali.
Knowledge, skills, feedback	Conoscenze, competenze e feedback	La tecnologia valorizza e sviluppa le capacità locali.
Autonomy	Autonomia	Permette indipendenza da fornitori o aiuti esterni.
Community controlled	Controllo comunitario	La gestione e la proprietà sono locali.
Scaled for conditions	Adattata alle condizioni locali	Dimensionata in base alle risorse e al contesto.
Raw materials	Materiali grezzi disponibili	Usa materiali facilmente reperibili localmente.
Adaptability	Adattabilità	Può essere modificata o adattata facilmente.
Socio-cultural acceptability	Accettabilità socio-culturale	È coerente con valori, abitudini e cultura locali.
Labor intensive	Ad alta intensità di lavoro	Crea lavoro locale piuttosto che sostituirlo.
Job creation	Creazione di lavoro	Genera occupazione diretta o indiretta.
Simplicity	Semplicità	Facile da comprendere, usare e mantenere.
Parts and hardware	Componenti e materiali	Le parti sono disponibili e sostituibili localmente.
Ease of use	Facilità d'uso	Facile da utilizzare per gli utenti finali.
Indigenous techniques	Tecniche tradizionali	Integra o rispetta tecniche e conoscenze locali.
Effectiveness	Efficacia	Risolve in modo concreto il problema previsto.
Resource efficiency	Efficienza nell'uso delle risorse	Usa poche risorse (energia, acqua, materiali).
Energy efficiency	Efficienza energetica	Minimizza i consumi di energia.
Constructability & replicability	Costruibilità e replicabilità	Può essere costruita facilmente e riprodotta altrove.

Compatibility	Compatibilità	Si integra bene con altri sistemi o infrastrutture.
Systems independence	Indipendenza dai sistemi esterni	Funziona anche senza reti o supporti complessi.
Durability	Durabilità	Ha una lunga vita utile e resiste nel tempo.
Low emissions	Basse emissioni	Riduce inquinamento e impatti ambientali.
Income generating	Generazione di reddito	Permette o favorisce attività economiche locali.
Legal & regulatory compliance	Conformità legale e normativa	Rispetta leggi, standard e regolamenti.
Renewable energy	Energia rinnovabile	Utilizza fonti come sole, vento, biomassa, ecc.
Money saving	Risparmio economico	Aiuta a ridurre spese o sprechi.
Open source manual & design	Manuale e design open source	Progetto e istruzioni sono liberamente accessibili.
Reparability	Riparabilità	È facile da riparare con mezzi locali.
Cooperation	Cooperazione	Promuove collaborazione tra utenti o gruppi.
Support	Supporto tecnico	Sono disponibili aiuto e manutenzione.
Setting appropriate modifications & innovation	Adattabilità e innovazione locale	Può essere migliorata e modificata localmente.
Metal vs. non-metal	Scelta dei materiali (metallo o altro)	Usa materiali adeguati alle risorse e capacità locali.
Social enterprise inclusion	Inclusione in imprese sociali	Può essere gestita o prodotta da cooperative locali.
Waste utilization/reduction	Uso o riduzione dei rifiuti	Riutilizza materiali o riduce sprechi.
Multi-purpose	Multiuso	Serve a più funzioni o bisogni.
Aesthetics	Estetica	Ha un aspetto piacevole e accettabile.
Gender appropriateness	Adeguatezza di genere	Risponde ai bisogni di uomini e donne in modo equo.
Low energy	Basso consumo energetico	Funziona con poca energia.
Power reliability	Affidabilità dell'alimentazione	Fornisce energia stabile e continua.

5. Raccolta dati

In questo capitolo vengono riportate le informazioni raccolte sul campo.

5.1 Contestualizzazione del campione e caratteristiche generali delle famiglie intervistate

I dati e le informazioni sono stati raccolti nel periodo tra novembre e dicembre 2025, la maggior parte delle informazioni deriva da interviste che hanno come target famiglie e nuclei abitativi della tribù Acholi nel contesto periurbano di Gulu, lungo la Patiko road e, in periferia della città, in determinati quartieri scelti appositamente per il loro apporto di informazioni. Sebbene il campione sia composto da una cinquantina di interviste qualitative semi-strutturate, molte interessanti informazioni sono scaturite da colloqui formali e informali con tecnici, studenti dell'università ed esperti di tecnologie energetiche locali. Le prime interviste sono state condotte con residenti adulti direttamente coinvolti nella gestione quotidiana dell'energia domestica, mentre le altre di natura meno organizzata sono nate in loco, per seguire il flusso di informazioni proveniente da diverse persone pre-intervistate, talvolta condividendo i contatti di una famiglia con una determinata tecnologia, di un manutentore o di un generico conoscente che poteva esser utile alla ricerca.

Per comprendere la caratterizzazione del target e di conseguenza a chi fanno riferimento “le famiglie” intervistate bisogna prima esplicitare un fattore caratteristico della cultura del popolo in questione: da quanto spiegato dall'assistente di ricerca locale, contribuiscono al mantenimento della famiglia una serie di figure con le quali si è sviluppato un legame o parentele di qualsiasi grado, in quanto chi ha la possibilità di occuparsi di un nipote, fratello minore, cugino, ecc... se ne prende carico andando a condividere ciò che possiede. Pertanto le situazioni analizzate hanno portato in luce nuclei familiari di tutte le dimensioni e la “famiglia” può essere di 2 come di 10 o più persone, con eventuali abitazioni condivise tra più famiglie o individui senza legame parentale. La presenza frequente di bambini e studenti è un fattore che incide sui consumi energetici e fa variare i periodi, in quanto la loro presenza incrementa i consumi nelle vacanze e nei periodi delle feste.

Il livello socio-economico generale è medio-basso, pochi sono quelli che possono permettersi una stabilità salariale e molti al contrario hanno redditi irregolari e una limitata capacità di sostenere costi energetici. La maggior parte delle abitazioni non risulta collegata alla rete elettrica nazionale: i pochi fortunati lo sono da molti anni, in alcuni casi fin dagli anni Settanta.

Questo non comporta comunque sicurezza, dato che l'accesso alla rete non garantisce continuità del servizio: i ricorrenti blackout e le interruzioni prolungate comportano un'instabilità della fornitura che può lasciare le persone in balia delle condizioni esterne (meteo e non). In altri casi l'elettricità è misurata tramite contatori condivisi che comportano una conseguente necessità di accordi informali per gestire e ripartire i costi. La condivisione dell'elettricità tra vicini o famiglie è una pratica diffusa e basata su relazioni di fiducia e negoziazione.

Le abitazioni hanno un livello di elettrificazione eterogeneo: in prevalenza carichi di base come illuminazione e ricarica dei dispositivi, alcuni sistemi di intrattenimento come televisioni e radio e in rari casi utilizzatori dai consumi elevati come frigoriferi ed altri elettrodomestici.

Accanto alla rete nazionale sono presenti fonti energetiche alternative o complementari, in particolare pannelli solari e sistemi a biogas che cercano di farsi strada come alternative alle fonti energetiche tradizionali (cherosene, candele, lanterne) più ampiamente utilizzate in passato e poi progressivamente abbandonate. L'energia svolge un ruolo centrale nella vita quotidiana, in particolare per l'illuminazione notturna che garantisce sicurezza, ma anche per la comunicazione e la cucina.

Il campione esaminato è caratterizzato da un accesso energetico di tipo ibrido, in cui diverse fonti coesistono per compensare limiti di intermittenza (sia della rete che delle energie rinnovabili), economici e infrastrutturali.

5.1.1 Fonti energetiche presenti nelle abitazioni periurbane

La rete elettrica nazionale rappresenta la principale fonte di energia per la maggior parte delle famiglie intervistate in contesto periurbano, anche per chi non ne ha ancora la possibilità il passaggio all'elettricità di linea è percepito come miglioramento significativo rispetto alle fonti tradizionali, soprattutto in termini di comodità e sicurezza. Come già accennato, nonostante i più fortunati abbiano la connessione alla rete, l'affidabilità del servizio è limitata da frequenti blackout e interruzioni imprevedibili. La discontinuità della fornitura influisce sull'organizzazione della vita quotidiana e sulle attività domestiche: le donne che tradizionalmente si occupano delle mansioni domestiche e della cucina non hanno la libertà di programmare e di dedicarsi ad altre attività quando questi imprevisti accadono.

L'elettricità viene utilizzata prevalentemente per l'illuminazione: ciò garantisce un'estensione della giornata lavorativa e sociale. Numerose sono le famiglie che riportano la necessità di aver luce per fare studiare i figli la sera o per riunirsi in maniera conviviale in una stanza comune per raccontarsi storie, fare amicizia e rilassarsi in compagnia. La ricarica di telefoni cellulari e laptop riveste una grande importanza: da un lato gli individui si sentono sicuri e raggiungibili se la distanza da famiglia e amici aumenta, dall'altro garantisce reperibilità in caso di necessità, rendendo la vita lavorativa e l'organizzazione abitativa più semplice. Inoltre l'utilizzo di televisione e radio permette lo svago e l'aggregazione. In alcune abitazioni sono presenti elettrodomestici a maggiore assorbimento (ferro da stiro, scaldabagno, frigorifero), usati in modo selettivo. L'uso di elettricità per la cottura dei cibi è generalmente evitato perché troppo costoso a causa dell'elevato consumo energetico, e si limita al riscaldamento dell'acqua per alcune bevande.

I costi dell'elettricità sono percepiti da tutti come alti e non alla portata dei cittadini, in particolare per le famiglie con reddito instabile o basso, dato che è presente una quota fissa minima (uguale per tutti) da pagare anche in assenza di consumo, elemento ritenuto problematico dagli intervistati. Perciò le famiglie si adattano e sviluppano strategie di risparmio energetico, come concentrare attività ad alto consumo in momenti specifici, ad esempio per chi vive in una zona periurbana è diffusa la pratica di stirare tutto in un'unica sessione per ridurre i consumi.

In questi contesti esistono i cosiddetti contatori condivisi, dove il controllo dei consumi individuali risulta complesso e fonte potenziale di conflitto. Anche laddove gli abitanti facciano

riferimento ad un amministratore i conflitti permangono. La gestione dell'elettricità condivisa si basa su accordi informali e sulla fiducia reciproca, che, sebbene in alcuni casi funzioni, per molti altri membri coinvolti è causa di frustrazione e ingiustizia.

L'illuminazione esterna è utilizzata anche come misura di sicurezza per l'abitazione e il quartiere. Sono molti i casi di furti e di atteggiamenti molesti, alimentati dalla scarsa visibilità notturna. L'illuminazione pubblica da lampioni solari porta dunque sicurezza al quartiere e alle case posizionate in prossimità delle strade illuminate.

In alcuni casi, l'elettricità domestica viene utilizzata per fornire servizi informali ai vicini, come la ricarica dei telefoni, e questo avviene sia a pagamento o scambio di beni, sia gratuitamente per amicizia.

L'accesso individuale al contatore è percepito come preferibile rispetto alla condivisione, per una maggiore possibilità di controllo dei costi.

5.1.2 Fonti energetiche presenti nelle abitazioni rurali

Le famiglie rurali non sono connesse alla rete elettrica nazionale per motivi economici, o per posizione e distanza dalla linea. L'assenza di connessione alla rete è una condizione diffusa e in molti casi non temporanea; sebbene sulla Patiko road la connessione sia adiacente a tutti i centri abitati, costeggiando la strada in direzione Sud Sudan, non è permesso collegarsi vista la mancanza di trasformatori. Si accede quindi all'energia elettrica esclusivamente tramite sistemi autonomi: i sistemi più diffusi sono costituiti da pannelli solari fotovoltaici abbinati a batterie di accumulo, seguono poi generatori a benzina usati in genere solo per eventi. In alcuni casi, come quello delle scuole, il sistema solare è stato installato con il supporto di organizzazioni esterne o progetti di cooperazione ma alcuni utilizzatori singoli hanno ricevuto il loro sistema dalla parrocchia o da programmi sociali.

La dimensione dei sistemi fotovoltaici è generalmente ridotta e progettata per coprire solo bisogni essenziali laddove possibile, e talvolta non è abbastanza potente nemmeno per quelli. Anche la capacità delle batterie è limitata e impone una gestione molto attenta dei consumi: molti utenti lasciano consumare troppo la carica, generando così problemi di durata della vita del sistema di accumulo.

L'energia solare è utilizzata principalmente per l'illuminazione domestica serale, utilizzando lampade LED appositamente posizionate per produrre più illuminazione possibile e al contempo ridurre il consumo. L'energia elettrica generata viene utilizzata per la ricarica di telefoni cellulari, considerata una priorità, a volte collegati direttamente alla batteria, altre volte tramite inverter. In alcuni casi il sistema consente l'uso di radio e più raramente di televisione per periodi limitati, mentre l'uso di computer o laptop è raro e subordinato alla disponibilità di carica della batteria. Non è stato notato l'uso di apparecchi elettrici che consumano molta energia, come ad esempio frigoriferi, ferri da stiro e fornelli elettrici. Questo significa che l'elettricità non viene utilizzata per cucinare i pasti con la cottura dei cibi.

La cucina è quasi esclusivamente a carbone, legna o, in pochi casi, biogas: il carbone (chiamato comunemente "cha-co", che sta a significare char-coal) è la fonte più diffusa per la cucina quotidiana, generando una ridotta quantità di fumi, e fornendo la possibilità di spegnere e riutilizzare i residui. Ha però lo svantaggio di comportare un impegno economico costante con costi ricorrenti e inoltre richiede tempi lunghi e un maggiore sforzo fisico per la preparazione dei pasti. La cucina a carbone produce comunque fumo, sebbene in minor quantità rispetto alla

legna da ardere, e ha impatti negativi sulla salute e sulla pulizia degli ambienti, soprattutto se si considera che il metodo di innesco della fiamma avviene tramite la combustione di sacchetti di plastica. Nonostante ciò, il carbone è percepito come affidabile e sempre disponibile (sebbene in maniera ridotta) forse per motivi di abitudine.

Il sistema a energia solare è spesso riservato esclusivamente all'illuminazione e alla comunicazione, ma le famiglie adottano strategie di risparmio energetico molto rigorose, facendo un uso dell'elettricità soprattutto nelle ore serali. Durante i periodi di pioggia o scarsa insolazione l'energia disponibile si riduce drasticamente o scompare del tutto e per farvi fronte gli abitanti tornano a sistemi tradizionali. Ad esempio in caso di esaurimento della batteria, si utilizzano torce o lampade a combustione.

Anche qui l'illuminazione serale è considerata fondamentale per la sicurezza dell'abitazione, allontanando i ladri e i malintenzionati che, sebbene in misura minore rispetto alla città, sono comunque presenti. Allo stesso modo che in ambito perturbano la presenza della luce consente attività serali come studio, socializzazione e svago prolungato

L'accesso all'energia off-grid è percepito come un miglioramento significativo rispetto al passato anche se le persone preferirebbero comunque la connessione di rete. In accordo con i sistemi analizzati, l'autonomia energetica è parziale e fortemente limitata dalla capacità tecnica del sistema. Le famiglie sono consapevoli dei limiti del sistema e regolano i consumi di conseguenza ma la manutenzione ordinaria dei pannelli e delle batterie, che dovrebbe essere svolta direttamente dagli utenti, viene trascurata ed eventuali danni ad essa direttamente connessi vanno ad accrescere la spesa iniziale. In caso di guasti tecnici complessi l'intervento di tecnici qualificati è difficile e si preferisce dismettere il sistema o usarlo così com'è, consapevoli della riduzione di prestazioni.

Il costo iniziale del sistema solare rappresenta un ostacolo per molte famiglie ma nonostante ciò il solare è percepito come più conveniente rispetto alla connessione alla rete nel lungo periodo in termini di spesa. L'assenza di bollette mensili è considerata un vantaggio rilevante oltre al fatto che le "famiglie off-grid" sviluppano una forte consapevolezza del valore dell'energia e di un suo migliore utilizzo, essendo percepita come una risorsa scarsa e da gestire con attenzione. Le strategie energetiche adottate riflettono una combinazione di necessità economiche e adattamento tecnologico.

Il modello off-grid si configura come un sistema energetico ibrido, basato sulla complementarità tra solare e combustibili tradizionali. Questo modello garantisce un livello minimo di servizi energetici, ma non consente un pieno sviluppo delle attività domestiche.

Tabella 5.1 Descrizione sommaria fonti energetiche utilizzate

Fonte	Uso principale	Percezione	Benefici	Criticità
Rete elettrica nazionale	Illuminazione, elettrodomestici, TV, ferro da stiro, lampade per pulcini	Necessaria ma inaffidabile	Stabilità quando funziona, potenza alta	Blackout, tensione bassa, bollette alte, guasti frequenti, necessità tecnici
Solare domestico	Luci, ricarica telefoni, TV, piccoli carichi	Affidabile e trasformativo	Bassi costi, studio notturno, sicurezza, riduzione paraffina	Batterie che si degradano, ricambi difficili, furti, potenza limitata
Biogas	Cucina	Molto positivo e pulito	Niente fumo, pentole pulite, si cucina anche di notte, fertilizzante	Dipende dagli animali, alimentazione corretta, tubi danneggiabili
Carbone	Cucina, backup per polli	Tradizionale ma costoso	Disponibilità culturale	Prezzo crescente, fumo, tempo per accensione
Legna	Cucina tradizionale	Necessaria per alcuni cibi	Costo basso, ampia disponibilità	Fumo, rischi respiratori, vietata in alcuni luoghi
Benzina	Pompe per irrigazione	Necessaria ma onerosa	Potente	Costo elevato, instabilità economica

5.2 Bisogni energetici quotidiani delle famiglie

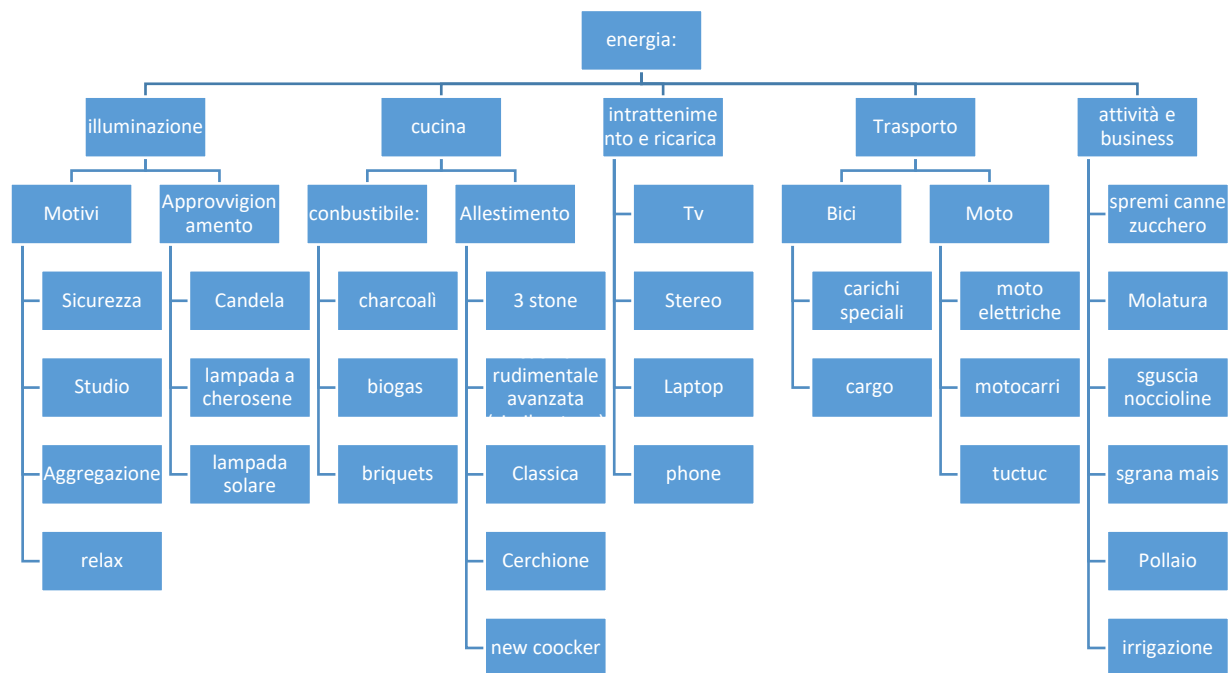


Figura 5.1 Schema argomenti e informazioni osservate

Lo schema riportato dà una visione più chiara delle necessità precedentemente citate, in riferimento alle fonti e i loro utilizzi in aree periurbane e rurali: il seguente paragrafo descrive le funzioni energetiche considerate essenziali dalle famiglie. I bisogni che emergono dalle pratiche quotidiane e dalle interviste sono simili nei diversi contesti, ma vengono soddisfatti in modi diversi.

Tra i numerosi bisogni essenziali l'illuminazione è ritenuta un bisogno energetico fondamentale ed è infatti universalmente riconosciuto: la necessità di luce si fa sentire nelle ore serali per motivi quali: attività domestiche, studio dei figli e socializzazione familiare. Inoltre l'illuminazione è fortemente percepita come un mezzo per ottenere sicurezza, viene data priorità all'illuminazione rispetto al comfort o l'intrattenimento per favorire la sicurezza e sfruttare la giornata anche terminate le ore di luce naturale.

Uno degli altri usi considerati essenziali è la ricarica del telefono, che quotidianamente si pone come strumento multifunzionale per comunicare con famiglia e amici, ma anche per lavoro ed emergenze. Dalle conversazioni con gli utenti emerge infatti che il bisogno di rimanere raggiungibili è dovuto a un fattore psicologico di sicurezza.

All'interno delle famiglie vi è la presenza di più telefoni; per questo la ricarica è un'attività pianificata e prioritaria, sia per dare più possibilità a tutti i componenti del nucleo, sia per ottimizzare la ricarica in orari meno costosi. Per quanto riguarda l'uso di dispositivi digitali più

complessi (PC, laptop), se ne riscontra l'esigenza solo nei nuclei abitativi o familiari che ne hanno esigenza lavorativa; laddove l'uso si possa ridurre o omettere, non essendo essenziale, quest'ultimo non viene privilegiato.

L'energia è percepita come abilitatore della vita serale, per cui le persone si incontrano e riescono a sfruttare ore della giornata altrimenti perse. Le attività vengono prolungate anche dopo il tramonto quando l'uso dell'energia per l'illuminazione favorisce momenti di aggregazione e di condivisione, ma anche di svago ascoltando la radio insieme o guardando la TV. Questo avviene in diversi modi in base alle differenze tra famiglie con bambini, studenti o anziani ma in generale è comune per tutti.

In questo modo l'energia assume valore sociale oltre che la funzione tecnico-pratica.

La cucina è il bisogno quotidiano centrale, anche se praticamente in tutti i casi non è dipendente dall'elettricità, è anche il consumo più consistente sia in termini di tempo che di quantità. In famiglia per la persona che si occupa dei pasti la continuità della preparazione è una priorità assoluta arrivando a durare anche ore e quindi l'affidabilità della fonte è un criterio principale di scelta: l'energia per cucinare è riconosciuta come bisogno non negoziabile. La principale differenza tra bisogni energetici per cucinare e per illuminare sta nel fatto che, per quanto ci si possa in qualche modo adattare al buio, non ci si può adattare alla fame. Ciò spiega il perché del lungo tempo dedicato alla preparazione dei pasti e lo sforzo fisico che viene richiesto per collezionare il combustibile.

L'intrattenimento è un bisogno non essenziale ma quando è possibile soddisfarlo è molto apprezzato, tenuto conto che l'uso di TV e radio è subordinato alla disponibilità energetica. Anche gli elettrodomestici sono visti come bisogni effettivi ma non prioritari, cioè che potrebbero migliorare la qualità della vita, ma allo stesso tempo non indispensabili. Di conseguenza si verifica la rinuncia consapevole di alcuni usi per garantire quelli fondamentali, effettuando così una gerarchizzazione interna dei bisogni energetici.

La consapevolezza della scarsità di disponibilità di energia è diffusa e condiziona le scelte: le persone si adattano nelle pratiche quotidiane alla disponibilità energetica. Viene quindi normalizzata la rinuncia alle comodità e ai confort come parte della vita quotidiana. L'energia in tutti i casi non è un servizio garantito, ma una risorsa da gestire e alla disponibilità della quale adattarsi. Quindi la differenza tra bisogni desiderati e bisogni realmente soddisfatti si fa molto ampia e visibile.

Pensando al futuro emerge il desiderio di maggiore disponibilità energetica, aspirando a più luce, maggiore continuità e più dispositivi. Un miglioramento di qualità e accesso diventa il simbolo di avanzamento delle condizioni di vita rendendo evidente la connessione tra bisogni energetici e idea di sviluppo: bisogni latenti che emergerebbero con un maggiore accesso.

Tabella 5.2 Bisogni energetici delle famiglie

Ambito	Bisogni osservati	Soluzioni attuali	Gap
Illuminazione	Sicurezza, attività serali	Solare, rete, street lights	Blackout, batterie deboli
Cucina	Rapidità, pulizia, affidabilità	Biogas, carbone, legna, stufe ventilate	Stabilità biogas, costi carbone
Conservazione alimenti	Mancanza di frigo in molte case	Rete elettrica (quando possibile)	Tensione insufficiente, costi elevati
Comunicazione	Ricarica telefoni	Solare, rete	Batterie rovinata quando piove o nuvoloso
Produttività	Allevamento, irrigazione	Lampade elettriche, pompe a benzina	Solare non abbastanza potente, costi benzina
Sicurezza	Illuminazione esterna	Street lights	Furti se luci private esterne

5.2.1 Approvvigionamento energia elettrica



Figura 5.2 Pannelli di diversa dimensione amovibili

L'energia elettrica per la maggior parte del campione intervistato viene prodotta in loco tramite pannelli fotovoltaici di diverse dimensioni a seconda delle disponibilità economiche: dai pochi watt (5/10) fino ad arrivare a un centinaio, tutte misure molto più ridimensionate rispetto ai paesi avanzati. L'unico impianto di potenza superiore al migliaio di watt alimentava una scuola ma è stato importato da una ONG per aiuti umanitari.



Figura 5.3 Impianto fotovoltaico progetto Hello World (2°50'34.8"N 32°12'58.5"E)

L'impianto riportato fa parte di uno dei progetti della ONG Hello World che si basa sulla creazione di "Hello Hub" (punti di accesso informatico da esterno) alimentati a energia solare, fornendo energia per la ricarica di dispositivi e la connessione ad internet per dare accesso all'istruzione essenziale a famiglie e giovani non in grado di sostenere le tasse scolastiche o di accedere alla scuola tradizionale.

Avendo ricevuto una tecnologia che fornisce energia in maniera duratura ed accesso internet per ora illimitato, gli insegnanti della scuola ne hanno condiviso con tutta la comunità i benefici, imparando anche ad autocontrollarsi e limitarsi all'insorgere di problemi: laddove la tecnologia non si adatta, le persone si adattano ad essa (per esempio nel limitare le modalità di accesso ad internet e le tipologie di ricarica ai soli telefoni e dispositivi portatili).

L'impianto è composto da 3 pannelli da 410 watt, RMS144-6-410M di fattura cinese Risen Energy che rispetta i principali standard internazionali, 4 accumulatori piombo acido sigillato Chloride Solar DC12-200 da 200Ah, anch'esse di produzione cinese (Hengyang Ritar Power

Co.), un regolatore di carica Victron Energy BlueSolar MPPT 150/60-Tr, un micro inverter InnovEx e i collegamenti e interruttori magnetotermici necessari.

Le configurazioni degli impianti per le abitazioni invece sono molteplici: dal pannello con luce integrata sopra il tetto delle capanne, a pannelli amovibili esterni da orientare manualmente e riporre di notte, fino a sistemi fissi che venivano collegati a sistemi di batterie (appositamente comprate ma anche adattate) e controllori di carica per lo stoccaggio.

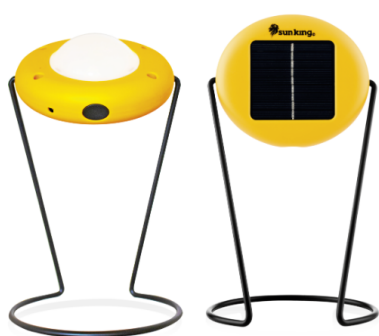


Figura 5.4 Installazione pannello di piccola taglia su tetti di paglia

Il dispositivo adottato più comunemente è la lanterna solare Sun King Pro 400 che si compone di pannello solare da 5/6 watt, un cavo di alimentazione da circa 3 metri e una lampada con batteria integrata: ciò permette di installare il pannello sopra il tetto di paglia delle capanne, avendo solo un piccolo cavo che lo attraversa e non ne compromette la struttura, o di posizionare il pannello manualmente a seconda della posizione del sole.

Questo oggetto fornisce una qualità della luce migliore e più durevole arrivando sino a 40 lumen per circa 100 ore.

In alternativa la stessa fabbrica produce il modello Pico Plus, una luce con pannello posizionato sul retro, fornendo una cinquantina di lumen per circa 72 ore. Il pannello integrato è da 0.35 w e la batteria al litio ferrofossato (LiFePO₄) da 1,4 Wh. (Sun King, s.d.)



Pico Plus

Lanterna solare

Con un perfetto equilibrio tra prestazioni e convenienza, Pico Plus è una pratica soluzione di illuminazione portatile, ideale per lavoro, studio o viaggi. Progettata con una batteria a lunga durata e un pannello solare integrato per la ricarica, Pico Plus offre una luce fino a cinque volte più luminosa di una lampada a cherosene. Include una porta USB per la ricarica di telefoni cellulari con funzionalità base.

[Acquista ora](#)

Figura 5.5 Sun King pico plus posizionata a ricaricare alla luce del sole

Pannelli di dimensione fisica più grande non sempre corrispondono a un aumento di potenza analogo: nel caso della prima intervista un pannello di un metro per mezzo metro di larghezza misurava 50 W, il secondo intervistato univa 2 pannelli di abbondanti dimensioni ma con la produzione di un valore nominale di 120 W + 125 W. L'esempio del proprietario di un piccolo business di allevamento di polli ha adottato 3 pannelli da 120 W nominali ottenendo circa 400 watt (che sono nell'ordine di grandezza di un solo pannello di media fattura europeo). Un altro ancora si è procurato un sistema auto costruito da 120 W + 66 W. Anche per chi possiede un tetto in lamiera o in muratura non sempre è valutata la posa del pannello su di esso, a causa dell'insicurezza percepita: solo chi ha sistemi di recinzioni esterne o tetti particolarmente irraggiungibili non teme i ladri. L'abitudine di riporre il pannello all'interno dell'abitazione la notte e ogni volta che non c'è nessuno in casa e tirarlo fuori la mattina, non crea problema dal punto di vista della routine o dello sforzo, ma predispone ad eventuali rotture accidentali: in alcune interviste è emerso che animali e bambini possono urtare, far cadere e rompere il pannello accidentalmente.



Figura 5.6 Casa della prima intervistata

Altri metodi per accedere all'energia provengono dalla rete pubblica, che produce la maggior parte del suo fabbisogno, dall'impianto idroelettrico di grande taglia posizionato non troppo lontano dalla città (nell'ordine di un centinaio di chilometri), o dall'illuminazione pubblica prodotto da lampioni con pannello fotovoltaico integrato. L'illuminazione pubblica è per molti sentita come propria, in quanto le case che sorgono nei pressi di una strada urbana godono di fatto di maggior sicurezza e visibilità, seppur non possiedano il sistema illuminante. Inoltre il posizionamento dei lampioni nei pressi dell'abitazione dà luce diretta nelle ore notturne e non richiede di farsi carico della manutenzione.



Figura 5.7 Esempio di lampioni solari pubblici

Questi metodi di approvvigionamento di energia nascono inizialmente per predisporre punti di luce nelle ore notturne e secondariamente per la ricarica e l'alimentazione dei dispositivi; sono comunque presenti dispositivi per l'illuminazione come candele, lampade a batteria e torce a cherosene, mentre in alcuni casi è stato riferito di aver utilizzato un vecchio metodo che consiste nel posizionare carboni ardenti sulla punta di un bastone per usarlo come torcia. Le candele sono state introdotte dai missionari e hanno segnato un avanzamento nella tecnologia per il costo meno elevato, confrontato con gli altri sistemi in uso e la velocità di utilizzo, ma portando anche lo svantaggio della continua attenzione necessaria per evitare danni da incendio più o meno gravi.

Il medesimo discorso vale per le lampade a cherosene, dal costo del combustibile più elevato, e dai fumi tossici e dannosi per la salute ma dal costo del corpo lampada più basso e dalla lunga durata vita.

Le lampade solari a confronto con queste due tecnologie citate permettono di eliminare il rischio di incendi (che tra tende, stuoie e tetti in paglia è molto elevato) per contro il prezzo è alto e molte famiglie non possono permetterselo.



Figura 5.8 Metodo di illuminazione tradizionale: candela, lampada a cherosene prefabbricata e artigianale, lampade a batteria

La batteria integrata nelle Solar Lamp risulta efficace e il problema della durata si fa sentire solo quando i sistemi sono assemblati e non vengono collegati correttamente.

Le batterie più comuni sono quelle ad acido liquido, alcune nate direttamente per impianti solari, altre di recupero da automobili. Il problema comune a tutte le interviste riguarda la durata della vita dato che tutti, tranne 2 casi tra gli intervistati, hanno visto l'efficienza diminuire drasticamente nell'arco di uno o 2 anni, fino ad arrivare al completo malfunzionamento.



Figura 5.9 Batterie per sistemi solari domestici (ad acido liquido di recupero da macchina e apposite per pannelli solari)

I problemi comuni nascono dalla mancanza di controllo dei picchi di produzione di energia dal pannello, altri invece dal carico eccessivo degli apparecchi connessi. Anche i continui cicli di scarica compromettono la longevità del dispositivo: una pratica diffusa è sfruttare tutta l'energia accumulata lasciando spegnere gli stereo, radio o televisioni utilizzandoli per un tempo più lungo possibile.

5.2.2 Energia per cucinare

Una parte molto ampia dei consumi è quella riguardante la cucina: per soddisfare il bisogno di calore necessario per l'ebollizione dell'acqua e la cottura del cibo.



Figura 5.10 Sistemi di cottura tradizionale Three Stone

Il metodo più comune ed utilizzato è la combustione che avviene in modi diversi a seconda del combustibile adottato: la scelta più antica e semplice è quella di utilizzare legna da ardere in un sistema di 3 pietre che mantengono sollevate le pentole e allo stesso tempo permette al fuoco di aver accesso all'aria e all'ossigeno. E' un sistema molto semplice e poco oneroso in termini economici. Comunemente adottato nei villaggi più remoti, incontra la tradizione e viene visto come la scelta di base per tutti, ma richiede un dispendio di tempo per recuperare pietre adatte e legna ogni giorno. A seconda della stagione (stagione delle piogge o stagione secca) alcune famiglie scelgono di posizionarlo in esterno piuttosto che all'interno delle abitazioni, dove di solito viene sfruttato per benefici secondari come la generazione di calore e l'affumicatura del tetto di paglia al fine di eliminare la presenza di insetti (problema che è stato rilevato dove l'ammodernamento dell'abitazione ha dedicato alla cucina una stanza a sé). L'inconveniente riscontrato sta invece nella patina di residui neri sotto alle pentole e all'irritazione degli occhi causata dal fumo in seguito a lunghe esposizioni.



Figura 5.11 Supporto esterno in fango per cucina con legna da ardere

Per il medesimo combustibile vengono costruite all'esterno cucine in pietre e fango per sostenere le pentole e canalizzare il fuoco, oppure cucine interne che oltre a permettere la possibilità di cucinare con due pentole grazie ai due fori dedicati (Figura 5.12), hanno anche la funzione di recupero del calore tramite canalizzazione dei fumi che vengono poi direzionati verso l'esterno, nei sistemi più elaborati (Figura 5.13), grazie a un tubo passante per la parete. Gli allestimenti prevedono 2 fori sottostanti: uno per inserire il combustibile (principalmente legna da ardere) e l'altro per avere apporto di ossigeno adeguato alla combustione.



Figura 5.12 Cucina in fango interna con 2 fori per pentole

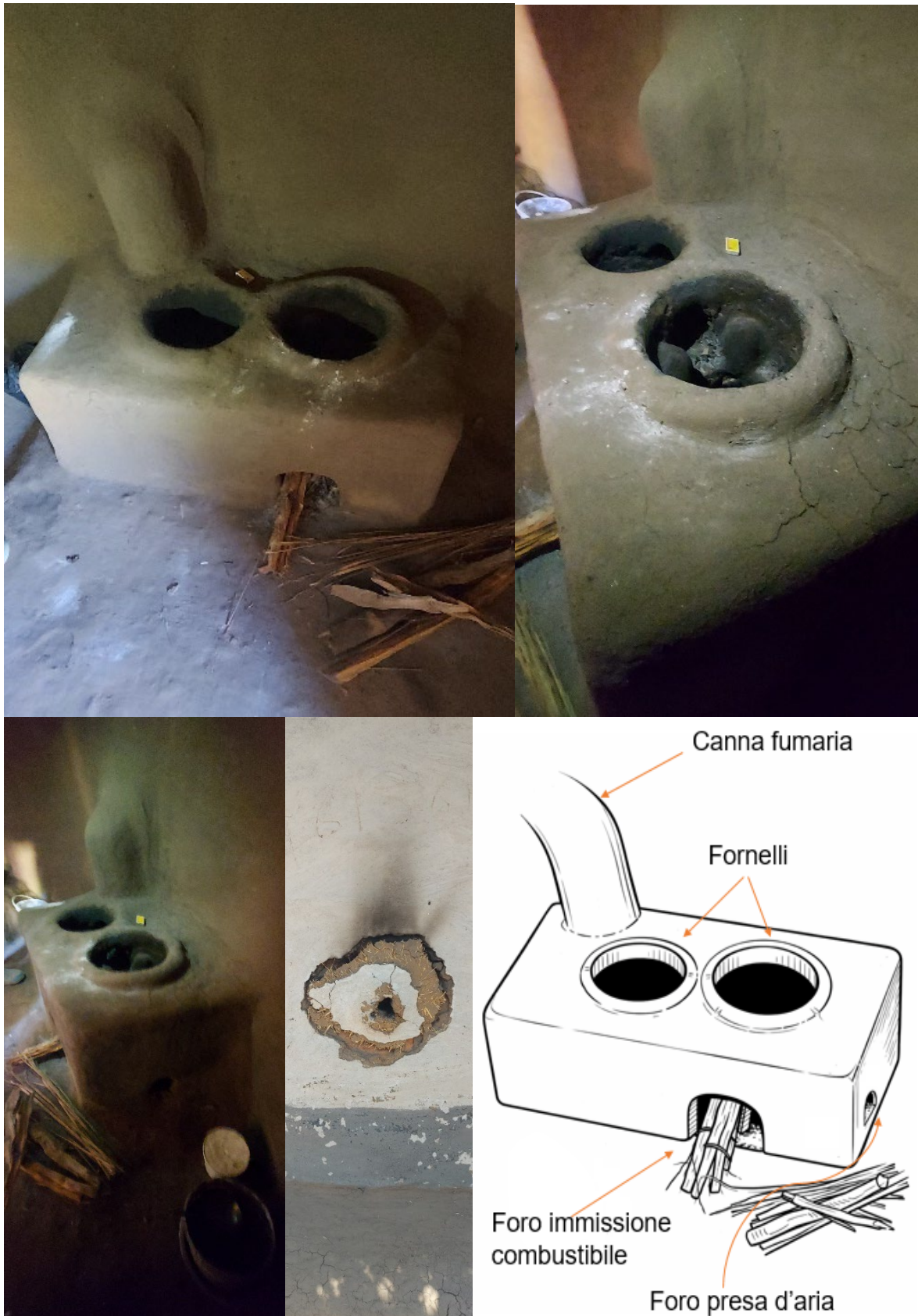


Figura 5.13 Cucina in mattoni e fango interna, con 2 fori per pentole, presa d'aria, immissione combustibile e uscita fumi esterna all'abitazione

Esistono poi tipologie di cucina più recenti, nei quali si può anche introdurre piccoli pezzi di legna ma è più facile, e comune, utilizzare il carbone. I più semplici sono dei bracieri di ferro realizzati per contenere il carbone; alcune versioni sono più rudimentali, altre più efficienti ed alcune sono realizzate con materiali di recupero, dove il cilindro base è sostituito da un cerchione corredato di supporti adeguatamente saldati (realizzato in un *workshop* comune lungo le strade della città di Gulu).



Figura 5.14 Cucine metalliche per carbone: comune, con materiali di recupero e con supporto sopraelevato

Alcune versioni orientate a limitare le perdite di energia si compongono di cilindri metallici concentrici separati da uno strato di sabbia o terra per contenere il calore all'interno. Nella parte inferiore vi è un'apertura che consente di raccogliere le ceneri e allo stesso tempo di fornire ossigeno durante la combustione, facendolo passare poi dai piccoli fori del fondo del cilindro interno dove viene riposto il carbone.



Figura 5.15 cucina cilindrica per charcoal con strato di isolante interno

I problemi pratici, emersi dagli utilizzatori intervistati, di queste tecnologie stanno nelle tempistiche di accensione, in quanto alcune persone tornando a casa dal lavoro devono aspettare diversi minuti prima che il fuoco sia pronto per cucinare. L'altro problema comune è reperire il materiale dopo che ha subito un aumento dei prezzi da quando il commercio di carbone su larga scala è stato dichiarato illegale.

Una possibile soluzione è una versione di cucina più efficiente che include un sistema di ventilazione elettrica sottostante: forzando il flusso di aria aumenta la potenza termica e fa sì che i tempi di accensione e cottura si riducano. Ciò permetterebbe anche di usare meno carbone in quanto i tempi di cottura risulterebbero ridotti, e potrebbe anche essere usata per ricaricare i cellulari, oltre ad avere un cursore per regolare l'afflusso di aria per la potenza della fiamma. Le possibilità di funzionamento sono due, o direttamente collegato al pannello solare oppure tramite batteria interna. La batteria al suo interno si ricarica col medesimo pannello fornito nel kit e la sua autonomia è di 3 giorni.

L'intervistata descrive il miglioramento significativo dell'efficienza della combustione. I tempi di accensione vengono ridotti drasticamente da circa 10–12 minuti per il fornello tradizionale a circa un minuto per il fornello ibrido. Anche i tempi di cottura sono stati quantificati come inferiori, per esempio per la bollitura dei legumi (piatto tipico e quindi cucinato sovente) passando da circa un'ora con fornello tradizionale e pentola a pressione a circa 10 minuti con il fornello ibrido. La rapidità di cottura è quindi il principale fattore di soddisfazione per gli utenti.

Dall'intervista viene anche quantificata la riduzione del consumo di combustibile: un sacco di carbone (1.5m di altezza per 50 cm di diametro) dura 1–2 mesi con fornello tradizionale e 4–5 mesi con il fornello ibrido. L'investimento iniziale è di circa 150.000 scellini per il modello sovvenzionato (adottato dall'utente in questione) e di circa 600.000 scellini per i modelli non sovvenzionati. Il prezzo di mercato è ritenuto inaccessibile per la maggior parte delle famiglie, ma nonostante il costo iniziale più elevato rispetto ai fornelli tradizionali, il rapporto costo-beneficio è valutato positivamente soprattutto nel medio-lungo termine.

Vi è inoltre la possibilità di utilizzare diversi tipi di combustibile (come carbone, scardi di mais, segatura, scarti agricoli, bricchetti) e questa flessibilità è considerata come un ulteriore vantaggio, permettendo di adattarsi all'instabilità del mercato (sia per le variazioni di prezzo sia per la disponibilità dei combustibili).

La vita utile stimata del fornello è di circa dieci anni, con la dovuta manutenzione: sono facili da sostituire alcuni singoli componenti come rivestimento interno, pulsanti e parti meccaniche, riducendo la necessità di sostituzione completa del dispositivo. Inoltre nel programma al quale l'intervistata ha aderito il primo anno di manutenzione è garantito dal produttore, e dopo vi è comunque la presenza di tecnici locali formati. La semplicità del sistema dà la possibilità di effettuare una manutenzione decentralizzata senza richiedere un'assistenza altamente specializzata.



Figura 5.16 Cucina ibrida per charcoal con ventola elettrica

L'alternativa nata per far fronte all'irreperibilità del carbone sono le briquettes: cilindri pressati di materiale organico vegetale carbonizzato ideati per sostituire e migliorare il combustibile tradizionale. Per approfondire l'argomento son stati intervistati i gestori di un programma di produzione locale di questo combustibile, in quanto è stato difficile trovare utenti che lo utilizzano.

È stata analizzata l'intera tecnologia di produzione delle briquette di biomassa composte e sono state rivolte domande per approfondire:

- le materie prime utilizzate
- le caratteristiche del prodotto finale
- le modalità di utilizzo domestico
- gli aspetti economici e organizzativi
- le principali sfide tecniche e di mercato affrontate dai produttori

Per produrre questo combustibile può essere utilizzato qualsiasi materiale di origine vegetale come residui di piante di riso, pannocchie, foglie, sfalci e così via, con impiego esclusivo di biomassa disponibile localmente. Vi è anche la possibilità di riutilizzare la polvere di carbone

di scarto proveniente da mercati e i residui dei punti di vendita del carbone tradizionale. Ma il vero vantaggio ambientale sta nella valorizzazione di materiali normalmente considerati rifiuti. Il processo inizia con la carbonizzazione pirolitica dove in un carbonizzatore progettato per ridurre il contenuto di umidità della biomassa grezza, caricato del materiale sopra descritto, si innesca il fuoco dall'alto, e viene chiuso il coperchio per limitare gli apporti di ossigeno dal basso dove tramite fori viene richiamata aria. Si crea quindi un processo di espulsione dell'umidità durante la carbonizzazione tramite deflusso all'esterno del sistema e ciò produce una polvere carbonizzata con contenuto di umidità basso e controllato. Il processo è finalizzato a migliorare la qualità e la stabilità del prodotto finale. Il materiale al suo interno, ora privo di ossigeno, viene poi triturato per ottenere una polvere uniforme, viene aggiunto un materiale legante (inizialmente è stata provata l'argilla che però dava problemi come l'elevata produzione di ceneri dopo la combustione, ora sostituita con farina di cassava (ortaggio tipico del posto classificato come tubero) con riduzione significativa del contenuto di ceneri, ma che purtroppo non le elimina completamente) e molassa (da piante di canne da zucchero) come collante. Il tutto mescolato ed estruso con un macchinario di forma conica in modo da compattare il materiale che fuoriesce a forma di cilindro cavo, spezzato poi manualmente. L'uniformità del diametro e la compattazione omogenea sono garantite dallo stampo e dalla pressione dell'estrusore. Segue poi l'essiccazione e lo stoccaggio in edifici appositi.





Figura 5.17 Processo fabbrica briquettes: a combustore, b macchinario mescolatore estrusore, c blender, d materiale estruso, e mais core carbonizzati, f materiale carbonizzato, g briquettes stoccati, h mais core, i polvere di raw material, j briquettes in processo essiccazione, k materiale finito

Per la cottura dei cibi il carbone non più necessario può essere spento con l'acqua, ciò non è possibile coi *briquettes* perché non manterrebbero la forma e non potrebbero più essere riaccesi: questo scoraggia gli utenti, in realtà i produttori assicurano che se si copre con una pentola il combustibile ardente la mancanza di ossigeno fa sì che i tizzoni si spengano senza sgretolarsi.

Oltre a occuparsi della produzione il gruppo dà assistenza post-vendita e formazione agli utenti, grazie a una sorta di servizio di accompagnamento ai clienti che li forma su:

- modalità corrette di accensione
- disposizione dei *briquettes* nel fornello
- spegnimento sicuro per la conservazione

Gli scarsi residui del processo produttivo, come i materiali non completamente carbonizzati possono essere reintrodotti nel successivo ciclo produttivo: ciò rende questo processo produttivo configurato come quasi privo di rifiuti.

Per quanto riguarda le emissioni di fumo e gli impatti sulla salute è stata riscontrata una produzione di fumo inferiore rispetto al carbone tradizionale, valutata empiricamente tramite l'assenza di irritazione agli occhi durante l'accensione e le pentole pulite, senza tracce di fuliggine. Ipotesi verificate grazie a uno studio dell'università di Gulu che ha rilevato nelle misurazioni delle emissioni gassose l'assenza di gas nocivi durante la cottura, rafforzando la fiducia nella sicurezza del prodotto.

Questo combustibile è compatibile con la maggior parte dei fornelli tradizionali (anche con quelli in argilla o fango interni alle abitazioni, ma non adatto al sistema delle 3 pietre).

I *briquettes* finiti hanno difficoltà ad entrare nel mercato perché il prezzo, dovuto alla lavorazione e alla quantità di materiale, è leggermente più alto. Questo però è compensato dal potere calorifico maggiore di quello del carbone, oltre alla durata più estesa della combustione. Il prezzo è fissato a circa 1.500 scellini per chilogrammo, contro i mille del *charcoal*, ma a differenza di quest'ultimo non subirà incrementi dovuti alle politiche di anti-deforestazione.

Confrontandone la produzione con quella del carbone tradizionale si riscontra che nel breve periodo la produzione di carbone è più rapida, i costi immediati sono inferiori e la redditività apparente sembra maggiore. Ma ha criticità quali: esposizione a fumi tossici, stress termico durante la carbonizzazione, rischi per la salute, restrizioni legali su taglio alberi e trasporto. Nel lungo periodo quindi la produzione di *briquettes* è più sostenibile, dando anche maggiore sicurezza sanitaria, rispettando le normative ambientali e disponendo di continuità delle materie prime.

Esistono anche dei metodi di produzione domestica senza l'utilizzo di macchinari complessi. Il processo artigianale descritto degli operatori si può così riassumere:

- raccolta di polvere di carbone di scarto

- pestatura manuale
- miscelazione con legante
- modellazione a mano
- essiccazione

La qualità di conseguenza risulterà inferiore rispetto alla produzione industriale, ma questo processo di formazione iniziale ricevuta dai produttori si innesta perfettamente nel processo di trasferimento delle competenze alla comunità tramite attività di training.

Una versione in scala più piccola la si trova nell'utilizzo di presse idrauliche manuali su stampi cilindrici, dei semplici crick da automobili trovano un secondo impiego per la produzione manuale di *briquettes*. A completare il macchinario vi è un misuratore di pressione che permette di avere costanza e precisione nella creazione dei campioni, il processo di carbonizzazione e mixing è fatto manualmente in precedenza.



Figura 5.18 macchine manuali per pressatura briquettes

Esistono anche sistemi a gas, sia semplicemente a ricariche di bombole, sia con un impianto domestico di produzione di biogas. In generale usare il gas per cucinare è più costoso ma più semplice e veloce. Le ricariche delle bombole costano circa 55 mila scellini per una bombola da 10 litri, che per una famiglia di 4 persone può durare circa un mese, lo stesso quantitativo in carbone può durare anche il doppio. Un aspetto negativo riguarda la percezione soggettiva: alcune famiglie percepiscono il cibo cucinato sul gas come “troppo pulito” o “non affumicato”. L’interpretazione di tali resistenze sta nelle abitudini e tradizioni culturali, non alla qualità reale del cibo in sé.



Figura 5.19 cucina con bombola

La scelta di un impianto di produzione domestica di biogas, invece, è più complicata e prevede determinate condizioni abitative, ma risulta poi essere uno dei metodi più efficienti quando viene usato in maniera rigorosa. Tolta la spesa iniziale non vi sono poi altre addizioni, solo alcune piccole manutenzioni di tubi e rubinetti. Le condizioni necessarie sono però stringenti: occorre avere acqua nelle vicinanze (per miscelarla nella stessa quantità dei reflui) e abbastanza animali da mantenere il *feeding* dell’impianto, per avere la quantità corretta batteri e avviare la digestione biologica. La necessità di escrementi bovini per avviare la digestione per poi essere alimentato anche dagli scarti di altri animali come suini, ovini e equini. La spesa iniziale è davvero limitante in quanto si aggira intorno ai 3 milioni di scellini e le famiglie, senza l’aiuto di progetti supportati da organizzazioni non governative, non potrebbero affrontare un tale investimento: in questo caso la formula usata dalla Caritas Diocesana è supportare al 50% la spesa facendo comprare solo alcuni materiali e occupandosi in proprio dell’installazione e della costruzione.

Il biogas, come il GPL (gas propano liquido) in bombola, è visto come una tecnologia affidabile, migliore rispetto al carbone e alla legna, potendo accendere la fiamma immediatamente (cambiamento sostanziale nella gestione della cucina). Ciò consente alle famiglie di preparare

i pasti in qualsiasi momento, senza dover dipendere dalla disponibilità del combustibile. In questo modo, le famiglie possono cucinare quando vogliono, senza essere vincolate da orari prestabiliti. Questo porta a una maggiore indipendenza e flessibilità nella gestione del tempo. Inoltre, la riduzione del carico di lavoro fisico e organizzativo, in particolare per le donne, è notevole. Il tempo risparmiato può essere utilizzato per altre attività, migliorando la qualità della vita quotidiana. Le famiglie possono così godere di una maggiore libertà e autonomia nella gestione della propria routine quotidiana.

Un'altra caratteristica fondamentale di questa tecnologia riguarda la pulizia: l'assenza di fumi e residui incombusti durante la cottura si traduce in un miglioramento diretto della salute (visibile nei sintomi quali tosse, difficoltà respiratorie, irritazioni oculari) e della qualità dell'aria all'interno dell'abitazione. Le pentole e gli utensili sono mantenuti più puliti rispetto alla cucina a carbone. Un beneficio secondario è la produzione di fertilizzante organico come sottoprodotto del biogas; l'utilizzo della cosiddetta *slurry* per orti e coltivazioni domestiche costituisce una riduzione nell'uso e costi di fertilizzanti agricoli.

Tra i fattori che possono creare alcune difficoltà da parte degli utenti intervistati emerge che la produzione di gas è direttamente correlata alla corretta gestione del digestore. Vi è la necessità di una quantità sufficiente e costante di materia organica (di materiale adatto) correttamente miscelata con acqua, quando questo non avviene si riscontrano effetti negativi come il rischio di esaurimento del gas prima della fine della cottura o sovrappressioni che rendono pericoloso l'impianto. A volte si verifica la sovrapproduzione di gas rispetto ai consumi domestici, che obbliga a rilasciare manualmente il gas in eccesso tramite valvole di sfogo o far cucinare i vicini per non sprecarlo. Vi è poi un'interruzione del servizio in caso di malattia o morte o furto degli animali.

Gli utenti hanno partecipato a corsi di formazione tecnica apprendendo le pratiche corrette di alimentazione, miscelazione e sicurezza imparando così a gestire in autonomia l'impianto. La formazione è necessaria per il corretto funzionamento, anche perché vengono insegnate piccole manutenzioni che non richiedono l'intervento di tecnici. Il confronto con gli utenti non hanno avuto una formazione diretta ha evidenziato che questi incontrano più problemi. Questo impianto richiede attenzione e continuità per ottenere lunga durata e affidabilità.

La pratica della condivisione del gas con i vicini, in caso di surplus, è un'altra caratteristica interessante da analizzare: i vicini sono contenti di utilizzare il gas ma poi danno scarsa disponibilità a partecipare alle attività più impegnative (come raccolta letame, alimentazione

digestore, manutenzione). Vi è quindi uno squilibrio tra l'uso condiviso e la responsabilità condivisa, rendendo difficile e non sostenibile una co-gestione comunitaria. Ciò rende il biogas una tecnologia familiare piuttosto che comunitaria.

Per alcuni imprevisti invece è necessaria l'assistenza di tecnici qualificati, ciò richiede tempi di attesa della disponibilità. Tra le interviste è emerso un caso di impianto funzionante ma inutilizzabile a causa di disinstallazione impropria. Vi è stata quindi la necessità di interventi tecnici per ripristino di tubazioni e connessioni, con altre problematiche nel reperimento di tecnici qualificati e nei costi elevati dell'assistenza (principale ostacolo al ripristino del sistema). Gli utenti hanno sottolineato la necessità di un sistema di supporto tecnico accessibile per la sostenibilità nel lungo periodo. Ma comunque l'idea dell'impianto biogas è quella di un investimento conveniente nel medio-lungo periodo, nonostante l'elevato costo iniziale.



Figura 5.20 Impianto di produzione biogas: a pozzo di immissione, b vasca miscelamento materiale organico acqua, c pozzo prelievo materiale fertilizzante

Visto il grado di apprezzamento di questa tecnologia da parte degli utenti, sono stati intervistati anche due tecnici per ottenere informazioni da un punto di vista più specifico. Entrambi gli intervistati hanno maturato la loro esperienza nel settore del biogas da oltre 15 anni dedicandosi alla progettazione e alla costruzione, ma anche dando supporto tecnico e facendo manutenzione di impianti domestici. Grazie alla collaborazione frequente con ONG, in particolare Caritas e programmi nazionali come Biogas Society Uganda (BSU) i tecnici operano in tutta la regione Acholi di Gulu e in altri distretti ugandesi, sensibilizzando la comunità, coinvolgendo i leader locali, e conducendo incontri informativi per individuare i possibili beneficiari idonei.

Il punto di vista degli esperti conferma che il principale scoglio da superare per l'adozione è la limitata capacità finanziaria delle famiglie, che in quasi tutti i casi hanno necessità di supporto economico esterno per rendere l'investimento accessibile. Nel loro caso il modello di co-

finanziamento (50/50) elargito da Caritas fa sì che la ONG copra parte dei costi e che il beneficiario contribuisca solo con alcuni materiali o acquisti diretti.

Le tipologie di cui si occupano sono diverse e con esse le caratteristiche e le accortezze da attuare differiscono. I più diffusi sono i digestori a cupola fissa (*fixed dome*) caratterizzati da elevata durabilità, costi iniziali elevati e forte dipendenza dalla qualità costruttiva (che può limitare la vita utile a 5/10 anni se costruiti male invece di decenni). A seguire vi sono due diversi tipi di digestori prefabbricati: a geomembrana (con vita utile di circa 20 anni) e in plastica o metallo (vita utile di circa 10 anni).

Oltre ai requisiti di installazione per l'impianto già elencati dagli utenti, quali disponibilità costante di materia organica (soprattutto letame), acqua e manodopera familiare, per i tecnici è necessario uno spazio fisico adeguato per il digestore (interrato di 2 metri) su terreno idoneo di proprietà e nucleo familiare sufficientemente numeroso. Confermato il possesso di almeno una mucca per impianti piccoli e di più capi di bestiame o animali più produttivi per impianti di taglia maggiore.

Per l'alimentazione del digestore i materiali utilizzabili sono il letame bovino, visto come substrato ideale per il suo alto contenuto microbico, oltre ad esser sempre utilizzato per l'avvio iniziale dell'impianto. Vi è poi la possibilità di utilizzare altri materiali come:

- deiezioni umane
- letame di pollo, maiale, capra (da ammollare)
- residui alimentari
- urine
- residui vegetali

Vi è anche la possibilità di collegamento diretto alle latrine, se viene anche aggiunta dell'acqua. Sono sconsigliati invece materiali fibrosi (ad esempio foglie) che possono creare accumuli e rallentare la digestione. Il rapporto letame/acqua generalmente è di 1:1, ed è variabile secondo la stagione.

La capacità di produzione e il corrispondente utilizzo del biogas prodotto, secondo l'esperienza dei tecnici, in base alle dimensioni del digestore si possono quantificare così (su base giornaliera):

- 4 m³ → 4 ore di cottura,

- 9 m³ → 9 ore,
- 13 m³ → fino a 13 ore (in base all'uso simultaneo di più fuochi possono dimezzare o diminuire).

I principali guasti e problemi tecnici ricorrenti si ritrovano tra i seguenti:

1. Perdite di gas lungo la linea dovute all'usura dei tubi e dei raccordi o a problemi ai giunti. L'intervento di riparazione per questi è generalmente semplice potendo usare sigillanti reperibili in loco.
2. Problemi al fornello: come la rottura delle manopole di regolazione, causata da un uso improprio e dalla mancanza di formazione.
3. Le valvole e i rubinetti possono essere usurati: vi può essere presenza di corrosione dovuta all'esposizione alla pioggia, il che richiede una sostituzione necessaria circa ogni due anni.
4. La condensa d'acqua nelle tubazioni causa instabilità e riduzione della fiamma e si risolve con lo scarico periodico.
5. Problemi strutturali del digestore:
 - nei prefabbricati possono esserci perforazioni riparabili con colla e con saldatura PVC,
 - nei *fixed dome* possono esserci crepe strutturali che richiedono riparazioni complesse e costose.

Assieme alla tecnologia viene erogata la formazione al momento dell'installazione: indicando l'alimentazione corretta, il mescolamento, e la prevenzione delle croste. Inoltre si è automaticamente inseriti in un programma di follow-up da parte di BSU dopo tre mesi per verificare le competenze. Il primo anno l'assistenza è gratuita per sistemi prefabbricati e dopo di esso viene comunque garantita una manutenzione, con costi generalmente bassi, da parte di tecnici locali formati (anche se l'accesso ai tecnici qualificati non è sempre facile nei distretti e nelle aree più rurali).

Oltre ai sistemi attualmente in uso, la conversazione si è spostata su possibilità future riguardanti lo stoccaggio del biogas e la gestione dei surplus, ma gli intervistati chiariscono che attualmente vi è assenza di soluzioni domestiche efficaci per la compressione e lo stoccaggio a lungo termine. L'unica possibilità reale per l'accumulo è l'utilizzo sacchi per biogas appositi per l'accumulo temporaneo e per dividerlo. Per gestire i surplus invece si innescano strategie alternative come collegare più famiglie o usare il biogas prodotto per scaldabagni. Alcune

tecnologie future e progetti attualmente in sviluppo riguardano la purificazione, lo stoccaggio avanzato, e l'utilizzo per produrre elettricità (ancora troppo costosa).



Figura 5.21 Processo di installazione biodigestori in geomembrana

5.2.3 Sistemi appropriati utilizzati per piccoli business

Bicicletta-ventilatore per alimentazione fuoco



Figura 5.22 sistema di ventilazione per alimentazione fuoco, azionato a pedali

Il prototipo in questione proviene da un officina meccanica ed è stato ricavato sezionando una bicicletta e collegando al cerchione posteriore una fune a nastro che trasmette ad una ventola il moto rotatorio, quest'ultima crea un moto d'aria canalizzato da un tubo utile a alimentare e aggiungere aria ad una fiamma.

Bici tavolo vibrante



Figura 5.23 Tavolo vibrante azionato da sistema a pedali

Nella medesima officina un altro prototipo riguardava l'industria edilizia: un tavolo vibrante per la stabilizzazione dei blocchi edilizi in cemento, l'oscillazione della base viene sfruttata per eliminare le bolle d'aria dal cemento ancora liquido nello stampo. Anche in questo caso la macchina è ricavata dalla parte posteriore di una bicicletta e, tramite un nastro di gomma posto nella sede del cerchio della ruota, il moto rotatorio viene trasmesso a una puleggia collegata ad un box metallico, solidamente saldo alla plancia del tavolo, contenente probabilmente un volano sbilanciato che genera la vibrazione. Il modello in questione era però un primo tentativo e all'assemblaggio, per le dimensioni e la posizione del cerchio, si è verificato il problema di trasmissione dovuto all'attrito per il contatto tra la cinghia e il bordo del tavolo, impedendo così alla rotazione di progredire quando viene interrotta la pressione sui pedali.

Macchine per molatura



Figura 5.24 Mola manuale

I dispositivi più semplici utilizzati per la molatura di pezzi metallici e lame si compongono solo di un disco di materiale abrasivo e di una manovella per metterlo in movimento; date le limitate possibilità in termini di velocità e durata continuativa dei giri, questa tipologia viene utilizzata soltanto per piccoli particolari e utensili realizzati in metalli morbidi come lame in ferro. Di solito questi dispositivi sono collocati nei mercati.



Figura 5.25 Bicicletta mola fissa

La seconda versione rilevata durante il periodo di permanenza, veniva usata in officine meccaniche (nel caso specifico per la riparazione di motociclette) per la lavorazione di pezzi meccanici e la pulizia delle saldature. L'utilizzo è implementato dalla possibilità di azionare la

rotazione dei pedali con le gambe come su una normale bicicletta ma con rotazione contraria. La seduta è stata posizionata al posto del manubrio e la forcella anteriore ribaltata al posto della sella per supportare il disco in pietra e favorirne una posizione comoda sia alla rotazione che all'utilizzo. Completa la descrizione la trasmissione a cinghia gommata e il supporto del doppio cavalletto di cui la bici era già dotata e di una staffa fissa che ne blocca la posizione al posto della forcella anteriore. Lo spazio fisso tra seduta e pedali impone una pedalata spostata in avanti con relativo sforzo maggiore e limite imposto sull'altezza dell'utilizzatore.



Figura 5.26 Bicicletta mola mobile

Un'altra versione trovata nel mercato centrale, essendo di grandi dimensioni, è simile alla precedente per la seduta al contrario, ma presenta diversi punti di miglioramento a fronte di un solo svantaggio che è la mancanza di una seduta comoda per la pedalata durante la molatura. In questo caso la mola è montata sul portapacchi di una bicicletta perfettamente funzionante, grazie a un sistema di forcella e staffe di supporto; questo rende il dispositivo comodo da trasportare e funzionale per gli spostamenti nei diversi mercati e luoghi distanti. La pedalata è di nuovo al contrario e trasmette il movimento alla mola tramite un sistema a cordino che recupera il movimento da una sede ricavata da un copertone ausiliario tagliato.

Bottiglie come elemento edilizio per parete



Figura 5.27 Pareti costruite utilizzando bottiglie di plastica riempite di inerti

Durante una visita nell'unica fabbrica di riciclo plastica della città, e in generale del distretto, è stato rilevato un utilizzo appropriato di rifiuti: alcune delle bottiglie di plastica che il centro raccoglie per sminuzzare pulire e rifondere, sono state usate come elemento edilizio al posto dei mattoni, riempiendo di materiale inerte le bottiglie e applicando cemento tra di esse per costruire delle pareti. Sebbene non possa essere considerata una vera e propria tecnologia, bensì il prodotto di un processo, il sistema in questione è stato valutato come appropriato per il riuso di materiali di scarto con conseguente beneficio sull'ambiente e ricreazione di valore.

Ruota sgrana pannocchie



Figura 5.28 macchinari rotativi sgrana pannocchie: a manuale, b a pedali con volano

Uno strumento ritenuto utile nei villaggi che non hanno accesso diretto all'elettricità è la macchina sgrana-pannocchie: la versione più semplice si compone di uno sgabello con un tubo cilindrico saldato e un elemento mobile che ruotando fa cadere i chicchi di mais dalla pannocchia, le difficoltà riscontrate sono solo nella presa sulla pannocchia che alle volte inizia a girare nella mano dell'utilizzatore. Una versione più avanzata si compone di un sistema a pedali di una bicicletta collegata a una ruota in ferro pieno che agisce da volano e mantiene la rotazione della macchina. Altra miglioria risiede nelle staffe che convogliano e raccolgono i chicchi. Quest'ultima non è una macchina vista in funzione in un villaggio, ma il prototipo usato in esposizioni, prodotto da un campo di educazione al lavoro statale.

Bicicletta a pedalata manuale



Figura 5.29 Bicicletta a pedalata manuale per persone con difficoltà motorie

Nella medesima sede del campo di lavoro statale è stata prodotta anche una bicicletta con pedalata manuale per persone con difficoltà motorie, il funzionamento è semplice, con manubrio si gestisce sia la rotazione che il moto, l'unico svantaggio è il grande peso del dispositivo, che limita la possibilità di percorrere lunghe distanze per la fatica. Oltre ad esser un prototipo utilizzato per mostre è una tecnologia attualmente in utilizzo, incontrata anche per la strada nei pressi del mercato centrale di Gulu, dove le strade asfaltate ne permettono un utilizzo più agevole.

Macchina sgusciatura noccioline



Figura 5.30 Tecnologia a vasche per sgusciare le noccioline

La tecnologia in fotografia è utilizzata per rimuovere i gusci dalle noccioline: si compone di una vasca il cui fondo è semiaperto intervallato da fessure. Il cursore metallico schiaccia i frutti secchi senza rovinarne i semi, ma rompendo i gusci, così da poter raccogliere e separare un prodotto finito manualmente, in quanto il processo inizia con la raccolta delle Ginuts e l'essiccazione su teli scuri, per poi essere passate al macchinario in questione ed infine ad una setacciatura manuale per rimuovere i gusci dai semi. La tecnologia è valutata appropriata e rappresenta una base per eventuali migliorie e implementazioni. Il tasso di produzione è di 8 sacchi da 30 kg al giorno. Esistono anche alternative con motori sia elettrici che a gasolio in grado di svolgere l'intero processo meccanicamente producendo e separando un sacco di semi ogni 2 minuti, ratio ampiamente maggiore, ma che necessita la vicinanza ad un centro abitato per la connessione. Sebbene ciò semplifichi il processo e elimini la fase di setacciatura manuale, l'ingombro del macchinario non lo rende facile da spostare a differenza delle vasche in fotografia e richiede una grande produzione e rivendita per rientrare nei costi.

Macchina spremi canne da zucchero



Figura 5.31 Macchina spremi canne da zucchero

In figura è riportata un'altra tecnologia valutata come appropriata che produce succo spremendo le canne da zucchero. La macchina in questione è ibrida: azionata sia da motore elettrico che da pedali manuali in caso di mancanza di elettricità temporanea o di utilizzo in zone remote. Una ruota dotata di maniglia trasferisce il moto, grazie a una cinghia in gomma, ad una puleggia che a sua volta mette in funzione due rulli zigrinati nei quali viene spremuto il vegetale.

Cucina solare parabola a specchi



Figura 5.32 Cucina solare parabola a concentrazione

Il sistema in questione riguarda una cucina solare di tipo parabolico a concentrazione, i raggi solari sono concentrati nel fuoco di una parabola di specchi in alluminio, al centro del quale è posto un supporto per una pentola. Anche se attualmente non in funzione la tecnologia in figura rappresenta uno degli esempi pratici più famosi di tecnologie appropriate per cucinare.

6. Elaborazione dati e informazioni

6.1 Stima consumi

Sebbene il target degli intervistati sia decisamente eterogeneo, un calcolo relativo alle dimensioni dei bisogni energetici può essere effettuato ipotizzando un uso minimo di base per una coppia di utilizzatori, per una famiglia e per una famiglia con un piccolo business familiare: al fine di fornire un valore adeguato di energia elettrica necessaria è stato escluso dal calcolo la quantità di energia utile per cucinare in quanto nella totalità dei casi, intervistati e non, ci si affidava alla combustione di fonti più o meno sostenibili per la cottura. Allo stesso modo non è stato riscontrato nessun caso di utenti che utilizzasse l'energia per riscaldare gli ambienti, se non come effetto secondario della cucina, per questo motivo un'altra porzione di consumi è stata omessa in quanto reputata non essenziale.

Di seguito si riportano alcune informazioni emerse dalle interviste riguardanti taglie specifiche dei sistemi utilizzati.

- Due pannelli da 100+ 125 W per una famiglia di 6 persone con 2 batterie da 200 Ah usate non contemporaneamente, sistema di controllo dei picchi e inverter.
- Pannello 50 W con una batteria: “pannello fotovoltaico da 50 W, acquistato circa due anni fa, alimenta due lampadine e permette anche di caricare TV e radio.”
- Pannelli 120 W + 125 W con batteria 200 Ah (impianto installato 2023).
- Caso allevatore: 3 × 120 W pannelli e 3 × 100 Ah batterie (per uso lampada riscaldante 100 W per polli).
- Sistema con 120 W + 66 W, batteria 50 Ah, inverter e controller.
- Batterie auto / accumulatori usate frequentemente e sostituite (segnalato come problema comune).

Dagli esempi riportati è evidente che non si può ricondurre tutti gli utenti ad un solo individuo tipo, mentre i dispositivi utilizzati quotidianamente, seppure in maniera diversa, sono:

- Lampadine LED / luci domestiche (1–4 lampade per casa).
- TV (usata nelle ore di giorno e poche ore la sera).
- Radio
- Telefoni (ricarica di telefoni molto frequente).
- Utenti con laptop (alcuni impianti 120–125 W dichiarano supporto laptop).

- Ventilatore

Stima dei consumi tipici e calcolo: assunzioni tecniche e valori riscontrati in loco:

- Lampada LED domestica → 5 W ciascuna (IP lampada moderna vista nelle comunità).
- Televisore piccolo → 30-50 W (TV LED a basso consumo).
- Radio → 5 W.
- Caricabatteria(telefono) → 10 W (5 V × 2A)
- Laptop leggero in uso → 40 W.
- Giorno solare efficace → 5 h di picco (condizione pieno irraggiamento, valore utilizzato comunemente per stime).
- Sistema di batterie → 12 V (valore di riferimento comune).

Gli scenari prima descritti ora possono essere dettagliati dagli apparecchi utilizzati, raggrupandoli in:

- *Base*: uso minimo serale di un paio lampade e un telefono

- *Standard*: famiglia con più lampade, TV per qualche ora, un paio di telefoni e radio

- *Alto*: famiglia con più stanze da illuminare, TV e radio per qualche ora, ricarica laptop e telefoni

Scenario A — *Base* (uso minimo serale: 2 lampade + 1 telefono)

- Lampade: 2 lampade × 5 W = 10 W.
- Ore di utilizzo serale: 6 ore → consumo lampade = 10 W × 6 h = 60 Wh.
- Telefono: 1 h di ricarica = 10 Wh.
- Totale serale = 60 Wh + 10 Wh = 70 Wh.

Generazione solare richiesta (per coprire 70 Wh / giorno):

- Con 5 h picco/dia, pannello 50 W produce almeno: 50 W × 5 h = 250 Wh/giorno.
→ 250 Wh > 70 Wh → un pannello 50 W è teoricamente sufficiente per questo carico in giornate buone.

Batteria consigliata:

- Per soddisfare autonomia 1 notte (nessuna produzione notturna), servono ≥ 70 Wh.
- Con batteria 12 V, 20 Ah \rightarrow energia = 12 V \times 20 Ah = 240 Wh (sufficiente).
- Tenendo conto di DoD (profondità di scarica) consigliata $\sim 50\%$ per lunga vita: utile disponibile ≈ 240 Wh $\times 0.5 = 120$ Wh \rightarrow ancora superiore ai 70 Wh.
 \rightarrow Batteria 12 V \times 20–50 Ah (ossia 240–600 Wh) è conservativamente adeguata per scenario base.

Scenario B — *Standard famiglia* (3 lampade, TV per 3 h, 2 telefoni, radio)

- 3 lampade $\times 5$ W = 15 W. Per 6 h = 15 W $\times 6$ h = 90 Wh.
- TV 30 W $\times 3$ h = 90 Wh.
- 2 telefoni $\times 10$ Wh = 20 Wh.
- Radio 5 W $\times 6$ h = 30 Wh.
- Totale giornaliero = 90 + 90 + 20 + 30 = 230 Wh.

Generazione solare richiesta:

- Pannello 50 W $\times 5$ h = 250 Wh \rightarrow teoricamente sufficiente in giornate ottimali (ma margine molto basso).
- Per garantire margine (nuvoloso / pioggia) conviene pannello 100 W: 100 W $\times 5$ h = 500 Wh.

Batteria consigliata:

- Richiesta energia 230 Wh; con margine e DoD 50% \rightarrow batteria necessaria = 230 Wh / 0.5 = 460 Wh.
- 12 V $\times 40$ Ah = 12 $\times 40$ = 480 Wh \rightarrow corrisponde. Quindi 12 V $\times 40$ –100 Ah (480–1200 Wh) consigliata a seconda dei giorni di autonomia richiesti.

Scenario C — *Uso intensivo / piccolo impianto domestico* (illuminazione + TV 3h + laptop 2h + ricariche)

- Lampade 4 $\times 5$ W $\times 6$ h = 20 $\times 6$ = 120 Wh.
- TV 30 W $\times 3$ h = 90 Wh.
- Laptop 40 W $\times 2$ h = 80 Wh.
- 3 telefoni $\times 10$ Wh = 30 Wh.

- Totale = $120 + 90 + 80 + 30 = 320$ Wh.

Generazione solare richiesta:

- Pannello $100\text{ W} \times 5\text{ h} = 500\text{ Wh}$ → sufficiente e con margine. Viene raccomandato $\geq 100\text{ W}$ per questo uso.

Batteria consigliata:

- $320\text{ Wh} / 0.5\text{ DoD} = 640\text{ Wh}$ necessario.
- $12\text{ V} \times 100\text{ Ah} = 12 \times 100 = 1200\text{ Wh}$ (ottimo, garantisce più giorni di autonomia).

6.2 Confronto valori survey

Tabella 6.1 Valori emersi dalle interviste suddivisi per settore

	aspetto	tecnologico					sociale					economico			ambientale			percettivo						
		Tecnologia affidabile nel tempo	Facile da usare per tutta la famiglia	Materiali disponibili localmente	Facile da riparare con competenze locali		Migliora la qualità della vita familiare	Aumenta sicurezza e comfort domestico	Rafforza le relazioni nella comunità	Accettata e apprezzata dai vicini		Riduce i costi energetici	Genera nuove opportunità di reddito	Rapporto costi-benefici favorevole	Riduce il consumo di risorse non rinnovabili	Migliora la pulizia e l'ambiente	Rispetta l'ambiente circostante	Sento che la tecnologia è mia	Posso gestirla senza aiuti esterni	Adatta alle condizioni di vita e alla				
Intervista	Nota qualitativa																							
Int 000	Assistente ospitante, 2 pannelli pv 220 w e cucina charcoal, sistema luci notturne automatizzato ma non funzionante	4	2	3	2	3	5	4	4	4	4	4	4	1	3	3	3	3	4	3	5	4	4	4
Int 001	Utilizza il solare ma le batterie si sono guastate più volte; utile di giorno ma limitato di notte; preferisce la rete.	2	4	2	1	2	3	3	2	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	3	4	2	4	3
Int 002	Utilizzatore di lunga data del solare; batterie di breve durata; interessato ad alternative; preferisce soluzioni individuali.	2	4	2	1	2	4	4	2	3	3	4	1	3	3	3	4	3	3	4	4	2	4	3
Int 003	Collegato alla rete dal 1992; relativamente stabile ma con interruzioni; favorevole a formazione e sistemi di backup come le batterie.	4	4	3	2	3	4	4	3	4	4	4	2	1	3	2	2	3	3	3	4	3	4	4
Int 004	Utilizzatore di biogas (affidabile), attualmente disinstallato; forti benefici per salute e tempo; necessita di un tecnico.	4	5	3	2	4	5	5	3	4	4	4	5	1	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5
Int 005	Leader comunitario: il solare ha migliorato sicurezza e salute; le batterie sono il principale problema; sostiene le micro-reti.	3	4	3	2	3	4	4	3	4	4	4	3	2	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4
Int 006	Allevatore di pollame: impianto solare importante per i pulcini; batterie e giornate nuvolose costringono all'uso del carbone.	3	3	2	2	3	4	3	2	3	3	2	5	2	3	2	2	2	2	2	4	3	4	4
Int 007	Leader locale, collegato alla rete; sottolinea la qualità dei trasformatori e il bisogno di manutenzione; approccio comunitario.	4	4	3	2	3	4	4	4	4	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4
Int 008	Utente periurbano con fornello ibrido carbone e rete elettrica; il fornello ibrido è molto più efficiente e apprezzato.	4	4	3	3	4	5	5	3	4	4	4	4	2	4	3	4	5	4	4	4	3	4	4
Int 009	Proprietario di piccolo impianto solare (pagato a rate); affidabile; desidera un sistema più grande per i frigoriferi; prudente sulle riparazioni.	4	4	3	2	3	4	4	3	4	4	4	1	4	3	3	4	3	3	5	3	4	4	
Int 010	Utente vicino: il solare ha migliorato sicurezza e tempo di studio; resta il problema della durata delle batterie.	3	4	3	2	3	4	4	3	4	4	3	1	3	2	3	3	3	3	4	3	4	4	
Int 011	Impianto solare piuttosto grande installato nel 2023; buon servizio e pochi problemi; interessato a frigoriferi/solare termico.	4	4	3	3	4	5	4	3	4	4	4	2	4	3	3	4	3	3	5	3	4	4	
Int 012	Utilizza solare e fornello a legna migliorato (Rhino); apprezza meno fumo ed efficienza; ha imparato alcune competenze di manutenzione.	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	2	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4
Int 013	Solare fornito da operatore di telecomunicazioni; batteria di lunga durata; interessato alla cottura pulita (fornelli/biogas).	4	3	3	2	3	4	4	3	4	4	4	2	4	3	3	4	3	3	4	2	4	3	
Int 014	Maestro scuole elementari	5	\	1	1	\	5	\	5	\	\	5	\	5	\	5	5	5	\	\	1	5	\	

	aspetto	tecnologico				sociale				economico				ambientale				percettivo					
		Tecnologia affidabile nel tempo	Facile da usare per tutta la famiglia	Materiali disponibili localmente	Facile da riparare con competenze locali	Migliora la qualità della vita familiare	Aumenta sicurezza e comfort domestico	Rafforza le relazioni nella comunità	Accettata e apprezzata dai vicini	Riduce i costi energetici	Genera nuove opportunità di reddito	Rapporto costi-benefici favorevole	Riduce il consumo di risorse non	Migliora la pulizia e l'ambiente	Rispetta l'ambiente circostante	Sento che la tecnologia è mia	Posso gestirla senza aiuti esterni	Adatta alle condizioni di vita e alla					
Intervista	Nota qualitativa																						
Int 015	Pompa a benzina per irrigazione; solare per uso domestico; evidenza compromessi sui costi e necessità di solare più grande con accumulo.	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3	
Int 016	Esperto inventore di tecnologie	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	
Int 017	Usa carbone e solare; acquisti gradualmente; problemi alle batterie; desidera fornelli a temperatura più elevata.	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	3	4	2	4	3
Int 018	Piccolo solare e cottura con carbone/legna; acquisti incrementali; batteria critica; preferisce sistema proprio.	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3	3	4	2	4	3
Int 019	Venditore di pollo al mercato: solare per luci, legna per cucinare; desidera fornelli multifunzione e durevoli; batteria critica.	3	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	4	2	4	3
Int 020	Gruppo Uplift Womens: benefici comuni (tempo di studio, sicurezza); sistemi piccoli limitano la potenza; desiderio di sistemi più grandi.	3	4	3	2	3	5	4	4	4	4	4	2	4	3	3	4	3	3	3	2	4	3
Int 021	Utente della rete con contatore prepagato; carbone per cucinare; apprezza la comodità della rete nonostante l'intermittenza.	3	4	3	2	3	4	4	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	3	3
Int 022	anziana con piccolo solare donato dalla chiesa e cottura tradizionale.	4	4	2	2	3	3	3	4	4	4	3	1	4	3	2	3	3	3	4	2	3	3
Int 023	Utente anziano: preferisce la lampada; pannello fragile; i costi limitano l'adozione; aperto alla condivisione se gestita.	2	4	2	1	2	3	3	2	3	3	3	1	3	2	2	2	2	2	3	2	3	3
Int 024	Venditore con torcia solare; apprezza l'affidabilità rispetto alle candele; desidera torce più robuste e rete stabile.	3	5	3	1	3	4	4	3	4	4	4	1	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4
Int 025	Utente della rete con accordi di condivisione funzionanti; alcuni tengono le luci sempre accese per sicurezza.	3	3	3	2	3	4	4	4	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Int 026	utilizzatrice bad-sharing	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 027	Buona condivisione domestica con rete elettrica; riconosce accordi comunitari e costi.	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4
Int 028	famiglia connessa alla rete + solare per backup	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	2	1	3	2	2	2	4	3	4	4	4	4
Int 029	Utilizza biogas, solare e rete; il biogas migliora la cottura e la pulizia ma dipende dalla disponibilità di biomassa.	4	4	3	2	3	5	5	4	4	5	4	2	4	3	5	5	5	5	5	4	5	5
Int 030	Esperto studente collaboratore gas, biogas, altro	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 031	Officina meccanica con prototipi	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 032	Tecnico biogas 1	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 033	Lavoratori mercato tecnologie varie	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 034	Tecnico biogas 2	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 035	Fabbrica produttori Briquettes	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
Int 036	Esperto minigrig solare	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\
int 037	Studente progetto briquettes	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\	\

In tabella sono riportati i valori risultanti dal questionario parallelo alle interviste relativo alle percezioni sulle tecnologie possedute e in uso.

Dal punto di vista tecnologico si valutano rispettivamente l'affidabilità nel tempo, la facilità d'uso, la riparabilità e l'uso di materiali locali ed emerge che il sistema di pannelli batterie, se installato correttamente - con controller di carica per regolare i picchi e inverter-, risulta il più apprezzato.

- Affidabilità percepita: medio-alta per i pannelli, bassa per le batterie (problema ricorrente).
- Facilità d'uso: buona (media 3-4 su 5).
- Riparabilità locale: medio-bassa (dipende da tecnici esterni).
- Materiali locali: limitati (componenti importati).

Anche la rete elettrica malgrado i malfunzionamenti è apprezzata in tutti i casi, tranne quelli dove la condivisione del contatore è difficile da gestire generando malcontenti dovuti alle difficoltà nel ripartire i costi:

- Affidabilità tecnica percepita: medio-alta, ma con interruzioni.
- Facilità d'uso: molto alta.
- Riparabilità: dipende dall'ente gestore.
- Nessuna gestione tecnica richiesta alla famiglia.

Per quanto riguarda la cucina il biogas risulta la tecnologia più affidabile in generale ed economica da mantenere a fronte dell'investimento iniziale:

- Affidabilità: alta dove l'impianto è ben costruito (valori 4-5).
- Facilità d'uso: alta dopo fase iniziale.
- Riparabilità: possibile localmente con tecnici formati.
- Materiali: in parte reperibili localmente.

Il fornello ibrido ventilato risulta anche una buona alternativa seppur può risultare costosa rispetto ai fornelli comuni:

- Affidabilità: alta.
- Facilità d'uso: molto alta.

- Riparabilità: semplice.
- Materiali: spesso locali o facilmente reperibili.

L'impatto sociale misurato da parametri quali qualità della vita, sicurezza, accettabilità, relazioni comunitarie, vede il solare come migliore tecnologia, in quanto:

- Migliora studio e sicurezza notturna (media 4).
- Alta accettazione sociale.
- Rafforza relazioni tramite condivisione luce/ricarica.

La rete elettrica viene percepita positivamente ma risulta meno trasformativa del solare nei contesti periurbani:

- Alta percezione di comfort.
- Accettata e desiderata.
- Meno impatto comunitario (uso più individuale).

Il biogas si presenta anche sotto questo aspetto come il migliore con:

- Forte miglioramento salute (meno fumo).
- Riduzione tempo raccolta legna.
- Alta soddisfazione nelle famiglie che lo usano.

La medesima valutazione riguarda anche il fornello ibrido:

- Migliora comfort e tempi di cottura.
- Mantiene tradizione culinaria (fattore culturale chiave).
- Alta accettabilità.

Economicamente il solare rimane limitato dalle dimensioni:

- Riduce spesa per kerosene/ricariche.
- Presenta un investimento iniziale alto.
- Rateizzando se ne facilita accesso.
- Beneficio economico medio-alto.

Sistemi di cottura come biogas e fornelli ibridi:

- Riducono fortemente spesa combustibile.

- Alto investimento iniziale a seconda delle disponibilità.

Per il biogas la miglior performance economica avviene nel lungo termine mentre il fornello ibrido ha un tempo di rientro dell'investimento più rapido.

Dal punto di vista ambientale i pannelli fotovoltaici risultano apprezzati fin quando non si rompono per l'ingombro dovuto dalle dimensioni, ma comunque lungo la vita d'utilizzo non necessitano di altri combustibili e non inquinano.

Il biogas per cucinare invece:

- Riduce uso legna.
- Migliora igiene e gestione rifiuti organici.
- Ha punteggi ambientali molto alti.

Riguardo le prospettive future e la sostenibilità il solare possiede:

- Alta desiderabilità.
- Bisogno di sistemi più grandi.
- Criticità: batterie e scalabilità.

La rete è:

- Vista come obiettivo finale.
- Dipende da infrastrutture pubbliche.

Il Biogas è:

- Ottimo potenziale in contesti agricoli.
- Richiede biomassa costante.
- Scalabilità limitata senza supporto tecnico.
- Non universalmente replicabile.

Confrontando tutti i valori si rileva che il biogas è la tecnologia migliore per performance complessiva (tecnico + sociale + ambientale + economico nel lungo periodo). Segue il sistema fotovoltaico domestico: tecnologia con maggiore impatto sistemico e potenziale di sviluppo, ma limitata dall'accumulo. La miglior tecnologia intermedia è il fornello ventilato visto come altamente appropriata e sostenibile nel contesto rurale, mentre la rete elettrica è una soluzione stabile ma meno trasformativa a livello locale.

6.3 Confronto tra tecnologie in uso ed eventuali proposte

Sebbene l'idea iniziale del progetto fosse quella di fare una proposta articolata e svilupparne un approfondimento dettagliato, è stato ritenuto più utile fare un confronto tra più proposte di tecniche e sistemi utilizzati in altri paesi, che si adatterebbero bene al contesto dell'area periurbana di Gulu. L'idea nasce dal mettere a confronto sistemi autonomi provenienti da ambienti diversi e sviluppare considerazioni per le quali si reputino appropriati al contesto indicato. Come durante l'esperienza sul campo si è allargata l'area di ricerca non solo all'ambito domestico ma anche ai piccoli business, parte integrante della vita degli intervistati, similmente non si analizzano solo tecniche e sistemi in grado di produrre energia, ma anche tecnologie che ne riducano i consumi andando così ad alleggerire il carico di richiesta giornaliera di energia o semplicemente ad apportare un beneficio diretto agli utenti.

1) Vaso con sabbia-frigo evaporativo

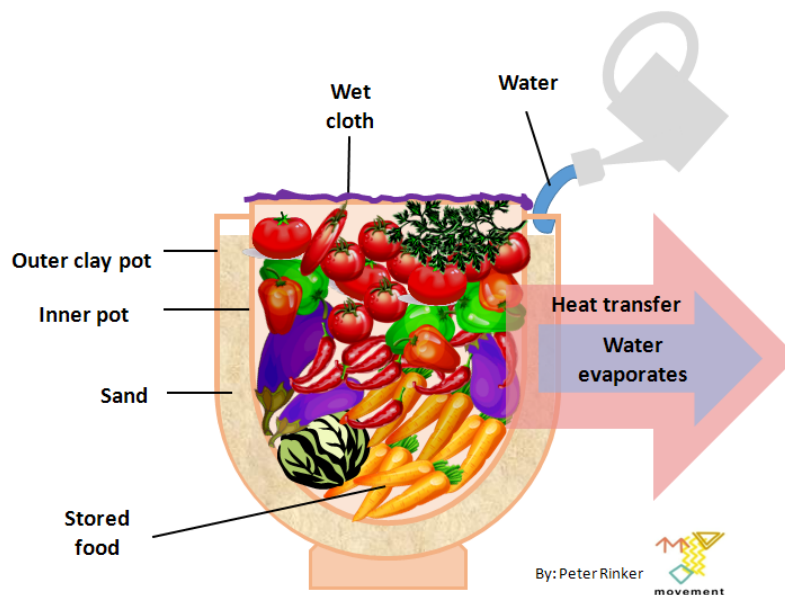


Figura 6.1 Disegno funzionamento vaso a evaporazione (fonte: wikipedia)

Si tratta di un semplice sistema di raffreddamento evaporativo che consente di conservare alimenti laddove non esiste una rete elettrica.

Questa tecnologia si compone di due vasi in terracotta concentrici, porosi e non smaltati, separati da uno strato di sabbia. Il cibo viene posto all'interno del vaso più piccolo, che può essere liscio per evitare invece la permeazione dell'acqua a differenza di quello esterno. Il processo è mantenuto dallo strato di sabbia, posto nell'intercapedine tra i due vasi, che va

bagnato costantemente: l'evaporazione dell'acqua favorisce la fuoriuscita di calore dall'interno del vaso generando raffrescamento dove sono contenuti gli alimenti.

Per supportare il processo al posto del coperchio viene posto un telo inumidito, e l'acqua per mantenere la sabbia bagnata viene integrata due volte al giorno

A caratterizzare il tasso di raffreddamento sono la temperatura, l'umidità e la convezione sui bordi esterni al vaso: mantenendo un flusso d'aria esterna costante, la temperatura del vaso interno, secondo quanto riportato su *Instructables* (Berkana, 2014), può scendere fino a 4,4 °C, questa temperatura ostacola la proliferazione di batteri mesofilici dannosi per l'alimentazione (EFSA, 2025)

Alcuni esempi riguardano la conservazione delle melanzane che, con il dispositivo in questione, sono state conservate fino a 27 giorni, contro una media di soli 3 giorni in caso di mancanza di refrigerazione, mentre pomodori e peperoni sono stati mantenuti per 3 settimane. Ulteriore esempio riguarda gli spinaci che da una giornata di mantenimento sono passati a 12 giorni.

Questa idea, sviluppata e diffusa negli anni Novanta, ha avuto un grande impatto sulla sicurezza alimentare nelle aree rurali, dato che ha permesso di prolungare la freschezza dei prodotti e ridurre gli sprechi. Oltre al vantaggio pratico, il progetto ha generato anche nuove opportunità economiche, coinvolgendo artigiani e donne nella produzione e vendita dei vasi.

Questa tecnologia è ritenuta adatta per contesti dove non esistano tecnologie che svolgano un compito simile, in cui vengono utilizzati solamente vasi semplici per mantenere l'acqua fresca tramite lo stesso processo ma con rendimento decisamente inferiore.



Figura 6.2 Esempio realizzazione frigorifero evaporativo (fonte: passeidireto.com, homegreenhomeblog.com)

2) Essiccatore solare



Figura 6.3 Fotografia essiccatura tradizionale, area mercatale Gulu

L'essiccazione della frutta e della verdura è una pratica comunemente utilizzata nella maggior parte dei mercati e nei business locali per la produzione alimentare: viene utilizzata sia per conservare più a lungo determinate verdure sia come parte integrante dei processi di raffinazione dei semi.

Nonostante la grande necessità, non sono entrati ancora nell'utilizzo comune strumenti per velocizzare questo processo, che, oltre ad essere dipendente dalle condizioni meteo, richiede molto spazio.

Per migliorare l'attuale processo di essiccazione potrebbero essere adottati degli essiccatori solari che potrebbero essere auto costruiti con materiali locali e velocizzerebbero il processo: in generale i diversi modelli si compongono di un essiccatoio dove si posa il cibo tagliato sottile, su diversi strati separati da una rete metallica, che ha il compito di sostenere gli alimenti e allo stesso tempo permettere al calore di agire su tutte le superfici; l'altro elemento fondamentale è il ricevitore: una camera con un *layer* trasparente e fondo nero che attira l'energia e la trasforma quasi tutta in calore per poi farla fluire alla camera contenente il cibo. Sono necessari dei fori posteriori per attingere ad aria fresca da scaldare, esistono anche alcuni modelli dotati di ventilatori elettrici per forzare questo passaggio d'aria. Generalmente possono essere realizzati con materiale riciclato sia per quanto riguarda la struttura tipicamente in legno, sia per il ricevitore che può essere ad esempio dotato di bottiglie di plastica scure per costruire in economia e limitare la convezione compartimentando in diverse camere l'aria calda.



Figura 6.4 esempi di collettore solare (fonte: digilander.libero.it, pepperfriends.com)



Figura 6.5 schema funzionamento essiccatore solare

3) Collettore solare: a - con tubi neri arrotolati, b – con bottiglie di plastica



Figura 6.6 Fotografie collettori solari per riscaldamento acqua, Palm Garden Gulu

Attualmente non sono diffusi sistemi per il riscaldamento dell'acqua, gli hotel o gli edifici residenziali più costosi possono permettersi determinate tecnologie. I sistemi di collettori sono del tipo riportato in fotografia: composti da un serbatoio cilindrico e tubi contenenti l'acqua da riscaldare incassati in un telaio coperto da un vetro. Dalla conversazione con il direttore di un

resort è scaturito che il costo, a seconda della dimensione, è nell'ordine di miliardi di scellini. Per quanto riguarda le persone comuni la spesa è considerata eccessiva, ma se il sistema fosse più economico sarebbe preso in considerazione.

Per tale motivo sono state valutate due proposte: la prima riguarda una metodologia di riscaldamento dell'acqua utilizzata in contesti dove l'irradiazione solare è abbondante. Sulla falda del tetto esposta a sud, o parallelamente al terreno, si installa un tubo nero arrotolato: in tal modo, anziché essere raccolta in un serbatoio, l'acqua viene accumulata in una serpentina di diversi metri che subisce l'irradiazione solare diretta e durante il giorno mette a disposizione diversi litri di acqua a media temperatura.



Figura 6.7 Esempio proposta collettore solare piano (Fonte: casapratca.it)

Viene proposto, al fine di confrontarne il funzionamento e l'apporto termico alla temperatura dell'acqua, un dimensionamento per questo tipo di collettore basato sullo studio "Solar Water Heater: Black Versus Transparent Hosepipe Heat Absorbers" di Mbamala and Akujor (2019).

La geometria del collettore è studiata per ottenere circa 2 m^2 di superficie assorbente, considerando:

Diametro tubo: $D = 20\text{mm} = 0.02\text{m}$

Superficie collettore: $A = 2 \text{ m}^2$

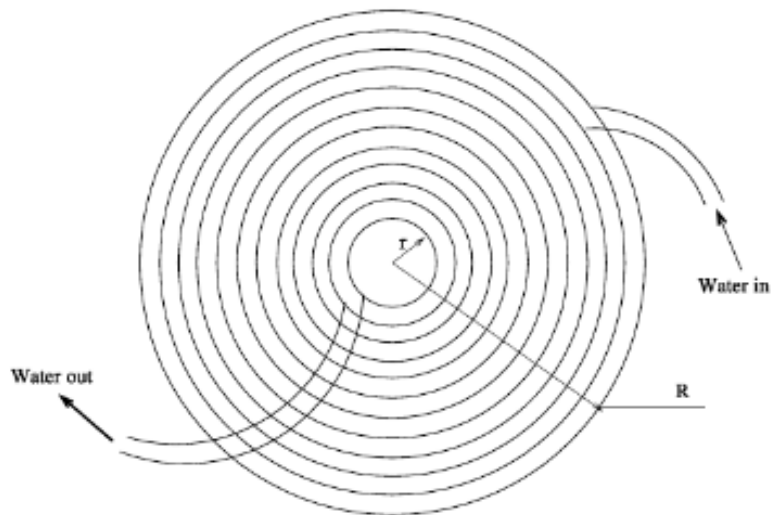


Figura 6.8 schema serpentina collettore (Mbamala & Akujor, 2019)

Ricavata ad esempio da un tubo arrotolato di $2,5\text{m}^2$ con anima interna priva di tubo di $0,5\text{m}^2$.

Considerando i parametri climatici di progetto per la regione Uganda:

parametro	valore
irradianza giornaliera	$\approx 4.5\text{--}5.5 \text{ kWh/m}^2/\text{giorno}$
temperatura ambiente media	$25 \text{ }^\circ\text{C}$
temperatura acqua iniziale	$25 \text{ }^\circ\text{C}$
ore equivalenti di sole	$5\text{--}6 \text{ h/giorno}$

L'irradianza di progetto è ricavata dalla media di picco giornaliera e dalle ore equivalenti:

$$G = 5\text{kWh/m}^2/\text{giorno} * 6\text{heq}/24\text{h/giorno} = 1.250 \text{ W/m}^2$$

L'energia solare incidente è

$$\begin{aligned} Q_{sol} &= G * A \\ Q_{sol} &= 1250 \text{ W/m}^2 * 2 \text{ m}^2 \\ Q_{sol} &= 2500 \text{ W} \end{aligned}$$

I collettori a tubo semplice hanno efficienza di circa 0.40 - 0.55 come confermano i risultati dello studio che riporta 0.51 (Mbamala & Akujor, 2019)

In questo caso per semplicità assumiamo $\eta = 0.50$

Potenza utile:

$$\begin{aligned} Q_u &= 0.50 * 2500 \\ Q_u &= 1250 \text{ W} \end{aligned}$$

La velocità di spinta dell'acqua, analogamente al caso precedente può essere regolata al di sotto della velocità massima ottenibile da una cisterna posta a 1 metro di altezza al di sopra del collettore:

$$v_{maz} = \sqrt{2gh}$$

$$v_{maz} = \sqrt{2 * 9.81 * 1}$$

$$v_{maz} = 4,43 \frac{m}{s}$$

Si assume per funzionalità di impianto, ovvero per permettere al liquido di scaldarsi sufficientemente: $v = 0,1 \text{ m/s}$

Se il tubo è Ø20 mm il diametro interno è verosimilmente Ø16 mm, di conseguenza la sezione è:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

con

$$D = 0.016 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi(0.016)^2}{4}$$

$$A = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

La portata di conseguenza:

$$Q = A * v$$

$$Q = 2.0 * 10^{-4} * 0.1$$

$$Q = 2 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0.02 \text{ L/s} = 1.2 \text{ L/min}$$

L'aumento di temperatura si ricava dal bilancio energetico:

$$Qu = m * c_p * \Delta T$$

dove $m = Q * d$

$$d = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ per l'acqua}$$

$$m = 2 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.02 \text{ kg/s}$$

$$c_p = 4180 \text{ J/kgK}$$

Quindi:

$$\Delta T = \frac{Qu}{m * c_p}$$

$$\Delta T = \frac{1250}{0.02 * 4186}$$

$$\Delta T = 14.9^\circ\text{C}$$

La temperatura dell'acqua riscaldata in uscita la si ricava sommando alla temperatura media dell'acqua il valore del ΔT :

$$T_{Out} = T_{in} + \Delta T$$

$$T_{Out} = 25 + 14.9 = 39.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

L'altra alternativa riguarda i collettori classici: per limitare le dispersioni per convezione i tubi vengono inseriti in bottiglie di plastica trasparenti in modo che venga limitata la circolazione dell'aria con un sistema dal costo relativamente basso, se confrontato con l'utilizzo di lastre di vetro. Inoltre la tecnologia in questione riutilizza materiale che diversamente sarebbe un rifiuto. In figura è riportato uno schema di funzionamento rappresentativo del processo, raffigurante sia il pannello collettore sia il serbatoio e i relativi collegamenti idraulici.



Figura 6.9 esempi collettori solari realizzati con bottiglie di plastica riciclate (fonte: preview.redd.it)

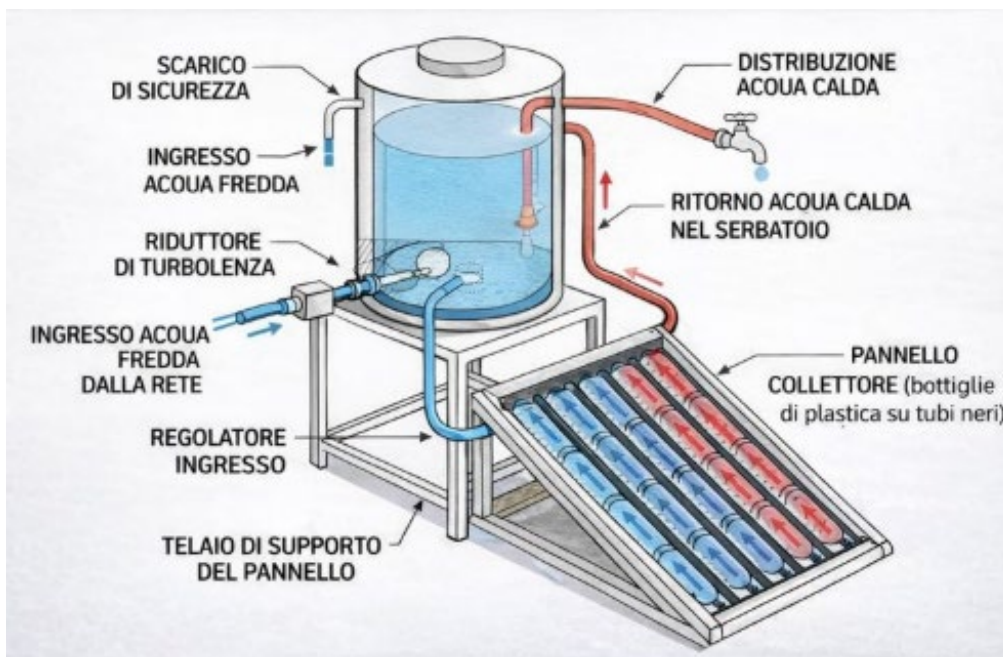


Figura 6.10 Schema funzionamento collettore solare con bottiglie di plastica

Anche per questo caso un vengono svolti alcuni calcoli preliminari per dimensionare l'effetto di questo sistema: si suppone di progettare il collettore con un area di 2m^2 e di conseguenza vengono adottati i dati riportati in tabella .

parametro	valore
numero tubi	10
lunghezza tubo	2 m
diametro tubo	20 mm
numero bottiglie	40-50

Superficie totale esposta: $A = 2\text{ m}^2$

Energia solare incidente come nel caso precedente è:

$$\begin{aligned} Q_{sol} &= G * A \\ Q_{sol} &= 1250 * 2 \\ Q_{sol} &= 2500\text{ W} \end{aligned}$$

Per collettori artigianali con copertura plastica il rendimento, in accordo con quanto riportato nello studio "Experimental Study of the Efficiency of a Solar Water Heater Construction from Recycled Plastic Bottles" (Chekchek, et al., 2021) varia tra $\eta = 0.25 - 0.55$.

Si assume: $\eta = 0.40$

Potenza utile:

$$\begin{aligned} Q_u &= 0.40 * 2500 \\ Q_u &= 1000\text{ W} \end{aligned}$$

La velocità di spinta dell'acqua, analogamente al caso precedente può essere regolata al di sotto della velocità massima ottenibile da una cisterna posta a 1 metro di altezza al di sopra del collettore:

$$\begin{aligned} v_{maz} &= \sqrt{2gh} \\ v_{maz} &= \sqrt{2 * 9.81 * 1} \\ v_{maz} &= 4,43 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Si assume per funzionalità di impianto, ovvero per permettere al liquido di scaldarsi sufficientemente: $v = 0,1\text{ m/s}$

La sezione tubo, non trattandosi più di una spirale ma di tubi rettilinei può esser considerata maggiore considerando tubi idraulici e non più guaina:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

con

$$\begin{aligned} D &= 0.020\text{ m} \\ A &= \frac{\pi(0.020)^2}{4} \end{aligned}$$

$$A = 3.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Portata:

$$\begin{aligned} Q &= A * v \\ Q &= 3.1 * 10^{-4} * 0.1 \\ Q &= 3.1 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \\ Q &= 0.031 \text{ L/s} = 1.86 \text{ L/min} \end{aligned}$$

L'aumento di temperatura si ricava dal bilancio energetico:

$$\begin{aligned} Qu &= m * c_p * \Delta T \\ \text{dove } m &= Q * d \end{aligned}$$

$$d = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ per l'acqua}$$

$$\begin{aligned} m &= 3.1 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ kg/m}^3 = 0.031 \text{ kg/s} \\ c_p &= 4180 \text{ J/kgK} \end{aligned}$$

Quindi:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Qu}{m * c_p} \\ \Delta T &= \frac{1000}{0.031 * 4186} \end{aligned}$$

$$T = 7.7^\circ\text{C}$$

La temperatura dell'acqua riscaldata in uscita la si ricava sommando alla temperatura media dell'acqua il valore del ΔT :

$$\begin{aligned} T_{out} &= T_{in} + \Delta T \\ T_{out} &= 25 + 7.7 = 32.7^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Visto l'apporto minimo è il caso di ridurre ancora di più la velocità, regolando il rubinetto o l'altezza del serbatoio, fino ad arrivare ad un valore di 0.05 m/s col quale si ottiene un $\Delta T = 15.4^\circ\text{C}$ con corrispondente temperatura dell'acqua in uscita di 40.4°C .

4) Turbina micro-eolica

Per la produzione elettrica è stata presa in considerazione la possibilità di costruire impianti micro eolici utilizzando materiale riciclato e disponibile in loco come ad esempio micro turbine Savonius che utilizzano barili tagliati per realizzare le pale. Per valutare correttamente l'ipotesi, sono state utilizzate le coordinate di un sito, individuato durante la fase di interviste dell'indagine sul campo, che disponeva di una piattaforma sopraelevata di 10 m per il supporto di cisterne d'acqua con spazio ancora disponibile, e per tale posizione son state estratte i dati delle mappe del vento Global Wind Atlas, all'altezza necessaria e con cadenza oraria mensile.



Figura 6.11 Fotografia possibile sito di installazione micro-eolico a 10 m (2°49'25.6"N 32°14'47.5"E)

Tabella 6.2 velocità del vento orarie medie mensili per sito in questione (Dati Global Wind Atlas)

ore	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	annuale
0	1,45	1,60	1,60	1,49	1,29	1,19	0,91	0,78	0,91	0,84	0,99	1,30	1,20
1	1,54	1,64	1,64	1,50	1,29	1,16	0,89	0,76	0,84	0,80	1,01	1,33	1,20
2	1,59	1,64	1,71	1,55	1,33	1,12	0,84	0,81	0,81	0,79	1,04	1,34	1,21
3	1,60	1,68	1,73	1,58	1,36	1,09	0,84	0,84	0,80	0,80	1,05	1,37	1,23
4	1,59	1,67	1,77	1,60	1,37	1,08	0,85	0,85	0,80	0,82	1,08	1,42	1,24
5	1,51	1,54	1,62	1,40	1,20	0,96	0,77	0,78	0,72	0,76	1,06	1,38	1,14
6	1,17	1,28	1,33	1,13	0,89	0,65	0,55	0,60	0,59	0,65	0,81	1,02	0,89
7	1,16	1,26	1,26	1,10	0,80	0,60	0,55	0,64	0,66	0,75	0,89	0,99	0,89
8	1,19	1,24	1,17	1,02	0,71	0,57	0,54	0,64	0,67	0,76	0,96	1,06	0,88
9	1,18	1,19	1,10	0,94	0,66	0,57	0,54	0,60	0,65	0,73	0,96	1,07	0,85
10	1,12	1,12	1,01	0,87	0,63	0,57	0,54	0,52	0,60	0,71	0,95	1,01	0,80
11	1,02	1,01	0,94	0,80	0,58	0,57	0,55	0,46	0,54	0,65	0,89	0,92	0,74
12	0,89	0,90	0,86	0,72	0,55	0,56	0,57	0,45	0,50	0,58	0,82	0,79	0,68
13	0,79	0,80	0,75	0,68	0,54	0,56	0,59	0,47	0,48	0,54	0,73	0,70	0,64
14	0,69	0,71	0,64	0,62	0,52	0,58	0,61	0,51	0,49	0,52	0,66	0,62	0,60
15	0,68	0,67	0,60	0,61	0,59	0,67	0,71	0,60	0,56	0,55	0,64	0,63	0,63
16	0,74	0,79	0,80	0,74	0,78	0,90	0,95	0,84	0,75	0,72	0,70	0,70	0,78
17	0,82	0,89	1,15	0,98	1,03	1,11	1,13	1,08	0,97	0,90	0,82	0,77	0,97
18	0,95	1,16	1,42	1,27	1,23	1,25	1,20	1,19	1,10	1,08	0,91	0,94	1,14
19	1,19	1,49	1,61	1,39	1,18	1,29	1,16	1,22	1,15	1,19	1,14	1,16	1,26
20	1,38	1,62	1,60	1,33	1,14	1,21	1,26	1,16	1,22	1,16	1,11	1,25	1,29
21	1,49	1,65	1,53	1,23	1,13	1,20	1,23	1,18	1,23	1,18	1,05	1,25	1,28
22	1,51	1,63	1,50	1,30	1,16	1,17	1,22	1,16	1,17	1,07	0,95	1,25	1,26
23	1,49	1,60	1,46	1,27	1,22	1,16	1,20	1,16	1,12	1,02	0,96	1,20	1,24
media	1,20	1,28	1,28	1,13	0,97	0,91	0,84	0,80	0,81	0,82	0,92	1,06	1,00

I dati disponibili sul database presentano valori compresi tra 0,80 e 1,28 m/s con una media di circa 1 m/s.

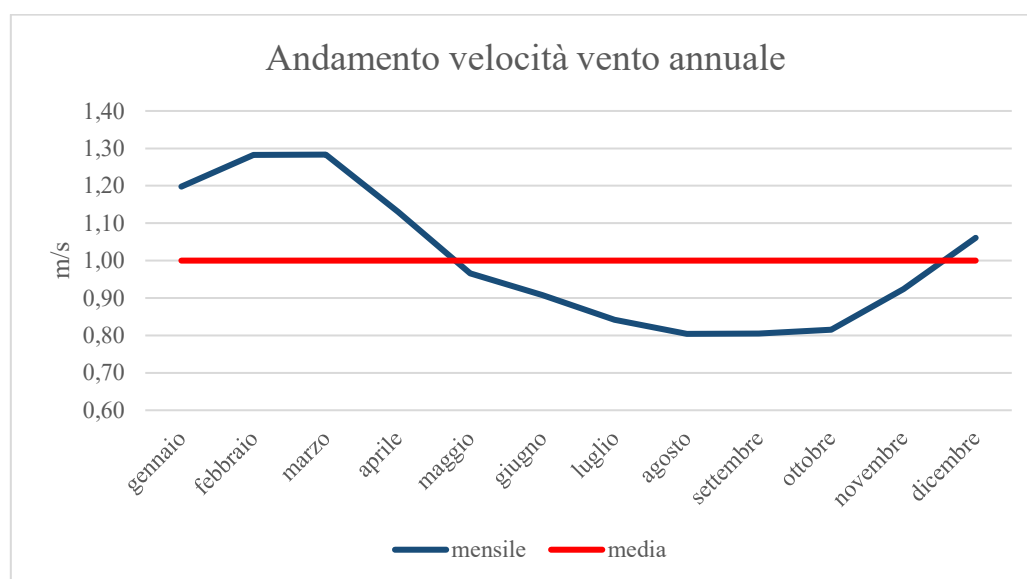


Figura 6.11 andamento mensile delle velocità del vento e velocità media per sito in questione

La potenza teoricamente disponibile nel vento si calcola con la formula:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3$$

assumendo densità dell'aria $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ e optando una piccola turbina Savonius con diametro 1 m e altezza 1 m (per l'ipotesi di auto costruzione con sezioni di taniche), area spazzata $A \approx 1 \text{ m}^2$. Alla velocità media di 1 m/s si ottiene:

$$P_{\text{vento}} = 0,5 * 1,225 * 1 * (1)^3 = 0,61 \text{ W}$$

Considerando un coefficiente di potenza realistico che per quelle dimensioni si aggira al di sotto di 0,25, si considera per Savonius $C_p \approx 0,20$ e un rendimento elettromeccanico complessivo $\approx 0,8$:

$$P_{\text{utile}} = 0,61 * 0,20 * 0,8 \approx 0,10 \text{ W}$$

Anche prendendo la velocità massima registrata (1,28 m/s):

$$P_{\text{vento}} = 0,5 * 1,225 * 1 * (1,28)^3 \approx 1,29 \text{ W}$$

$$P_{\text{utile}} \approx 1,29 * 0,20 * 0,8 \approx 0,21 \text{ W}$$

Si tratta quindi di potenze dell'ordine di pochi decimi di watt, trascurando le velocità di *cut in* (velocità del vento al di sotto della quale le pale non si muovono). Dato che la Savonius è in grado di auto avviarsi anche a velocità basse, si andrebbe a produrre un numero limitato di energia nell'arco della giornata

$$P_{\text{giornaliera}} = 0,1 * 24 = 2,4 \text{ W}$$

Pertanto, sulla base dei dati disponibili, il sito non risulta idoneo all'installazione di una microturbina Savonius, in quanto le velocità del vento sono troppo basse per garantire una produzione energetica tecnicamente significativa.



Figura 6.12 Esempio turbina Savonius costruita con sezioni di barile (Fonte: micropowergrids.com)

5) Turbina micro-idraulica

In un altro sito è stato individuato un flusso di acqua che potrebbe esser sfruttato per la produzione di energia, sebbene in maniera limitata, e potrebbe diminuire la quota richiesta altrove. Il canale in questione è adibito allo scarico di acque scure non riutilizzabili, presenta nel punto di interesse in questione un salto di 1 metro, velocità di 1-2 m/s e area di passaggio di circa 40 cm per 20 cm.

Convertendo in metri queste misure si ottiene un area di passaggio di:

$$A = 0,40 * 0,20 = 0,08 \text{ m}$$

E conseguente portata ($v=1,5\text{m/s}$ in media stimata):

$$Q = A * v = 0,08 * 1.5 = 0,12 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (cioè 120 litri/secondo)}$$

La potenza risulta quindi ottenuta dalla formula:

$$P = 9,81 * Q * H * \eta$$

Per un salto di 1 metro il rendimento realistico è circa intorno al 50–60%.

$$P = 9,81 * 0,16 * 1 * 0,55 \approx 0,86 \text{ kW}$$

che giornalmente si possono quantificare come:

$$P_{giornaliera} = 0,86 * 24 = 20,64 \text{ kW}$$

L'installazione di eventuali microturbine ausiliare, a contrario delle eoliche, potrebbe aiutare a supportare i consumi energetici contribuendo con circa 20 kw, da analisi preliminare, che potrebbero ricaricare batterie e supportare l'installazione di qualche lampada per dare luminosità all'esterno.



Figura 6.13 fotografia corso d'acqua individuato nell'areale di Gulu



Figura 6.14 esempio micro turbina idraulica autocostruita (fonte: yting.com)

6.4 Valutazione appropriatezza tecnologia

Utilizzando lo strumento dell'indice di appropriatezza, parte fondamentale del metodo di valutazione dello studio ATAT (Appropriate Technologies Assessment Tool), è stato possibile redigere una scala di valutazione specifica per questo studio. Alcune interviste condotte con esperti tra i quali un assistente universitario, un inventore di tecnologie e uno studente collaboratore con tecnici installatori e promotori di progetti hanno permesso di individuare le migliori caratteristiche tra le proposte, e con la possibilità di aggiungerne di nuove, per lo sviluppo di una tecnologia considerata appropriata.

Sono qui di seguito riportate le principali caratteristiche scelte dalle persone individuate per questa fase, corredate dalle evidenze nelle interviste alle famiglie utilizzatrici che ne motivano l'importanza.

Tabella 6.3 Caratteristiche desiderate delle tecnologie

Caratteristica richiesta	Importanza	Evidenze
Economicità installazione	Il costo delle tecnologie è limitante	Molti intervistati preferiscono tecnologie più economiche a scapito di efficienza
Affidabilità	Blackout frequenti creano stress	Molte famiglie parlano di "luce che se ne va"
Basso costo operativo	Bollette alte e carbone costoso	Solare e biogas molto apprezzati per i risparmi
Manutenzione minima	Tecnici scarsi e costosi	Solare e biogas soffrono quando non c'è supporto
Semplicità d'uso	Utenti con alfabetizzazione tecnica limitata	Chi non partecipa alla formazione ha più problemi
Robustezza fisica	Furti e danni ambientali	Pannelli e batterie sono spesso rubati o rovinati
Supporto tecnico	Servono training della comunità e eventuale assistenza di esperti manutentori	Le famiglie fanno notare che riunioni divulgative e d'insegnamento fanno effettivamente la differenza nell'adozione

Sebbene la metodologia preveda di far riunire le persone artefici della scelta delle caratteristiche per unificarle in una sola lista, data l'impossibilità nel farle incontrare di persona è stato deciso di considerare indistintamente tutte le caratteristiche proposte, in quanto la maggior parte coincidenti, estendendo la scelta da 5 caratteristiche per i singoli a 7 per la valutazione di gruppo. In tal modo si mantiene sia la pluralità dei punti di vista sia un'uniformità valutativa in grado di effettuare un confronto alla pari tra tecnologie sia in uso che proposte.

Tabella 6.4 Criteri di appropriatezza individuati come oggetto della valutazione

Criterio scelto	Ordine	Peso normalizzato
Economicità installazione	1	0.25
Supporto tecnico	2	0.20
Semplicità d'uso	3	0.15
Affidabilità	4	0.12
Basso costo operativo	5	0.10
Manutenzione minima	6	0.10
Robustezza fisica	7	0.08

Le caratteristiche riportate nell'ordine di importanza sono poi valutate, su una scala da 1 a 5, per le tecnologie di uso comune considerate appropriate e per le eventuali proposte in modo da ottenere un indice singolo per ogni tecnologia in modo da poterle confrontare nei limiti delle caratteristiche proposte da questo studio: questo metodo di valutazione si intende valido generalmente, ma le caratteristiche scelte sono strettamente legate all'ambito di questo studio nel preciso argomento trattato, ovvero strumenti e tecnologie in grado di diminuire i consumi energetici secondari.

Tabella 6.5 Processo di valutazione delle tecnologie sulla base delle caratteristiche proposte

Caratteristiche	Peso	Tecnologie in uso					Tecnologie proposte				
		Sistema integrato PV+Lamp	PV+batterie	Biogas	Cucine Ibride	Cucine fisse con canna fumaria e 2 fori	Frigorifero zeer pot	Essiccatore solare	Collettore acqua tubo nero	Collettore solare bottiglie in plastica	Microidroelettrico
Economicità installazione	0,25	3	3	1	3	3	4	3	3	3	3
Supporto tecnico	0,2	3	3	5	5	4	2	3	3	3	3
Semplicità d'uso	0,15	5	3	4	4	4	4	4	4	3	3
Affidabilità	0,12	4	2	5	5	4	5	4	4	4	4
Basso costo operativo	0,1	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5
Manutenzione minima	0,1	4	3	5	4	4	4	4	4	3	3
Robustezza fisica	0,08	2	2	5	4	5	4	4	5	4	4
Indice appropriatezza	→	3,64	3	3,85	3,97	3,73	3,82	3,65	3,73	3,4	3,4

In tabella si possono leggere le singole valutazioni basate sulle percezioni e sui dati qualitativi raccolti nel complesso dell'esperienza, esse permettono, tramite una valutazione pesata, di stilare la lista in ordine della soddisfazione delle caratteristiche scelte da parte delle tecnologie individuate.

Tabella 6.6 Risultati valutazione in ordine decrescente

Cucine ibride	3,97
Biogas	3,85
Frigorifero zeer pot	3,82
Collettore acqua tubo nero	3,73
Cucine fisse con canna fumaria e 2 fori	3,73
Essiccatore solare	3,65
Sistema integrato PV+Lamp	3,64
Collettore solare bottiglie in plastica	3,4
Microidroelettrico	3,4
PV+batterie	3

Sebbene tutte le tecnologie siano state ideate come appropriate, ad ottenere i punteggi maggiori sono quelle relative all'ambito della cucina, seguono poi i sistemi di approvvigionamento di energia termica solare. Infine i sistemi di produzione elettrica sia proposti che in uso risultano meno adeguati se confrontati con gli altri.

L'applicazione di questo indice ci permette di capire su quali caratteristiche investire energie e studi sia per il miglioramento delle proposte attuali sia per quanto riguarda l'ideazione di nuove tecnologie, che potrebbero riuscire a integrarsi meglio nel contesto in questione rendendo il motivo dell'utilizzo più facile da comprendere alla comunità.

7. Conclusioni

Questo elaborato, redatto a seguito dell'esperienza di diretta sul campo, conferma l'idea iniziale che l'accesso all'energia è un prerequisito concreto per la sicurezza, l'istruzione, la comunicazione e l'organizzazione della vita quotidiana. Le informazioni e i dati qualitativi emersi sul campo avvalorano la letteratura che interpreta l'energia come abilitatore di diritti e capacità, non solo come fine. L'energia ha sì un valore commerciale, ma anche tecnico, sociale, relazionale e simbolico.

In entrambi i contesti, periurbano e rurale, l'utilizzo dell'energia non è lineare ma è ibrido e stratificato: ibrido perché in nessun caso, tra quelli osservati, ci si avvale della stessa fonte, se ne usano diverse a seconda dell'impiego (per esempio mai solo energia elettrica per tutti gli usi ma l'abbinamento di carbone, legna da ardere o entrambi per soddisfare i bisogni termici e cucinare); stratificato perché non esiste solo il binomio "avente/non avente accesso" ma ci sono diverse sfaccettature e diverse condizioni che esulano da ciò: per alcune famiglie rispetto ad altre la condizione di accesso è minima ma pur sempre presente, qualcuno accede e consuma di più, altri hanno un accesso dipendente dalle condizioni meteorologiche o dal periodo dell'anno. Le famiglie combinano rete elettrica, solare, combustibili tradizionali e soluzioni informali e la somma di tutte queste fonti può dare una condizione di accesso stabile, seppur di dimensioni differenti da quelle del Nord globale (che si aggirano attorno a 1,4 kwh giornalieri); nelle aree rurali il limite per esser considerati dall'IEA come aventi accesso è di circa 0.7 kwh giornalieri (250kwh annui). Queste cifre tendenzialmente sono confermate dall'analisi dei consumi, ma il loro significato viene meno se si considera che non vengono soddisfatte tutti i giorni allo stesso modo: le famiglie intervistate sviluppano strategie di rinuncia e ottimizzazione che vanno a ridurle sotto la soglia, pur avendo la possibilità di attingere ad energia se necessario. Questo modello non è né temporaneo né transitorio ma rappresenta una solida e stabile strategia di adattamento all'incertezza.

Dalla ricerca emerge una gerarchia prioritaria chiara nell'uso dell'energia:

1. cucina (centrale ma separata dall'elettricità)
2. illuminazione e sicurezza
3. ricarica telefoni/comunicazione

intrattenimento e comfort

Anche se i bisogni sono molti di più di quelli effettivamente soddisfatti, avendone la possibilità la lista si estenderebbe. La realtà si scontra invece con difficoltà e criticità che agiscono allo stesso modo sulle famiglie senza nessuna distinzione: i costi iniziali elevati, la manutenzione e la durata dei sistemi limitata, la difficoltà nell'accedere a tecnici qualificati e, soprattutto, l'evidente instabilità economica degli utenti.

Ciò fa emergere che il fallimento o il sottoutilizzo delle tecnologie già esistenti dipende spesso più dal contesto sociale che dal dispositivo in sé. Le comunità non sono utenti passivi ma adattano, reinterpretano e gestiscono le tecnologie e le soluzioni funzionano meglio quando sono riparabili localmente, ma anche quando richiedono competenze accessibili e hanno la possibilità di integrarsi nelle pratiche quotidiane: questo conferma la necessità di un approccio aperto alla co-progettazione e indirizzato alle esigenze degli utenti.

La ricerca evidenzia quindi l'importanza di un approccio progettuale basato su osservazione diretta dato che l'analisi sul campo ha confermato che il fallimento di alcune soluzioni progettate esternamente è dovuto al fatto che non siano state considerate le pratiche sociali, la gestione economica familiare e le priorità reali degli utenti. Le tecnologie future dovrebbero:

- privilegiare l'affidabilità rispetto alla potenza
- ridurre i costi di manutenzione
- essere modulari e scalabili
- integrare più funzioni quotidiane

Le soluzioni che appaiono più coerenti, rispetto al modello di elettrificazione tradizionale uniforme, sono quelle di tipo decentralizzato.

Oltre alle informazioni inerenti alle domande di ricerca, e che compongono la maggior parte della rielaborazione delle caratteristiche per le proposte effettuate, sono emersi molti spunti in conversazioni informali e nei dialoghi conoscitivi con le famiglie intervistate. Come alcune delle tecnologie e dei sistemi adattati dalle persone sfuggono alla letteratura in materia, rendendosi visibili solo di persona, anche alcune informazioni nel corso dell'esperienza si sono mostrate diverse da come ipotizzate. Tra i consigli di un tecnologo e inventore locale, come confermato da alcuni lavoratori, le persone di quella regione, in merito alla tecnologia, tendono a fidarsi poco se ideata e prodotta localmente, mentre al contrario se importata è sinonimo di prestigio. Oltre al parere dell'inventore in questione, il cui progetto è inerente agli argomenti trattati, essendo un mini veicolo autonomo, alimentato da un pannello solare utilizzabile sia per la semina che per altri progetti agricoli, anche il parere di educatori di un laboratorio per ragazzi

era lo stesso: nei villaggi ci sono sia le idee che l'inventiva locale, ma vanno coltivate e perché possano svilupparsi. Il riferimento centrale era al ricordo di esser stati bambini nel dopoguerra dove si trasformava qualsiasi rifiuto in un giocattolo, la stessa mentalità è rimasta nei giovani lavoratori che cercano di integrare le proprie capacità e idee per alleggerire il carico della propria famiglia.



Figura 7.1 Giocattolo locale ricavato dal riciclo di tappi e una bottiglia di plastica per ricavare una macchinina

L'imprenditore intervistato per l'uso di un sistema di pannelli e batterie per lo sviluppo di un sistema di riscaldamento notturno, finalizzato a velocizzare la crescita del pollame, ha raccontato le stesse difficoltà nel promuovere un sistema ideato localmente e funzionante ma percepito dalla comunità come un azzardo.

Lo stesso ragionamento viene fatto per la manodopera. Nel corso di una visita informale a una cooperativa è stato svolto un esercizio di natura casuale sul corretto trasferimento della tecnologia e delle informazioni, con l'intento di aiutare nella traduzione tra un operatore edile italiano e la squadra locale in carico della costruzione di un edificio: nel corso del dialogo da parte dell'esperto emergeva il proposito di insegnare in base alla propria esperienza. L'utilizzo di un dialogo partecipativo ha fatto sì che la squadra locale percepisse la conversazione come un momento di crescita delle proprie capacità e non come uno straniero che pretendesse di sapere di più riguardo al loro operato. È emerso infine che molte informazioni erano state anche prese in considerazione, ma la conoscenza locale ha scartato quelle troppo stringenti perché non in linea con le condizioni ambientali e col budget di progetto.

In riferimento alla tecnologia, gli intervistati intendevano parte integrante di essa i "training" e i corsi introduttivi, come quelli successivi all'installazione di nuovi sistemi. Risulta quindi

essenziale non solo agire sull'aspetto tecnologico e semplificare al massimo le tecnologie per renderle fruibili dagli utenti, ma anche preparare momenti di dialogo e informazione per rendere meno distante la tecnologia dalle persone.

Riguardo della tema della finanziabilità dei progetti e della sponsorizzazione di attività, per quanto tutte le forme di aiuto vengano ben accettate, bisognerebbe studiare un modo di creare stabilità locale e incentivare l'autonomia e il *capacity building*: ciò emerge dalle posizioni lavorative per le organizzazioni non governative, che in alcuni casi offrono lavori a tempo determinato, dovendo affidarsi alle donazioni pervenute. Chi lavora per esse si sente fortunato per averne la possibilità, ma anche svantaggiato dal sistema instabile che si porta con sé.

Questo studio è limitato a un caso specifico e a un campione qualitativo e fornisce risultati non generalizzabili, ma trasferibili come indicazioni metodologiche. L'analisi affrontata privilegia la dimensione domestica rispetto a quella infrastrutturale o macro-politica. Ciononostante le informazioni riportate danno visibilità ad una porzione di società, che ha determinati bisogni e difficoltà nell'affrontarli, ma possono esser utili per studi applicati a comunità nelle medesime condizioni.

Questa tesi contribuisce a rafforzare l'approccio delle tecnologie appropriate e i singoli spunti di progettazione in esso contenuti. Vengono inoltre fornite evidenze empiriche sul rapporto tra bisogni energetici e pratiche quotidiane e proposta una metodologia progettuale basata sull'osservazione, sul dialogo e sull'adattamento locale. Il principale valore risiede nell'approccio metodologico più che nella soluzione tecnica specifica.

Per quanto nel periodo sul campo si siano affrontati diversi argomenti, il tema base dell'accesso all'energia può esser approfondito e ampliato, ad esempio analizzando l'impatto di determinate tecnologie nel lungo periodo o sperimentando modelli di co-progettazione con le comunità.

L'accesso all'energia, garantendone uno, resta un tema cruciale per superare le barriere dello sviluppo sostenibile e garantire la giustizia sociale.

Bibliografia

- Abaho, A., Mawa, M., & Asiimwe, S. (2019). Conflict Threats to Human Security: The LRA Case, Gulu District, Northern Uganda. *Open Journal of Social Sciences*, 07(11), 133-146. doi:10.4236/jss.2019.711011
- Abdul-Ganiyu, S., Quansah, D. A., Ramde, E. W., Seidu, R., & Adaramola, M. S. (2020). Investigation of Solar Photovoltaic-Thermal (PVT) and Solar Photovoltaic (PV) Performance: A Case Study in Ghana. *Energies*.
- Arora-Jonsson, S. (2023). The sustainable development goals: A universalist promise for the future. *Futures*, 146(103087). doi:10.1016/j.futures.2022.103087
- Bauer, & Brown. (2014). Appropriate Technology Assessment Tool (ATAT).
- Berkana. (2014). *A Practical Zeer Pot (evaporative Cooler / Non-electrical Refrigerator)*. Tratto da instructables: <https://www.instructables.com/A-Practical-Zeer-Pot-evaporative-cooler-non-electr/>
- Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science*, 31-40.
- Campbell, R., & Wilson, D. (2011). The Unique Value of Humanitarian Engineering. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings.*, 1-11. doi:10.18260/1-2--18603.
- Carabajal, A. T., Orsot, A., Moudio, M. P., Haggai, T., Okonkwo, C. J., Jarrard III, G. T., & Selby, N. S. (2024). Social and economic impact analysis of solar mini-grids in rural Africa: a cohort study from Kenya and Nigeria. *Environmental research, infrastructure and sustainability : ERIS*, 25005.
- Carrasco, L., Martín-Campo, F., Narvarte, L., Ortuño, M., & Vitoriano, B. (2016). Design of maintenance structures for rural electrification with solar home systems. The case of the Moroccan program. *Energy*, 47-57.
- Chekchek, B., Salmi, M., Boursas, A., Lorenzini, G., Ahmad, H., Menni, Y., . . . Fridja, D. (2021). Experimental Study of the Efficiency of a Solar Water Heater Construction from Recycled Plastic Bottles. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 16(2), 121-126. doi:10.18280/ijdne.160201
- Cross, J., & Murray, D. (2018). The afterlives of solar power: Waste and repair off the grid in Kenya. *Energy Research & Social Science*, 44, 100-109. doi:10.1016/j.erss.2018.04.034
- Dianda, I., Tou, D., & Zidouemba., P. R. (2025). Narrowing the urban-rural electricity gap in Sub-Saharan Africa: Does equal distribution of political power matter? *The Electricity Journal*.
- Dobrowolski, Z., Adamišin, P., Sługocki, W., & Kotylak, S. (2025). Energy Ladder, Decarbonisation and Energy Poverty: The European Union Inside. *Energies*.
- EFSA. (2025). *proper-food-handling*. Tratto da [efsa.europa: https://www.efsa.europa.eu/en/safe2eat/proper-food-handling](https://www.efsa.europa.eu/en/safe2eat/proper-food-handling)

- Engebretsen, E. &. (2025). Missed SDG targets: from ‘trying harder’ to engaging critically with paradox and conflict. *Critical Public Health*, 35(1). doi:10.1080/09581596.2025.2463465
- Franco, et al. (2020). Developing intermediate machines for high-land agriculture. *Development Engineering*, 5, 100050.
- Grazini, C. (2022). La povertà energetica come privazione delle capacità. *Moneta e Credito*, 3-25.
- Hesselman, M. (2023). Governing Energy Poverty in the European Union: A Regional and International Human Rights Law Perspective. *European Journal of Comparative Law and Governance*, 10 (3-4), 438-517. doi:10.1163/22134514-bja10063
- Hirmer, S., & Guthrie, P. (2016). Identifying the needs of communities in rural Uganda: A method for determining the ‘User-Perceived Value’ of rural electrification initiatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 476-486. doi:10.1016/j.rser.2016.08.037
- IEA. (2024). *World Energy Outlook*.
- IEA. (2025). Tracking SDG7: The Energy Progress Report.
- IEA EPR. (2023). *Uganda 2023 Energy Policy Review*. International Energy Agency.
- IEA ETP. (2023). *Uganda Energy Transition Plan*. International Energy Agency.
- Joireman, S. (2018). Intergenerational land conflict in northern Uganda: children, customary law and return migration. *Africa*, 88(1), 81-98.
- Lawhon, M., Ernstson, H., & Silver, J. (2013). Provincializing Urban Political Ecology: Towards a Situated UPE Through African Urbanism. *Anipode*. Tratto da <https://doi.org/10.1111/anti.12051>
- Levin, T., & Thomas, V. M. (2014). Utility-maximizing financial contracts for distributed rural electrification. *Energy*, 613-621.
- López-Sosa, L. B., Núñez-González, J., Beltrán, A., Morales-Máximo, M., Morales-Sánchez, M., Serrano-Medrano, M., & García, C. A. (2019). A New Methodology for the Development of Appropriate Technology: A Case Study for the Development of a Wood Solar Dryer. *Sustainability*, 11(20), 5620. doi:10.3390/su11205620
- Mazzeo, D., Matera, N., Luca, P. D., Baglivo, C., Congedo, P. M., & Oliveti, G. (2021). A literature review and statistical analysis of photovoltaic-wind hybrid renewable system research by considering the most relevant 550 articles: An upgradable matrix literature database. *Journal of Cleaner Production*, 126070.
- Mbamala, E., & Akujor, C. (2019). Solar Water Heater: Black Versus Transparent Hosepipe Heat Absorbers. *Journal of Applied Physics*, 10(6), 28-34. doi:10.9790/4861-1006012834
- Min Su, Q. W. (2022). Per capita renewable energy consumption in 116 countries: The effects of urbanization, industrialization, GDP, aging, and trade openness. *Energy*, 254, 124289. doi:10.1016/j.energy.2022.124289
- Muñoz, D. R., & Mitcham, C. (2012). CHAPTER 3 Humanitarian Engineering. In T. H. Colledge, *Convergence. Philosophies and Pedagogies for Developing the Next Generation of*

Humanitarian Engineers and Social Entrepreneurs (p. 54-78). USA: International Journal for Service Learning in Engineering: Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship (IJSLE).

Munro, P. (2019). On, off, below and beyond the urban electrical grid the energy bricoleurs of Gulu Town. *Urban Geography*, 41(3), 428-447. doi:10.1080/02723638.2019.1698867

Munro, P. G., & Bartlett, A. (2019). Energy bricolage in Northern Uganda: Rethinking energy geographies in Sub-Saharan Africa. *Energy Research & Social Science*, 55, 71-81. Tratto da <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.04.016>

Nussbaum, M., & Sen, A. (1993). *The Quality of Life*. Oxford Academic. doi:10.1093/0198287976.001.0001

ONU. (1948, dicembre 10). DUDU. *Dichiarazione Universale dei Diritti Umani*. Assemblea Generale delle Nazioni Unite.

ONU. (1979). CEDAW. *Convenzione sull'eliminazione di ogni forma di discriminazione nei confronti della donna*.

ONU. (2015, settembre 25). Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. *Assemblea Generale delle Nazioni Unite*. Tratto da <https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>

Parlamento Europeo. (2023). *Energy poverty in the EU*. European Parliamentary Research Service.

Pearce, J. M. (2012). The case for open source appropriate technology. *Environment, Development and Sustainability*, 14, 425–431. doi:10.1007/s10668-012-9337-9

Pellizzoni, L. (2023). Postfazione. Pluriverso e politica dell'amicizia. In *Pluriverso. Dizionario del post-sviluppo* (p. 479-491). Orthotes Editrice.

Puthumana, J. S., Ngaage, L. M., Borrelli, M. R., Rada, E. M., Caffrey, J., & Rasko, Y. (2021). Risk factors for cooking-related burn injuries in children, WHO Global Burn Registry.

Rahman, T., Yassierli, & Widyanti, A. (2023). Design guidelines for sustainable utilization of agricultural appropriate technology: Enhancing human factors and user experience. *Open Agriculture*. doi:10.1515/opag-2022-0232

Rosato, M. A. (2018). *Small Wind Turbines for Electricity and Irrigation. Design and Construction*. CRC Press.

Sachs, W. (2021). Prefazione. Dizionario dello sviluppo rivisitato. In *Pluriverso. Dizionario del post-sviluppo* (p. 17-23). Orthotes Editrice.

Sadaf, I., & Hussain, B. (2025). Exploring energy consumption trends: Insights from developed and developing nations. *Global Environmental Change*, 100020. doi:10.1016/j.gecadv.2025.100020

Shyu, C.-W. (2021). A framework for 'right to energy' to meet UN SDG7: Policy implications to meet basic human energy needs, eradicate energy poverty, enhance energy justice, and uphold energy democracy. *Energy Research & Social Science*, 79, 102199.

- Sianipar, C. P., Yudoko, G., Dowaki, K., & Adhiutama, A. (2013). Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered. *Sustainability*, 5(8). doi:10.3390/su5083382
- Simone, A. (2004). People as Infrastructure: Intersecting Fragments in Johannesburg. *Public Culture*. doi:10.1215/08992363-16-3-407
- Sovacool, B. K., Burke, M., Baker, L., Kotikalapudi, C. K., & Wlokas, H. (2017). New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. *Energy Policy*, 105, 677-691. doi:10.1016/j.enpol.2017.03.005
- Tekpe, E., Ansah, S. K., & Akomah, B. (2022). Appropriate Technology and Design: A Solution for Sustainable and Affordable Housing Delivery in Major Cities of Ghana. *Journal of Engineering Research and Reports*. doi:10.9734/jerr/2022/v23i8739
- Trotter, P. A., McManus, M. C., & Maconachie, R. (2017). Electricity planning and implementation in sub-Saharan Africa: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1189-1209.
- Truman, H. S. (1949, Gennaio 20). *Inaugural Address*. Tratto da Harry S. Truman Library & Museum: <https://www.trumanlibrary.gov/library/public-papers/19/inaugural-address>
- Vandersteen, J. D., Baillie, C. A., & Hall, K. R. (2009). International Humanitarian Engineering: Who Benefits and Who Pays? *IEEE Technology and Society Magazine*. doi:10.1109/MTS.2009.934998
- Varesio, A. (2025). Gulu's grassroots energy pathways: The case of used lead-acid car batteries in Northern Uganda. *Human Geography*, 1-17. doi:10.1177/19427786251325196
- Vorhölter, J. (2014). Youth at the Crossroads: Discourses on Socio-Cultural Change in Post-War Northern Uganda. *Göttingen Series in Social and Cultural Anthropology*. doi:10.17875/gup2014-752
- Walker, G. (2015). The Right to Energy: Meaning, Specification and the Politics of Definition. *L'Europe en Formation*, 378(4), 26-38. doi:10.3917/eufor.378.0026
- Willoughby, K. W. (1990). *Technology Choice: A Critique of the Appropriate Technology Movement* (Vol. 11 issue 3). Westview Press, Boulder, CO. doi:10.1177/0270467691011003
- World Bank. (s.d.). *World Development Indicators*. Tratto da <https://databank.worldbank.org/>
- Zelenika, I., & Pearce, J. M. (2011). Barriers to Appropriate Technology Growth in Sustainable Development. *Journal of Sustainable Development*, 4 no 6. doi:10.5539/jsd.v4n6p12

Allegati

1) Lettera di abilitazione locale alla



CENTRE FOR AFRICAN RESEARCH

14th November 2025

Re: Letter of Commitment and Support for Appropriate Technologies to Support Communities in Energy Poverty Conditions Research Project in Acholiland

The undersigned, in the capacity of Director, confirms the commitment of the Centre for African Research Uganda to the project: **Appropriate Technologies to Support Communities in Energy Poverty Conditions Research Project in Acholiland**. The research project will be led by Emilio Pulvirenti who is pursuing a Master of Science in Energy Engineering at Politecnico di Torino in Italy.

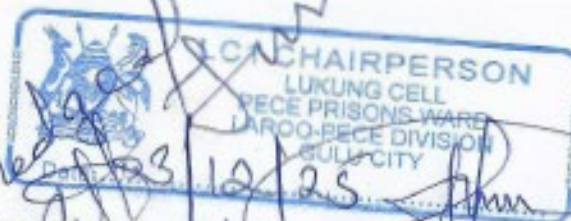
The project is of academic interest to our centre and community because it fits directly into our strategic mission of promoting collaborative knowledge production between global north and south institutions. It is also particularly important in fostering participatory development which contributes to sustainable development. It is also in line with our vision to deliver community-relevant research solutions by generating knowledge through cutting edge research, innovation and dissemination so as to influence policy and improve the quality of life.

During his stay with the centre, Emilio will conduct interviews and focus group discussions within the communities in the study area. The role of our institution in the proposed project is to provide the necessary staff time (academic and administrative) to implement and follow up the project activities. We will host **Emilio Pulvirenti** at our Centre from the 15th of November 2025 to the 20th of December 2025. The research will mainly be conducted in Gulu City and in Nwoya and Gulu Districts.

We are looking forward to the collaboration and are hopeful that our collective work will impact academia and policies on energy development in our region. Please do not hesitate to contact me by email at oworarthur@gmail.com by phone at +256 772 51 96 41.

Sincerely,

Arthur Owor, Director



*Acknowledged by
Permitted to carry
on the research
0784308985*

2) Proposta di ricerca

Master Ingegneria Energetica e Nucleare – Politecnico di Torino – A.A.2025/2026



Politecnico
di Torino

Research Proposal:

Identifying needs and developing appropriate technologies to support communities living in rural area of Gulu, Uganda.

Student: Emilio Pulvirenti (MSc Energy Engineering)

Supervisori: Walter Franco (PhD Applied Mechanics -Technologies for Sustainable Development and Humanitarian Engineering)
Amarilli Varesio (PhD Anthropology)
Marcello Rava (PhD Mechanical Engineering)

Collaboration: Centre for African Research

Abstract

The thesis aims to explore the conditions of energy access in rural and peri-urban communities in the Gulu area (Uganda), identify real needs, develop co-design methods, and create Appropriate Technology (AT) solutions that are effective, sustainable, and culturally compatible. Using a mixed-methods approach that combines fieldwork (interviews, observation, surveys) with appropriateness analysis, the research seeks to co-develop a replicable model of a hybrid micro-energy system that is accessible, locally maintainable, and socially impactful. The expected outcomes include detailed mappings, gap analyses of existing systems—both conventional and informal—co-design methodologies, and a design proposal with practical implications.

General Introduction

Access to energy is one of the central challenges for rural and peri-urban communities in Uganda, where the electrical grid does not reach many areas and imported solar solutions are often expensive or difficult to maintain. In this context, Appropriate Technologies — designed based on local needs and conditions, characterized by ease of maintenance and low cost — can serve as a means to improve energy resilience and enhance the living conditions of these communities.

Research Question

What characteristics should appropriate energy systems have to be effective and sustainable — particularly from an environmental and social perspective — in the rural and peri-urban communities of Gulu, and how can they be designed, implemented, and maintained to effectively meet real local needs?

Research Design / Methodology

1. **Research and literature review.** Analysis of literature on energy access, appropriate technologies, and context-specific articles on rural practices to define the theoretical framework and the criteria for evaluating technological appropriateness.
2. **Field analysis.** Collection of qualitative and quantitative data through interviews, observations, and surveys in the rural and peri-urban communities of Gulu to identify local needs and energy practices.
3. **System definition, data review and appropriateness evaluation.** Classification of existing energy systems and assessment of their effectiveness, sustainability, and cultural coherence based on the collected data.
4. **Proposals and conclusions.** Development of appropriate energy solutions co-designed with the communities and formulation of guidelines for replication and local maintenance.

Type of study

Empirical qualitative and quantitative study with a mixed-method approach (multiple case study).

Data collection techniques and tools

- Semi-structured interviews with members of local communities and technicians.
- Quantitative survey on consumption and appropriateness priorities.
- Direct observation and cataloguing of existing energy systems (panels, inverters, batteries).

Data analysis

- Qualitative analysis (thematic coding) of interviews and workshops.
- Simple quantitative analysis (descriptive statistics) of survey data and production/consumption estimates.
- Evaluation of design proposals.

Expected original contributions

- Provide an empirical mapping of existing energy systems and local practices in the Gulu area.
- Identify the technical and social implications of the solutions currently in use.
- Propose, through a co-design process, a model of an appropriate energy system that integrates participation, the use of regenerated components, and local maintenance.
- Offer guidelines for replicating the model and tools for field technical training.

Bibliography / Preliminary References

- [1] Bauer M., Brown A., (2014). Quantitative Assessment of Appropriate Technology, *Procedia Engineering*, vol.78
- [2] Report IEA, (2025). Tracking Sdg7 The Energy Progress Report
- [3] Varesio A., (2025) Gulu's grassroots energy pathways: The case of used lead-acid car batteries in Northern Uganda. *Human Geography*, vol. 18
- [4] Franco W., Barbera F., Bartolucci L., Felizia T., Focanti F., (2020). Developing intermediate machines for high-land agriculture *Development Engineering*, vol. 5, 100050

3) Lettera associazione ente di ricerca



Re: Collaboration Agreement on Identifying Needs and Developing Appropriate Technologies to Support Communities living in Energy Poverty Conditions in the Acholi Sub-Region of Uganda

The undersigned, in their as capacity of Director of the Centre for African Research-Uganda (Mr. Arthur Owor) and Msc. Energy Engineering Student at the Politecnico di Torino in Italy (Mr.Emilio Pulvirenti), confirm their commitment the project: **Identifying needs and developing appropriate technologies to support communities living in energy poverty conditions in Northern Uganda**. The above-mentioned project is of academic interest to the Centre for African Research as it fits directly into its strategic mission of promoting collaborative knowledge production between the global north and south institutions. It is also particularly important in fostering participatory development which contributes to sustainable development.

The project's goal is to contribute to reducing energy poverty and mitigating climate change by identifying local needs, analyzing energy consumption patterns, evaluating existing systems and proposing potential appropriate technology solutions in line with UN Sustainable Development Goal 7 on Affordable and Clean Energy for All. The project is also aligned with our vision of delivering community-relevant research solutions by generating knowledge through cutting edge research, innovation and dissemination so as to influence policy and improve the quality of life.

This research project is headed by Mr. Emilio Pulvirenti (Lead Researcher) who is a MSc. Energy Engineering Student at Politecnico di Torino in Italy in collaboration with Mr. Kilama David. He is being supervised by Walter Franco (PhD Applied Mechanics Technologies for Sustainable Development and Humanitarian Engineering), Amarilli Varesio (PhD Anthropology) and Marcello Rava (PhD Mechanical Engineering).

The Centre for African Researc-Uganda will provide the necessary staff time (academic and administrative) to implement and follow up the project activities. The Centre will also host the project in December 2025.

We are looking forward to the collaboration and are hopeful that our collective work will impact academia and policies on addressing energy poverty in the Acholi Sub-region.

We Are:

Arthur Owor
Director-Centre for African Research-Uganda

Emilio Pulvirenti
Lead Researcher

23/10/2025 – Online meeting



Politecnico di Torino



CENTRE FOR AFRICAN RESEARCH

Identifying needs and developing appropriate technologies to support communities living in energy poverty conditions in the Gulu area of Uganda

Student: Emilio Pulvirenti (MSc Energy Engineering)
Supervisors: Walter Franco (PhD Applied Mechanics - Technologies for Sustainable Development and Humanitarian Engineering)
Amarilli Varesio (PhD Anthropology)
Marcello Rava (PhD Mechanical Engineering)

Context and Motivation

Location: Rural Area of Gulu, Northern Uganda

First exploratory field research focusing on **energy equity** and **appropriate technology design**

Goal → to contribute to reducing energy poverty and mitigating climate change

How? → Identifying local needs, analyzing energy consumption patterns, evaluating existing systems, and proposing a potential appropriate technology solution

Align → **UN SDG 7 — Affordable and Clean Energy for All** [2]



7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY



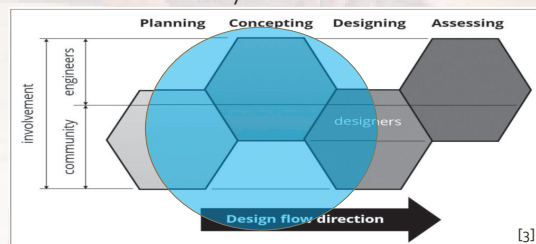
Appropriate Technology



Is defined as a technology that is suitable for a specific local context, considering its social, economic, and environmental factors. But also:

- Affordable and Economically Viable
- Scalable and Replicable
- Simple to Use and Maintain
- Environmentally Sustainable and Non-polluting
- Safe and Reliable
- Socially Inclusive — supports community well-being and equity
- Culturally Adapted — grows from local needs and values

... and many others features...



Guideline – AT research

Research and Literature Review

Make a proposal and evaluate it

Field Analysis

Define used system and evaluate it

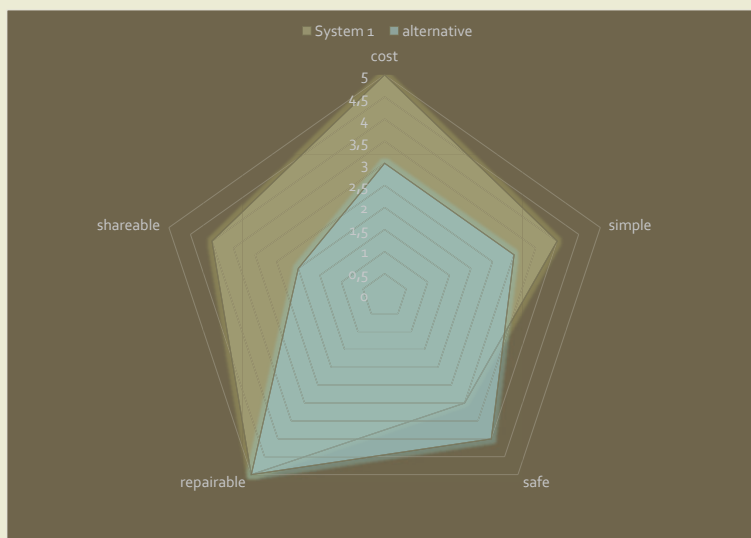


Field Analysis

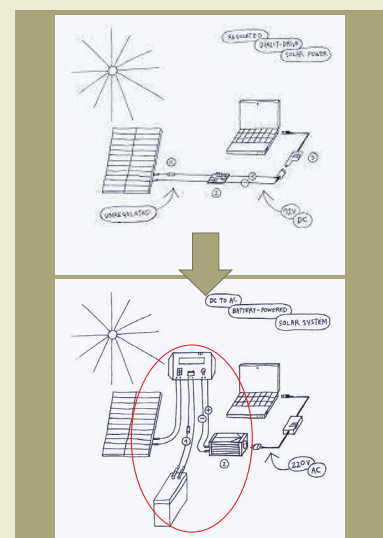
- Interviews in Rural community
 - Find system and case study pattern (for example PV (china) + inverter + car's battery or PV 2nd hand EU+ inverter + battery + solar light...)
 - Plus : if we find an appropriate technology already implemented
- Survey of appropriate features [21]
 - ask as many people as possible for their opinion
 - 3 main and different POV on the order of appropriate characteristics
- Finally evaluation + proposal
(for example maybe a micro wind power vertical axes turbine can add some little kwh/day that can improve the system or a pedal system can provide continuity when there is no sun for PV)

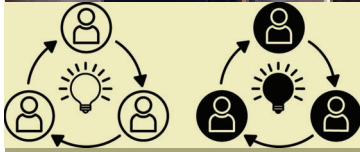


Example of results



Example of proposal





Collaboration & Question



Possibility of logistical or transport support to communities in the Gulu area.



Identification of potential communities of interest or relevance for engagement.



Facilitation of connections with individuals or groups already active in similar contexts, to encourage exchange and collaboration.

References

- [1] Bauer M., Brown A., (2014)
Quantitative Assessment of Appropriate Technology,
Procedia Engineering, vol.78
- [2] IEA, (2025).
Tracking Sdg7 The Energy Progress Report
Report IEA
- [3] Sianipar C., Yudoko G., Dowaki K., Adhiutama A., (2013).
Design Methodology for Appropriate Technology: Engineering as if People Mattered
Sustainability, vol. 5
- [4] Franco W., Barbera F., Bartolucci L., Felizia T., Focanti F., (2020).
Developing intermediate machines for high-land agriculture
Development Engineering, vol. 5, 100050
- [5] Varesio A., 2025
Gulu's grassroots energy pathways: The case of used lead-acid car batteries in Northern Uganda
Human Geography, vol. 18

Thanks