

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale LM-31

A.A. 2022/2023

Sessione di Laurea Luglio 2023



**Politecnico  
di Torino**

**Dimensionamento tecnico-economico  
di un impianto fotovoltaico situato  
nella fascia equatoriale**

Relatore:  
Maurizio Repetto

Candidato:  
Giulio Maci

*A mia madre, mio padre e mia sorella che  
ogni singolo giorno mi hanno supportato  
ed aiutato a superare tutte le difficoltà*

# Indice

Introduzione.....	1
Energia: definizione, storia e classificazioni .....	4
1.1 Etimologia e definizione di energia .....	4
1.2 La storia .....	4
1.1 Classificazione delle fonti di energia.....	8
1.2 Le fonti di energia non rinnovabile.....	9
1.3 Le fonti di energia rinnovabile.....	10
Fonti energetiche in Africa.....	13
2.1 Panoramica.....	13
2.2 Il Kenya.....	21
2.2.1 Le fonti energetiche in Kenya .....	22
2.2.2 Scenario iniziale .....	22
2.2.3 La domanda Kenyana .....	24
2.2.4 Previsione della domanda di energia elettrica.....	26
2.2.5 L'energia solare in Kenya .....	32
L'impianto fotovoltaico.....	34
3.1 L'impianto Fotovoltaico .....	34
3.1.1 Modulo fotovoltaico .....	36
3.1.2 Inverter .....	42
3.1.3 Batteria di accumulo.....	44
3.1.4 Linea vita.....	46
3.1.5 Staffe e strutture di fissaggio.....	47
3.1.6 Cavi e connettori .....	50
Catholic Hospital in North Kinangop, Kenya .....	51
4.1 L'ospedale cattolico di Nord Kinangop .....	51
4.2 Analisi dei consumi energetici dell'ospedale .....	51
Bibliografia.....	64

# Lista delle figure

Figura 1 Forza motrice degli schiavi (4) .....	5
Figura 2 Forza motrice schiavi (5) .....	6
Figura 3 Investimenti nelle zone AMER, EMEA, APAC (7) .....	12
Figura 4: Domanda, Offerta, Infrastrutture (8).....	15
Figura 5: Scostamento del prezzo delle fonti di energia dal 2010 al 2019 .....	17
Figura 6: Suddivisione della produzione di energia elettrica (9)....	18
Figura 7 Disponibilità elettrica (10) .....	23
Figura 8 Energia acquisita in GWh. Fonte: KenyaPower (11).....	23
Figura 9 Domanda (12).....	25
Figura 10 Domanda energia 2020 (13).....	26
Figura 11 Irraggiamento globale orizzontale (14).....	32
Figura 12 Sistemi Off Grid e Grid Connected (15).....	35
Figura 13 Operazione di drogaggio degli atomi di Silicio .....	37
Figura 14 Funzionamento della cella fotovoltaica .....	38
Figura 15 Cella fotovoltaica .....	39
Figura 16 Modulo fotovoltaico in silicio monocristallino.....	40
Figura 17 Modulo fotovoltaico in silicio policristallino.....	41
Figura 18 Modulo fotovoltaico in silicio amorfo .....	42
Figura 19 Inverter .....	43
Figura 20 Accumulatore fotovoltaico.....	46
Figura 21 Linea vita.....	46
Figura 22 Differenti tipologie di zavorre.....	47
Figura 23 Strutture di fissaggio triangolari.....	48
Figura 24 Strutture di fissaggio per tetti a falde con coppitegole...	49

Figura 25 Strutture di fissaggio per tetti con lamiera grecata.....	49
Figura 26 Connettori.....	50
Figura 27 Suddivisione dei consumi energetici per fascia .....	52
Figura 28 Suddivisione dei consumi energetici per reparto .....	52
Figura 29 Progettazione impianto fotovoltaico .....	53
Figura 30 Posizionamento moduli fotovoltaici su tetto a falde .....	55
Figura 31 Producibilità impianto fotovoltaico suddivisa per mese	55
Figura 32 Fattori di perdita della producibilità.....	56
Figura 33 Business Plan impianto fotovoltaico 69,9 kWp .....	57
Figura 34 Business Plan impianto fotovoltaico 78 kWp .....	59

# Introduzione

Il Kenya, e molti altri paesi in via di sviluppo del continente africano, ha come obiettivo nei prossimi 20 anni la sfida dell'efficientamento energetico al fine di sostenere il proprio sviluppo economico e garantire un futuro sostenibile per la popolazione. L'efficientamento energetico permetterebbe un uso ottimale delle risorse energetiche, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza nei processi di produzione, trasmissione e utilizzo dell'energia.

Al giorno d'oggi, il Kenya dipende fortemente da fonti energetiche non rinnovabili, come il petrolio, il carbone e le biomasse, per soddisfare le proprie esigenze energetiche. Questa dipendenza ha diverse conseguenze negative, tra cui l'instabilità dei prezzi dell'energia, l'inquinamento atmosferico e l'impatto sull'ambiente. Inoltre, molte comunità rurali in Kenya non hanno accesso all'elettricità, limitando le opportunità di sviluppo socio-economico.

L'efficientamento energetico offrirebbe soluzioni per affrontare queste sfide. Riducendo i consumi energetici e promuovendo l'adozione di fonti energetiche rinnovabili, il Kenya potrebbe raggiungere una maggiore sicurezza energetica.

Inoltre, l'efficientamento energetico può contribuire a stimolare l'economia, creando nuove opportunità lavorative e riducendo la dipendenza dalle importazioni di energia.

Il governo keniano ha riconosciuto l'importanza dell'efficientamento energetico e ha adottato politiche e strategie per promuoverne l'attuazione. Ciò include l'implementazione di normative sull'efficienza energetica, l'incoraggiamento degli investimenti nel settore delle energie rinnovabili e l'istituzione di programmi di sensibilizzazione e formazione per promuovere una cultura dell'energia sostenibile.

Tuttavia, ci sono ancora sfide significative da affrontare. Queste includono la necessità di investimenti finanziari per lo sviluppo delle infrastrutture energetiche sostenibili, la formazione e la consapevolezza del pubblico sull'importanza dell'efficientamento energetico e la necessità di collaborazione tra il governo, il settore privato e la società civile per raggiungere obiettivi comuni.

L'efficientamento energetico rappresenta una priorità chiave per il Kenya al fine di garantire un futuro sostenibile e migliorare la qualità della vita delle persone. Il seguente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di esporre tale problematica e trovare una soluzione.

La mia attenzione sarà rivolta in particolar modo all'Ospedale Cattolico di North Kinangop. Questo lavoro metterà in evidenza gli aspetti economico finanziari riguardanti la realizzazione di un impianto fotovoltaico da 78 kW necessario a soddisfare il fabbisogno energetico del reparto di produzione di ossigeno, uno dei più energivori dell'ospedale.





# Capitolo 1

## Energia: definizione, storia e classificazioni

### 1.1 Etimologia e definizione di energia

Il termine energia deriva dal tardo latino *energĭa* e dal greco antico *ἐνέργεια* *enérghēia* che significa “attività”, “operatività” (1).

L’energia è la grandezza fisica che misura la capacità di un corpo o di un sistema fisico di compiere lavoro, a prescindere che tale lavoro sia o possa essere effettivamente attuato (2). Nel Sistema Internazionale l’unità di misura dell’energia è il JOULE (J).

### 1.2 La storia

Al giorno d’oggi, le fonti di energia sono un argomento di forte dibattito, tuttavia è bene capirne le origini e gli utilizzi che ne ha fatto dell’uomo, partendo dalla scoperta del fuoco fino ai giorni nostri.

L’energia ha sempre rappresentato un elemento di grande importanza per la vita dell’uomo sulla Terra. Tutto ciò che ci circonda e che usiamo quotidianamente è stato creato tramite il consumo di energia e spesso ha bisogno di energia per funzionare.

Ricostruendo la storia dell’energia così come afferma Mario Silvestri in *Breve storia dell’energia*, “la fiamma fu la prima manifestazione

dell'energia al servizio dell'uomo" (3). L'uso consapevole del fuoco ha permesso all'uomo di scaldarsi, sopravvivere a varie età glaciali e cuocere il cibo procacciato. La seconda principale fonte di energia è stata la "forza motrice" umana e degli animali. Basti pensare alle Piramidi in Egitto o ai grandi monumenti dell'antica Roma, realizzati con la forza motrice degli schiavi. Successivamente, l'invenzione della ruota da parte dei Sumeri permise, in parte, di vincere la forza di attrito e sfruttare in modo più efficiente la forza motrice.



*Figura 1 Forza motrice degli schiavi (4)*

Già dall'antichità l'uomo inconsapevolmente ha utilizzato fonti di energia rinnovabili quali il vento e l'acqua. La forza del vento ha permesso di ridurre drasticamente la forza motrice degli schiavi favorendo la navigazione verso nuove terre ed il trasporto di merci e cibo lungo i corsi d'acqua.

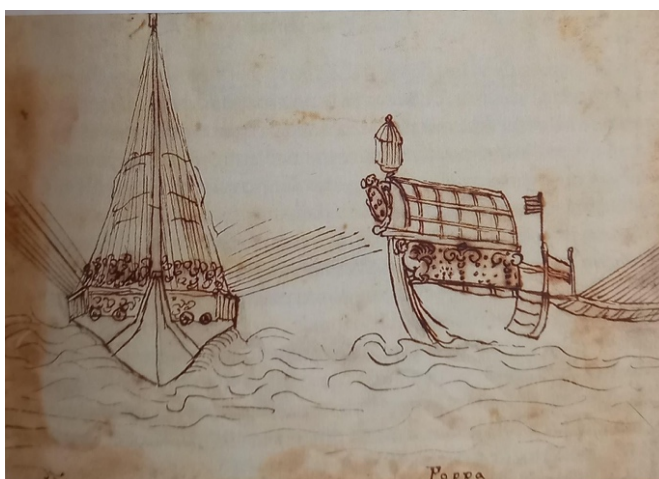


Figura 2 Forza motrice schiavi (5)

La nascita dei mulini a vento ha permesso la macinazione dei cereali ed altri prodotti dell'agricoltura, producendo farina ed altri prodotti secondari. I mulini a vento hanno, tuttavia, una sostanziale differenza con le attuali pale eoliche, in quanto i primi producevano energia meccanica invece le pale eoliche producono energia elettrica.

Nel Medioevo, le tecnologie scoperte nei secoli precedenti vennero perfezionate e ciò permise di accrescere enormemente la quantità di energia a disposizione dell'uomo. Venne introdotto l'impiego su larga scala dell'energia idraulica sfruttando la pendenza dei corsi d'acqua.

Le due rivoluzioni industriali, che hanno avuto il loro sviluppo tra la seconda metà del 1700 e la fine del 1800, hanno portato ad un cambiamento radicale all'interno della società e dell'economia in tutto il mondo. L'utilizzo dei combustibili fossili come il carbone ha

rappresentato fino agli anni '50 del 1900 la principale risorsa per la produzione di energia.

I combustibili fossili sono fonti energetiche che si sono formate nel corso di milioni di anni in seguito a processi di decomposizione anaerobica di materia vivente. Essi possono trovarsi in natura in varie forme quali il petrolio, il carbone, gas naturale ecc.

L'aumento costante della popolazione, il continuo progresso nel campo tecnologico e industriale ha portato ad un utilizzo, sempre maggiore di questi materiali che hanno cambiato completamente la struttura economica dei paesi più sviluppati. Con il passare degli anni fino ad arrivare al giorno d'oggi con la globalizzazione, le fonti di energia non rinnovabile hanno costituito la fonte primaria per la produzione di energia elettrica.

La transizione energetica rappresenta una grande sfida per l'umanità intera. Sicuramente, non siamo ancora pronti a dipendere totalmente da fonti di energia rinnovabile in quanto non vi sono ancora, dal punto di vista quantitativo, le tecnologie e gli strumenti necessari.

## **1.1 Classificazione delle fonti di energia**

Le fonti di energia possono essere classificate in tre differenti modi:

1.1 Fonti energetiche primarie e secondarie

1.2 Fonti energetiche convenzionali ed alternative

1.3 Fonti energetiche rinnovabili e non rinnovabili

Una prima classificazione delle fonti di energia è quella tra primarie e secondarie.

Le fonti di energia primarie sono quelle che si trovano nella loro forma naturale e che vengono utilizzate direttamente per produrre energia senza subire delle trasformazioni. Tra le più comuni troviamo il petrolio, il carbone, l'energia solare, l'energia eolica, l'energia idroelettrica, l'energia geotermica e la biomassa.

Le fonti di energia secondaria, invece, sono quelle fonti non presenti in natura, ma che derivano dalla trasformazione delle fonti di energia primaria, in seguito ad opportune trasformazioni. Tra le più comuni troviamo la benzina, l'energia elettrica, l'idrogeno.

Una seconda classificazione è quella fra fonti convenzionali e alternative.

Questo tipo di classificazione può essere paragonata a quella che verrà proposta di seguito ovvero la distinzione tra fonti rinnovabili e non rinnovabili, tuttavia, sono considerate convenzionali tutte quelle

fonti di energia che hanno avuto un largo utilizzo su scala mondiale come il carbone, il petrolio ecc..

Appartengono, invece, alle fonti di energia alternativa tutte quelle fonti energetiche di uso recente rispetto ai combustibili fossili. Spesso vengono confuse con le fonti di energia rinnovabili, in realtà includono un cerchio più ampio che comprende anche l'energia prodotta dalla fissione nucleare.

Una terza ed ultima classificazione è quella tra fonti di energia rinnovabile e non rinnovabile che sarà argomento di discussione nei seguenti paragrafi.

Il mio studio si focalizzerà maggiormente sull'utilizzo di fonti di energia rinnovabili nel continente Africano ed in particolare sull'energia solare.

## **1.2 Le fonti di energia non rinnovabile**

Le fonti di energia non rinnovabile sono risorse che si sono sviluppate nel corso di milioni di anni.

Il problema che caratterizza queste fonti energetiche va ricercato anche nel nome "non rinnovabile". Queste risorse non sono illimitate e richiedono tempi troppo lunghi per rigenerarsi.

Nonostante presentino una serie di vantaggi come alto potere calorifero, facilità di trasporto e reperibilità, è necessario prendere in considerazione quelli che sono gli aspetti negativi (disastri ecologici, cambiamenti climatici, innalzamento delle temperature).

Secondo il rapporto dell'IPCC entro il 2050 più della metà della produzione di energia elettrica mondiale dovrà essere prodotta da fonti di energia a basse emissioni.

Questo sarà necessario per scongiurare il verificarsi di effetti climatici irreversibili. In più tali risorse sono concentrate in particolari aree del nostro pianeta, il che le rende oggetto di dissidi politici ed economici tra i vari Stati. Questo problema non è presente, invece, per le fonti di energia rinnovabile poiché sono presenti su larga scala su tutto il nostro pianeta.

### **1.3 Le fonti di energia rinnovabile**

“Dietro ogni problema, c'è un'opportunità” (6)

Se da un lato il tema dell'uso delle fonti di energia non rinnovabile è ormai diventato un problema agli occhi di tutti, quello che ancora parte della popolazione non coglie è che dietro ogni problema vi è un'opportunità.

Opportunità intesa come possibilità di cambiamento radicale, ma è necessario rimanere con i piedi per terra.

Le fonti di energia rinnovabile sono fonti che si ripristinano naturalmente ed in tempi limitati, purché la frequenza di utilizzo da parte dell'uomo sia minore rispetto a quella di rigenerazione della risorsa stessa.

È intesa risorsa naturale tutto ciò che esiste spontaneamente in natura e di cui l'uomo ne fa un uso in maniera implicita.

L'aumento della popolazione e il costante sviluppo hanno portato ad un aumento costante della domanda di risorse naturali, portando la natura ad essere sfruttata in maniera sempre più intensiva e spesso irresponsabile.

Le fonti di energia rinnovabile sono considerate ormai indispensabili poiché godono di diversi vantaggi rispetto alle fonti di energia non rinnovabile:

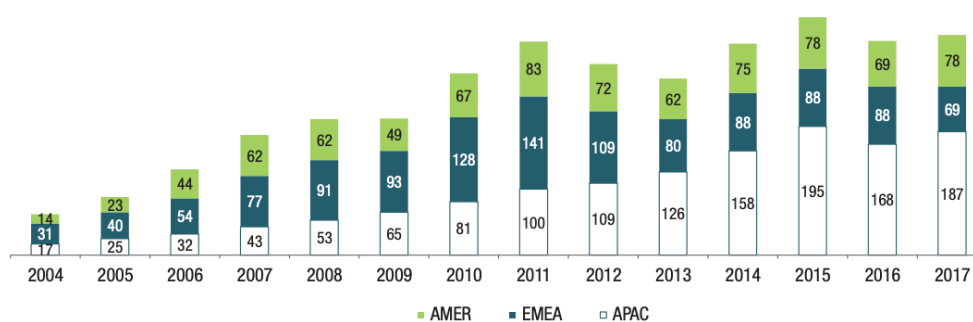
1. Sono inesauribili
2. Sono sostenibili
3. Riducono la dipendenza energetica
4. Hanno un basso costo operativo

Tuttavia, ad oggi richiedono ancora elevati costi di investimento, ragion per cui non hanno ancora sostituito in maniera definitiva le fonti di energia non rinnovabile.



L'efficientamento energetico, ottenibile a costi relativamente bassi porterebbe alla riduzione di almeno il 50% di emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030.

Come riporta “*LIBRO BIANCO – PER UNO SVILUPPO EFFICIENTE DELLE FONTI RINNOVABILI AL 2030*” Fino al 2011 gli investimenti nelle fonti rinnovabili erano prevalentemente sviluppati nel vecchio continente e in Africa con un picco massimo di 141 Mld \$ per l'area EMEA (Europa, Medio Oriente e Africa). Dal 2012 in avanti, invece, ad una riduzione degli investimenti europei si è associato l'aumento delle risorse impegnate nell'Asia Pacifica (APAC), che oggi rappresenta il maggiore investitore (187 Mld\$ nel 2017). Nonostante una discesa nel periodo 2011-2013 causata principalmente dalla diminuzione degli investimenti nel continente europeo, il picco degli investimenti si è raggiunto nel 2015 con 360 Mld \$. Nel 2017 si sono investiti 333 Mld \$, appena il 7% in meno del record.



Fonte: Bloomberg

Figura 3 Investimenti nelle zone AMER, EMEA, APAC (7)

# Capitolo 2

## Fonti energetiche in Africa

### 2.1 Panoramica

L'Africa è il terzo continente per superficie, circa 30.221.532 km<sup>2</sup>. Questo le permette di essere ricca di risorse naturali che possono essere sfruttate a proprio vantaggio. Nonostante ciò, il continente Africano non ha avuto modo di sfruttare al meglio le precedenti rivoluzioni industriali. Tuttavia, vi è ancora una possibilità di sviluppo industriale, digitalizzazione e crescita se si sfrutta al meglio la quarta rivoluzione industriale.

Le rivoluzioni industriali hanno sempre portato cambiamenti radicali in ogni campo della società umana, dalla macchina a vapore della prima rivoluzione industriale all'avvento di Internet. Ad oggi, la quarta rivoluzione industriale pone l'attenzione sull'energia prodotta da fonti rinnovabili.

Per i paesi del continente africano, la transizione energetica rappresenta una sfida da cogliere in quanto nonostante si tratti di paesi ancora in fase di sviluppo, si prevede che entro il 2040 ci sarà un incremento della domanda di energia elettrica, dovuta all'aumento della popolazione. Pertanto, è importante abbandonare al più presto i

combustibili fossili e al fine di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> che negli ultimi anni sono aumentate quasi del 20%.

Nei paesi in via di sviluppo, l'aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> è direttamente proporzionale all'accesso all'energia elettrica che a sua volta è collegato con la crescita del PIL.

Nonostante ciò, anche se gran parte del resto del mondo è al passo con la quarta rivoluzione industriale, il continente Africano sembra essere un po' in ritardo. Come riporta *“Il ruolo delle fonti energetiche rinnovabili e l'Industria 4.0 Focus per l'Africa: una rassegna”*, circa il 66,67% della popolazione mondiale si trova in una situazione socioeconomica antecedente la seconda rivoluzione industriale a causa della mancanza di infrastrutture che permettono l'accesso all'elettricità. A questa situazione si deve aggiungere un altro 50% della popolazione mondiale che non ha avuto modo di sfruttare la terza rivoluzione industriale e che quindi non ha accesso ad Internet. Gran parte di questi numeri fanno riferimento all'Africa e ad alcuni paesi del continente Asiatico.

A causa di questa situazione di arretratezza, molti stati stanno mettendo a disposizione grandi somme di denaro, necessarie per rilanciare l'economia e condurre gli stati del continente africano verso la transizione energetica.

La mancanza di materiali e denaro comporta una riduzione della domanda di energia. Come mostrato in figura 4 è necessaria una domanda di energia sufficiente per giustificare una simile spesa di approvvigionamento su larga scala che a sua volta richiede adeguate infrastrutture per soddisfare la domanda.

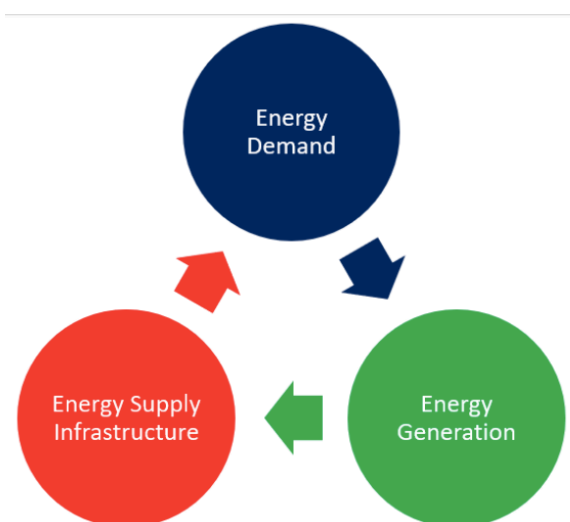


Figura 4: Domanda, Offerta, Infrastrutture (8)

Prima di agire su larga scala è necessario, quindi, porre l'attenzione sulle strutture decentralizzate. L'installazione di nuove tecnologie permetterebbe lo sviluppo e la crescita di queste zone. L'esigenza di apportare migliorie alle infrastrutture condurrebbe ad un aumento della domanda necessario per sostenere grandi spese.

Ad oggi, circa 600 milioni di persone non hanno accesso all'elettricità e la maggior parte di queste vivono in aree rurali. In più chi ha la possibilità di usufruire dell'elettricità, ad oggi, è comunque limitato da infrastrutture fatiscenti che non ne permettono l'utilizzo

nel migliore dei modi, dovendo ricorrere a soluzioni di fortuna con l'uso di combustibili fossili. L'espansione delle forniture rappresenta un requisito di fondamentale importanza per la crescita delle famiglie, delle aziende e quindi dell'economia dell'intero continente. È doveroso considerare che circa il 45% del fabbisogno di energia elettrica in Africa è soddisfatto da biomasse, quali legna e carbone.

Benché, molti paesi del continente sono predisposti verso la transizione energetica, ci sono ancora alcuni paesi come l'Egitto, il Sudafrica, lo Zimbabwe e la Nigeria, che hanno deciso di estendere la loro capacità di energia elettrica prodotta da combustibili fossili.

Il settore elettrico in Africa ha contribuito al 39% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>, nonostante ciò, sei paesi in particolare, Sudafrica, Egitto, Algeria, Marocco, Libia e Nigeria sono i principali responsabili delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Le emissioni pro capite in Africa settentrionale e meridionale sono 15 volte maggiori di quelle nell'Africa centrale. Se da un lato ci sono paesi come il Sudafrica che a livello di emissioni di CO<sub>2</sub> sono paragonabili a molti paesi europei, dall'altro sono presenti molti paesi con emissioni trascurabili a causa della mancanza di adeguate infrastrutture e di piani di sviluppo economico ed energetico.

Solo il 20% della produzione totale di energia elettrica nel continente è basata su fonti rinnovabili e vari paesi, tra cui il Kenya, sono

propensi ad aumentare la capacità di energia proveniente da fonti rinnovabili, con particolare attenzione all'energia solare.

Tra il 2010 e il 2019 il mercato ha assistito ad una riduzione del costo medio globale dell'elettricità prodotto da fonti rinnovabili. Il costo di un impianto fotovoltaico è sceso dell'82% e quello dell'eolico del 40%.

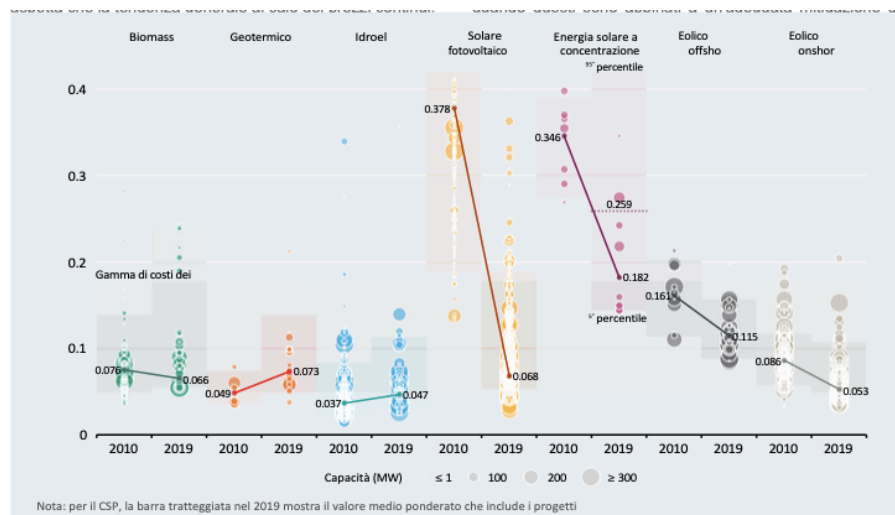


Figura 5: Scostamento del prezzo delle fonti di energia dal 2010 al 2019 (9)

Dai dati diffusi dall'IRENA, l'Agencia Internazionale per le Energie Rinnovabili, si evince che i principali "produttori" di energia solare sono l'Egitto con 581 MW, il Sudafrica con 373 MW, in terza posizione è presente il Kenya con 55 MW e successivamente la Namibia e il Ghana.

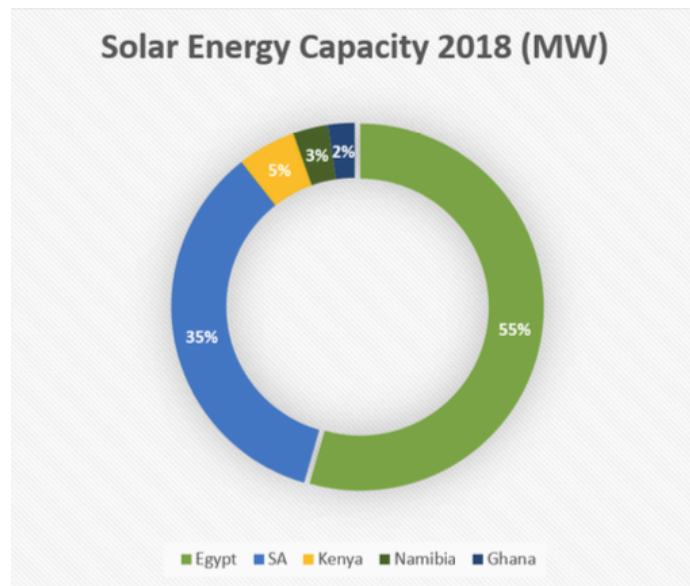


Figura 6: Suddivisione della produzione di energia elettrica (10)

La costante riduzione dei costi, dovuta ad una maggiore accessibilità dei materiali, ha portato gli impianti fotovoltaici ad essere molto competitivi sul mercato a discapito delle centrali elettriche a combustibili fossili. Questa tendenza al ribasso dei costi permette una pianificazione su larga scala e a lungo termine.

Tuttavia, l'energia prodotta da un impianto fotovoltaico ha una peculiarità che la differenzia dalle altre fonti di energia elettrica in quanto la resa dipende da molti fattori quali l'irraggiamento solare, la temperatura. Vi è una variabilità della produzione anche su scala oraria e stagionale.

Per procedere con una pianificazione energetica a lungo termine è opportuno tenere in considerazione tutti i fattori precedentemente elencati.

Come riporta “*Il ruolo delle fonti energetiche rinnovabili e l’Industria 4.0 Focus per l’Africa: una rassegna*”, altri fattori da tenere in considerazione sono la rotazione della terra sul proprio asse, l’inclinazione dei moduli fotovoltaici per ottimizzare al meglio la produzione e le prestazioni stesse dei moduli.

La mancata manutenzione ordinaria dei moduli, comporta una perdita che può raggiungere il 3%, mentre le perdite dovute a variazione di temperatura possono provocare perdite fino al 7%. La variabilità delle condizioni meteo comporta una producibilità che va dal 18 al 25%. Nell’arco di 24 ore, quindi, è possibile produrre una potenza di picco solo per 4-6 ore.

La missione del continente Africano per i prossimi anni si baserà, quindi, su tre punti strategici:

1. Aumentare gli incentivi e i finanziamenti per incrementare il numero di connessioni alla rete elettrica. Ciò permetterebbe a gran parte della popolazione l’accesso alla rete elettrica, eliminando quelle alternative molto inquinanti e costose come il cherosene.
2. Creare un ambiente favorevole agli investimenti nel campo delle rinnovabili. Ad oggi, vi è ancora un grosso divario tra la crescente domanda e i fondi messi a disposizione dai governi.



La causa può essere ricercata nell'incertezza economica e nell'instabilità politica, che rendono difficile, costoso e in alcuni casi impossibile aumentare il debito ed il capitale necessario ad aumentare gli investimenti. Questo divario potrebbe essere colmato da investimenti privati.

3. Ridurre la variabilità delle fonti rinnovabili grazie ad un continuo sviluppo tecnologico che permetterebbero a molti paesi di integrare in quantità sempre maggiori la fornitura di energia elettrica da fonti rinnovabili variabili.

## 2.2 Il Kenya

La Repubblica del Kenya o più comunemente noto come Kenya, con una popolazione di circa 47 milioni di persone, è il 27° paese più popoloso del mondo e il 7° più popoloso nel continente africano.

Anche se è attraversato dall'equatore, il paese presenta climi contrastanti con alternanza di climi tropicali lungo la costa, caratterizzata dalla stagione delle piogge, a climi temperati nell'entroterra ed aridi nella zona nord, nord-ovest. Il continuo cambiamento climatico, tuttavia, comporta eventi meteorologici sempre più imprevedibili e devastanti.

Nonostante queste differenze climatiche, la sua posizione le permette di ricevere grosse quantità di sole che favoriscono quindi l'installazione di impianti fotovoltaici nella maggior parte del paese.

Al fine di realizzare un piano di sviluppo energetico a lungo raggio, il Ministero dell'energia kenyota in collaborazione con l'autorità di regolamentazione del settore energetico ha predisposto un rapporto per individuare gli attuali scenari energetici del paese, con l'obiettivo di trascrivere le linee guida per gli anni a venire.

Questo rapporto prende il nome di "Least cost power development plan" ed è un piano di sviluppo energetico su visione decennale, dal 2021 al 2030.

### **2.2.1 Le fonti energetiche in Kenya**

Nonostante ci sia una propensione verso la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili, le biomasse rappresentano ancora la fetta maggiore di fonti per la produzione di corrente elettrica. Il loro consumo si attesta al 69%, seguito poi da prodotti petroliferi, combustibili pesanti e successivamente fonti energetiche rinnovabili e per finire il carbone.

### **2.2.2 Scenario iniziale**

Prima di attuare un piano energetico è opportuno fare chiarezza su quello che è il punto di partenza in cui si trova il Kenya, per poi attuare tutte le scelte necessarie per raggiungere un equilibrio fra la domanda e l'offerta.

Attualmente l'energia elettrica prodotta in Kenya deriva per il 45,6% da centrali geotermiche, per il 36,2% da centrali idroelettriche, il 6,72% da combustibili fossili, il 9,6% dall'eolico e lo 0,8% dal solare.

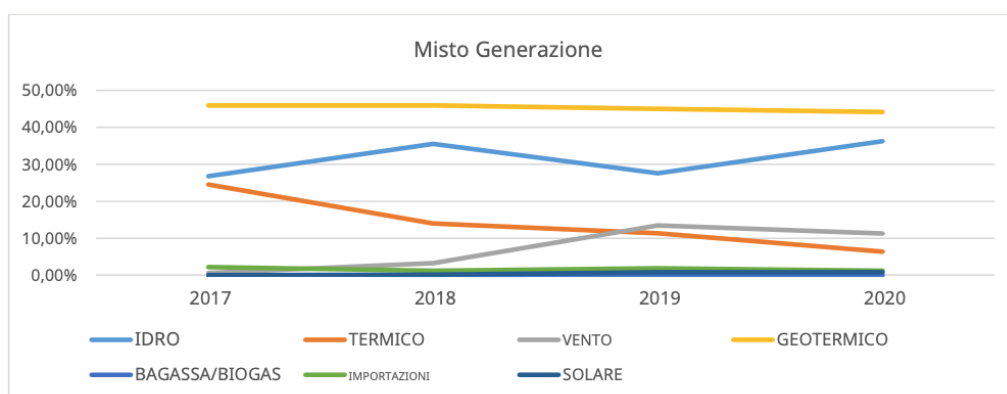


Figura 7 Disponibilità elettrica (11)

Le nuove politiche energetiche hanno portato il paese ad un aumento della produzione di energia da fonti rinnovabili, passando da 1,284 GWh nel 2018/2019 a 91 GWh per quanto riguarda l'acquisto di energia da solare ed eolico e diminuendo quella acquistata dalle centrali termiche, passando a 882 GWh nel 2019/2020 rispetto di 2.202 GWh del periodo 2017/2018.

	Energia acquistata GWh					
	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
idro	3.310	3.787	3.341	3.224	3.741	3.693
Geotermico	4.060	4.609	4.451	5.053	5.033	5.352
Termico	1.715	1.246	2.164	2.202	1.298	882
Cogenerazione	14	0	1	4	0	0
Solare	1	1	1	0	60	91
Vento	38	57	63	47	1.192	1.284
Importazioni	79	67	184	171	170	161
<b>Totale</b>	<b>9.217</b>	<b>9.767</b>	<b>10.204</b>	<b>10.702</b>	<b>11.493</b>	<b>11.462</b>

Figura 8 Energia acquisita in GWh. Fonte: KenyaPower (12)

### 2.2.3 La domanda Kenyana

I principali fattori che influenzano la domanda di elettricità nel paese sono:

- La crescita demografica del Kenya: il costante aumento della popolazione, l'urbanizzazione e l'economia.
- Crescita del PIL
- Vision 2030: il governo Kenyano ha predisposto un piano a medio termine per lo sviluppo e l'industrializzazione del paese mirato alla transizione economica da rurale ad industriale.

La domanda di energia elettrica è stata caratterizzata da un costante aumento negli ultimi dieci anni, raggiungendo un picco tra il 2019 e il 2020 di circa 1926 MW. Nonostante l'effetto della pandemia, nel dicembre del 2020 si è registrato un nuovo picco di 1976 MW.

Come si può vedere in figura 9, questa tendenza può essere spiegata dal fatto che si è registrato un aumento del numero di richieste di allaccio alla rete elettrica, con un picco tra il 2019 e il 2020 di circa 7.576.145 nuovi clienti, di cui il 20 % allacciamenti rurali, con un tasso di crescita annuo del 19,14%.

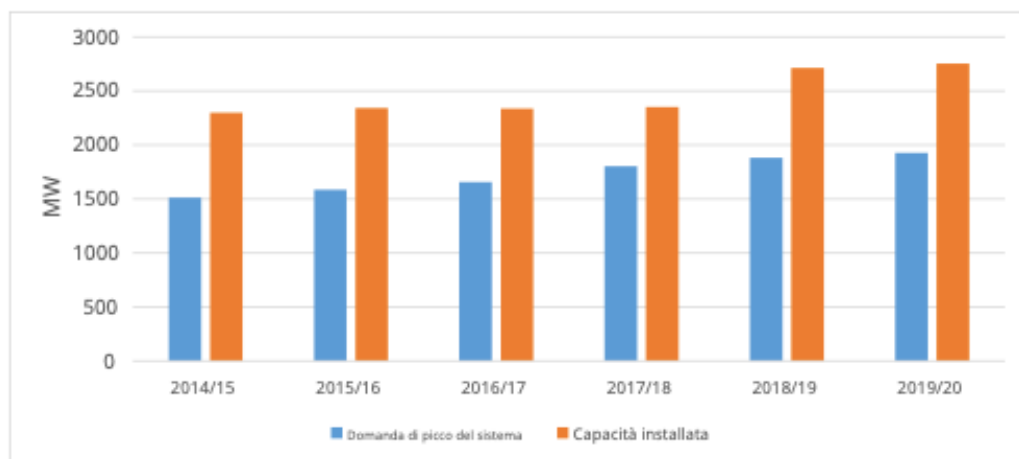


Figura 9 Aumento della domanda di energia elettrica (13)

La compagnia Kenya Electricity Transmission Company (KETRACO) ha implementato lo sviluppo delle infrastrutture di trasmissione per tutti i livelli di tensione, installando fino a 243.207 Km nel periodo tra il 2019 e il 2020. L'intenzione della compagnia è quello di installare ulteriori infrastrutture di trasmissione, in particolare sottostazioni per permettere il collegamento delle zone rurali cercando allo stesso tempo di efficientare quelle già esistenti per ridurre le perdite e migliorare l'affidabilità.

Nonostante il costante aumento della domanda, nel periodo tra il 2019 e il 2020 il consumo di energia è sceso da 11.493 GWh a 11.462 GWh. La pandemia ha avuto influenze negative sul settore energetico provocando una diminuzione della domanda di elettricità dell'8,3% tra febbraio ed aprile 2020.

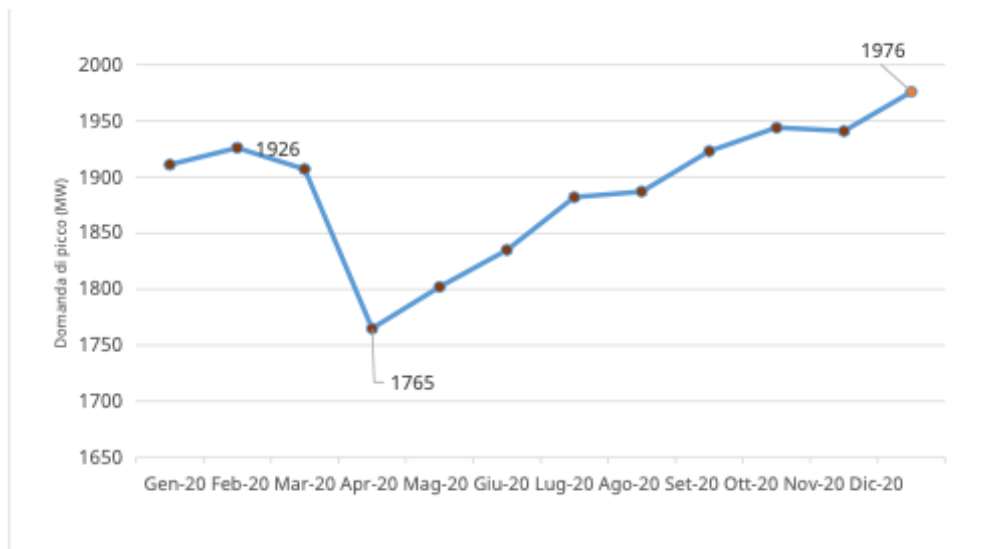


Figura 8: Domanda di picco effettiva mensile per l'anno 2020

Figura 10 Domanda energia 2020 (14)

Come si può vedere dalla figura 10 nei mesi successivi ad aprile si è registrato un aumento costante della domanda grazie alla riduzione delle misure restrittive imposte dal governo a causa della pandemia. Nel mese di dicembre si è registrato un nuovo picco di 1.976 GWh, raggiungendo i livelli antecedenti la pandemia.

## 2.2.4 Previsione della domanda di energia elettrica

### 2.2.4.1 Fase iniziale

Per realizzare la previsione della domanda di energia elettrica è stato utilizzato il modello Laymeyer International Excel, sviluppato appositamente per il contesto del paese.

Sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

1. Proiezione della tendenza, necessaria per capire la correlazione dei vari fattori che caratterizzano la crescente domanda di energia elettrica
2. Approccio bottom-up, utilizzato per il calcolo della domanda di energia elettrica per le diverse casistiche di consumatori, quali famiglie, piccole e grandi attività industriali.
3. Sono stati presi in considerazione tre scenari: uno base, uno di riferimento ed infine quello a cui mira il progetto Vision.

Per quanto riguarda le tariffe sono stati considerati quattro scenari differenti:

1. Consumo domestico
2. Consumo commerciale (piccole dimensioni)
3. Consumo commerciale (grandi dimensioni) ed industriale
4. Consumo legato all'illuminazione stradale

Anche per le perdite è stata individuata la seguente suddivisione:

1. Livello di bassa tensione
2. Livello di media tensione
3. Livello di alta tensione



## 2.2.4.2 Pianificazione

È stata adottata la seguente procedura:

1. Inserimento dei dati e analisi delle ipotesi riguardanti la crescita demografica, i consumi, il PIL.
2. Calcolo dei consumi elettrici secondo le fasce tariffarie precedentemente indicate, su quattro diverse macroaree della nazione. Sono state applicate le seguenti formule, la prima riguardante le tariffe domestiche, dell'illuminazione stradale e dei piccoli commercianti. La seconda formula utilizzata per i grandi commercianti e le industrie.

$$C_{B,TG,PSA}(y) = \{SC_{TG,PSA}(y) + SD_{TG,PSA}(y)\} * \#c_{TG,PSA}(y)$$

$$C_{B,G,PSA}(y) = PIL_{KE}(y) * a_{PSA} + b_{PSA}$$

Dove:

#c = Numero di connessioni

a, b = Coefficienti di correlazione lineare tra consumi e PIL in cifre assolute

(C= a\*PIL + b)

CB = Consumi fatturati netti in GWh

GDPKE = Prodotto interno lordo del Kenya in KES

PSA = Area del sistema di alimentazione

SC = Consumo specifico in kWh/anno

SD = Domanda soppressa

TG = Gruppo tariffario

y = Anno

Tali formule sono state applicate all'intero paese dove:

*PSA consumption*

= ( $\Sigma$  *Tariff group consumption*)

+ *flagship projects load*

*Total consumption (Kenya) =  $\Sigma$  PSA consumption*

3. Aggiunta del carico della domanda proveniente dai prossimi progetti, in base al picco di carico previsto.

$$C_{B,FP,PSA}(y) = \sum_{FP=1}^x [P_{FP}(y) * LF_{FP}(y)]$$

Dove:

flagship projects load = carico dei progetti di punta

CB = Consumi fatturati netti

FP = Progetto faro

LF = Fattore di carico del gruppo tariffario/progetto faro in percentuale

P = Punta di carico in MW

PSA = Area del sistema di alimentazione

y = Anno

4. Somma delle perdite per ogni livello di tensione per arrivare alle perdite totali per ogni PSA e al livello di perdite nazionale.

Il consumo lordo, quindi, si ottiene sommando il totale dei consumi fatturati più le perdite totali.

$$C_{PP}(y) = \frac{C_B(y)}{(1 - L_{HV,MV,LV})}$$

$$C_{PP,PSA}(y) = \frac{C_{TN,PSA}(y)}{(1 - L_{HV})}$$

Dove:

CB = Consumi fatturati (netti) in GWh

CPP = Quantità energia emessa dalle centrali elettriche (lorda) in GWh

CTN = Rete di trasmissione inviata in GWh

HV = Alta tensione

L = Perdite

LV = Bassa tensione

MV = Media tensione

PSA = Area del sistema di alimentazione

y = Anno

5. Calcolo del carico di picco dato dalle perdite totali per il prodotto tra il consumo totale fatturato, il fattore di carico, il fattore di responsabilità e il fattore di picco simultaneo.

$$P_{PP}(y) = \sum_{TG,FP=1,PSA=1} \{ (C_{PP,TG,FP,PSA}(y) * LF_{PP,TG,FP,PSA}(y) * RF_{PP,TG,FP,PSA}(Y)) / H_y \} * SF$$

Dove:

CPP = CPP = Quantità energia emessa dalle centrali elettriche (lorda) in GWh

FP = Progetto faro

LF = Fattore di carico del gruppo tariffario/progetto faro in percentuale

P = Punta di carico in MW

PSA = Area del sistema di alimentazione

RF = Fattore di responsabilità del gruppo tariffario / progetto faro in %

SF = Fattore di picco simultaneo; sistema di carico di picco / somma delle aree del sistema di potenza di picco in %

TG = Gruppo tariffario

y = Anno

Hy = Ore in un anno

## 2.2.5 L'energia solare in Kenya

Grazie alla sua posizione sull'equatore, il Kenya presenta un irraggiamento medio di 4-6 kWh/m<sup>2</sup>, tra i più alti nei paesi dell'Africa Sub-Sahariana, con punte fino a 7 ore di sole costante nell'arco della giornata. Nelle regioni dell'entroterra, l'irraggiamento orizzontale globale arriva a 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/anno

Per irraggiamento orizzontale globale si intende la quantità di radiazione ad onde corte ricevuta dall'alto da una superficie orizzontale.

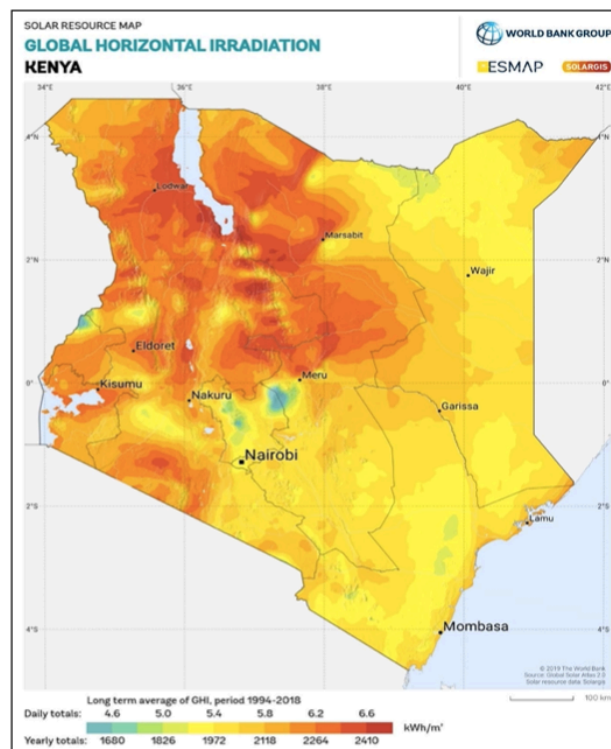


Figura 11 Irraggiamento globale orizzontale (15)

Tuttavia, nonostante le grosse quantità di energia elettrica che il Kenya potrebbe produrre, questa viene sfruttata in quantità quasi insignificanti, per l'illuminazione elettrica nazionale, per le utenze domestiche e per le industrie. Nelle aree rurali i numeri di connessione alla rete elettrica nazionale sono bassissimi. Circa 500.000 famiglie fanno affidamento a sistemi ad isola.

# Capitolo 3

## L'impianto fotovoltaico

### 3.1 L'impianto Fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico è un sistema che permette di produrre energia elettrica dal sole. Esistono due tipi di impianti fotovoltaici:

- Grid Connected
- Off grid

I primi, "Grid Connected" sono impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica nazionale. Questo garantisce la possibilità di utilizzare l'impianto fotovoltaico in combinazione alla corrente elettrica fornita dal servizio di distribuzione di riferimento per soddisfare il bisogno energetico in eccesso in quanto vi è lo scambio in due direzioni. Se l'impianto fotovoltaico non riesce a sopperire al consumo di energia, l'elettricità è acquisita dalla rete. Se invece, vi è un'eccedenza di produzione rispetto al consumo effettivo, l'energia in più viene immessa in rete.

Una secondo vantaggio si ha in termini di affidabilità poiché un qualsiasi malfunzionamento dell'impianto potrebbe comprometterne la produzione e di conseguenza l'utilizzo di corrente elettrica per soddisfare i bisogni energetici.

Per questo tipo di sistemi, solitamente, non è previsto l'utilizzo di accumulatori.

Il secondo tipo di impianto fotovoltaico è detto "Off Grid". Questa tipologia di impianti è scollegata dalla rete elettrica. Tuttavia, vengono progettati in combinazione a batterie di accumulo in modo da poter sopperire ad eventuali mancanze o malfunzionamenti dell'impianto fotovoltaico. Le batterie accumulano l'energia elettrica in eccesso che, quindi, non viene utilizzata nell'immediato, per poterla sfruttare in periodi in cui l'impianto fotovoltaico non "lavora" a causa di un insufficiente irraggiamento solare o a causa di malfunzionamenti. In fase di progettazione, l'impianto viene dimensionato in modo da poter alimentare l'utenza ad esso collegata e contemporaneamente ricaricare le batterie di accumulo. Dato che tali sistemi devono garantire il costante funzionamento anche con condizioni climatiche avverse, spesso, vengono dotati di sistemi di supporto come i generatori diesel da utilizzare in base alle necessità.

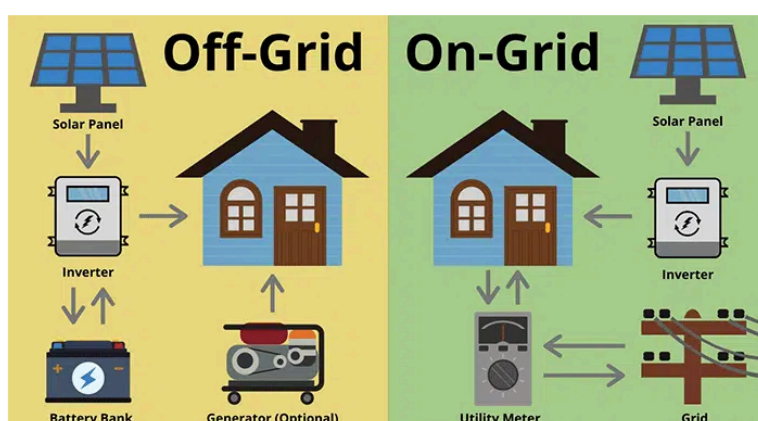


Figura 12 Sistemi Off Grid e Grid Connected (16)



Un impianto fotovoltaico è composto da quattro componenti principali che ne permettono il suo utilizzo più altri secondari ma in ogni caso funzionali:

1. Moduli fotovoltaici
2. Inverter
3. Batterie di accumulo
4. Linea vita
5. Staffe e strutture di fissaggio
6. Cavi e connettori

### **3.1.1 Modulo fotovoltaico**

Il modulo fotovoltaico, chiamato anche generatore, è l'elemento principale di un impianto fotovoltaico.

Il modulo fotovoltaico è composto da celle fotovoltaiche che sono in grado di convertire l'energia solare in energia elettrica. Per comprendere il funzionamento della cella è necessario spiegare l'effetto fotovoltaico. Le celle sono costituite da Silicio (Si), che è un materiale semiconduttore, il quale viene sottoposto ad una operazione di drogaggio.

Ciascun atomo di Silicio è a sua volta circondato da altri 4 atomi di Silicio con cui condivide uno dei 4 elettroni di valenza presenti nelle orbite esterne. Nel momento in cui viene introdotto artificialmente all'interno del reticolo cristallino un atomo con tre elettroni di

valenza come, ad esempio, il Boro (B), che viene chiamato *accettore* ed è di tipo P, viene a crearsi uno spazio vuoto all'interno del reticolo che prende il nome di *lacuna*. Successivamente, introducendo un atomo che possiede cinque elettroni di valenza nelle orbite esterne come, ad esempio, l'atomo di Fosforo (P), vi sarà un elettrone in eccesso. L'atomo di Fosforo invece è chiamato *donatore* ed è di tipo N.

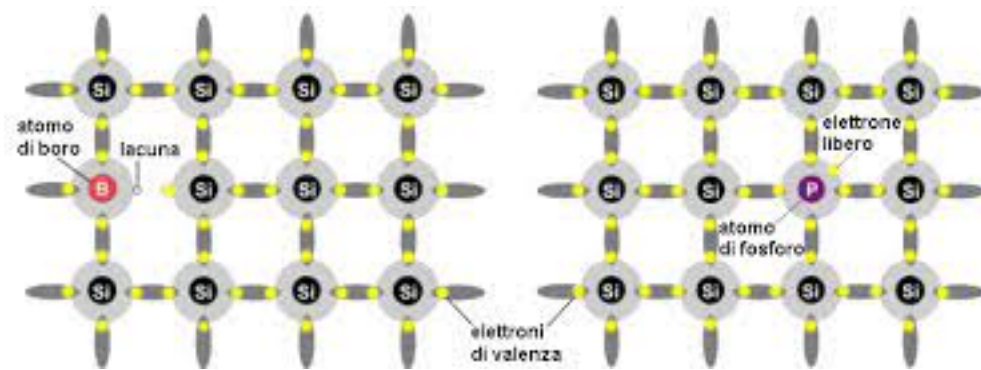


Figura 13 Operazione di drogaggio degli atomi di Silicio

Quando i due tipi di cristalli di silicio vengono a contatto si ottiene una giunzione di tipo P-N. Gli elettroni in eccesso e in difetto dei due cristalli tendono a spostarsi finché il potenziale elettrico generato dallo spostamento delle cariche non controbilancia il moto di diffusione.

Il motore che permette lo spostamento degli elettroni all'interno della cella fotovoltaica è l'energia prodotta dalle radiazioni solari. Quando le particelle di energia solare, dette fotoni, colpiscono il materiale semiconduttore della cella si verificano tre condizioni: una parte

dell'energia viene riflessa, una parte diviene calore e la terza parte comporta lo spostamento degli elettroni.

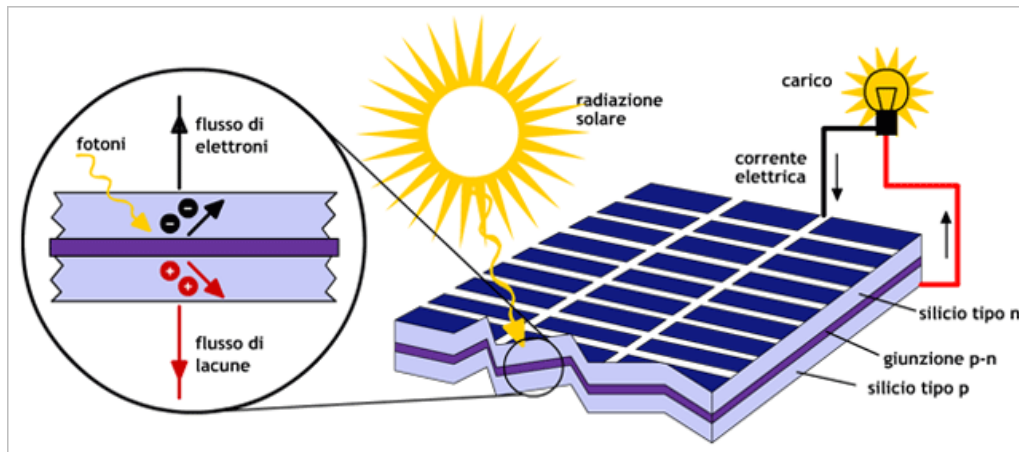


Figura 14 Funzionamento della cella fotovoltaica (17)

Le celle fotovoltaiche hanno una forma quadrata e una dimensione di circa 12,5 cm per lato ed uno spessore che varia tra 0,25 e 0,35 mm. Le celle fotovoltaiche sono collegate fra loro tramite elementi metallici che danno vita a circuiti in parallelo o in serie. La superficie di ogni cella non è piana ma ha la forma di una minuscola piramide che permette di aumentare la superficie di riflessione del sole.

Per tener traccia del comportamento della cella fotovoltaica viene calcolato il rapporto tra la potenza massima  $P_{max}$  [Wp] che si ottiene dalla cella e la potenza totale che si ottiene dall'incidenza delle radiazioni sulla superficie frontale. Tale rapporto prende il nome di rendimento  $\eta$ .

$$\eta = \frac{P_{cella}}{P_{max}}$$



*Figura 15 Cella fotovoltaica*

Un modulo fotovoltaico è costituito dall'unione di 48, 60, 72 fino ad un massimo di 96 celle, a seconda della grandezza del modulo stesso e della potenza.

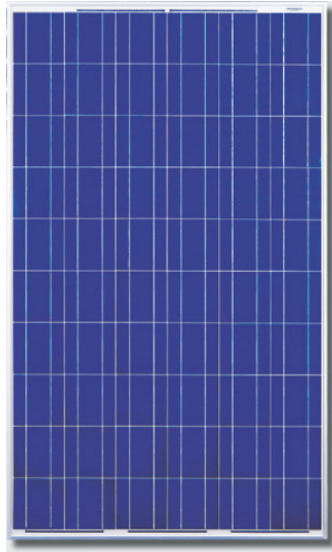
In commercio ci sono diversi tipi di moduli fotovoltaici che variano in base alle tecnologie utilizzate per la realizzazione della cella fotovoltaica:

- **Silicio monocristallino:** Conferisce alle celle un colore blu scuro e sono caratterizzate da angoli smussati. Hanno un rendimento del 18-22% che a parità di kW è maggiore rendimento rispetto alle altre tipologie. Tuttavia, sono molto sensibili alle zone in cui vi è una scarsa luminosità. In più il processo di realizzazione detto melting è costoso e quindi anche il costo nel mercato è maggiore.



*Figura 16 Modulo fotovoltaico in silicio monocristallino*

- Silicio policristallino: Conferisce alle celle un colore blu. Questa tipologia di celle ha una minore raffinatezza rispetto alle precedenti. I cristalli di silicio non sono allineati e ciò permette alle celle di avere una maggiore producibilità anche in momenti della giornata in cui non si verificano le condizioni ottimali di luminosità. Le celle in silicio policristallino a differenza delle precedenti hanno un rendimento minore, che varia dal 11 al 14%. Tuttavia, la struttura dei cristalli permette una produttività costante che porta ad eguagliare le celle in silicio monocristallino a parità di tempo di esposizione. Richiedono inoltre, una maggiore superficie di incidenza a parità di potenza.



*Figura 17 Modulo fotovoltaico in silicio policristallino*

- Silicio amorfo idrogenato: Conferisce alle celle una colorazione omogenea. Il numero di celle per la costituzione di un modulo fotovoltaico è di 30 o 70. Le celle sono collocate al di sotto di una lastra di vetro. La caratteristica principale di questo tipo di modulo è la flessibilità, a discapito della producibilità che si aggira intorno al 6-8%. È necessaria una superficie di installazione 2 volte maggiore di quella dei moduli monocristallini per ottenere lo stesso risultato in termini di producibilità. Tuttavia, questo cristallo assicura una migliore resa energetica ed è quindi ideale per luoghi in cui vi è una esposizione diretta al sole poco costante. Questa tipologia trova principale utilizzo in quei casi in cui i pannelli tradizionali a causa della loro struttura rigida non possono essere installati.

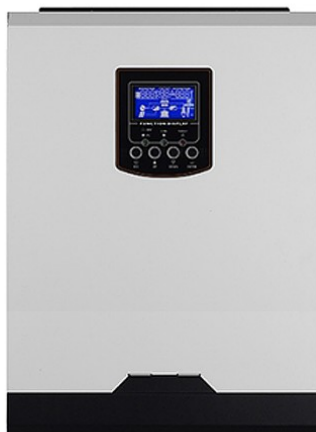


*Figura 18 Modulo fotovoltaico in silicio amorfo*

### **3.1.2 Inverter**

L'inverter è uno dei principali elementi dell'impianto fotovoltaico in quanto converte la corrente elettrica continua (DC), prodotta dai moduli fotovoltaici, in corrente alternata (AC), e quindi compatibile con la rete elettrica a cui è collegato l'impianto fotovoltaico.

Ottimizza il rendimento dell'impianto fotovoltaico grazie al sistema MPPT (Maximum Power Point Tracker) che consente di ottenere sempre la massima potenza dall'impianto in base alle condizioni meteorologiche.



*Figura 19 Inverter (18)*

Durante il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico si deve prendere in considerazione la massima potenza in uscita così da poter scegliere la giusta taglia. Per potenze fino a 6 kW si utilizzano inverter monofase, per potenze superiori vengono utilizzati inverter trifase.

Un altro dato di cui bisogna tener conto durante il dimensionamento dell'impianto è la presenza o meno degli accumulatori. La presenza di questi dispositivi nell'impianto comporta l'utilizzo di inverter ibridi che possono interagire con le batterie di accumulo.

All'interno degli inverter sono inoltre presenti dei sistemi di monitoraggio che registrano i flussi di energia in entrata e in uscita e inviano tali dati a semplici applicazioni controllabili da smartphone. Tali sistemi permettono, quindi, di controllare lo stato di



funzionamento dell'impianto fotovoltaico e nel caso individuare dei problemi.

### **3.1.3 Batteria di accumulo**

La batteria di accumulo è un sistema che permette di immagazzinare l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico nei momenti in cui vi è una grossa produzione di energia da parte dell'impianto fotovoltaico ma consumi limitati. L'energia, che non viene consumata nell'immediato in autoconsumo, viene stoccata in tali batterie e riutilizzata nei momenti in cui il fabbisogno di energia, ovvero i consumi, sono maggiori rispetto alla producibilità dell'impianto stesso. Tali sistemi di stoccaggio sono presenti soprattutto dei sistemi isolati.

Una prima classificazione delle batterie di accumulo riguarda le modalità di ricarica:

1. Monodirezionali: possono essere ricaricate solo dall'impianto fotovoltaico
2. Bidirezionali: possono essere ricaricate sia dall'impianto fotovoltaico che dalla rete.

Una seconda classificazione riguarda invece il materiale di cui son composte:

1. Batterie al piombo
2. Batterie al litio

3. Batterie al Nichel – metallo – idruro
4. Batterie al Nichel – Cadmio
5. Batterie con tecnologie ad alta temperatura

Le batterie maggiormente utilizzate sono quelle al litio che rispetto a tutte le batterie precedentemente elencate hanno una durata maggiore e supportano una scarica fino all'80% della capacità senza perdere efficienza.

Prima di procedere con la scelta della batteria di accumulo è opportuno prendere in considerazione alcuni parametri:

1. Vita della batteria: gli accumulatori devono supportare un numero elevato di cicli di carica e scarica.
2. Climatic cycle: capire il comportamento al variare delle condizioni climatiche.
3. Capacità della batteria: quantità di energia presente al suo interno
4. Tempi di ricarica
5. Costi di manutenzione: considerando l'intenso utilizzo spesso tali tecnologie hanno una vita minore rispetto a quella dell'impianto fotovoltaico ed è quindi necessario sostituirle.

Gli accumulatori non sono direttamente collegati ai moduli fotovoltaici ma tramite dei regolatori di carica che evitano eccessi di carica o di scarica. Il verificarsi di queste due situazioni sarebbe dannoso per la vita utile degli accumulatori.



*Figura 20 Accumulatore fotovoltaico (19)*

### **3.1.4 Linea vita**

La linea vita è un sistema di sicurezza obbligatorio. Consiste in un semplice cavo di acciaio installato sul tetto degli edifici, in particolar modo sui tetti a falde, al quale gli operatori possono ancorarsi per svolgere le operazioni di installazione o manutenzione dell'impianto fotovoltaico in totale sicurezza.



*Figura 21 Linea vita (20)*

### 3.1.5 Staffe e strutture di fissaggio

L'impianto fotovoltaico può essere installato su tetto piano o lastrico solare e su tetto a falde. Per le due tipologie di installazione sono previsti sistemi di fissaggio differenti.

Per i tetti piani vengono utilizzate due tipologie di ancoraggio:

1. Zavorre in cemento: la funzione principale di tali sistemi è quella di evitare la perforazione della copertura sulla quale sono presenti guaine bituminose impermeabilizzanti o strati coibentati. Le zavorre sono disposte sulla superficie secondo uno schema ben preciso studiato in fase di progettazione che permette di installare le file dei moduli fotovoltaici a distanza sufficiente e con una determinata angolazione che varia dagli  $0^\circ$  ai  $35^\circ$ .

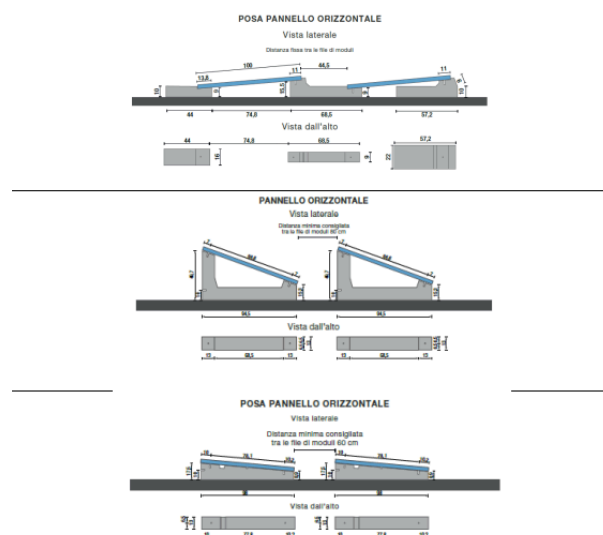


Figura 22 Differenti tipologie di zavorre (21)

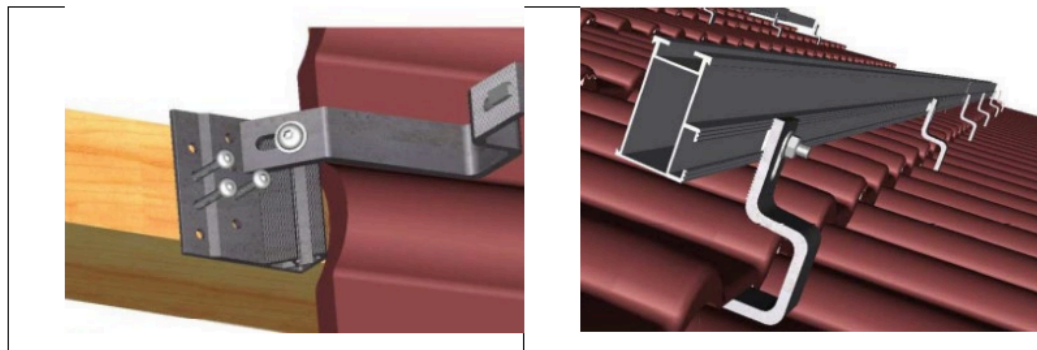
2. Triangoli metallici: sono dei supporti metallici a forma di triangolo che vengono ancorati alla copertura del tetto. Tali supporti vengono successivamente collegati fra loro tramite degli assi trasversali che hanno come obiettivo sia quello di stabilizzare tutta la struttura ma allo stesso tempo fungono da base di appoggio per i moduli fotovoltaici.



*Figura 23 Strutture di fissaggio triangolari (22)*

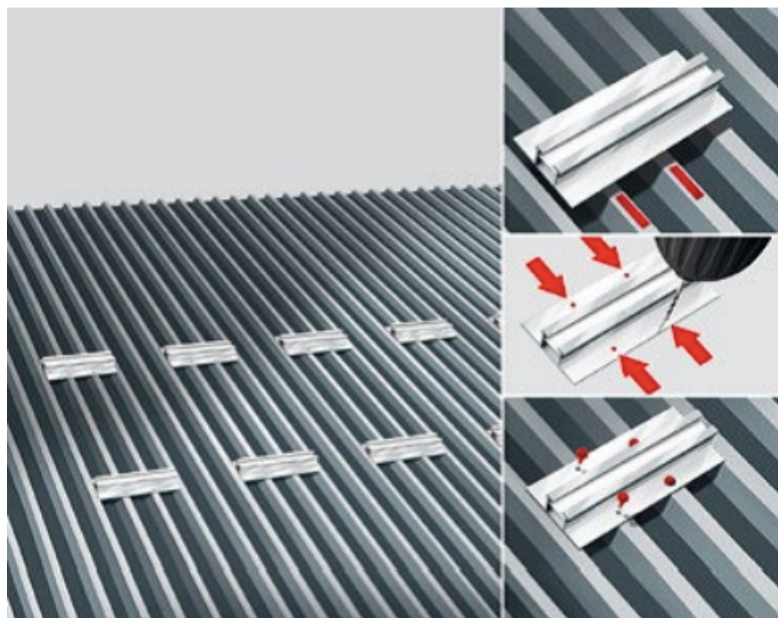
Per i tetti a falde inclinate si utilizzano delle staffe che possono essere adattate alle varie tipologie di copertura come coppi o tegole e lamiera grecata.

1. Per tetti con copertura in coppi o tegole si seguono varie fasi. Viene rimosso il coppo/tegole e fissato il gancio al travetto in legno porta-tegola e solo successivamente viene riposizionata la copertura. Ciò permette di installare la staffa su un sistema fisso che risulta essere più sicuro sia per la stabilità dei pannelli stessi ma anche perché non viene alterata la copertura con possibilità di infiltrazioni.



*Figura 24 Strutture di fissaggio per tetti a falde con coppitegole (23)*

2. Nel caso, invece, di struttura a lamiera grecata, si installano sulla copertura dei semplici profili che hanno dimensioni variabili in base all'interasse della lamiera che fungono da guide per i pannelli fotovoltaici.



*Figura 25 Strutture di fissaggio per tetti con lamiera grecata (24)*

### 3.1.6 Cavi e connettori

Tutti i moduli sono collegati fra loro tramite dei cavi che presentano dei connettori nella parte terminale. Tali cavi devono rispettare una serie di caratteristiche descritte dalla norma CEI 20-91. Devono essere in grado di resistere a sbalzi termici da  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $120^{\circ}\text{C}$ . I cavi devono avere una sezione minima definita in fase di progetto che non deve mai scendere sotto i  $0,25 \text{ mm}^2/\text{A}$ .

Allo stesso tempo anche i connettori devono rispettare determinate caratteristiche che vengono definite in fase di progettazione. Devono avere una tensione massima di  $1000 \text{ V DC}$ . In fase di collegamento di due connettori è necessario avere degli appositi sistemi di bloccaggio ed infine essere a tenuta stagna per resistere alle intemperie. Nel mercato i connettori più utilizzati sono i Multi-Contact (MC).



Figura 26 Connettori (25)

# **Capitolo 4**

## **Catholic Hospital in North Kinangop, Kenya**

### **4.1 L'ospedale cattolico di Nord Kinangop**

L'ospedale di North Kinangop è situato a Ndunyu Njeru, una piccola città nella regione Nyandarua, a circa 300 km da Nairobi ed è il quinto ospedale più grande del paese. Con i suoi 300 posti letto, ogni anno accoglie più di 73.000 pazienti fra i vari reparti di chirurgia (95 posti letto), medicina (80 posti letto), maternità, ginecologia e pediatria (60 posti letto) e terapia intensiva (65 posti letto).

### **4.2 Analisi dei consumi energetici dell'ospedale**

L'ospedale nel suo complesso presenta i seguenti consumi annuali suddivisi tra fascia F1 ed F2.



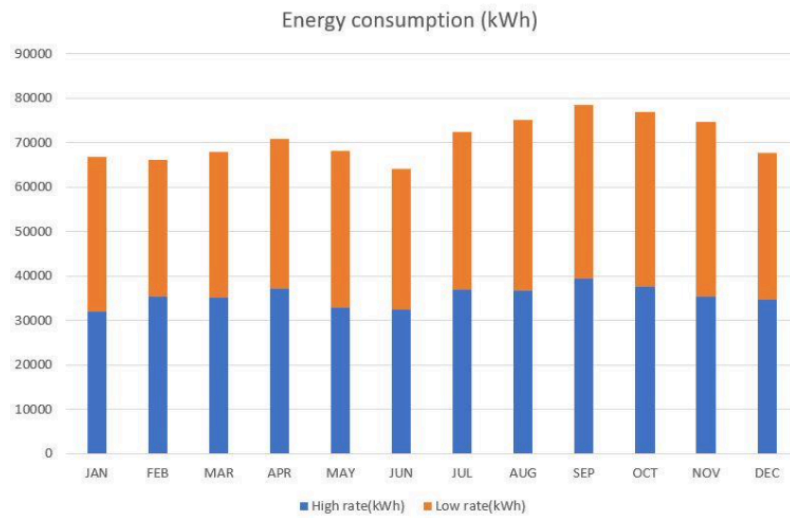


Figura 27 Suddivisione dei consumi energetici per fascia (26)

Tali consumi sono suddivisi fra i vari reparti dell'ospedale secondo le percentuali descritte nella seguente figura.

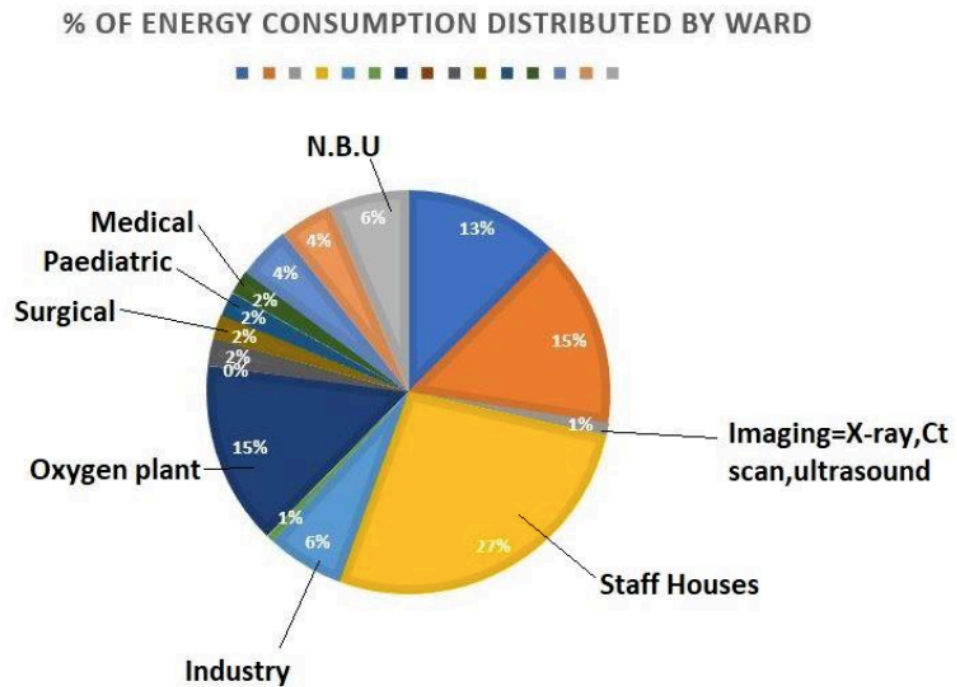


Figura 28 Suddivisione dei consumi energetici per reparto (27)

Come evidenziato nelle precedenti figure e secondo quanto progettato dal mio collega Daniel Feunkeu, nel suo lavoro di tesi, il consumo annuale di energia elettrica si aggira intorno agli 842.447 kWh che eccedono di gran lunga la massima produzione disponibile per un impianto fotovoltaico. Si è deciso, quindi, di progettare l'impianto fotovoltaico per ricoprire uno dei più importanti reparti dell'ospedale ovvero quello della produzione dell'ossigeno.

L'ospedale dispone di due settori di produzione dell'ossigeno che presentano un consumo annuale di circa 122 MWh all'anno.

In base ai seguenti consumi è stato progettato un impianto fotovoltaico da 78 kW composto dai seguenti materiali:

- Numero moduli fotovoltaici in Silicio Monocristallino: 280
- Numero di inverter: 10
- Strutture di fissaggio al tetto
- Cavi di collegamento

In fase di progettazione non sono state previste batterie di accumulo, considerando che il sistema è collegato alla rete.

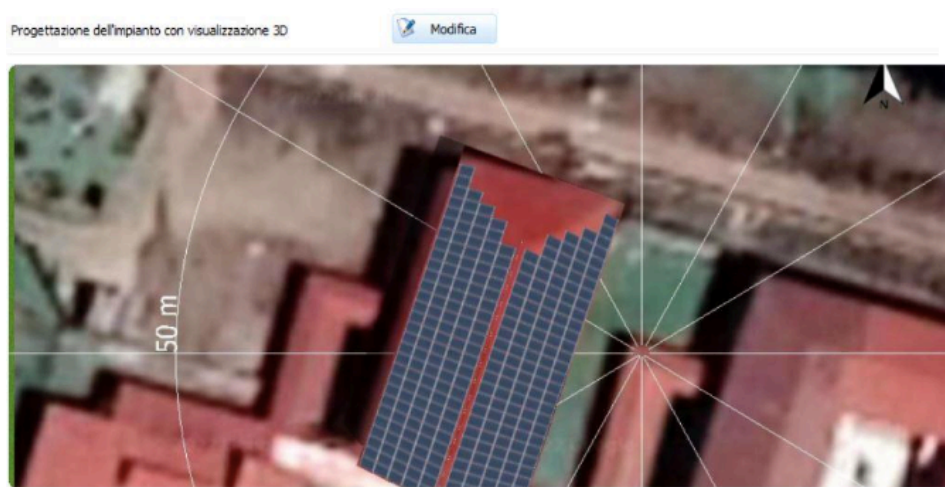


Figura 29 Progettazione impianto fotovoltaico (28)

### **4.3      Analisi economica dell'impianto fotovoltaico**

Al fine di redigere un'analisi economico finanziaria del progetto, grazie all'aiuto dell'associazione LVIA, è stato possibile mettersi in contatto con delle aziende di progettazione ed installazione di impianti fotovoltaici localizzate in Kenya e richiedere un preventivo per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico.

Dall'analisi predisposta dall'azienda Chameleon Solution Limited, sono emerse una serie di diverse scelte progettuali, rispetto al precedente studio di fattibilità, soprattutto legate alla scelta dei moduli fotovoltaici.

In particolare, il numero di moduli necessari per la realizzazione dell'impianto è passato da 280 con una potenza per singolo modulo di 300 Wp, inizialmente preventivati, a 127 moduli, ciascuno con una potenza di 550 Wp. Per problemi di spazio è stato necessario diminuire la potenza totale dell'impianto da 78 kWp a 69,9 kWp.

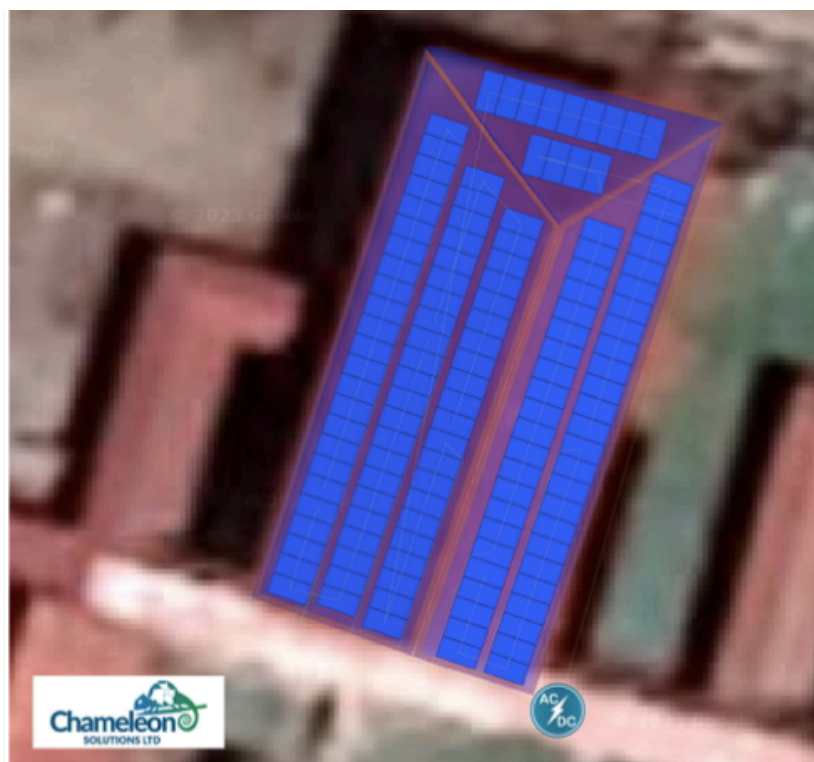


Figura 30 Posizionamento moduli fotovoltaici su tetto a falde (29)

L'azienda Chameleon Solution Limited ha fornito il calcolo della producibilità suddiviso per mese come riportato in figura 31.

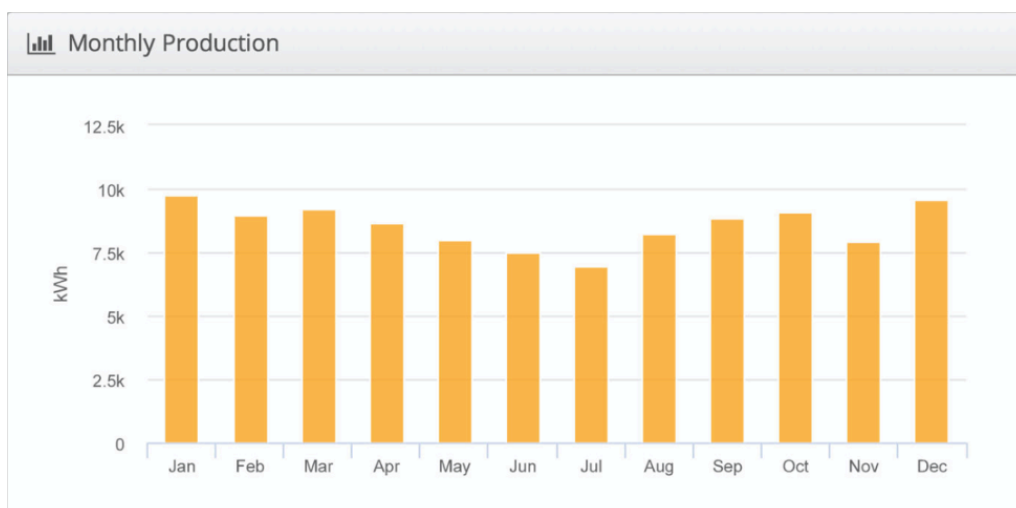


Figura 31 Producibilità impianto fotovoltaico suddivisa per mese (30)

Trovandosi all'altezza dell'equatore, è possibile notare come vi sia una maggiore producibilità dell'impianto fotovoltaico nei mesi invernali ed un'inversione in quelli estivi.

Un secondo dato da tenere in considerazione è legato alle perdite dell'impianto fotovoltaico. Uno dei fattori che incide particolarmente riguarda le elevate temperature che comportano perdite per il 9,4% sulla producibilità dell'impianto, seguite poi dai problemi di connessione che causano una perdita del 4,3%, alla riflessione dei moduli con perdite fino al 3,5%.

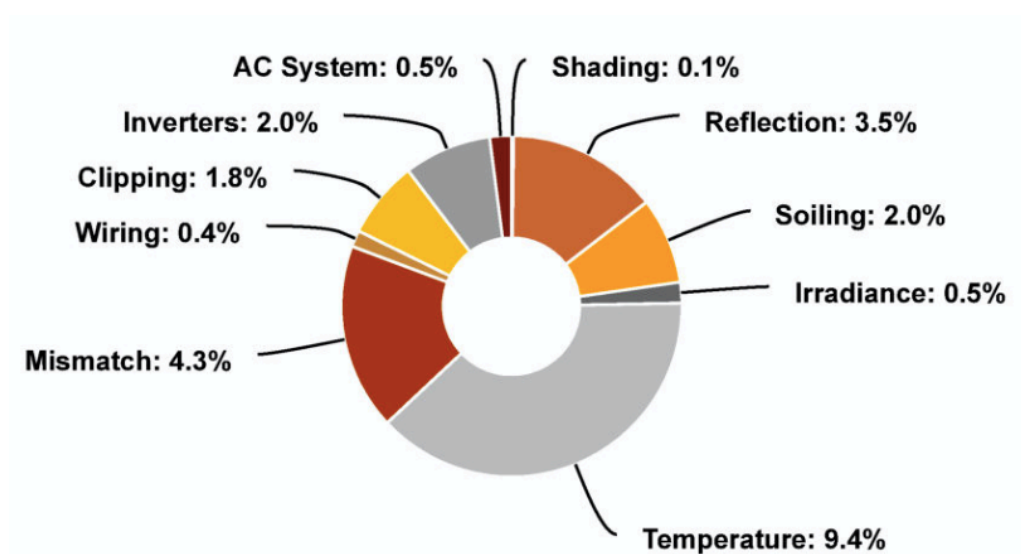


Figura 32 Fattori di perdita della producibilità (31)

Anche il numero di inverter è stato modificato, passando da 10 inverter ad uno solo della potenza di 50 kWp.

Di seguito è riportato l'elenco di tutto il materiale preventivato, necessario per l'installazione e il relativo costo nella moneta locale:

1. Moduli fotovoltaici: 2.761.170,50 KES
2. Inverter: 657.640,00 KES
3. Materiali accessori (sistemi di sicurezza): 375.536,24 KES
4. Quadri elettrici: 1.813.426,13 KES
5. Strutture di fissaggio: 1.014.740,16 KES
6. Sistemi di monitoraggio: 34.709,29 KES
7. Cablaggio: 98.712,31 KES
8. Trasporto e manodopera: 356.514,40 KES
9. Spese accessorie: 231.165,09 KES

Costo totale dell'impianto fotovoltaico: 7.341.614,22 KES, corrispondenti a 48.419,44 €, con possibili variazioni dovute al cambio valuta.

Considerando il costo per kWh dell'energia fornita dalla Kenya Power corrispondente a 24,45 KES e un risparmio medio mensile di 154.019,25 KES dovuto alla presenza dell'impianto è possibile calcolare il tempo di rientro dall'investimento.

Data	14/01/22
Cliente	North Khangop Hospital
Potenza Impianto kWp	69,9 kWp
Soluzione	Vendita diretta

PAY BACK  
3 ANNI 5 MESI

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stima beneficio fotovoltaico	2.058.825,00 KES	2.066.648,54 KES	2.074.501,80 KES	2.082.384,91 KES	2.090.297,97 KES	2.098.241,10 KES	2.106.214,42 KES	2.114.218,03 KES	2.122.252,06 KES	2.130.316,62 KES
Recupero fiscale FV (tax 16%) da ammortamento	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES
Ricavi annui	2.165.614,82 KES	2.173.438,35 KES	2.181.291,62 KES	2.189.174,72 KES	2.197.087,79 KES	2.205.030,92 KES	2.213.004,24 KES	2.221.007,85 KES	2.229.041,88 KES	2.237.106,44 KES
Investimento FV	7.341.614,22 KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Assicurazione (ipotesi lato Cliente)	-	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Costi annui	7.341.614,22 KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Margine annuo	- 5.175.999,40 KES	2.173.438,35 KES	2.181.291,62 KES	2.189.174,72 KES	2.197.087,79 KES	2.205.030,92 KES	2.213.004,24 KES	2.221.007,85 KES	2.229.041,88 KES	2.237.106,44 KES
Flusso di cassa	- 5.175.999,40 KES	3.002.561,05 KES	821.269,43 KES	1.267.985,29 KES	3.564.993,08 KES	5.770.024,00 KES	7.983.028,24 KES	10.204.036,09 KES	12.433.077,96 KES	14.670.184,40 KES

Figura 33 Business Plan impianto fotovoltaico 69,9 kWp

Come è possibile vedere dalla Figura 33 dopo soli 3 anni e 5 mesi si è già in positivo rispetto alla spesa effettuata nell'anno 1.

Nonostante la differenza di kWp tra la fase di progettazione e la richiesta di preventivo, è comunque possibile calcolare il costo dell'impianto fotovoltaico da 78 kWp.

$$\frac{KES}{Wp} = 105,03$$

Dove:

KES = moneta locale del Kenya

Wp = Watt picco

Costo totale impianto fotovoltaico:

$$C_T = C_{kWp} * d$$

$$C_T = 105,03 \frac{KES}{Wp} * 78 * 1000 Wp = 8.192.359,22 KES$$

Dove:

C<sub>T</sub> = Costo totale impianto fotovoltaico

C<sub>kwp</sub> = Costo unitario per Wp

d = dimensione impianto fotovoltaico

In questo secondo caso, come è possibile vedere in figura 34 il Payback è di 3 anni e 6 mesi, in leggero aumento considerando il maggior investimento.

Data	17/06/23
Cliente	North Kinangopp Hospital
Potenza Impianto kWp	78 kWp
Soluzione	Vendita diretta

PAY BACK  
3 ANNI 6 MESI

Anno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Stima beneficio fotovoltaico	2.204.325,00 KES	2.212.701,44 KES	2.221.109,70 KES	2.229.549,92 KES	2.238.022,21 KES	2.246.526,69 KES	2.255.063,49 KES	2.263.632,73 KES	2.272.234,54 KES	2.280.869,03 KES
Recupero fiscale FV (tax 16%) da ammortamento	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES	106.789,82 KES
Ricavi annui	2.311.114,82 KES	2.319.491,25 KES	2.327.899,52 KES	2.336.339,74 KES	2.344.812,03 KES	2.353.316,51 KES	2.361.853,31 KES	2.370.422,55 KES	2.379.024,36 KES	2.387.658,85 KES
Investimento FV	8.192.359,22 KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Assicurazione (ipotesi lato Cliente)		- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Costi annui	8.192.359,22 KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES	- KES
Margine annuo	- 5.881.244,40 KES	2.319.491,25 KES	2.327.899,52 KES	2.336.339,74 KES	2.344.812,03 KES	2.353.316,51 KES	2.361.853,31 KES	2.370.422,55 KES	2.379.024,36 KES	2.387.658,85 KES
Flusso di cassa	- 5.881.244,40 KES	3.561.753,15 KES	1.233.853,63 KES	1.102.406,11 KES	3.447.298,13 KES	5.800.614,64 KES	8.162.467,95 KES	10.532.890,50 KES	12.911.914,86 KES	15.299.573,71 KES

Figura 34 Business Plan impianto fotovoltaico 78 kWp



# Conclusioni

Come è emerso dai precedenti capitoli, il Kenya insieme a molti altri paesi del continente Africano si trova ad affrontare la tematica dell'efficientamento e della sostenibilità energetica, che vedrà questi paesi coinvolti in un'importante sfida nei prossimi 20 anni.

L'utilizzo di energia da fonti rinnovabili, in particolar modo l'energia solare ed eolica, nel territorio Kenyano, rappresentano attualmente solo una piccola percentuale della produzione di energia ma presto si spera possano rappresentare le principali fonti grazie alle quali produrre energia elettrica.

Un esempio concreto è rappresentato dall'ospedale cattolico di North Kinangop, che ogni anno accoglie migliaia di persone e rappresenta uno dei principali ospedali del paese. Per sopperire a una fornitura di corrente elettrica fatiscente, a causa di frequenti guasti e dai costi elevati, che costringono spesso l'ospedale ad alimentare i vari reparti con generatori alimentati a gasolio, si è deciso di dimensionare dal punto di vista energetico ed economico un impianto fotovoltaico che permetterebbe almeno al reparto di produzione dell'ossigeno, il più energivoro, ad essere alimentato principalmente da energia pulita.

Nel breve termine si spera possano essere sempre di più questi esempi, non solo in campo sanitario. La sfida non è facile ma

permetterebbe al Kenya e alla maggior parte dei paesi del continente Africano di:

1. Riallinearsi dal punto di vista energetico ai paesi più sviluppati sfruttando la quarta rivoluzione industriale, così da permettere l'accesso all'energia elettrica nelle zone più remote, in particolare modo nei centri rurali, dove a causa di mancanza di adeguate infrastrutture non è possibile rimanere collegati alla rete elettrica.
2. Sfruttare le risorse naturali, ampiamente presenti in natura, per produrre energia elettrica. L' utilizzo sfrenato di fonti di energia non rinnovabile non potrà continuare per troppo tempo, in quanto tali fonti come dice il termine stesso non sono rinnovabili e quindi impiegano tempi molto lunghi rispetto alla vita utile dell'uomo per rigenerarsi. In più l'utilizzo di tali fonti ha causato nel corso dei decenni problemi dal punto di vista climatico ed ambientale, con gravi ripercussioni sull'ambiente dovute all'aumento della CO<sub>2</sub>.
3. Avere una maggiore accessibilità grazie al progressivo aumento di di fonti di energia rinnovabili che permetterebbe la riduzione dei costi del materiale.

# Sitografia

<https://www.sorgenia.it/guida-energia/batterie-accumulo-fotovoltaico>

<https://www.nwgitalia.it/blog/batterie-per-accumulo-fotovoltaico-quali-sono>

[https://amslaurea.unibo.it/3666/1/BONAVITA\\_GIANLUCA\\_TESI.pdf](https://amslaurea.unibo.it/3666/1/BONAVITA_GIANLUCA_TESI.pdf)

<https://servicetec.it/celle-fotovoltaiche-cosa-sono-come-funzionano/>

<https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/how-does-a-photovoltaic-system-work>

<https://www.sapere.it/sapere/approfondimenti/storia/antico-egitto/stato-e-societa/mito-della-schiavitu.html>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto\\_fotovoltaico](https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_fotovoltaico)

[https://online.scuola.zanichelli.it/pidatellameccanica-files/vol1/approfondimenti/Zanichelli\\_Pidatella\\_approfondimento\\_1\\_18.pdf](https://online.scuola.zanichelli.it/pidatellameccanica-files/vol1/approfondimenti/Zanichelli_Pidatella_approfondimento_1_18.pdf)

<https://www.progettogea.com/gea/energia/energia1.4.htm>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Energie\\_non\\_rinnovabili](https://it.wikipedia.org/wiki/Energie_non_rinnovabili)

<https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Fonti\\_alternative\\_di\\_energia](https://it.wikipedia.org/wiki/Fonti_alternative_di_energia)

[https://www.google.com/search?q=forza+motrice+schiavi&sxsrf=APwXEdf1NS8CPUxT4LYXgvrlr1M8V5p2uA:1679940843776&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjTkVkp2\\_z9AhX0QvEDHRcCDQAQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=518&dpr=1#imgcr=3Kyaacf03KxcnM&imgdii=eEs6YdH2sosgVM](https://www.google.com/search?q=forza+motrice+schiavi&sxsrf=APwXEdf1NS8CPUxT4LYXgvrlr1M8V5p2uA:1679940843776&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjTkVkp2_z9AhX0QvEDHRcCDQAQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=518&dpr=1#imgcr=3Kyaacf03KxcnM&imgdii=eEs6YdH2sosgVM)

<https://senec.com/it/blog/funzionamento-inverter-fotovoltaico>

<https://www.autoconsumo.gse.it/>

[https://www.treccani.it/enciclopedia/i-combustibili-fossili-e-il-loro-ruolo-nel-futuro-energetico\\_%28XXI-Secolo%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/i-combustibili-fossili-e-il-loro-ruolo-nel-futuro-energetico_%28XXI-Secolo%29/)

<https://www.focus.it/cultura/storia/storia-energia-antichita-oggi>

<https://www.iea.org/articles/kenya-energy-outlook>

<https://communications.bowmanslaw.com/REACTION/emsdocuments/LCPD%202021.pdf>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Mulino\\_a\\_vento#:~:text=Il%20mulino%20a%20vento%20%C3%A8,ambito%20agricolo%2C%20artigianale%20o%20industriale](https://it.wikipedia.org/wiki/Mulino_a_vento#:~:text=Il%20mulino%20a%20vento%20%C3%A8,ambito%20agricolo%2C%20artigianale%20o%20industriale)

<https://www.gookka.com/it/blog/pannelli-fotovoltaici/pannelli-monocristallini-policristallini-e-amorfi-caratteristiche-e-differenze>

[https://www.google.com/search?q=principali+elementi+di+un+impianto+fotovoltaico&sxsrf=APwXEdebyrqpYMDynFUm3nXofypd\\_uzx\\_Q:1679738200454&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewibtIO26Pb9AhUIRvEDHRtUChcQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=575&dpr=1#imgrc=dpcWh30CQ4JfkM](https://www.google.com/search?q=principali+elementi+di+un+impianto+fotovoltaico&sxsrf=APwXEdebyrqpYMDynFUm3nXofypd_uzx_Q:1679738200454&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewibtIO26Pb9AhUIRvEDHRtUChcQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=575&dpr=1#imgrc=dpcWh30CQ4JfkM)

<https://www.geopop.it/quali-sono-i-maggiori-paesi-produttori-e-consumatori-mondiali-di-carbone/>

<https://apps.solargis.com/prospect/map?show-registration=1&c=45.228481,9.755859,5&s=45.222172,9.76867>

<https://www.treccani.it/vocabolario/ricerca/energia/>

<http://www.elettrotecnica.unina.it/files/demagistris/didattica/Tesi/Sangioanni.pdf>

# Bibliografia

1. TRECCANI. *TRECCANI*. [Online] [Riportato: 12 03 2023.] <https://www.treccani.it/vocabolario/energia/>.
2. TRECCANI. *TRECCANI . TRECCANI*. [Online] <https://www.treccani.it/vocabolario/energia/>.
3. Silvestri, Mauro. *Breve storia dell'energia*. Milano : Politecnico di milano, 2004.
4. SAPERE.IT. *SAPERE.IT. SAPERE.IT*. [Online] [Riportato: 15 03 2023.] <https://www.sapere.it/sapere/approfondimenti/storia/antico-egitto/stato-e-societa/mito-della-schiavitu.html>.
5. Camici, Marcello. *ELBAREPORT. ELBAREPORT*. [Online] [Riportato: 15 03 2023.] <https://www.elbareport.it/arte-cultura/item/54168-1548-i-forzati-alla-voga-della-galera-ed-il-loro-contributo-alla-fondazione-di-cosmopoli-parte-1>.
6. Galilei, Galileo. [Online]
7. CONFINDUSTRIA. *LIBRO BIANCO PER UNO SVILUPPO EFFICIENTE DELLE FONTI RINNOVABILI AL 2030*.
8. *The Role of Renewable Energy Sources and Industry 4.0 Focus for Africa: A Review*. Kingsley Ukoba, Thokozani Justine Kunene, Pieter Harmse, Valentine Takwa Lukong, Tien Chien Jen. s.l. : Radu Godina, 2023.
9. —.Kingsley Ukoba, Thokozani Justine Kunene, Pieter Harmse, Valentine Takwa Lukong, Tien Chien Jen. s.l. : Radu Godina, 2023.
10. —.Kingsley Ukoba, Thokozani Justin Kunene, Pieter Harmse, Valentine Takwa Lukong, Tien Chien Jen. s.l. : Radu Godina, 2023.
11. *LEAST COST POWER DEVELOPMENT PLAN*. 2021.
12. *LEAST COST POWER DEVELOPMENT PLAN*. 2021.
13. *PLAN, LEAST COST POWER DEVELOPMENT*. 2021.
14. *PLAN, LEAST COST POWER DEVELOPMENT*. 2021.
15. SOLARGIS.
16. Odhiambo, Frank. Off-Grid solutions are rising to provide Green Energy to Kenya's rural areas. *Sustainnow*. [Online] [Riportato: 16 04 2023.] <https://www.sustainnow.ch/post/off-grid-solutions-are-rising-to-provide-green-energy-to-kenya-s-rural-areas>.
17. MRWATT. *MRWATT MAKE YOUR OWN ENERGY*. [Online] [Riportato: 24 05 2023.] <https://www.mrwatt.eu/it/content/come-funziona-una-cella-solare>.

18. LA CASA DEL SOLE STORE. *LACASADELSOLESTORE*. [Online] [Riportato: 25 05 2023.] [www.lacasadelsolestore.com](http://www.lacasadelsolestore.com).
19. VP SOLAR. *VPSOLAR*. [Online] [Riportato: 26 05 2023.] [www.vpsolar.com](http://www.vpsolar.com).
20. TOPGREENSERVICE. *TOPGREENSERVICE*. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.topgreenservice.com/coperture/sistemi-anticaduta-linee-vita-bergamo-milano/>.
21. Pizzorni, Luca. Installazione dell'impianto fotovoltaico su tetto piano o a falde: quali le differenze? *ingenio.it*. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.ingenio-web.it/articoli/installazione-dell-impianto-fotovoltaico-su-tetto-piano-o-a-falde-quali-le-differenze/>.
22. —. ingenio. *ingenio*. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.ingenio-web.it/files/installazione-dell-impianto-fotovoltaico-su-tetto-piano-o-a-falde-quali-le-differenze-l-pizzorni.pdf>.
23. —. ingenio. *ingenio*. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.ingenio-web.it/files/installazione-dell-impianto-fotovoltaico-su-tetto-piano-o-a-falde-quali-le-differenze-l-pizzorni.pdf>.
24. —. ingenio. *ingenio*. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.ingenio-web.it/files/installazione-dell-impianto-fotovoltaico-su-tetto-piano-o-a-falde-quali-le-differenze-l-pizzorni.pdf>.
25. CISION PR NEWSWIRE. [Online] [Riportato: 27 05 2023.] <https://www.prnewswire.com/news-releases/amphenols-new-panel-mount-pv-connector-features-radsok-technology-120967904.html>.
26. Daniel, Feunkeu Fotso Brice. *Assessment of the Photovoltaic Plant Performance in the Equatorial Area at North Kinangop Hospital Kenya*.
27. —. *Assessment of the Photovoltaic Plant Performance in the Equatorial Area at North Kinangop Hospital Kenya*.
28. —. *Assessment of the Photovoltaic Plant Performance in the Equatorial Area at North Kinangop Hospital Kenya*.
29. Limited, Chameleon Solutions.
30. Solutions, Limited Chameleon.
31. Limited, Chameleon Solutions.
32. mACkAY, David JC. *Energia sostenibile - senza aria fritta*. Cambridge : s.n., 2014.

33. Silvestri, Mario. *Breve storia dell'energia* . Milano : Politecnico di Milano, 2004.

34. CONFINDUSTRIA. *LIBRO BIANCO PER UNO SVILUPPO EFFICIENTE DELLE FONTI RINNOVABILI AL 2030*.

35. *The Role of Renewable Energy Sources and Industry 4.0 Focus for Africa: A Review*. Kingsley Ukoba, Thokozani Justine Kunene, Pieter Harmse, Valantine Takwa Lukong, Tien Chien Jen. s.l. : Radu Godina, 2023.

36. LEAST COST POWER DEVELOPMENT PLAN

37. *The Renewable Energy Transition in Africa Powering Access, Resilience and Prosperity*

38. Luca Pizzorni, *Installazione dell'impianto fotovoltaico su tetto piano o a falde: quali le differenze?*

# Ringraziamenti

Ringrazio il Professore Maurizio Repetto che, grazie al suo aiuto e alla sua costante disponibilità, ha reso possibile la realizzazione di questo progetto di tesi.

Colgo, inoltre, l'occasione per ringraziare l'Associazione di cooperazione e solidarietà internazionale LVIA ed in particolare Andrea Bessone poiché mi ha fornito i riferimenti necessari senza i quali non sarebbe stato possibile concludere questo progetto.

Infine, porgo i miei ringraziamenti al mio collega Feunkeu Fotso Brice Daniel per l'aiuto e le informazioni trasmesse e agli ingegneri Frank Patricks e Kibachio Peter che dal Kenya hanno contribuito attivamente alla realizzazione della tesi.