



Università Politecnica delle Marche

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Edile

TESI DI LAUREA

Utilizzo di collettori solari in ambito scolastico e ospedaliero.
Analisi dello stato dell'arte.

Use of solar collectors in school and hospitals.
Analysis of the state of the art.

Relatore:
Prof. Giovanni Di Nicola
Edy

Candidato:
Biagiola

Anno accademico 2020/2021

Sommario

Indice	i
Introduzione	iii
Capitolo 1 : Stato dell'arte solare a concentrazione	1
1.1 La radiazione solare	2
1.2 L'energia solare sul pianeta Terra	4
1.3 Tecnologie concentrazione solare (CSP)	7
1.3.1 Collettore parabolico lineare	11
1.3.2 Collettore lineare Fresnel	13
1.3.3 Torre solare	14
1.3.4 Disco parabolico	16
Capitolo 2 : Sterilizzazione con il sole	18
2.1 Linee guida per il processo di sterilizzazione	19
2.2 Fasi del processo di sterilizzazione	20
(Protocolli Operativi)	20
2.3 Tipi di sterilizzazione	22
2.3.1 Sterilizzazione a vapor saturo	22
2.3.2 Ulteriori metodologie di sterilizzazione	25
Capitolo 3 : Soluzioni costruttive per sistemi a concentrazione solare in ambito ospedaliero	26
3.1 Solarclave	28
3.2 Capteur Solar	32
3.3 Helios	35

3.4	Sterilizzatore solare a vapore con sistema ibrido	40
3.5	Autoclave solare compatta con uso di nanoparticelle di raccolta della luce a banda larga	43
3.6	Sterilizzatore solare con uso di aerogel.....	51
Capitolo 4 : Soluzioni costruttive in ambito domestico		57
4.1	Solar Box Cooker	58
4.2	Solar Panel Cooker	59
4.3	Solar Parabolic Cooker.....	61
Capitolo 5 : Soluzioni costruttive su larga scala e in ambito istituzionale.....		63
5.1	India : tipologie e progetti di cucina istituzionale.....	63
5.1.1	Luoghi religiosi.....	73
5.1.2	Scuole.....	73
5.1.3	Hotel	75
5.2	America Meridionale	77
5.2.1	Ristorante solare in Cile (Villaseca)	77
5.3	Africa	78
5.3.1	Panificio in Burkina Faso	78
5.4	Francia.....	81
5.4.1	Ristorante solare ‘ Le Présage’	81
5.5	Italia.....	87
5.5.1	Torrefazione solare ‘Puro Sole’	87
5.6	Perù.....	95
5.6.1	Torrefazione solare ‘ Cafè Compadre ‘	95
Capitolo 6 : Fornelli solari in ambito didattico.....		96
6.1	Il ruolo dei giovani nello sviluppo sostenibile	97
6.1.1	Studio NaDEET	98
6.2	Fornelli solari nell’aula di fisica	102
Conclusioni		106

Appendice.....	107
Lista acronomi:	107
Lista figure/grafici :	108
Bibliografia.....	114
Ringraziamenti.....	120

Introduzione

A livello globale la domanda di energia è sempre in crescendo. Nel 1860 l'energia complessiva prodotta sulla terra era di circa 8mila ThW ed era prodotta per la maggior parte dal legname, per giungere oggi a una produzione di 153mila ThW all'anno (2019), con petrolio, carbone e gas naturale (87% del totale). A partire dalla seconda rivoluzione industriale (1856-1878), il consumo energetico planetario è cresciuto esponenzialmente con una media del 2,3% annuo e solo dal 2000 ad oggi la produzione mondiale di energia è cresciuta di oltre il 27%. Ciò ha sicuramente consentito l'accelerazione dello sviluppo tecnologico rendendo meno gravose le condizioni di vita dell'uomo, ma al tempo stesso, ha causato un incremento sconsiderato delle emissioni e dell'inquinamento del pianeta, esasperando, inoltre, le disuguaglianze tra esseri umani che hanno accesso o meno alle risorse energetiche. Le fonti rinnovabili producono oggi solo 6.500 ThW di energia all'anno, poco più del 4% dell'energia complessiva, quindi si è ancora distanti anni luce dalle emissioni zero che la crisi climatica ci richiede. La questione dell'approvvigionamento di risorse primarie per la produzione energetica, termica ed elettrica, rappresenta uno degli argomenti più critici che la società fortemente energivora moderna è costretta ad affrontare. Negli ultimi anni, l'interesse verso il tema dell'accesso all'energia nei Paesi in via di sviluppo è in continua crescita, come viene testimoniato dai molti documenti internazionali che ne trattano, come ad esempio il World Energy Outlook, pubblicato dall'International Energy Agency (IEA) [1]. In particolar modo, uno degli argomenti più dibattuti è quello dell'accesso ai combustibili moderni e a strumenti appropriati per il loro utilizzo a scopi domestici e istituzionali. È bene ricordare che se circa 1.3 miliardi di persone al mondo non hanno accesso all'elettricità, ben 2.6 miliardi di persone non hanno accesso ai combustibili moderni. In questo lavoro di tesi, dopo una piccola introduzione sui sistemi a concentrazione solare, la trattazione continua sull'uso dell'energia solare, trasformata in energia termica, che può essere utilizzata sia in ambito domestico e istituzionale sia in ambito ospedaliero attraverso un sistema che possa essere adoperato in contesti in cui le criticità legate a fattori politici, economici e/o ambientali rendono difficoltoso l'approvvigionamento energetico precludendo l'utilizzo di tecnologie tradizionali che consentano un miglioramento dell'efficienza dei processi medici ed una riduzione dei rischi di trasmissione di malattie infettive. Si vuol rendere

disponibile una soluzione che consenta di effettuare il processo di sterilizzazione di materiale medico-sanitario anche in assenza di energia elettrica o di condizioni economiche che non consentano l'acquisto di autoclavi convenzionali. Nei capitoli a seguire si è cercato di mettere in evidenza l'importanza di affrontare i temi della sostenibilità ambientale a livello didattico al fine di sensibilizzare gli studenti sulle diverse tipologie di energia rinnovabile, in particolare l'energia solare, attraverso l'apprendimento basato su progetti con l'uso dei collettori solari.

Capitolo 1 : Stato dell'arte solare a concentrazione

Gli impianti solari a concentrazione (Concentrating Solar Power, CSP o Solar Thermal Electricity - STE) sono caratterizzati dalla presenza di un sistema di concentrazione dei raggi solari, costituito da specchi riflettenti, necessario ad ottenere del calore ad alta temperatura utilizzato direttamente o convertito in energia elettrica mediante un ciclo termodinamico. A differenza degli impianti fotovoltaici, gli impianti solari a concentrazione sfruttano soltanto la componente diretta della radiazione solare e possono fornire calore ed energia elettrica in modo simile alle centrali convenzionali, ma senza emissione di anidride carbonica o inquinanti. Per poter operare in modo conveniente devono essere installati nelle zone dove l'irraggiamento solare diretto nel corso dell'anno raggiunge valori adeguati, come, a livello mondiale, Nord Africa, Medio Oriente, Sud Africa, Sud-Ovest degli Stati Uniti, Messico, Cile, Perù, Australia, India, Cina orientale, Europa meridionale e Turchia. In Italia sono chiaramente favorite la fascia meridionale e le isole maggiori, ma anche nel centro-nord si possono individuare zone idonee per specifiche applicazioni. Importante prerogativa degli impianti solari a concentrazione è quella di poter disporre di un sistema di accumulo termico a costi contenuti. Questa prerogativa consente di produrre energia anche quando il cielo è nuvoloso o dopo il tramonto; in pratica, il diagramma orario di produzione diviene relativamente indipendente (sulla base della capacità di accumulo installata) rispetto al diagramma di irraggiamento. Durante le ore di sole, il calore ottenuto può essere accumulato in mezzi ad elevata capacità termica (ad esempio fluidi) e utilizzato a richiesta (per esempio di notte) per fornire energia alle utenze. La presenza dell'accumulo termico migliora in modo significativo la capacità produttiva (rapporto fra energia prodotta e potenza installata) favorendone l'integrazione con la rete elettrica e la competitività economica rispetto ad altri impianti alimentati da fonti rinnovabili non programmabili. Benché i primi impianti solari a concentrazione di taglia industriale fossero finalizzati principalmente alla produzione di energia elettrica, attualmente questa tecnologia non implica necessariamente l'energia elettrica come prodotto finale del processo di concentrazione della radiazione solare. [2]

Ne è dimostrazione il progetto elaborato per la stesura della presente tesi attraverso il quale la radiazione concentrata è stata adoperata per raggiungere le condizioni fisiche di temperatura e pressione necessarie alla sterilizzazione tramite vapore di strumentazione ospedaliera come si vedrà più in dettaglio nel cap. 2 e 3.

1.1 La radiazione solare

Dal punto di vista radiativo il Sole è un emettitore perfetto: ciò significa che si comporta come un corpo che assorbe tutta la radiazione incidente senza nessuna riflessione e nel linguaggio della fisica si dice che è un corpo nero, mentre il suo spettro di emissione, ossia la distribuzione dell'intensità energetica della radiazione in funzione della lunghezza d'onda, è descritto dalla legge di Planck e dipende solo dalla temperatura della superficie esterna, che corrisponde ai 5780 K della fotosfera (Fig. 1 e 2) (dove K indica grado kelvin che, in termini assoluti, corrisponde a un grado Celsius, le due scale differiscono invece per l'origine: lo 0 della scala Kelvin è posto a -273,15 gradi Celsius).

Le lunghezze d'onda sono associate all'energia trasportata dai singoli quanti di cui la radiazione solare si compone: i raggi ultravioletti e gamma, molto energetici, temuti in quanto possono provocare alla pelle, sono caratterizzati da lunghezze d'onda molto piccole; nell'altro estremo dell'asse delle lunghezze si situano invece i raggi infrarossi e le onde radio, poco energetici; infine, le lunghezze d'onda (e le energie) intermedie corrispondono alla radiazione elettromagnetica visibile all'occhio umano, ovvero la luce, e sono percepite secondo le tonalità che vanno dai 400 nm del violetto ai 700 nm del colore rosso (nm = nanometro = milionesimo di metro).

La radiazione solare è costituita dalla mescolanza di tutte le lunghezze d'onda in quantità le cui proporzioni la fanno percepire come luce bianca.

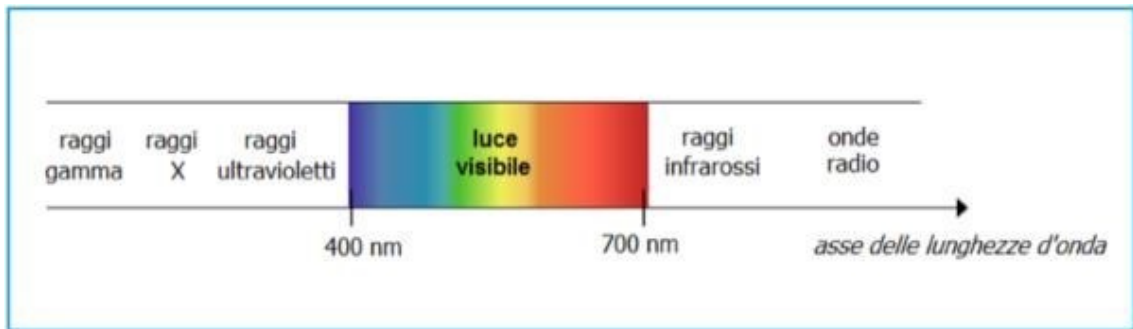


Figura 1: Spettro elettromagnetico: le tonalità in funzione della lunghezza d'onda. I raggi caratterizzati da lunghezze d'onda molto piccole (raggi gamma, X, ultravioletti) sono i più energetici, viceversa le lunghezze d'onda più grandi sono associate ai raggi infrarossi e alle onde radio, che sono meno energetici. Al centro c'è l'intervallo delle lunghezze visibili dall'occhio umano che, miscelate assieme, vengono percepite come luce bianca. I valori sull'asse non sono in scala.

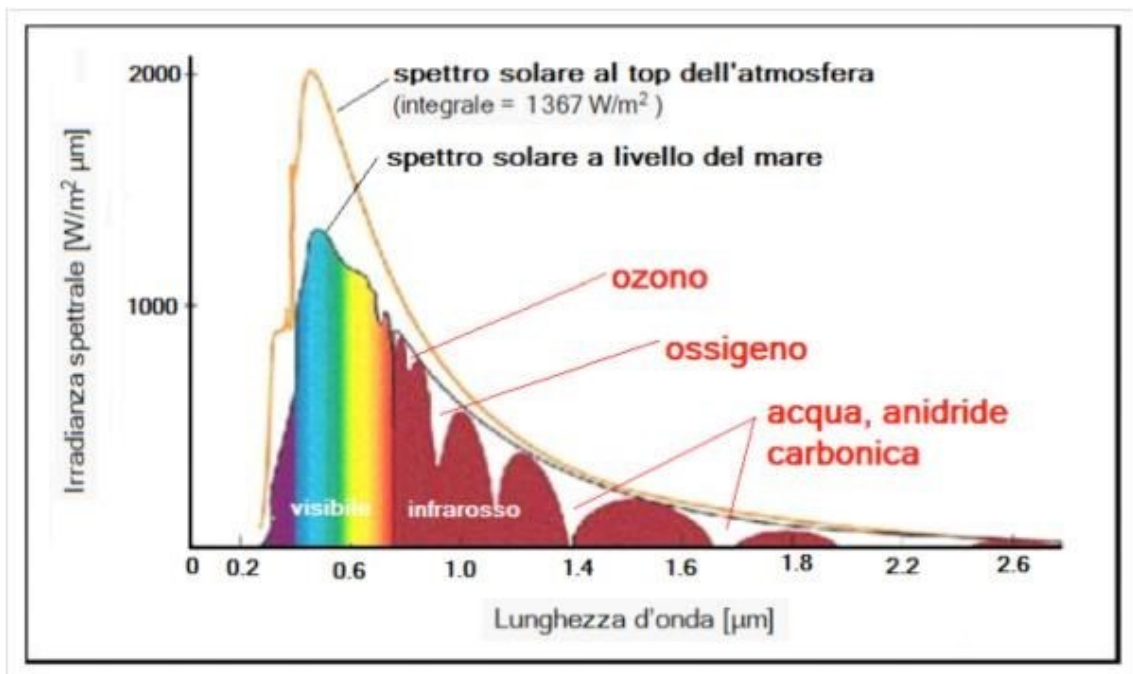


Figura 2: Spettro dell'irradianza solare in funzione della lunghezza d'onda. La curva più alta si riferisce al profilo rilevabile alla sommità dell'atmosfera: è all'incirca quella di emissione di un corpo nero alla temperatura di 5780 K (il Sole); i lievi scostamenti rispetto al profilo regolare del corpo nero sono dovuti all'assorbimento da parte delle molecole e degli atomi vaganti nello spazio interplanetario (idrogeno ecc.). La curva più bassa, invece, si riferisce al profilo riscontrabile al livello del suolo: le irregolarità e l'attenuazione sono più pronunciate a causa delle numerose molecole dello strato atmosferico che assorbono i raggi in maniera selettiva: se gli aerosol assorbono in modo quasi uniforme a tutte le lunghezze d'onda, particolari molecole (ossigeno, anidride carbonica, ozono ecc.) sono responsabili dei picchi all'ingiù in corrispondenza di particolari lunghezze.

Nell'attraversare l'atmosfera, una frazione dei raggi solari viene assorbita o deviata (scattering) a seguito degli urti con le molecole dell'atmosfera stessa (inclusi il vapor acqueo, le nubi e gli aerosol). L'attenuazione interessa tutte le

lunghezze d'onda dello spettro, però in maniera differenziata, per cui lo spettro elettromagnetico risultante assume un profilo irregolare (fig. 2). [3]

1.2 L'energia solare sul pianeta Terra

I pianeti del sistema solare, e quindi anche la Terra, possono intercettare solo una frazione dell'energia irradiata dal Sole nello spazio, in proporzione all'angolo solido sotto cui ciascuno di essi è visto dal Sole; tale angolo dipende dalle dimensioni del pianeta e dalla sua distanza dal Sole. Nel caso della Terra la 'sezione' utile ai fini dell'intercettazione della radiazione solare corrisponde approssimativamente a un cerchio di raggio medio pari a 6367 km. Questo cerchio, considerata la distanza media della Terra dal Sole, se fosse disposto perpendicolarmente alla direzione di provenienza dai raggi solari e in assenza di atmosfera, riceverebbe una *potenza radiante* pari a 174 milioni di gigawatt (il gigawatt, simbolo GW, corrisponde a un miliardo di watt o, che è lo stesso, a un milione di kilowatt, simbolo kW; i contatori usuali delle nostre case erogano potenza fino a 3 kW). Se ora dividiamo questa potenza per l'area del cerchio terrestre "esposto" al Sole, abbiamo una *potenza radiante (W) per unità di area (m²)*, detta *costante solare (G)*, pari a:

$$G = 1372 \text{ W/mq}$$

I valori della costante solare sono condizionati dai seguenti effetti:

- *la distanza della Terra dal Sole, che varia nel corso dell'anno*: il nostro pianeta raggiunge il punto più vicino al Sole in gennaio (*perielio*) e quello più lontano a luglio (*afelio*). Per tener conto di ciò nel calcolo dell'irradianza, occorre apportare alla costante solare una correzione la cui entità cambia anch'essa a seconda del periodo dell'anno. Si tratta in ogni caso di una piccola percentuale: +3,5% a gennaio, quando si ha l'irradianza massima = 1414,7 W/m², e -3,3% a luglio (irradianza minima = 1321,8 W/m²);
- *la presenza dell'atmosfera che circonda il pianeta*: i vari strati dell'atmosfera terrestre costituiscono un filtro che attenua la luce solare. Il valore dell'irradianza sulla superficie del nostro pianeta scende a circa

1000 ÷ 1050 W/m², raggiunto in condizioni di tempo sereno nelle zone in cui il Sole è allo zenit (ovvero i suoi raggi sono perpendicolari alla superficie);

- *l'influenza delle nubi*: questo è l'elemento meno quantificabile perché il fenomeno nuvoloso è irregolare nel tempo e molto variabile in intensità. Quando si manifestano condizioni d'intensa copertura nuvolosa, i raggi diretti del Sole sono completamente schermati dalle nubi e il contributo alla misura dell'irradianza al suolo proviene esclusivamente dalla radiazione "diffusa". Come risultato, l'irradianza stessa scende fino a valori dell'ordine di 50 ÷ 100 W/m² e anche meno;
- *la forma sferoidale della Terra*. Sin qui, per calcolare l'irradianza, ci si è idealmente riferiti a una superficie disposta perpendicolarmente alla direzione d'arrivo dei raggi solari; con riferimento alla superficie terrestre (per definizione orizzontale) questa condizione si raggiunge nel momento in cui il Sole si dispone perpendicolarmente nel cielo (ossia nella posizione dello *zenit*). Quando invece il Sole non è allo zenit, sebbene la potenza trasportata dai raggi sia la stessa, l'irradianza che incide sulla superficie si attenua in misura tanto più pronunciata quanto più la direzione d'arrivo dei raggi si discosta dalla verticale. Per questo motivo, a causa della rotazione terrestre, durante il giorno il Sole cambia continuamente la propria posizione nella volta celeste e, ovviamente, nelle ore notturne scompare del tutto; inoltre, la forma approssimativamente sferica del nostro pianeta fa sì che lo stesso percorso giornaliero del Sole nella volta celeste differisca da un luogo geografico all'altro (più in alto nella fascia tropicale, meno alle nostre latitudini). Come conseguenza di tutto ciò, alle nostre latitudini, in nessun momento dell'anno il Sole arriva allo zenit, mentre nella fascia tropicale tale posizione viene raggiunta nel solo istante di mezzogiorno.

In sintesi, l'irradianza globale al suolo, su una superficie disposta orizzontalmente, varia da istante a istante, da stagione a stagione e da un luogo geografico all'altro; il fenomeno aleatorio delle nubi, poi, rende ancor più irregolare e imprevedibile l'andamento dei valori d'irradianza nel corso del

tempo. Tenendo conto di tutte queste contingenze (giorno/notte, estate/inverno, sereno/nuvoloso ecc.) in Italia Centrale si riscontra, al suolo, un valor medio d'irradianza globale orizzontale pari a 180 W/m^2 . Man mano che ci si sposta verso le regioni settentrionali questo valore diminuisce (160 W/m^2 , pianura Padana), mentre al Sud, com'è facilmente intuibile, si registrano valori considerevolmente più alti (oltre 200 W/m^2 , Sicilia Sud-orientale). [4]

La distribuzione della radiazione solare incidente sulla superficie terrestre, quindi, non è caratterizzata da omogeneità:

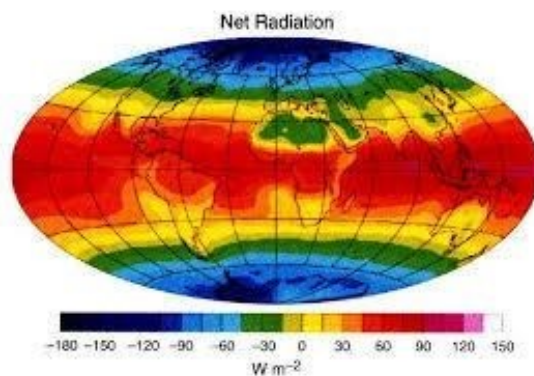


Figura 4: Distribuzione della radiazione solare incidente sul globo terrestre

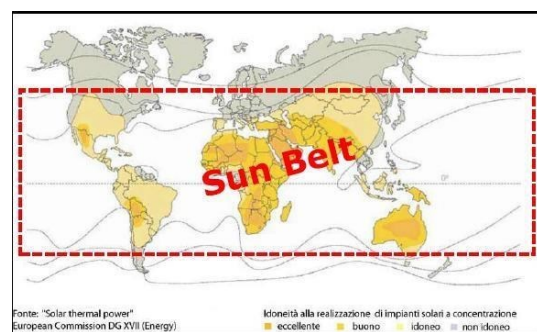


Figura 3: Distribuzione area della superficie diretta terrestre maggiormente indicata allo sviluppo del solare a concentrazione: "Sun Belt" (Cintura Solare)

Come si evince dalla mappa (Fig. 3), le aree che presentano i valori di irraggiamento diretto più elevati sono situate nella zona sud-occidentale degli Stati Uniti, in America centrale e meridionale soprattutto nella zona delle Ande, nella parte settentrionale e meridionale del continente africano, gli stati europei che si affacciano sul Mediterraneo, il Medio Oriente, le pianure desertiche dell'India e del Pakistan, una parte della Cina e l'Australia. Queste zone, formano la cosiddetta "Sun Belt" (Fig. 4), ovvero quella fascia della superficie terrestre che presenta i valori più elevati di irraggiamento solare annuo e che si presenta quindi come zona ideale per l'installazione degli impianti a concentrazione solare. [5]

1.3 Tecnologie concentrazione solare (CSP)

La progettazione e lo sviluppo di dispositivi in grado di sfruttare la radiazione solare sono iniziati circa un secolo prima della crisi energetica degli anni '70 che diede il via allo sviluppo nell'era moderna delle fonti rinnovabili. Gli esperimenti iniziarono nel 1860 con Auguste Mouchout che inventò il primo motore alimentato a energia solare per la produzione di vapore con una caldaia. Nei primi anni del '900 venne invece messo in commercio il primo motore solare e nel 1907 venne registrato il primo brevetto per un collettore solare avente la forma di un cilindro che sfruttava la radiazione diretta del sole per la generazione di vapore. Nel 1912, Frank Shuman sfruttò questo principio per costruire un impianto da 45 kW a Meadi nei pressi del Cairo in Egitto. Questi primi progetti fornirono le basi per la ricerca e lo sviluppo alla fine degli anni '70 e nei primi anni '80, quando i progetti e le ricerche sul solare termodinamico sono stati ripresi da alcune nazioni industrializzate tra cui gli Stati Uniti, la Russia, il Giappone, la Spagna l'Italia, la Germania e la Francia. Un'iniziativa dell'agenzia internazionale dell'energia (IEA) diede vita ad un programma di studio su larga scala per la produzione di energia elettrica solare per via termodinamica. Nacquero così in varie parti del mondo alcune piattaforme tecniche, che si sono evolute in basi sperimentali sul solare termico e sulla fisica delle alte temperature, senza puntare ad uno sfruttamento su vasta scala. In Europa le aree sperimentali "storiche" dedicate a questo settore di ricerca sono: la Plataforma solar de Almeria (Spagna), l'area sperimentale della DLR di Colonia (Germania); il forno solare, CNRS di Odeillo (Francia) e il Paul Sherrer Institute di Villigen (Svizzera). Negli anni successivi, invece, vi sono stati dei notevoli miglioramenti della tecnologia: la compagnia israelo-americana "Luz International" ha compiuto un importante passo avanti nel momento in cui ha iniziato a costruire le centrali solari con concentratori di tipo parabolico lineare a scopo commerciale. Gli impianti SEGS (Solar Energy Generating Systems) costruiti fra il 1984 ed il 1991 nel deserto Mojave della California erano infatti molto più grandi di qualsiasi altro impianto pilota costruito fino ad allora. L'impianto ha iniziato ad operare con una potenza iniziale di 14 MW a cui si

sono aggiunte in un primo tempo 6 unità da 30 MW ed infine, altre 2 unità da 80 MW costruite tra il 1989 ed il 1991, per una potenza totale di 354 MW, e sono ancora in esercizio. Un cambio nella politica di incentivazione alle energie rinnovabili ha poi determinato un arresto dello sviluppo di queste tecnologie nei primi anni '90. L'esplosione della crisi economica, verso il 2000, ha nuovamente mostrato come la necessità di sviluppare la produzione di energia da fonti rinnovabili sia una via imprescindibile per la sostenibilità ambientale ed economica dei processi artificiali innescati dall'uomo. Per questo motivo l'interesse nei confronti degli impianti solari a concentrazione ha subito un nuovo slancio, in quanto si configurano come l'unica tecnologia alimentata da fonte rinnovabile che consentirebbe una produzione energetica tramite impianti di taglia paragonabile a quelli alimentati da fonti fossili. Spagna e Stati Uniti sono i Paesi in cui si è avuto il maggiore sviluppo iniziale; attualmente Sud Africa, Emirati Arabi, Egitto, Marocco, Cina, India e Cile sono i mercati con il trend di sviluppo più forte sul piano delle installazioni. Oltre a Spagna e Stati Uniti, anche Germania e Italia contribuiscono significativamente allo sviluppo sul piano tecnologico. Impianti solari a concentrazione sono in funzione, in costruzione o in progetto in numerosi Paesi. A fine 2015 la potenza globale installata ammontava a circa 5 GW, di cui 61% localizzati in Spagna e 18% negli USA, mentre 2,2 GW risultavano in costruzione e altri 13,5 GW programmati nel mondo . [6]

Tabella 1: Prospettive di mercato mondiale delle soluzioni solari termodinamiche

		2015	2020	2030	2040	2050
Investment and employment						
Reference (Current Policy)						
Annual Installation	MW/a	1,171	3,619	5,651	9,500	12,427
Cost	€/kW	4,287	3,485	2,814	2,688	2,674
Investment	€bn/a	1.57	1.34	2.15	4.60	4.53
Employment Job-year		18,904	16,981	29,180	62,545	70,197
Moderate STE Market growth						
Annual Installation	MW/a	1,075	4,834	18,876	36,652	61,654
Cost	€/kW	4,287	3,485	2,814	2,666	2,637
Investment	€bn/a	4.61	16.85	53.13	97.71	162.61
Employment Job-year		16,964	70,051	269,733	574,049	935,995
Advanced STE Market Growth						
Annual Installation	MW/a	797	11,950	49,758	75,455	131,143
Cost	€/kW	4,287	3,485	2,814	2,663	2,577
Investment	€bn/a	3.42	41.65	140.04	169.10	209.76
Employment Job-year		12,985	169,237	712,674	1,072,328	1,443,265

La Tabella 1, estratta sempre da [6], illustra tre possibili scenari di evoluzione del mercato secondo questo recente studio promosso dall'associazione che riunisce i produttori europei (Estela, www.estelasolar.org), i gruppi di ricerca dei Paesi afferenti alla International Energy Agency - IEA (SolarPACES www.solarpaces.org) e l'associazione ambientalista GreenPeace.

Lo scopo di tali impianti rimane sempre lo stesso, ovvero, quello di utilizzare l'energia solare per produrre energia termica ad alta temperatura in sostituzione dei tradizionali combustibili fossili. L'energia termica così prodotta può essere impiegata in vari processi industriali o nella produzione di energia elettrica, contribuendo in questo modo a contenere il consumo mondiale di combustibile fossile e di conseguenza a ridurre le emissioni nell'atmosfera. Allo stato attuale l'obiettivo principale degli impianti solari a concentrazione è la generazione di energia elettrica. In questo caso l'energia termica solare viene utilizzata in cicli termodinamici convenzionali come quelli con turbine a vapore, con turbine a gas o con motori Stirling.

In regioni ad alta insolazione (potenza media annua superiore a 300 W/m^2) da un metro quadrato di superficie di raccolta è possibile ottenere annualmente un'energia termica equivalente a quella derivante dalla combustione di un barile di petrolio, evitando inoltre l'emissione in atmosfera di circa 500 kg di anidride carbonica. Per ovviare alla variabilità della sorgente solare l'energia termica può essere accumulata durante il giorno, rendendo il sistema più flessibile e rispondente alle esigenze dei processi produttivi. In alternativa si può ricorrere all'integrazione con combustibili fossili o rinnovabili quali olio, gas naturale e biomasse. Gli impianti solari possono utilizzare diverse tecnologie per la concentrazione della radiazione solare; in ogni caso è possibile identificare in essi le seguenti fasi del processo:

1. raccolta e concentrazione della radiazione solare;
2. conversione della radiazione solare in energia termica;
3. trasporto ed eventuale accumulo dell'energia termica;
4. utilizzo dell'energia termica.

La raccolta e la concentrazione della radiazione solare, che per sua natura ha una bassa densità di potenza, rappresentano alcune delle problematiche principali degli impianti solari. Esse vengono realizzate, mediante l'impiego di un concentratore, formato da pannelli di opportuna geometria con superfici riflettenti, normalmente comuni specchi di vetro. Tutti i concentratori presenti in un impianto solare, disposti ordinatamente sul terreno e opportunamente distanziati tra loro per non interferire nella raccolta della radiazione, costituiscono il campo solare. Il ricevitore, che ha svariate forme e che può essere unico per tutto il campo solare oppure accoppiato a ciascun concentratore, trasforma l'energia solare in energia termica, ceduta poi ad un fluido che viene fatto passare al suo interno. L'energia termica asportata dal fluido termovettore, prima dell'utilizzo nel processo produttivo, può essere accumulata in diversi modi: sfruttando il calore sensibile del fluido stesso posto in serbatoi coibentati, oppure cedendo il suo calore a materiali inerti a elevata capacità termica o a sistemi in cambiamento di fase. In questo modo l'energia solare, per sua natura altamente variabile, può diventare una sorgente di energia termica disponibile per l'utenza con continuità.

Un parametro importante che caratterizza gli impianti solari a concentrazione è il "solar multiple", definito come il rapporto tra la potenza termica di picco del ricevitore e la potenza termica nominale utilizzata dal processo produttivo. In assenza di un sistema di accumulo termico tale parametro risulta uguale a 1 e tutta la potenza termica raccolta viene immediatamente utilizzata; valori superiori indicano la possibilità per l'impianto di accumulare l'energia termica in eccesso. Il dimensionamento ottimale di un impianto solare a concentrazione va quindi stabilito con un'analisi di tipo economico; per esempio, stando alle valutazioni attuali, negli impianti termoelettrici solari la capacità ottimale per i sistemi di accumulo è quella che garantisce una produzione continuativa compresa tra 6 e 10 ore, a seconda della potenza elettrica nominale, in assenza dell'irraggiamento solare.

Come accennato, i sistemi a concentrazione sfruttano soltanto la radiazione diretta poiché non riescono a concentrare la radiazione diffusa; possono essere di tipo lineare o puntuale. I sistemi a concentrazione lineare sono costruttivamente più semplici ma hanno un più basso fattore di concentrazione e

quindi raggiungono temperature di funzionamento minori rispetto ai sistemi a concentrazione puntuale.

In relazione alla geometria e alla disposizione del concentratore rispetto al ricevitore si possono distinguere tre principali tipologie di impianto:

- collettore parabolico lineare (PT)
- collettore lineare Fresnel (FR)
- torre solare (ST)
- disco parabolico (SD)



Collettore parabolico lineare



Collettore lineare Fresnel



Torre solare



Disco parabolico

1.3.1 Collettore parabolico lineare

Il sistema che utilizza collettori parabolici lineari è attualmente la tecnologia solare termodinamica più matura e più conveniente. Si

basa su specchi parabolici lineari che concentrano i raggi solari sui ricevitori tubolari posti lungo la linea focale, la radiazione diretta viene riflessa dagli specchi verso il ricevitore che è realizzato in modo da massimizzare lo scambio termico da irraggiamento ed inibire quello per convezione. Il calore solare è asportato da un fluido termovettore (per es. acqua, olio sintetico, sale fuso o

gas), che scorre all'interno dei tubi ricevitori, entra a temperatura minima, percorre il ricevitore lungo la linea dello specchio ed esce alla massima temperatura. All'uscita esso è convogliato alla centrale di potenza per mezzo di tubazioni e, tramite degli scambiatori di calore, l'energia termica raccolta dal fluido termovettore viene ceduta al fluido operativo che segue un ciclo a vapore di tipo Rankine. L'impianto è costituito da un sistema di movimentazione del collettore, necessario per l'inseguimento del sole, può essere di tipo idraulico o elettromeccanico e viene controllato attraverso dispositivi ottici di puntamento, oppure tramite strumenti software in grado di calcolare per ogni istante la posizione del sole.

Le temperature raggiunte con questa tecnica arrivano fino a 500 °C e, ad oggi, sono impiegati quali fluidi termovettori oli diatermici e Sali fusi.

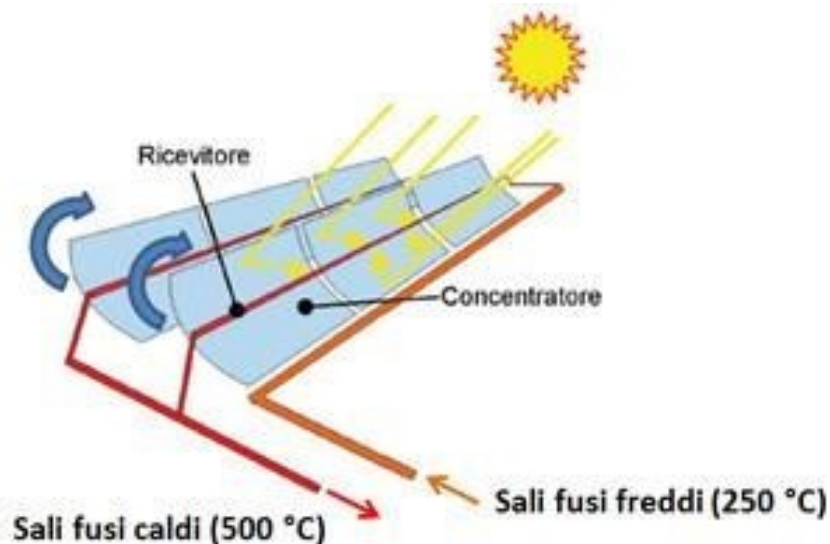


Figura 5: Sistema di concentrazione ad attraversamento parabolico lineare

Le configurazioni impiantistiche possono essere di due tipi:

- *a produzione diretta di vapore*: in cui il vapore viene generato durante l'attraversamento del ricevitore, da parte del fluido di lavoro stesso,
- *a produzione indiretta* tramite un fluido termovettore intermedio che attraversa i tubi ricevitori per poi cedere l'energia termica al fluido di lavoro in uno scambiatore di calore.

Una possibile applicazione di questi sistemi prevede il suo inserimento in un ciclo combinato a supporto di una centrale termoelettrica convenzionale a olio combustibile o a carbone. Proprio questa possibilità è l'oggetto del progetto Archimede sviluppato dall'ente nazionale per l'energia e l'ambiente (ENEA).

1.3.2 Collettore lineare Fresnel

Un'evoluzione del collettore parabolico lineare è rappresentata dal collettore lineare Fresnel, dove il concentratore è costituito da segmenti di specchi parabolici disposti secondo il principio della lente di Fresnel (Fig.6).

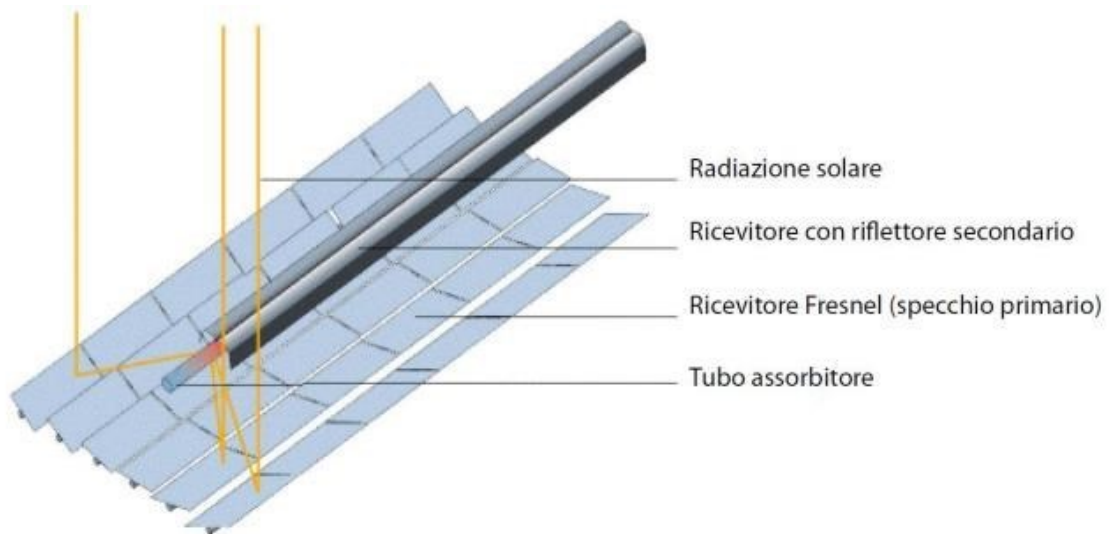


Figura 6: Sistema a concentrazione di tipo Fresnel

In questo caso il tubo ricevitore, posizionato lungo l'asse focale, è fisso e quindi, a differenza del collettore parabolico lineare, la movimentazione riguarda solo il concentratore. Ciò rappresenta un vantaggio in quanto, per far circolare il fluido termovettore all'interno del tubo ricevitore, si evita l'utilizzo di tubi flessibili nel collegamento tra i singoli collettori e tra questi e le tubazioni della rete di distribuzione. Il tubo ricevitore è in genere costituito da un tubo in acciaio protetto all'esterno da un tubo di vetro, che di norma non è mantenuto sottovuoto ed è dotato di un concentratore (riflettore) secondario, per recuperare parte della radiazione dispersa a causa delle inferiori prestazioni ottiche di questo tipo di sistema di concentrazione. Gli specchi (o riflettori primari) sono in grado di ruotare lungo l'asse longitudinale in modo da inseguire il moto del sole e mantenere la radiazione solare costantemente riflessa sul tubo ricevitore. Inoltre, come si vede in Figura 6, sono montati in prossimità del terreno; ciò

consente di ridurre gli effetti dell'azione del vento sugli stessi e di minimizzare l'utilizzo di strutture di sostegno. Inoltre, non essendo presente l'effetto ombra tra concentratori vicini, non è necessario distanziare le file di collettori, ottenendo così un migliore sfruttamento della radiazione che arriva sul terreno. Normalmente tale tipo di impianti utilizza l'acqua come fluido termovettore, con produzione diretta di vapore all'interno del tubo ricevitore.

1.3.3 Torre solare

Il sistema a torre centrale utilizza pannelli riflettenti piani (eliostati) che inseguono il sole con un movimento di rotazione su due assi, concentrando la luce solare verso un unico ricevitore; questo è montato sulla sommità di una torre nel cui interno viene fatto circolare un fluido per l'asportazione dell'energia solare (Fig.7). Il fluido termovettore, circolando nel ricevitore centrale, converte la radiazione solare in energia termica, che viene utilizzata per la generazione di vapore surriscaldato che espande in una turbina a vapore. Al momento, le sostanze impiegate come fluido termovettore sono: il vapore, i sali fusi, il sodio liquido e l'aria.

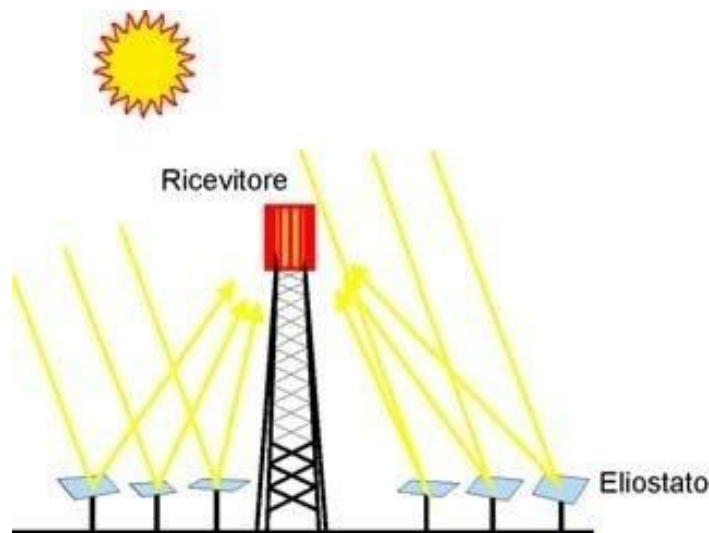


Figura 7: Sistema a concentrazione a torre solare

Il sistema di concentrazione della radiazione solare è dunque costituito da un elevato numero di eliostati che formano una superficie captante che può arrivare a centinaia di metri quadrati di estensione. I raggi solari che colpiscono ciascun eliostato vengono riflessi su un punto unico, fisso nel tempo, che funge da punto

focale. L'altezza, rispetto al suolo, del punto focale cresce all'aumentare dell'estensione del campo solare e può superare anche il centinaio di metri.

Gli eliostati sono dislocati in modo da circondare la torre, sono distanziati per evitare fenomeni di ombreggiamento e la loro distanza aumenta allontanandosi alla torre. Sono state studiate diverse tipologie di eliostati per migliorare l'efficienza ottica e il controllo dei sistemi di inseguimento del Sole, nonché per ottimizzare la struttura di supporto, rendendola più semplice e leggera. Ciò al fine di aumentare il rendimento dell'impianto e ridurre i costi.

La superficie captante di ciascun eliostato varia da 40 a 170 mq; come materiale riflettente si utilizzano normalmente specchi di vetro, ma sono stati sperimentati anche materiali alternativi quali membrane riflettenti o fogli metallici. In questo tipo di impianti il fluido termovettore, che circola all'interno del ricevitore, può raggiungere alte temperature di esercizio (fino a 565 °C utilizzando sali fusi e fino a 800–1.000 °C utilizzando aria). L'elevato fattore di concentrazione permette al fluido termovettore di raggiungere alte temperature di esercizio (maggiori di 500 °C), con conseguenti alti rendimenti di trasformazione dell'energia termica in energia elettrica. In genere la trasformazione avviene sfruttando l'energia termica in un tradizionale ciclo termodinamico acqua-vapore. Gli impianti possono assumere sia configurazioni per la produzione indiretta di vapore in cui si utilizza un fluido termovettore intermedio (sali fusi, aria con ricevitore volumetrico) sia configurazioni per produzione diretta di vapore, in cui è il vapore stesso ad asportare l'energia termica dal ricevitore prima di espandere in turbina. Le caratteristiche del vapore prodotto (temperatura e pressione) consentono anche di integrare i sistemi a torre negli impianti termoelettrici a combustibili fossili. Inoltre, questi impianti a concentrazione hanno la possibilità di alimentare un sistema di accumulo termico per coprire in modo più soddisfacente la domanda di energia dell'utenza.

Il sistema a torre ha dimostrato la sua fattibilità tecnologica nella produzione di energia elettrica attraverso la realizzazione e l'esercizio di numerosi impianti

sperimentali di piccola taglia (tra 0,5 e 10 MW) in diversi paesi del mondo (Spagna, Italia, Giappone, Francia, Stati Uniti); per applicazioni su larga scala necessita tuttavia di ulteriori verifiche. La prima applicazione di questa tecnologia utilizzando sali fusi come fluido termovettore ha riguardato l'impianto americano Solar Two, rimasto in esercizio fino all'aprile 1999.

1.3.4 Disco parabolico

Questo tipo di impianti utilizzano un pannello riflettente di forma parabolica dotato di un sistema automatico che consente l'inseguimento della traiettoria solare tramite un movimento di rotazione attorno a due assi ortogonali e concentra la radiazione solare su un ricevitore montato nel punto focale della parabola (Fig.8). L'energia termica ad alta temperatura viene normalmente trasferita a un fluido e utilizzata in un motore, posizionato al di sopra del ricevitore, dove viene prodotta direttamente energia meccanica ed elettrica.

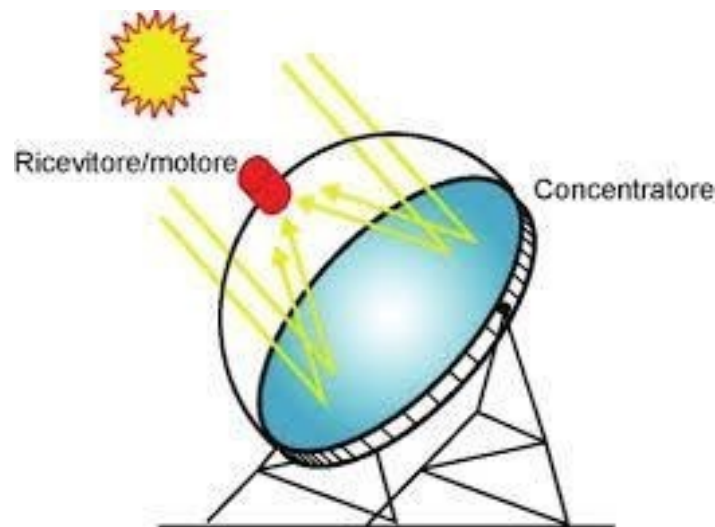


Figura 8 : Disco solare

La forma ideale del concentratore è un paraboloide di rivoluzione; alcuni concentratori approssimano tale forma geometrica utilizzando un insieme di specchi con profilo sferico montati su una struttura di supporto.

Il progetto ottico di questo componente e l'accuratezza nella sua realizzazione determinano il fattore di intercettazione e di concentrazione della radiazione solare.

- Il fattore di intercettazione è definito come la frazione del flusso solare che passa attraverso la finestra di ingresso del ricevitore ed è generalmente superiore al 95%
- il fattore di concentrazione è definito come il rapporto tra l'area della superficie captante e l'area della superficie ricevente; nel caso del paraboloide, l'area di apertura del concentratore è misurata sul piano normale all'asse della parabola.

Il ricevitore, che è l'elemento tecnologicamente più avanzato, assorbe l'energia della radiazione riflessa dal concentratore e la trasferisce al fluido di lavoro. Applicazioni industriali di questo sistema forniscono valori del fattore di concentrazione superiori a 2000. Con tali valori si possono ottenere temperature di funzionamento molto alte e rendimenti di conversione dell'energia solare in energia elettrica anche oltre il 30%, i più elevati tra tutte le tecnologie solari attualmente esistenti. Un concentratore di 10 m di diametro, per esempio, in presenza di un flusso solare diretto di 1000 W/mq, è in grado di erogare circa 25 kWe.

Per ragioni economiche, la dimensione del concentratore non va oltre 15 m di diametro, limitando quindi la sua potenza a circa 25/30 kWe. La tecnologia è comunque di tipo modulare e permette la realizzazione di centrali di produzione di piccola potenza per utenze isolate. Il motore utilizzato in questi sistemi converte l'energia solare in lavoro, come nei convenzionali motori a combustione interna o esterna. Il fluido di lavoro viene compresso, riscaldato e fatto espandere attraverso una turbina o un pistone per produrre energia meccanica, che può essere utilizzata direttamente dall'utenza o trasformata in energia elettrica mediante un alternatore. Sono stati studiati diversi cicli termodinamici e differenti fluidi di lavoro; le attuali applicazioni industriali utilizzano motori con cicli Stirling e Brayton.

Nei motori Stirling si utilizza idrogeno o elio come fluido di lavoro, che viene alternativamente raffreddato, compresso fino a pressioni intorno a 20 MPa, riscaldato a temperature anche superiori a 700 °C e poi fatto espandere. Per fare in modo che l'energia solare venga trasferita al fluido di lavoro a temperatura costante, nello scambio termico viene utilizzato un fluido intermedio

in cambiamento di fase. Di solito si usa un metallo liquido (sodio) che evapora in corrispondenza della superficie dell'assorbitore del ricevitore e condensa sul fascio tubiero del motore. I vapori di sodio, una volta condensati, raggiungono per gravità la zona dell'assorbitore, distribuendosi per capillarità su tutta la sua superficie.

Il motore Brayton utilizza invece aria come fluido di lavoro, con una pressione massima di 0,25 MPa (rapporto di compressione pari a 2.5) e una temperatura di ingresso in turbina anche superiore a 850 °C. Grazie alle elevate temperature raggiunte dal fluido di lavoro, il suo rendimento di trasformazione da energia solare a elettrica supera quello del motore Stirling e può arrivare a oltre il 30%. L'energia termica residua del fluido all'uscita della turbina viene utilizzata per preriscaldare l'aria proveniente dal compressore. In questo tipo di applicazioni il ricevitore è ad assorbimento volumetrico, analogo a quello utilizzato negli impianti a torre: la radiazione solare concentrata passa attraverso una finestra di quarzo per poi essere assorbita da un sistema a matrice porosa (honeycombs e celle reticolari di materiale ceramico). Tale ricevitore fornisce elevate superfici di scambio termico con efficienze di conversione, da energia solare a termica, superiori all'80%.

L'energia termica al fluido può anche essere fornita da una camera di combustione a metano, per consentire il funzionamento del motore in condizioni di assenza della radiazione solare o di notte.

I sistemi con ciclo Stirling sono destinati a funzionare in modo completamente automatico, isolati, senza sorveglianza continua, entrano in funzione al mattino, inseguono il sole nel suo moto diurno e ritornano in posizione di riposo a fine giornata. Le microturbine Brayton sono sensibilmente meno costose delle macchine Stirling, ma anche meno efficienti, con valori tra il 25% e il 33%, rispetto al 42% dei migliori motori Stirling, la cui efficienza è in grado di avvicinarsi alla massima efficienza teorica termodinamica di una macchina termica, detta efficienza di Carnot.

Capitolo 2 : Sterilizzazione con il sole

2.1 Linee guida per il processo di sterilizzazione

La sterilizzazione della strumentazione medico-sanitaria è un processo indispensabile per la prevenzione di infezioni e malattie trasmissibili e rappresenta il punto di partenza di qualsiasi procedura medica. II

Il concetto di sterilizzazione si è modificato nel corso del tempo con l'avanzamento della tecnologia e con l'acquisizione di nuove conoscenze scientifiche. Inizialmente la sterilizzazione veniva definita come un processo attraverso il quale "venivano distrutte tutte le forme di vita possibili, comprese le spore" e si riteneva che il passaggio dei materiali all'interno della camera dell'autoclave potesse garantire l'assenza di proliferazione di germi.

Gli studi hanno evidenziato che il risultato di sterilità veniva di fatto, molto influenzato da come i materiali venivano preparati prima del processo di sterilizzazione e dal buon funzionamento delle apparecchiature utilizzate.

Alla luce delle nuove conoscenze, la sterilizzazione può essere definita come il risultato finale di un processo che ricorre alla tecnologia avanzata e che tende a garantire la condizione in cui la sopravvivenza dei microrganismi è altamente improbabile. Poiché dal punto di vista statistico non si può affermare che ci sia certezza di sterilità, diventa indispensabile codificare tutte le procedure che intervengono nel trattamento del materiale al fine di ridurre il più possibile il rischio di alterazione del risultato.

“ Per sterilizzazione si intende, dunque, il risultato finale di una serie di processi fisici e/o chimici collegati a metodologie standardizzate e definite, in grado di distruggere tutte le forme di microorganismi presenti e/o patogeni sia in forma vegetativa sia sporale. “

Tale definizione semplifica il concetto di sterilità che, al contrario, può essere definito solo su basi statistiche. La norma tecnica UNI EN 556-1 stabilisce che per dichiarare un prodotto sterile si deve avere la probabilità che al massimo un prodotto su un milione di prodotti sterilizzati non sia sterile, ovvero il livello di sicurezza di sterilità SAL (Sterility Assurance Level) sia pari a 6.

$$1:1.000.000 = 10^{-6}$$

I metodi di sterilizzazione utilizzati in ambito sanitario sono numerosi, i più diffusi sono la sterilizzazione a vapore, quella ad ossido di etilene, a gas plasma di

perossido d'idrogeno e quella che impiega l'acido peracetico. Quale sia il metodo, il processo di sterilizzazione deve essere compatibile con le caratteristiche del dispositivo stesso, pertanto occorre prevedere cicli e metodiche adatte al materiale e all'uso del materiale stesso. Temperatura, concentrazione dell'agente sterilizzante, pressione e tempo di mantenimento sono tutti fattori che possono condizionare ogni tecnica di sterilizzazione, ma elemento comune a tutte le modalità è la necessità di sottoporre al processo materiali decontaminati e puliti, sia per fornire garanzie di sicurezza agli operatori sanitari, sia e soprattutto perché il tempo di uccisione di una popolazione microbica è direttamente correlato alla sua concentrazione all'inizio del processo.

2.2 Fasi del processo di sterilizzazione (Protocolli Operativi)

La norma tecnica UNI EN 556-1 richiamandosi alla UNI EN ISO 9001:2000, definisce come *“speciale”* il processo di sterilizzazione *“in quanto il risultato non può essere verificato da una successiva prova sul prodotto”*. Pertanto, unica garanzia di una corretta sterilizzazione è l'esecuzione scrupolosa del processo completo, secondo le fasi standard di seguito riportate:

1. RACCOLTA / TRASPORTO : consiste nel recuperare, entro breve tempo dall'utilizzo, il materiale da trattare procedendo alla verifica che tutta la strumentazione sia presente. I tempi di recupero devono essere necessariamente brevi per evitare che le sostanze organiche diventino di difficile rimozione, la collocazione deve avvenire in un contenitore rigido senza saldature, munito di manici laterali e griglia estraibile che garantisca la non fuoriuscita dei liquidi in esso contenuti e sia definibile come contenitore di sicurezza ai sensi del menzionato Titolo X del D.Lgs 81/2008 e s.m.i.
2. DECONTAMINAZIONE: è una procedura volta alla salvaguardia degli operatori ed ha lo scopo di ridurre la carica batterica sugli strumenti. La decontaminazione va effettuata mediante immersione in soluzioni chimiche appropriate o mediante lavaggio ad alta temperatura con

modalità manuali oppure mediante apparecchiature termo-disinfettatrici di cui ci si assicuri dell'effettiva efficacia

3. **LAVAGGIO:** dopo la decontaminazione manuale i materiali utilizzati vanno sottoposti ad una rigorosa procedura di lavaggio, che ha lo scopo di rimuovere i residui di sostanze organiche e inorganiche e, di conseguenza, anche i microrganismi. Il risultato di una buona azione di detersione o lavaggio porta infatti ad una riduzione quali-quantitativa della contaminazione microbica. La pulizia dei dispositivi medici riutilizzabili può avvenire con metodo manuale oppure automatico mediante macchine lava strumenti, termo-disinfettatrici o ad ultrasuoni
4. **RISCIAQUO E ASCIUGATURA :** dopo le procedure ad ultrasuoni e di detersione manuale è necessario procedere ad un primo risciacquo del materiale con doccia di acqua corrente e poi con doccia di acqua demineralizzata, per rimuovere residui di detergente.
Dopo il risciacquo si deve provvedere ad una accurata asciugatura del materiale, preferibilmente con pistole ad aria compressa o, in alternativa, con panni di carta o di tela che non rilasciano fibre.
5. **CONTROLLO E MANUTENZIONE DEGLI STRUMENTI:** Prima del confezionamento e della sterilizzazione, lo strumentario deve essere accuratamente controllato in tutte le sue parti per garantire il funzionamento e l'integrità del prodotto a tutela dell'attività chirurgica. Tutti i materiali che presentano parti deteriorate (rotture, etc.) o ruggine, non devono essere avviati alla fase del confezionamento, ma opportunamente riparati o trattati con prodotti specifici. La manutenzione quando necessaria va effettuata applicando prodotti lubrificanti idrosolubili (se il materiale viene sterilizzato a vapore, i prodotti devono essere privi di silicone).
6. **CONFEZIONAMENTO:** Prima di effettuare la sterilizzazione, in senso stretto, dello strumentario e dei materiali è necessario effettuare un adeguato confezionamento degli stessi. Le procedure di confezionamento devono essere effettuate in un ambiente dedicato e diverso da quello in cui si eseguono le operazioni di lavaggio.

In rapporto alla metodologia di sterilizzazione e alla tipologia del dispositivo da trattare, dovrà essere individuato il tipo di confezionamento maggiormente appropriato per garantire la sterilità del materiale trattato.

[7]

2.3 Tipi di sterilizzazione

Le metodologie di sterilizzazione usate in ambito sanitario sono principalmente tre:

- a vapor saturo sottovuoto
- ad ossido di etilene
- con soluzioni di acido peracetico a queste si aggiunge una metodologia tecnologicamente molto avanzata ma ancora poco diffusa che è la sterilizzazione mediante gas plasma di perossido d'idrogeno.

Il sistema elaborato mediante la stesura della presente Tesi si basa sulla metodologia di sterilizzazione a vapor saturo sottovuoto, che ad oggi risulta essere ancora quella più diffusa anche nell'ambito di strutture sanitarie tradizionali, e presenta le caratteristiche opportune per l'accoppiamento con la tecnologia solare a concentrazione e lo sfruttamento dell'energia termica ottenuta tramite questi sistemi.

2.3.1 Sterilizzazione a vapor saturo

L'agente sterilizzante più conosciuto e maggiormente impiegato è il calore, in particolare il calore umido sotto forma di vapore, in quanto vapore è il mezzo sterilizzante più sicuro, rapido, economico e non inquinante. Le apparecchiature che consentono di porre sotto pressione il vapore sono dette autoclavi, o più propriamente sterilizzatrici a vapore, dotate di una camera a perfetta tenuta e resistente alle alte pressioni. Se il vapore viene sottoposto ad una pressione maggiore di quella atmosferica, si possono raggiungere temperature di saturazione superiori a 100 °C, che consentono di raggiungere le condizioni sterilizzanti dei materiali penetrabili e delle superfici esposte all'agente. La sterilizzazione a vapore si ottiene mediante l'intervento combinato di tre fattori: **PRESSIONE, TEMPERATURA, TEMPO DI MANTENIMENTO.**

Le relazioni tra i tre parametri fisici (tempo, temperatura e pressione) sono indicate dalla Farmacopea Europea e dalle normative europee sulla sterilizzazione a vapore (EN 285, EN 13060, EN 554, UNI EN ISO 17665-1). Accanto a questi parametri devono essere presi in considerazione alcuni altri aspetti:

- l'assenza di bolle d'aria; essendo il vapore non miscibile con l'aria, questa deve essere allontanata, se presente, nelle confezioni e nei materiali, in quanto il vapore non potrebbe penetrare all'interno degli stessi e il risultato del trattamento sarebbe inefficace dal momento che il vapore agisce per contatto cedendo calore.
- tutti i dispositivi da sterilizzare devono essere disposti in modo tale che ogni superficie sia direttamente esposta all'agente sterilizzante per la temperatura e per il tempo previsti.
- il carico deve essere distribuito uniformemente secondo quanto stabilito nelle fasi di qualifica prestazionale, facendo attenzione che non tocchi le pareti della camera, che sia sostenuto da apposite griglie, che non sia ammassato affinché il vapore possa circolare il più liberamente possibile.
- al termine del ciclo di sterilizzazione non devono essere presenti residui di condensa, in quanto questa favorisce la ricontaminazione dei materiali.

La temperatura del vapore sottoposto a pressione aumenta progressivamente in proporzione alla pressione del vapore; durante la fase di sterilizzazione, la temperatura e la pressione devono mantenersi a livelli stabiliti e standardizzati. Il ciclo di sterilizzazione a vapore è composto essenzialmente da tre fasi principali:

1. Riscaldamento con creazione del vuoto
2. Raggiungimento condizioni di p e T di sterilizzazione
3. Sterilizzazione (tempo di mantenimento)

Nella prima fase del ciclo la macchina esegue una serie di vuoti frazionati che hanno l'obiettivo di rimuovere totalmente l'aria dall'interno della camera di sterilizzazione, il numero di vuoti frazionati standard è pari a 4. I metodi per la

creazione del vuoto nelle autoclavi automatizzate possono essere di vario tipo: espulsione dal basso (gravity-tipe), pulsazioni di vapore (steam-pulsing), mediante pompa a vuoto. Al termine dei 4 vuoti inizia l'iniezione di vapore nella camera che porta la camera stessa alla temperatura definita (121°C o 134°C). Al raggiungimento della temperatura di sterilizzazione vi è la fase di mantenimento per la durata necessaria impostata sul computer della macchina. La normativa EN 285 (come la EN 13060) riporta inoltre che i tempi di mantenimento non devono essere inferiori a:

- 15 minuti per T=121 °C
- 10 minuti per T=126 °C
- 3 minuti per T=134 °C

La sterilizzazione rapida (T=134°) deve essere utilizzata esclusivamente per la sterilizzazione di emergenza di materiali puliti non confezionati in quanto un procedimento di sterilizzazione veloce riduce i margini di sicurezza ed aumenta la possibilità di formazione di bolle d'aria.

La scelta del ciclo di sterilizzazione, cioè l'insieme dei parametri fisici che devono essere adottati per quel determinato carico, è in funzione al tipo di materiale che costituisce i dispositivi. La sterilizzazione a vapor saturo è più efficiente in quanto i microrganismi sono più sensibili al calore quando si trovano in ambienti umidi e ciò è dovuto a:

- minore stabilità delle proteine
- maggiore conducibilità termica e capacità di penetrazione dell'acqua e del vapore rispetto all'aria
- cessione diretta del calore alle superfici degli oggetti da parte del vapore durante la condensazione [8]

E' consigliato sterilizzare a vapore:

- Ferri chirurgici, vetrerie, strumenti metallici
- Materiale tessile di medicazione
- Materiale di gomma non termolabile
- Teleria e materiale tessile per campo sterile

Non è possibile sterilizzare a vapore:

- Attrezzatura endoscopica escluso le camicie degli endoscopi in acciaio
- Sostanze non idrosolubili (sostanze oleose, polveri)
- Materiali termolabili

Ogni tipologia di materiale ha una sua particolare resistenza alla temperatura che ne influisce pertanto anche il tipo di ciclo di sterilizzazione da adottare.

Tempi d'esposizione e temperature sono indicati sia nella farmacopea europea sia nella EN285:98 e la EN13060:05 la quale riporta alcuni esempi di ciclo.

VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA STERILIZZAZIONE A VAPORE

VANTAGGI

- Rapidità del processo
- Efficacia del processo
- Facilità ed efficacia dei controlli
- Non tossico
- Economico

SVANTAGGI

- Degradazione del materiale plastico
- Alterazione, con il tempo, del materiale metallico
- Impossibilità di sterilizzare grassi e polveri

2.3.2 Ulteriori metodologie di sterilizzazione

2.3.2.1 Sterilizzazione ad ossido di etilene

L'agente sterilizzante è un gas, l'ossido di etilene (EtO = C₂H₄O), che possiede un'energica attività antimicrobica. Il meccanismo d'azione è rappresentato dalla penetrazione, all'interno del microrganismo, del gas che reagisce chimicamente con le proteine microbiche mediante un processo di alchilazione dei gruppi polari. Si tratta di un processo irreversibile che rende inefficace anche la difesa naturale d'incapsulamento delle spore. In questo modo si ha la completa distruzione di tutte le funzioni vitali del microrganismo.

Per il trattamento si richiede l'impiego di un'autoclave a sezione circolare o quadrata, con sistemi di controllo e di registrazione dei parametri del ciclo. Deve

essere installata in un locale adibito esclusivamente a tale impiego, munito di misure di sicurezza e soprattutto personale professionalmente preparato, in possesso della patente per la manipolazione di gas tossici, rilasciata da Commissioni Regionali, come previsto dall'art.31 del Regio Decreto 9 gennaio 1937, n.147 e successive modifiche.

La sterilizzazione con EtO presenta oggi dei limiti legati al costo, ma soprattutto alla sua tossicità infatti il materiale, richiede tempi lunghi di sterilizzazione e di aerazione, ed è necessario attuare specifiche misure di prevenzione per evitare l'inquinamento ambientale.

2.3.2.2 Sterilizzazione con soluzioni di acido peracetico

L'agente ossidante, in questo caso, è rappresentato dall'acido peracetico ($\text{CH}_3\text{CO-O-OH}$) che è un potentissimo agente ossidante e comburente, le cui proprietà energiche lo rendono attivo come agente antisettico e antibatterico anche a concentrazioni inferiori dell'1%.

E' una sterilizzazione a circuito chiuso che esercita la sua azione sterilizzante mediante l'immersione del materiale in una soluzione di acido peracetico allo 0,2%, con pH neutro, e una temperatura attorno ai 40-50°C. Essendo l'acido peracetico un prodotto che può presentare tossicità per gli operatori esposti, il metodo viene condotto mediante un'apparecchiatura a circuito chiuso al fine di prevenire eventuali contaminazioni dell'ambiente di lavoro. Questa tipologia di apparecchiature serve anche per garantire il corretto svolgimento del ciclo di sterilizzazione e il mantenimento dei parametri impostati. I parametri critici della sterilizzazione ad acido peracetico sono:

- concentrazione dell'agente sterilizzante
- tempo di contatto
- temperatura della soluzione
- pH della soluzione

Capitolo 3 : Soluzioni costruttive per sistemi a concentrazione solare in ambito ospedaliero

Molti problemi di salute globale, come descritto in precedenza, sono direttamente correlati alla mancanza di accesso a elettricità affidabile. Gli esperti stimano che circa 1,4 miliardi di persone non hanno accesso all'elettricità e un altro miliardo ha accesso intermittente e spesso inaccessibile all'elettricità. Alcune regioni subiscono un impatto particolarmente negativo. Ad esempio, l'Agenzia internazionale dell'energia stima che circa 585 milioni di persone, o circa il 70% di coloro che vivono nell'Africa subsahariana, non hanno elettricità, un problema particolarmente acuto nelle aree rurali. L'Asia meridionale ha 493 milioni di persone che vivono fuori dalla rete. Le Nazioni Unite hanno identificato la mancanza di servizi energetici, compresa l'elettricità per attività come l'illuminazione, la cucina e la forza motrice, come un importante deterrente per lo sviluppo socioeconomico e hanno inserito l'energia tra i suoi obiettivi di sviluppo del millennio. Una particolare preoccupazione è data dalla mancanza di accesso all'elettricità associata a esiti negativi per la salute pubblica. Senza l'elettricità, ci sono ostacoli significativi all'efficace fornitura di molti servizi sanitari come la capacità di refrigerare adeguatamente i vaccini, eseguire la diagnostica, fornire l'illuminazione interna e, il fulcro di questo capitolo, sterilizzare gli strumenti medici. Senza elettricità, la sterilizzazione degli strumenti medici mediante autoclavi, chiamata sterilizzazione a umido, è compromessa. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) segnala che le infezioni nosocomiali (all'interno della struttura sanitaria) di pazienti e operatori sanitari sono collegate ad apparecchiature contaminate e pratiche di controllo delle infezioni inadeguate, condizioni particolarmente diffuse nei paesi in via di sviluppo. Nella Repubblica Democratica del Congo, il riutilizzo di attrezzature mediche senza un'adeguata sterilizzazione in una clinica prenatale per donne era collegato alla trasmissione di infezioni da filovirus. Uno studio in Egitto ha rilevato che il virus dell'epatite C è stato trasmesso attraverso apparecchiature mediche non adeguatamente sterilizzate. Uno studio su tre nelle cliniche private in Pakistan con un'alta prevalenza di virus dell'epatite C ha riportato strumenti contaminati e nessuna struttura per la sterilizzazione a caldo delle apparecchiature mediche. [9] L'analisi svolta attraverso la presente Tesi si pone, dunque, nell'ottica di sviluppo di una tecnologia che consenta la sterilizzazione tramite un sistema a

concentrazione solare. Sono già stati sperimentati dei sistemi capaci tramite l'energia termica ottenuta dalla concentrazione solare, di portare il vapore nelle condizioni di pressione e temperatura tali da consentire un efficiente processo di sterilizzazione. La prima esperienza in tale ambito è ad opera di un gruppo di ricercatori del Massachusetts Institute of Technology (MIT) che hanno elaborato ed assemblato un sistema sperimentato in Nicaragua e che rappresenta il punto di partenza dell'analisi effettuata mediante il presente lavoro. [10]

Successivamente le soluzioni costruttive si sono diversificate al fine di ottenere un sistema sempre più efficiente ed economico, ma il processo innovativo che concerne lo sviluppo di queste nuove tecnologie è tutt'altro che concluso.

Partendo dal principio della concentrazione solare per ottenere energia termica si sono sviluppate, in un ambito di ricerca accademica, diverse tecnologie che consentono l'utilizzo dell'energia radiante per il processo di sterilizzazione:

3.1 Solarclave

Il dispositivo Solarclave è un'autoclave ad energia solare che sterilizza le apparecchiature mediche utilizzando i raggi del sole per riscaldare gli strumenti chirurgici. Questo progetto, elaborato dal gruppo di ricercatori del MIT, è stato il primo ad essere sviluppato con utilizzo dell'energia solare. A differenza delle autoclavi comunemente disponibili, la premessa di questo dispositivo è di essere efficiente in termini di costi e avere la capacità di essere disponibile ovunque nel mondo. Ciò si ottiene principalmente attraverso i materiali utilizzati per costruirlo e la loro disponibilità in tutto il mondo. Ad oggi, infatti, risulta anche l'unico sistema con un riscontro reale di utilizzo, in quanto, viene adoperato in alcuni villaggi del Nicaragua, luogo in cui è avvenuta la sperimentazione, durata tre anni, da parte del gruppo di ricercatori del D Lab del MIT. [11]

Il progetto ha visto la sperimentazione di diverse soluzioni operative.

1. La prima messa a punto del sistema utilizzava un riflettore parabolico in alluminio che concentrava la radiazione solare su un piccolo bollitore, costituito da un tubo in vetro contenente acqua, sostenuto alla distanza focale della parabola; il vapore prodotto, veniva poi inviato tramite un tubo, al contenitore in pressione, all'interno del quale avveniva il processo

di sterilizzazione (Fig.9). Ma nei test in Nicaragua, il team ha presto riscontrato problemi con il sistema: il foglio era vulnerabile ai danni e difficile da sostituire a livello locale, e il tubo che trasportava il vapore era inefficiente e soggetto a perdite e danni. [11]



Figure 9: Prima configurazione "Solarclave"

2. Il secondo modello venne progettato più robusto, ma la prima modifica venne fatta sul sistema ricevitore sostituendo la tradizionale pentola a pressione che consentiva di concentrare la radiazione direttamente sul contenitore adibito alla sterilizzazione, eliminando il tubo e le problematiche legate al trasporto del vapore. Il contenitore che funge da autoclave è stato quindi ottenuto utilizzando una pentola a pressione della capacità di 5 litri, in cui 250 ml di acqua vengono portati nelle condizioni di $p=2$ bar e $T=121$ °C richieste per il processo di sterilizzazione. La pentola è isolata termicamente sulla parte superiore e sulla superficie laterale mediante uno strato in fibra di vetro, mentre, il fondo della pentola è privo di isolamento trattandosi della superficie su cui viene concentrata la radiazione solare. Il sistema di concentrazione della radiazione solare è stato ottenuto, invece, mediante l'utilizzo di una serie di specchietti assemblati in modo tale da formare una superficie complessivamente parabolica, adagiati in una struttura in compensato. Il riflettore concentra i raggi e li reindirizza verso il vaso. Questa soluzione rende la struttura meno fragile, in quanto, il danneggiamento di un singolo specchio non compromette il funzionamento dell'intero sistema rendendo più semplice anche l'eventuale sostituzione,

richiedendo però, una maggiore precisione costruttiva. La struttura di sostegno è realizzata in modo tale da poter variare l'inclinazione della superficie captante. Le sperimentazioni sul sistema strutturato in tal modo, hanno mostrato che sono richiesti dai 45 ai 60 minuti per raggiungere le condizioni fisiche necessarie al processo di sterilizzazione e che tale sistema è in grado di mantenere queste condizioni per il tempo di mantenimento necessario di 20 minuti. Un'ulteriore evoluzione di questo sistema è frutto del lavoro di un team di ricercatori, guidati da Robert Thottam, dell'University of Rhode Island, che, nel 2013, partendo dal progetto del MIT, hanno apportato delle modifiche per cercare di migliorare le prestazioni del sistema. [12]

Il concetto di base non si discosta dal secondo progetto del MIT; le due modifiche sostanziali, risiedono nella suddivisione del concentratore solare, ottenuto sempre mediante l'assemblaggio di serie di specchietti, in quattro sezioni separate, con un totale di 140 specchietti, che dovrebbero consentire un più efficace orientamento della superficie captante, e, nell'utilizzo di un secchio contenente dall'alto la pentola a pressione, per aumentare l'isolamento termico ottenuto con fibra di vetro nell'intercapedine superiore e laterale che si forma tra pentola e secchio; il fondo è lasciato anche in questo caso privo di isolamento (Fig. 10) La fase sperimentale di questa configurazione non ha portato a risultati che



Figura 10: Seconda configurazione "Solarclave"

si discostino significativamente rispetto a quelli ottenuti con la soluzione del MIT.

3. Il modello aggiornato venne utilizzato in almeno tre diversi posti sanitari in Nicaragua. Il concetto di base non si discosta dal secondo progetto del MIT; le due modifiche sostanziali, risiedono nella suddivisione del concentratore solare, ottenuto sempre mediante l'assemblaggio di serie di specchietti, in quattro sezioni separate, con un totale di 140 specchietti, che dovrebbero consentire un più efficace orientamento della superficie captante, e, nell'utilizzo di un secchio contenente dall'alto la pentola a pressione, per aumentare l'isolamento termico ottenuto con fibra di vetro nell'intercapedine superiore e laterale che si forma tra pentola e secchio; il fondo è lasciato anche in questo caso privo di isolamento (Fig. 11) . Il dispositivo si è dimostrato efficace per la sterilizzazione. Ciò è stato confermato utilizzando lo standard un indicatore biologico basato su *Geobacillus stearothermophilus*. Il dispositivo ha dimostrato di poter completare il ciclo di riscaldamento e sterilizzazione in una settimana ad una temperatura di 121 gradi centigradi. [12]



Figure 11: Evoluzione seconda configurazione e dettaglio pentola a pressione con isolante

4. L'ultimo sviluppo del "Solarclave" nasce nel 2014 dalla necessità di rendere la costruzione del sistema di captazione solare meno complesso e dal bisogno di rendere più semplici le operazioni di carico e scarico della pentola a pressione adibita ad autoclave. La nuova configurazione è frutto della collaborazione tra Anna Young e l'inventore Josè GomezMarquez, i quali hanno concepito un sistema di captazione solare costituito da un paraboloide, che a differenza della prima idea costruttiva,

è stato ricavato a partire da una parabola satellitare rivestita con fogli di alluminio riflettenti sulla base delle cucine solari paraboliche. In tal modo si ottiene un connubio tra robustezza del concentratore, semplicità di sostituzione delle superfici riflettenti e semplicità costruttiva maggiore se paragonata con la configurazione utilizzante la serie di specchietti. Infatti, l'utilizzo del paraboloide, se da un lato ha comunque bisogno di una progettazione ottica precisa che consenta all'autoclave di rimanere costantemente sospesa sul punto focale, dall'altro consente un'orientazione che coinvolge l'intero concentratore e non i singoli specchietti adibiti a formare la superficie parabolica. L'isolamento della pentola è stato notevolmente ridotto rinunciando all'idea di utilizzare un secchio come involucro per la pentola, in modo tale da rendere più semplici le operazioni sull'autoclave da parte degli operatori addetti alla sterilizzazione (Fig. 12). Anche il sistema di sostegno è stato semplificato seppur a discapito di una minore stabilità. L'obiettivo principale che attualmente guida i ricercatori coinvolti in questo ambito, è quello di riuscire ad ottenere un sistema costituito da poche componenti facilmente assemblabili anche dall'utente finale privo di nozioni ingegneristiche, in modo tale da poter fornire un vero e proprio kit che consenta di effettuare il processo di sterilizzazione nei luoghi in cui le metodologie convenzionali sono precluse. [13]



Figura 12: Sul tetto del MIT International Design Center, Gomez-Marquez aiuta le studentesse collaboratrici Anna Young (a sinistra) ed Elizabeth Phillips a montare un prototipo del Solarclave, uno sterilizzatore per strumenti medici. | Sam Ogden

3.2 Capteur Solar

Questo progetto nasce nel 2011 da un team di studenti della Rice University (Texas). Il sistema autoclave solare termico è composto da tre componenti principali, ovvero 1) il “Capteur Soleil” utilizzato per produrre vapore, 2) la

“piastra riscaldante” utilizzata per sfruttare il vapore per lavori produttivi, e 3) l'autoclave termica disponibile in commercio utilizzato per sterilizzare strumenti medici (Fig. 13).

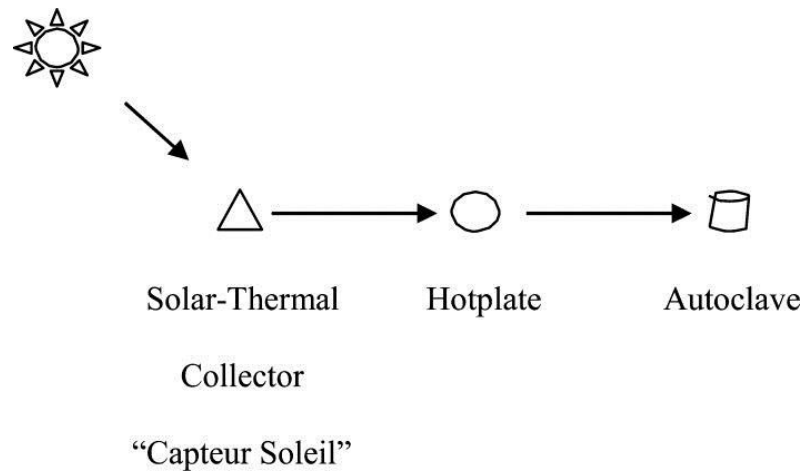


Figura 13: : Schema semplice del sistema autoclave a energia solare termica

- 1) Il “ Capteur Soleil” è un collettore solare termico costituito da specchi semiparabolici di 2 m 2 realizzato con fogli di alluminio che poggiano su un telaio in acciaio. Un tubo d'acciaio, chiamato caldaia, si trova nel punto focale, a circa 1,5 m sopra gli specchi (Fig. 14). Il telaio in acciaio è regolato verticalmente con un martinetto manuale per catturare la massima quantità di luce solare (irraggiamento solare) sugli specchi, come indicato da un marker visivo sulla caldaia. La caldaia viene riempita d'acqua da una piccola pompa manuale che viene quindi riscaldata dalla luce solare che si irradia sulla caldaia. La caldaia trasferisce quel calore nell'acqua per conduzione, generando vapore (energia termica). La caldaia normalmente funziona ad una temperatura di 150 ° C (la temperatura massima è di 164 ° C / 6 bar), producendo quantità di vapore sufficienti per riscaldare una piastra (più sotto) che a sua volta alimenta un'autoclave per diverse ore consecutive.



Figura 14: Collettore solare termico, Capteur Soleil

- 2) La “ piastra riscaldante” estrae l'energia termica dal vapore prodotto dal Capteur Soleil per riscaldare (per convezione) una piastra piatta in alluminio. La piastra è composta da due sezioni e una guarnizione. La sezione superiore è una lastra di alluminio con un percorso largo 5 mm inciso al suo interno. Il vapore prodotto dal Capteur Soleil circola attraverso questo percorso e massimizza la superficie su cui l'energia termica può essere trasferita alla piastra di alluminio tramite conduzione forzata. La sezione inferiore è un'altra piastra di alluminio, a cui sono fissati raccordi in ottone che portano il vapore all'interno e l'acqua di condensa fuori dalla piastra, controllata da una valvola (Fig. 15). Una guarnizione tra le piastre fornisce una tenuta efficace per evitare perdite di vapore indesiderate. La piastra si trova vicino alla parte posteriore (lato non soleggiato) del Capteur Soleil, fissata a uno scaffale o seduta su un tavolino, consentendo un facile accesso per l'utente. La zona di cottura svolge due importanti funzioni. Innanzitutto, massimizza il trasferimento di calore dal vapore alla superficie della piastra riscaldante. In secondo luogo, è facile e sicuro da usare per l'utente. L'autoclave (più sotto) è semplicemente posizionata sopra la piastra, in modo simile a come un'autoclave potrebbe essere posizionata su un bruciatore.

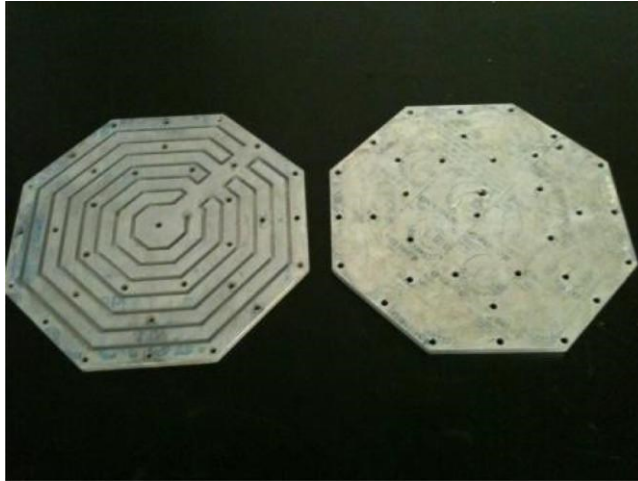


Figura 15: Piatto caldo. Sezione superiore (sinistra) e sezione inferiore (destra)

- 3) L'autoclave termica è una pentola a pressione dalla capacità lorda di 14 L. La piastra può anche alimentare un'autoclave da 24 L. Questo sistema, rispetto al precedente, è più complicato da un punto di vista realizzativo sia a causa dei componenti necessari sia da un punto di vista economico, ma al tempo stesso potrebbe fornire una maggiore capacità produttiva. Ad oggi, questo sistema non è stato ancora sottoposto a sperimentazione per l'utilizzo in ambito medico-sanitario, ma una versione simile è attualmente in uso ad Haiti per la cottura di cibo ed il riscaldamento di acqua. [9]



Figura 16: Autoclave alloggiata in box coibentato.

3.3 Helios

Helios è un altro sistema a energia solare che sterilizza le apparecchiature chirurgiche ,ma, a differenza degli altri è in grado di fornire anche acqua potabile in aree prive di rete elettrica in quanto offre la capacità unica di condensare il

vapore dell'autoclave in acqua sterile affinché i medici possano pulire i siti chirurgici. Questa funzionalità ha anche un impatto positivo sulla comunità degli utenti dei dispositivi, che possono utilizzare quest'acqua per altri scopi in assenza di visite mediche. Il sistema è concepito come un'unità preassemblata pronta per l'uso in pochi minuti dalla consegna, infatti esso nasce dalla tradizionale tipologia di solar cooker denominata “forno solare” o anche “Kyoto box”, ovvero un forno costruito utilizzando una grande scatola con una superficie interna riflettente per catturare la luce solare e reindirizzarla sul contenitore bersaglio, che è spesso dipinto di nero opaco per massimizzare l'assorbimento delle radiazioni. Una pentola a pressione viene utilizzata come recipiente di destinazione per mantenere adeguatamente l'alta pressione e l'alta temperatura necessarie per la sterilizzazione. È stato scelto un design a scatola rispetto ai modelli di riflettore parabolico per le sue dimensioni ridotte, semplicità d'uso, ridotto rischio di lesioni e spedizione facilitata. Il principale svantaggio di un fornello a scatola è che la luce solare non è così concentrata come in un sistema di riflettori parabolici; quindi il sistema richiede tempo aggiuntivo per raggiungere la temperatura e la pressione di esercizio. Il design efficiente di Helios compensa questo svantaggio in molti modi, consentendo di eseguire circa sei sterilizzazioni al giorno in aree come il Nicaragua. Le pareti interne di Helios sono separate dalle pareti esterne e angolate per dirigere meglio la luce solare sulla pentola a pressione e sul pavimento della scatola creando una barriera d'aria per isolare meglio termicamente l'interno del dispositivo. La pentola a pressione poggia su una piastra di alluminio, anch'essa verniciata di nero, per creare una maggiore superficie di cattura dell'energia che trasmette calore aggiuntivo alla pentola a pressione. Questa piastra in alluminio è anche sollevata dal pavimento del box per impedire la conduzione termica all'esterno del sistema. Una lastra di poli (metil metacrilato) (PMMA) viene utilizzata come coperchio interno per il dispositivo che consente alla radiazione solare di entrare a causa della sua elevata trasmittanza (circa il 96% nello spettro visibile) e impedisce la fuoriuscita di aria calda . L'allineamento del coperchio riflettente è ottenuto mediante l'uso di aste di supporto come nel Kyoto Box .La particolarità di questo sistema risiede nella presenza di uno scambiatore di calore nel quale viene fatto condensare il vapore di sterilizzazione in uscita

dall'autoclave che consente di ottenere acqua sterilizzata, utilizzabile in altri processi medici o come acqua potabile. Attraverso lo scambiatore, il vapore condensa preriscaldando l'acqua in ingresso nell'autoclave, costituita come nelle tecnologie precedenti da una normale pentola a pressione, riducendo il tempo necessario per raggiungere le condizioni di sterilizzazione altrimenti ottenute solo tramite concentrazione solare.

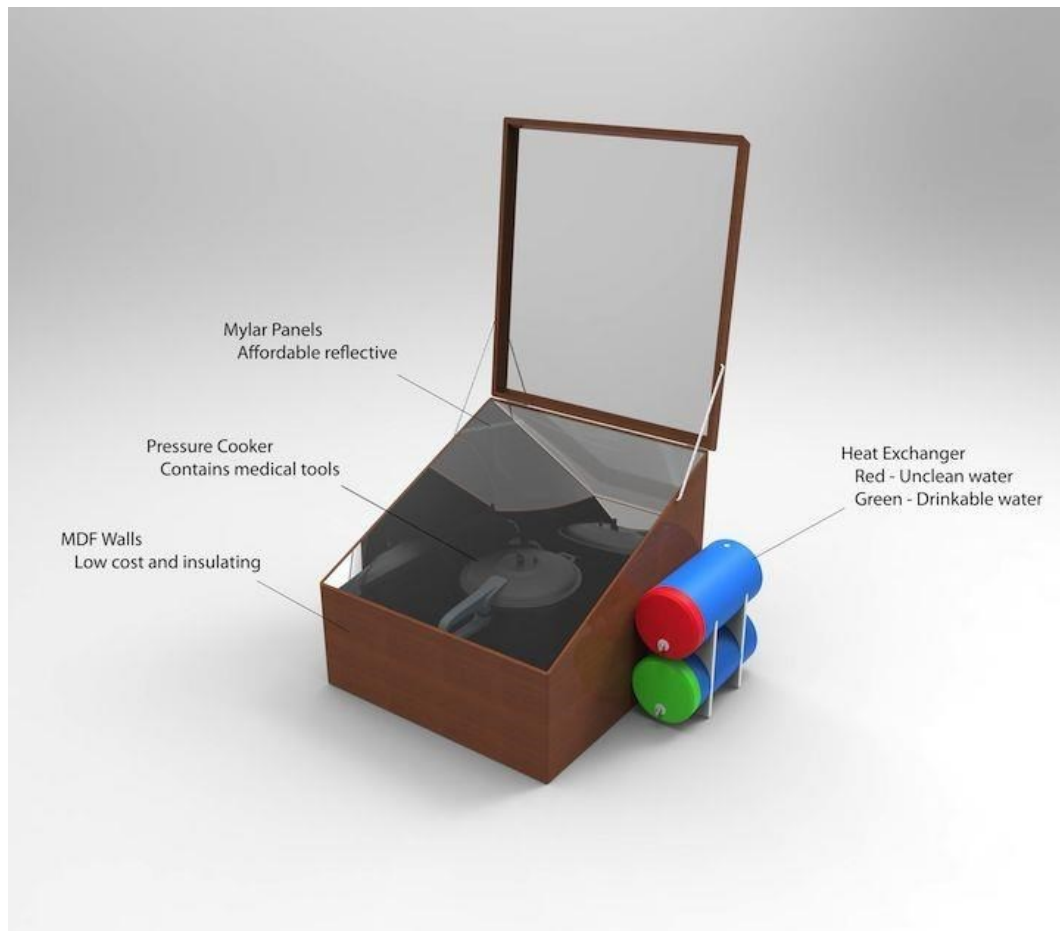


Figura 17: Rendering Solidworks del dispositivo helios

Questo progetto, ancora in fase sperimentale, ha visto la realizzazione di un prototipo (Fig. 18) sul quale sono stati condotti dei test per verificare l'efficienza dei singoli componenti mediante un'analisi del comportamento reale del sistema sperimentato a Pittsburgh, elaborando sulla base di questo, dei dati teorici che si riferiscono al funzionamento del sistema in Nicaragua, ottenendo a causa del maggior irraggiamento annuo un'efficienza del sistema più elevata e dei tempi necessari al processo minori.



Figura 19: Immagine del dispositivo helios in funzione a Pittsburgh, PA

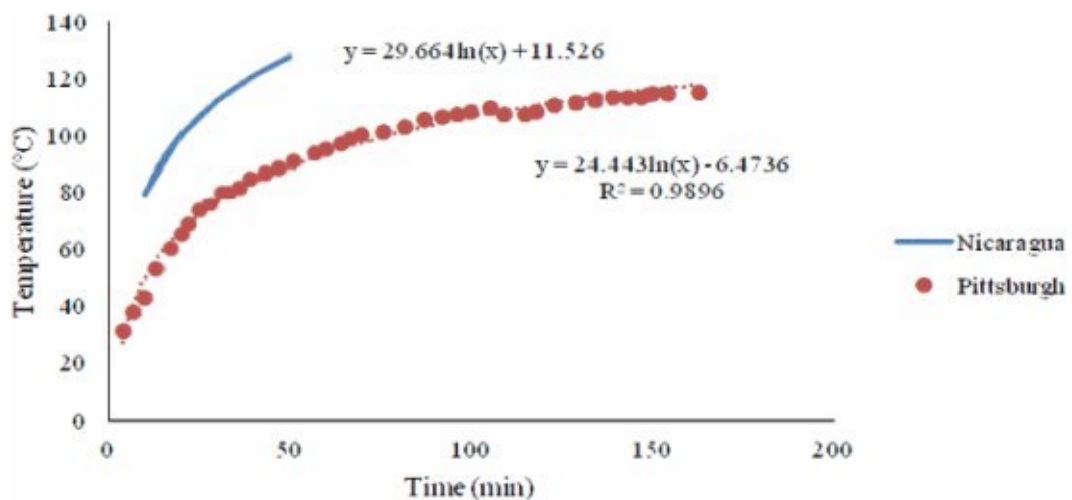


Figura 19: Grafico che mostra i risultati dei test di temperatura dei componenti dello sterilizzatore e della scatola solare con dati empirici a Pittsburgh e previsioni teoriche in Nicaragua

Il modulo dello scambiatore di calore è stato testato separatamente per valutare la sua capacità di condensare il vapore in acqua sterile e preriscaldare un lotto separato di acqua. Dopo essere stata riempita con un litro d'acqua, la pentola a pressione è stata posta su un piano cottura e riscaldata a una temperatura media. Una volta raggiunte le condizioni dell'autoclave, il vapore in uscita veniva

catturato, fatto passare attraverso lo scambiatore di calore e raccolto in un recipiente separato.

Durante il periodo di prova, sono state registrate le misurazioni della temperatura del vapore, dell'acqua condensata e dell'acqua preriscaldata per determinare l'efficacia del processo. Inoltre, sono stati raccolti campioni di acqua e incubati su piastre di agar per determinare la sterilità (Fig.20). Sono state testate sia l'acqua sterile che l'acqua del laghetto ed i risultati hanno dimostrato che Helios sterilizza efficacemente l'acqua. [14]

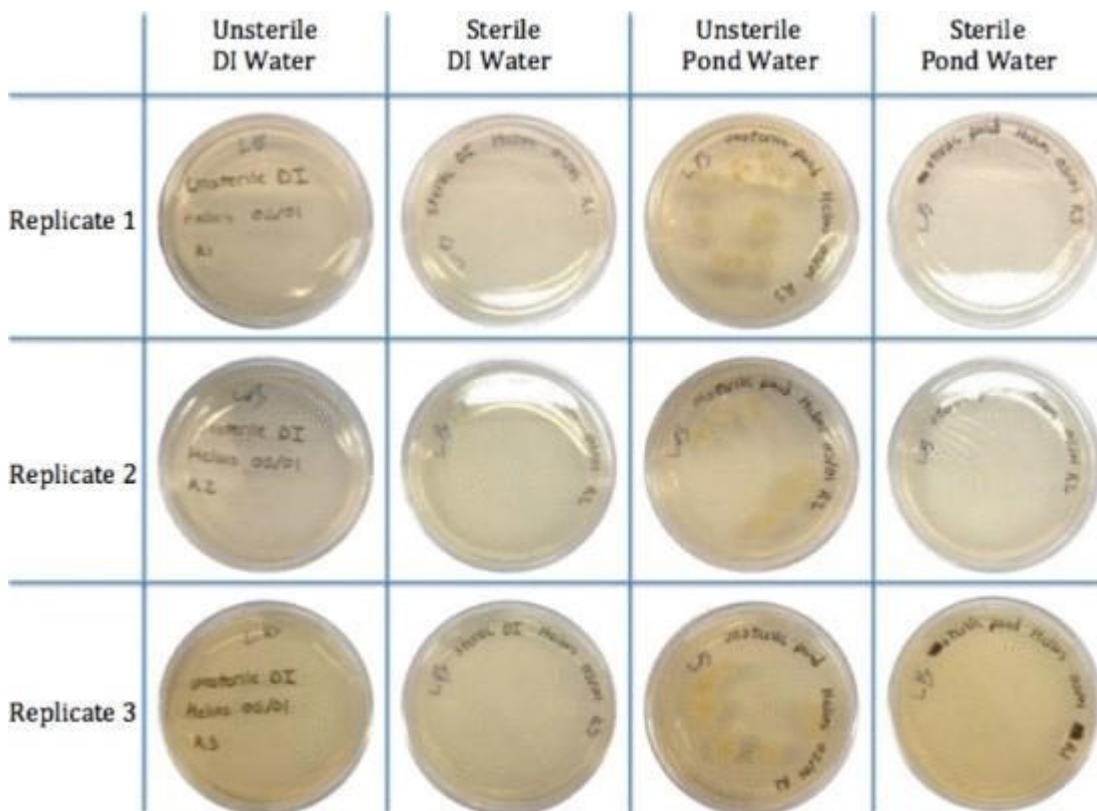


Figura 20: Rappresentazione dei risultati del test di sterilità del componente dello scambiatore di calore con crescita batterica presente solo nell'acqua del laghetto non sterile

3.4 Sterilizzatore solare a vapore con sistema ibrido

Si tratta di uno sterilizzatore che sfrutta il vapore prodotto da 4 riflettori Scheffler di 8 m² ciascuno. Questo sistema è stato installato da Solar Alternatives (India) in un ospedale di Patna nel 2002, sulla base dell'esperienza con grandi cucine a vapore attraverso un prototipo di generatore di vapore in grado di far funzionare un'autoclave ordinaria da 76 litri di volume 3-4 volte al giorno che immagazzina il calore termico direttamente nel nucleo di un blocco di ferro da 230 kg che funziona come un generatore di vapore [15].

Il sistema è collegato direttamente allo sterilizzatore. Il sistema funziona ibrido ed è quindi ancora possibile utilizzare la caldaia elettrica per giornate con cattive radiazioni. Effetti positivi:

- Piccolo sistema ibrido (quando il tempo è brutto è possibile utilizzare il boiler a gas o elettrico dell'autoclave. Il sistema solare è semplice da integrare in un classico sterilizzatore senza modifiche importanti)
- Alta efficienza
- Vengono utilizzati solo materiali disponibili localmente.

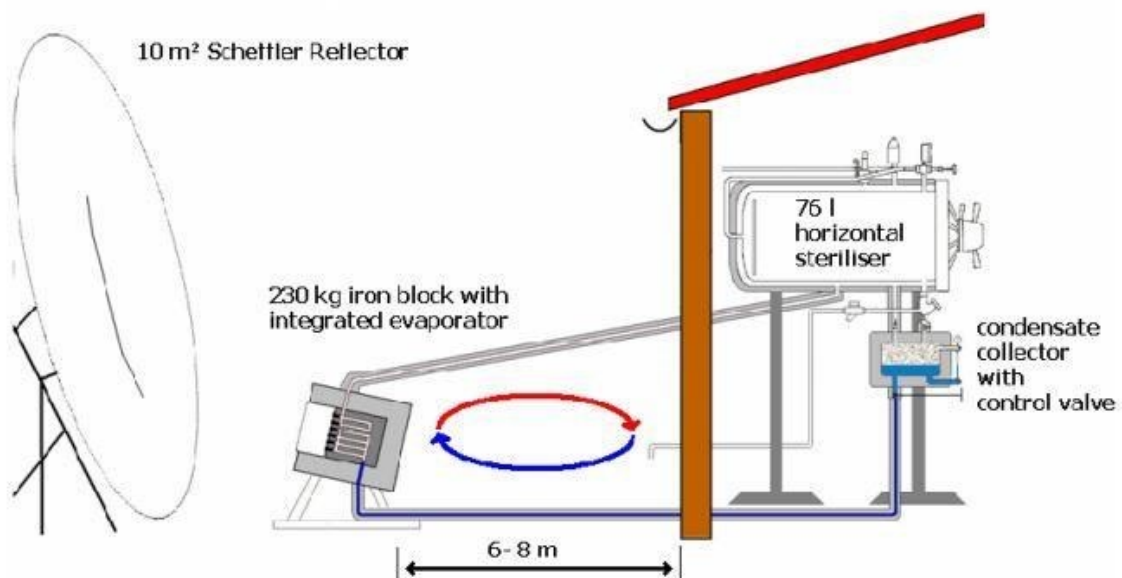


Figura 21: Schema del sistema di sterilizzazione solare a vapore

Per gli ospedali rurali, l'autore ha



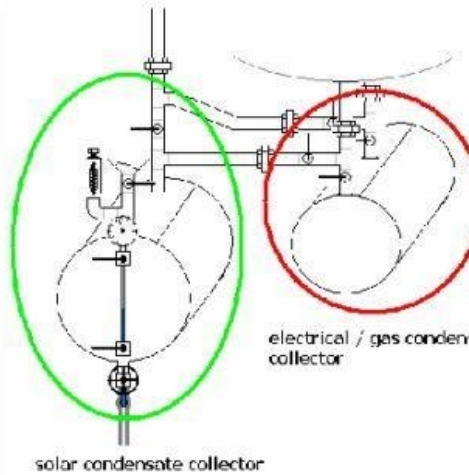
Figura 23: Sistema ibrido : verde =collettore solare di condensa ; rosso= caldaia elettrica originale

sviluppato un sistema più piccolo. L'idea era di ottimizzare l'efficienza e di fornire un sistema che non immagazzinasse energia sotto forma di vapore pressurizzato. Il modello sviluppato è gestito da un riflettore Scheffler di 10 m² che riscalda un blocco di ferro di 230 kg fino a 500 ° C. In qualsiasi momento della giornata il blocco di ferro caldo può creare vapore per far funzionare un'autoclave standard da 76 litri. Le nuvole non interferiranno con il processo di sterilizzazione, poiché l'energia viene estratta dallo stoccaggio. Il primo impianto di questo tipo è stato progettato e installato per l'ospedale della Sacra Famiglia di Mandar (150 posti letto) nell'inverno 2004. [15]

Figura 22: Formazione del personale tecnico per risolvere eventuali problemi imminenti



Figura 24: Schema sistema ibrido



Il nucleo: design e idea del blocco di ferro ad accumulo di calore.

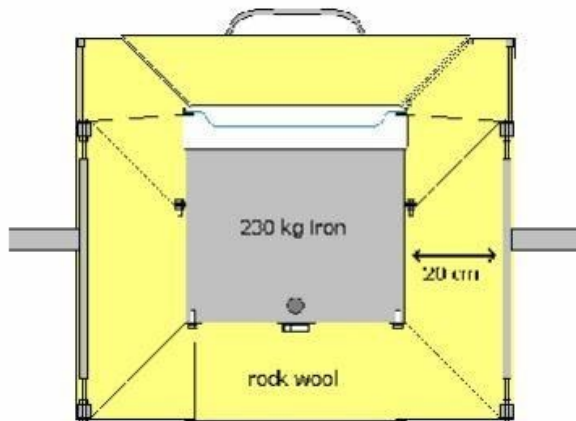


Figura 26: Schema blocco di ferro Figura con vetro resistente al 25: Blocco di fercalorero totalmente isolato

L'elevata capacità termica specifica del ferro riduce il volume di accumulo atteso e quindi la superficie. In base a questo fatto le perdite di calore vengono mantenute piccole. Le perdite di calore sono state ridotte utilizzando un isolamento in lana di roccia di 200 mm di spessore e una sospensione calcolata con precisione del blocco di ferro con strisce di acciaio inossidabile.

Includendo tutte le perdite, l'efficienza dall'energia solare al blocco di ferro per l'accumulo di calore è:

- 250°C 61%
- 300°C 56%
- 350°C 50%
- 400°C 42%

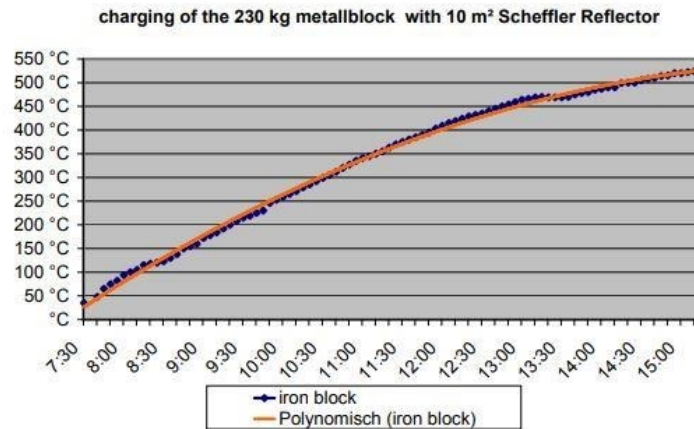


Figura 27: Curva di carico del sistema

3.5 Autoclave solare compatta con uso di nanoparticelle di raccolta della luce a banda larga

In questo sotto capitolo, viene descritta una tipologia di autoclave compatta basata sulla generazione di vapore ad alta temperatura attraverso l'utilizzo di nanoparticelle che assorbono la luce a banda larga, come riscaldatori solari fototermici, utile per l'igiene di strumenti o materiali in luoghi remoti con risorse limitate. È stato dimostrato, infatti, che una varietà di nanoparticelle come nanoshell metalliche, nanoparticelle di carbonio conduttive, quando disperse in una soluzione acquosa e illuminate dalla luce solare, convertono l'energia solare assorbita in vapore con un'efficienza di poco superiore all'80%, dove meno del 20% dell'energia contribuisce al riscaldamento del volume del liquido. Nel processo di generazione del vapore solare, le nanoparticelle che assorbono la luce a banda larga creano un gran numero di siti di nucleazione per la generazione di vapore all'interno del fluido. Quando la luce viene assorbita da una nanoparticella, si stabilisce una differenza di temperatura tra la nanoparticella e il fluido circostante a causa di una ridotta conducibilità termica all'interfaccia metallo-liquido: questo aumento di temperatura locale può diventare sufficiente per trasformare il liquido nelle immediate vicinanze delle nanoparticelle in vapore. Con illuminazione prolungata, l'involucro di vapore che circonda la nanoparticella cresce, determinando la galleggiabilità del complesso nanoparticelle-bolle. Quando questo complesso raggiunge la superficie del liquido, il vapore viene rilasciato, con conseguente generazione di vapore di non equilibrio vigoroso senza che la temperatura del fluido sfuso abbia

raggiunto il suo punto di ebollizione. Se il fluido viene mantenuto in un bagno di ghiaccio, viene prodotto vapore, anche quando la temperatura del fluido rimane a 0 ° C. In caso di esposizione prolungata alla luce solare, tuttavia, si verificano sia il processo più efficiente di generazione di vapore basato su nanoparticelle che il processo meno efficiente di riscaldamento del fluido sfuso, con conseguente generazione simultanea di vapore basata su nanoparticelle ed ebollizione del fluido sfuso. La combinazione di questi due processi si traduce nella produzione di vapore solare che avviene a temperature del vapore più elevate rispetto a quelle ottenibili utilizzando il riscaldamento del fluido non basato su particelle (Fig. 28). Le nanoparticelle non vengono disperse nella fase vapore né degradate dal processo di generazione del vapore.

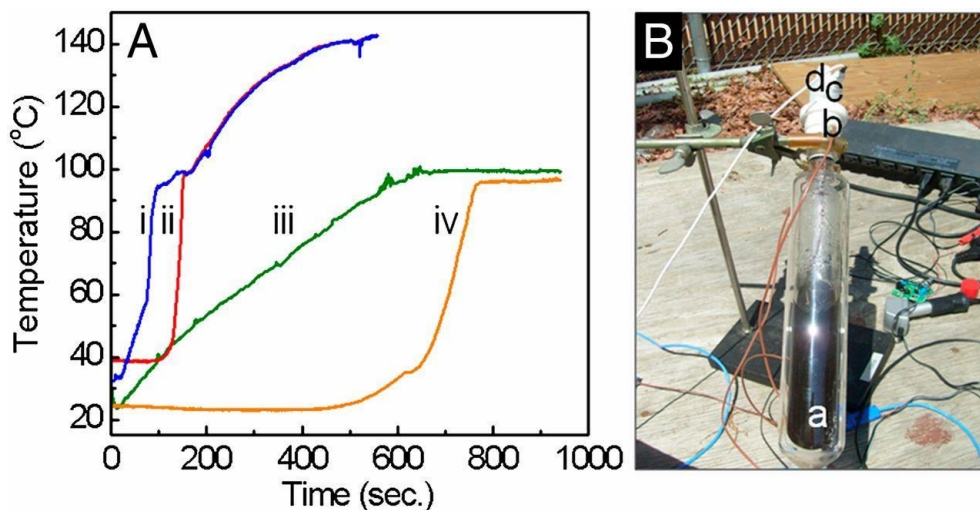


Figure 28: Evoluzione della temperatura della generazione di vapore solare. (A): Temperatura in funzione del tempo per acqua dispersa con nanoshell di Au (i, liquido; ii, vapore) e acqua senza nanoparticelle (iii, liquido; iv, vapore) sotto l'esposizione solare. (Concentrazione di nanoparticelle di Au sufficiente a produrre una densità ottica di unità.) (B) Fotografia del sistema utilizzato nell'evoluzione della temperatura della generazione di vapore solare: (a) recipiente trasparente isolato con una camicia a vuoto per ridurre le perdite termiche, (b) due termocoppie per rilevare la soluzione e la temperatura del vapore, (c) sensore di pressione e (d) ugello da 1/16 di pollice.

Con i disperdenti di nanoparticelle, le temperature sia del liquido che del vapore aumentano più rapidamente della temperatura dell'acqua pura (Fig.28. A), con l'acqua liquida che raggiunge i 100 ° C più rapidamente con i disperdenti delle nanoparticelle (i e ii) rispetto all'acqua senza nanoparticelle (iii e iv). La produzione di vapore misurabile avviene a una temperatura dell'acqua inferiore

per il caso con disperdenti di nanoparticelle, poiché la generazione di vapore disperso da nanoparticelle può verificarsi a qualsiasi temperatura del fluido. Per il caso qui mostrato, la produzione di vapore misurabile appare a una temperatura dell'acqua di ≈ 70 ° C, ben al di sotto della soglia di produzione di vapore per l'acqua pura. Forse la cosa più importante, tuttavia, è la grande differenza nella temperatura di stato stazionario raggiunta per i due sistemi: con l'inclusione di disperdenti di nanoparticelle, la temperatura sia dell'acqua che del vapore aumenta ben al di sopra del punto di ebollizione standard dell'acqua. In questo caso, una temperatura di equilibrio di 140 ° C è facilmente raggiungibile nel sistema acqua-vapore disperso con nanoparticelle. Questa temperatura elevata consente l'uso del vapore solare generato da nanoparticelle per applicazioni di sterilizzazione medica.

L'evoluzione della generazione di vapore solare da nanoshell di Au disperse in acqua è stata quantificata in un sistema a circuito aperto (Fig.28 B) costituito da un recipiente da 200 ml isolato con una camicia a vuoto per prevenire la perdita di calore, un sensore di pressione e due termocoppie per monitorare sia la temperatura del liquido che quella del vapore. Il recipiente è stato illuminato con radiazione solare focalizzata da una lente di Fresnel da 0,69 m² nel recipiente di vetro contenente 100 ml di nanoparticelle a una concentrazione di 10¹⁰ particelle / m³ o, in alternativa, acqua senza nanoparticelle come controllo. Durante l'illuminazione solare, il vapore è stato lasciato fuoriuscire attraverso un ugello di 16 μ m di diametro, mentre sono state registrate la pressione e la temperatura.

Sono stati sviluppati due modelli di sterilizzazione solare:

- ✦ un sistema di autoclave solare portatile a circuito chiuso adatto per la sterilizzazione di strumenti medici o odontoiatrici in cui il vapore viene prodotto sotto illuminazione solare, trasportato nel volume di sterilizzazione, condensato e quindi reimmesso nel recipiente del fluido. (Fig. 29 A)

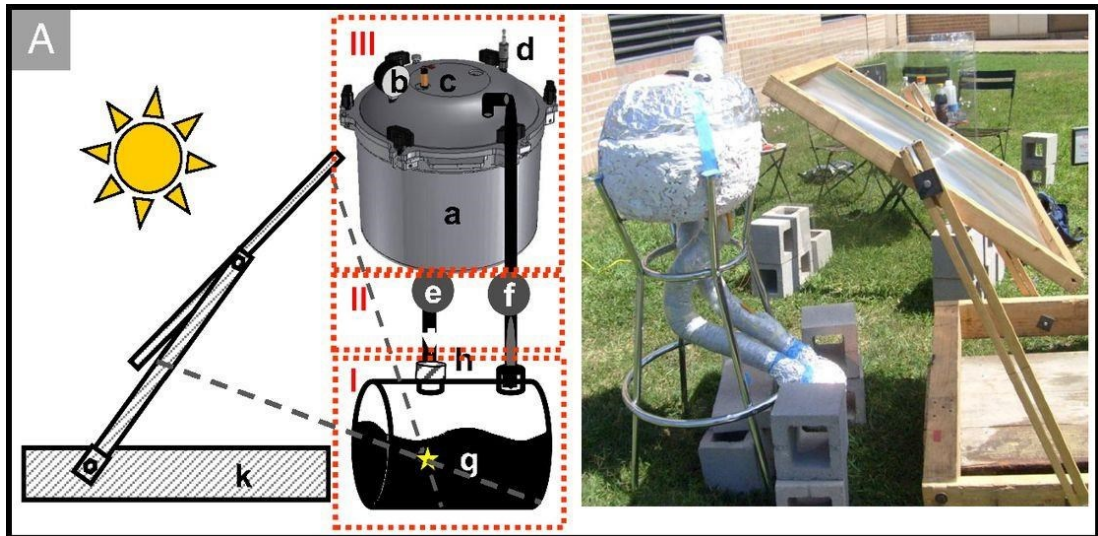


Figure 29(A): Schema e fotografia dell'autoclave solare a circuito chiuso che mostra (I) il modulo di generazione del vapore, (II) il modulo di connessione e (III) il modulo di sterilizzazione. I componenti del sistema sono (a) recipiente di sterilizzazione, (b) sensore di pressione, (c) sensore di termocoppia, (d) valvola di sicurezza, (e ed f) valvole di controllo, (g) collettore solare contenente la soluzione di riscaldamento a base di nanoparticelle, (h) valvola di ritegno e (k) concentratore solare (una lente di Fresnel in plastica di 0,67 m² di superficie).

La concentrazione solare avviene attraverso una lente di Fresnel piuttosto piccola ed economica; la soluzione particellare è contenuta all'interno di un recipiente di vetro isolante costruito su misura con due ingressi che conducono al modulo di connessione. Il vapore solare generato all'interno di questo modulo viene convogliato da un ugello del modulo di connessione nel modulo di sterilizzazione, dove condensa sugli oggetti da sterilizzare, ritornando sotto forma di condensa al modulo di generazione del vapore. Una valvola di ritegno su una porta del modulo di generazione del vapore garantisce un flusso unidirezionale di vapore in tutto il sistema.

Il modulo di sterilizzazione è costituito da un recipiente a pressione isolato (un'autoclave con fornello convertita con una capacità di 14,2 litri). Un foro di ritorno della condensa (diametro di 0,86 cm) è stato fresato sulla faccia inferiore del recipiente dell'autoclave a 10 cm dal centro. Allo stesso modo, un foro di ingresso del vapore (diametro di 0,86 cm) è stato fresato sul coperchio del recipiente di sterilizzazione a 10 cm dal centro (Fig. 30)

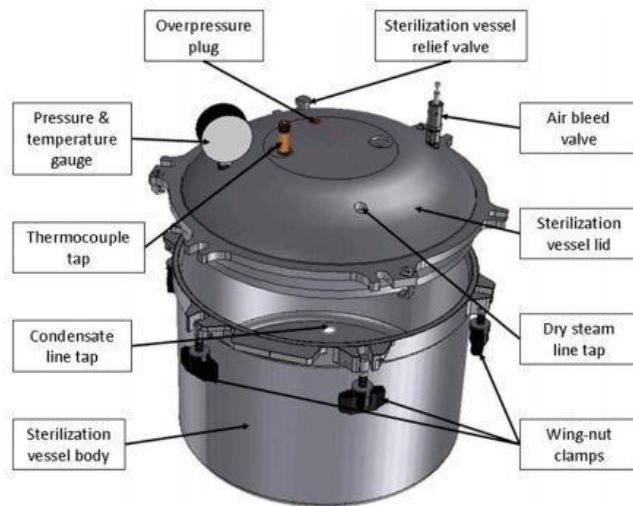


Figura 30: : Dettaglio modulo di sterilizzazione. Autoclave con piano cottura leggermente modificato. Consiste di un corpo, in cui è contenuto il volume, e il coperchio, che è filettato sul corpo utilizzando una serie di dadi ad alette. Il vapore viene convogliato attraverso una porta appositamente lavorata sulla parte superiore del coperchio e la condensa è restituito attraverso il fondo della nave.

Il vapore generato dal sole entra nel modulo di sterilizzazione nella parte superiore del vaso, costringendo l'aria non sterile verso il basso e fuori dal vaso attraverso il tubo di scarico dell'aria, che è collegato alla valvola di controllo. L'aria intrappolata non sterile può avere un effetto isolante e impedire la completa sterilizzazione; pertanto, è fondamentale rimuovere quanta più aria possibile dal modulo di sterilizzazione. Dopo che l'aria non sterile è stata eliminata dal sistema, la valvola di controllo viene chiusa per consentire la formazione di pressione nel serbatoio. Il ciclo viene mantenuto a un minimo di 115 ° C e 12 psig e un massimo di 140 ° C e 20 psig in tutte le regioni del modulo di sterilizzazione per tutta la durata di un ciclo di sterilizzazione

- ✦ un sistema di autoclave a circuito aperto che può fungere da fonte di vapore indipendente e fuori rete adatta per sistemi di sterilizzazione di rifiuti umani o animali o altre applicazioni (Fig.31 B)

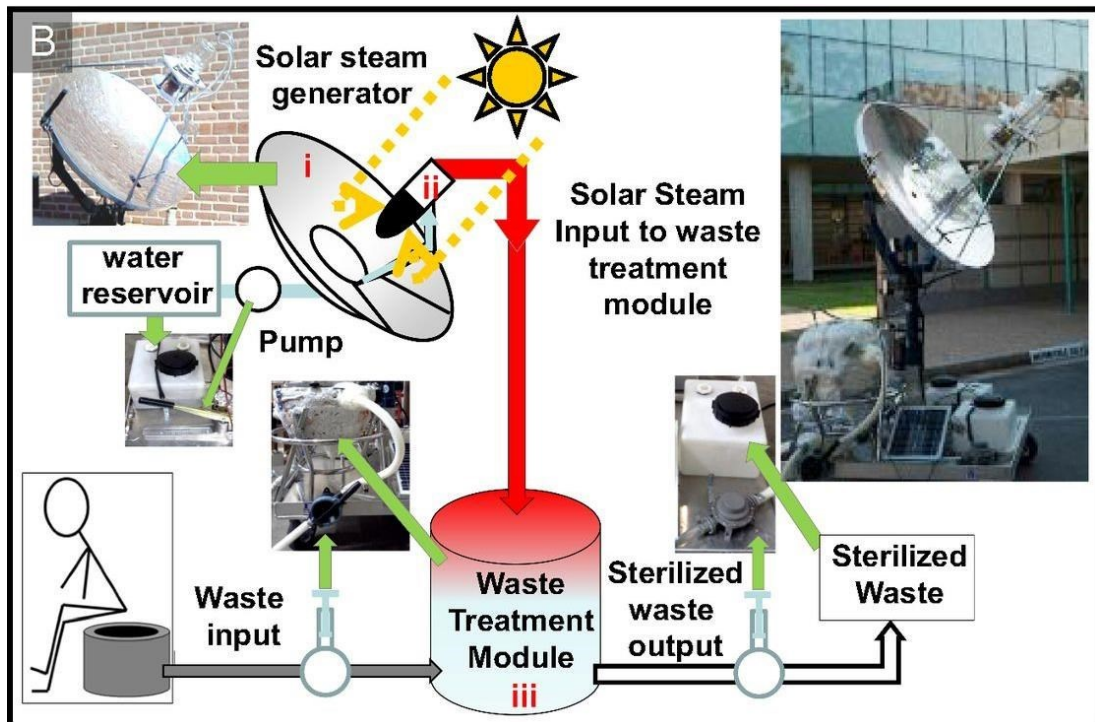


Figura 31(B): Schema e fotografia dell'autoclave solare a circuito aperto: i componenti del sistema sono (i) concentratore solare (specchio piatto da 44 pollici), (ii) collettore di calore contenente nanoparticelle metalliche e (iii) recipiente di sterilizzazione che contiene un sensore di pressione, due sensori a termocoppia, una valvola di sfiato del vapore e due pompe manuali e valvole che controllano l'ingresso e l'uscita dei rifiuti. Il sistema di parabole a concentratore solare ha un doppio sistema di tracciamento alimentato da una piccola batteria per auto ricaricata da un'unità a celle solari.

Nel caso di circuito aperto, per concentrare la luce solare nel fluido di lavoro acquoso disperso con nanoparticelle si utilizza un collettore solare e fornisce vapore in un volume di sterilizzazione con capacità di 14,2 litri (un'autoclave per fornelli disponibile in commercio). L'energia solare viene fornita a questa unità attraverso una parabola riflettente che segue il sole, è alimentata da una piccola batteria per auto ed è ricaricabile con un piccolo pannello solare. Il vapore generato viene trasmesso all'autoclave tramite tubi in silicone. I rifiuti non trattati vengono conferiti all'autoclave per mezzo di una pompa manuale meccanica, che può essere facilmente azionata da una sola persona. Dopo il processo di sterilizzazione, i rifiuti igienizzati vengono rimossi per gravità. Grazie al suo design semplice e modulare, il sistema può essere facilmente ampliato per fornire vapore ad alta temperatura per applicazioni su larga scala. La soluzione di nanoparticelle è contenuta in un recipiente isolato sottovuoto progettato su misura posizionato al centro del riflettore parabolico. Il vapore generato all'interno di questo modulo viene convogliato nel modulo di sterilizzazione dei rifiuti. Durante il normale

funzionamento, la temperatura del vapore viene mantenuta a 132 ° C per 5 min, il tempo richiesto per un ciclo di sterilizzazione standard dell'Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO). La temperatura del vapore è stata monitorata all'uscita del modulo di generazione del vapore e la temperatura della soluzione di scarto è stata monitorata all'interno del modulo di sterilizzazione. Si prevede che queste due posizioni raggiungano la temperatura di sterilizzazione con leggere differenze termiche (fasi gassose e liquide) all'interno del modulo di sterilizzazione durante il processo di sterilizzazione.

DIFFERENZA TRA CIRCUITO APERTO E CIRCUITO CHIUSO

La temperatura del vapore è stata monitorata in entrambe le tipologie al collegamento del vapore e al collegamento della condensa direttamente adiacente al modulo di sterilizzazione. Si prevede che queste due posizioni avranno rispettivamente la temperatura del vapore più alta e quella più bassa, consentendoci di misurare il gradiente di temperatura complessivo generato all'interno del modulo di sterilizzazione durante il processo di sterilizzazione. La temperatura del vapore prima e durante un ciclo di sterilizzazione è mostrata in (Fig. 31)

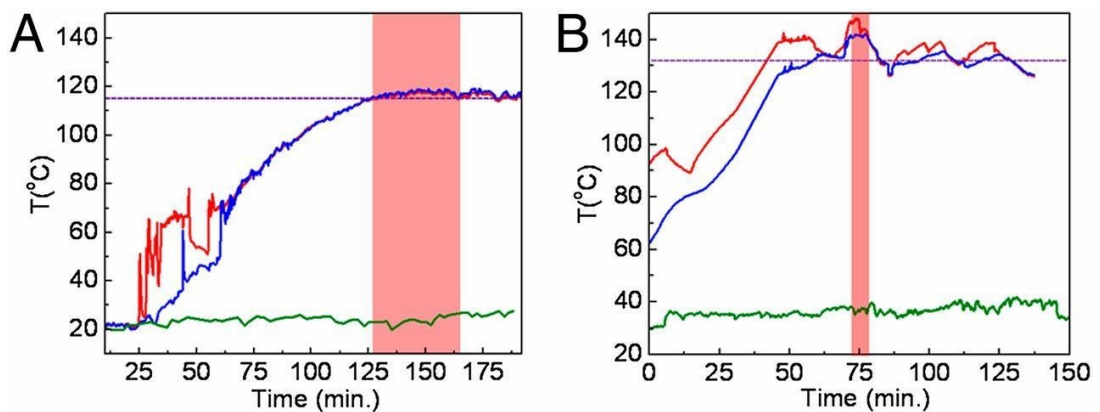


Figure 32: Distribuzione della temperatura dell'autoclave delle autoclavi solari (A) a circuito chiuso e (B) a circuito aperto. La temperatura del vapore rispetto al tempo misurata in due diversi punti in autoclave: superiore (curva rossa) e rispettivo fondo (curva blu). La linea tratteggiata indica la temperatura richiesta per la sterilizzazione e la casella rossa indica il regime di sterilizzazione (115 ° C per 20 min o 132 ° C per 4,6 min). La temperatura ambiente (verde) è stata monitorata come riferimento.

La curva rossa è la temperatura del vapore alla valvola di ingresso al recipiente di sterilizzazione, la curva blu è la temperatura della condensa all'uscita del recipiente di sterilizzazione e la temperatura ambiente è la curva verde. La

linea grigia tratteggiata rappresenta la temperatura richiesta per la sterilizzazione (115–132 ° C).

Nel caso del sistema a circuito chiuso (Fig.31 A), i picchi irregolari nelle curve di temperatura corrispondono a quando il vapore inizia ad entrare nel vaso. La termocoppia inferiore mostra due picchi principali durante il riscaldamento generati dal rilascio di aria non sterilizzata dal modulo di sterilizzazione. I dati di monitoraggio mostrano chiaramente che l'autoclave è facilmente in grado di mantenere una temperatura superiore a 115 ° C per più di 30 min del tempo di sterilizzazione richiesto a quella temperatura.

Nel caso del sistema ad anello aperto (Fig.31 B), la curva rossa è la temperatura del gas del vapore misurata alla valvola di ingresso del vaso, la curva blu è la temperatura all'interno del contenuto del vaso (materiale fecale artificiale) e la temperatura ambiente è la curva verde. La linea grigia tratteggiata rappresenta la temperatura desiderata richiesta per la sterilizzazione (132 ° C). Dopo un periodo iniziale di accelerazione di ~20 min, viene raggiunta la temperatura di sterilizzazione e la curva temperatura-tempo continua ad oscillare attorno a questo valore a causa del frequente rilascio di vapore dal recipiente di sterilizzazione attraverso la valvola di sicurezza della pressione. I dati sull'evoluzione del calore termico mostrano che l'autoclave è in grado di mantenere una temperatura intorno ai 132 ° C per più di 5 min. Per verificare se i sistemi possono raggiungere il livello di garanzia di sterilità definito dalla Food and Drug Administration (FDA) (pari a 1), è stato messo in funzione il sistema attraverso un ciclo con il recipiente di sterilizzazione contenente strisce indicatrici biologiche commerciali per *G. stearothermophilus* (EZTest Self-Contained Biological Indicator Strips ; SGM Biotech), un ceppo di riferimento comunemente utilizzato per i test di sterilizzazione. Le strisce reattive sono state fissate nel modulo di sterilizzazione vicino al flusso di ingresso e ai rubinetti del flusso di uscita o immerse in una soluzione di simulatore fecale.

Dopo il completamento del ciclo, le strisce sono state incubate per 36 ore a 55–60 ° C. I risultati sono mostrati in Fig. 33.

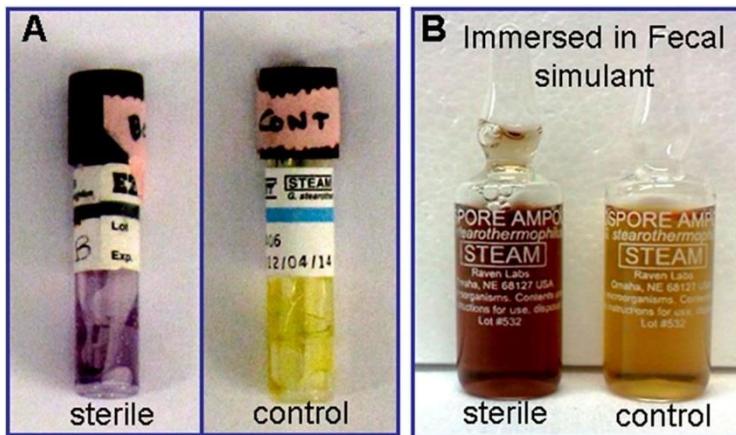


Figure 33: Indicatori biologici utilizzati per testare la sterilizzazione in autoclave solare. Fiale di test di *G. stearothermophilus* poste in varie posizioni nel modulo di sterilizzazione: (A) la parte superiore / inferiore dei vasi è stata sigillata per materiale solido e controllo non trattato e (B) posta in stimolante fecale sigillata per materiale liquido-solido e controllo non trattato.

Il cambiamento di colore mostrato dalle fiale, rispetto alla fiala di controllo, indica che la sterilizzazione si ottiene azionando l'autoclave solare attraverso un ciclo di 30 min a 115 ° C per il sistema a circuito chiuso e un ciclo di 5 min a 132 ° C per il sistema ad anello aperto. Se alcune spore sopravvivono a un ciclo di sterilizzazione, il terreno di coltura dell'indicatore biologico subisce un cambiamento di colore da viola a giallo. Il cambiamento di colore osservato indica che la sopravvivenza delle spore non si è verificata.

In conclusione ,le due autoclavi solari compatte abilitate dalla generazione di vapore utilizzando nanoparticelle a banda larga che assorbono la luce mantengono temperature comprese tra 115 ° C e 132 ° C per il periodo di tempo sufficiente a sterilizzare il contenuto di un volume di 14,2 litri, in conformità con i requisiti di sterilizzazione della Food and Drug Administration. L'utilizzo di un collettore solare a piatto parabolico consente un tempo di riscaldamento più rapido e temperature di esercizio più elevate, che abbreviano notevolmente il tempo del ciclo di sterilizzazione (da 15 min a 121 ° C a 5 min a 132 ° C). Le nanoparticelle non vengono consumate dal processo di riscaldamento e possono essere riutilizzate indefinitamente; l'unico materiale di consumo è l'acqua, che non deve essere sterilizzata prima dell'uso. [16]

3.6 Sterilizzatore solare con uso di aerogel

Questa tipologia di sterilizzatore è costituita da un dispositivo solare termico fisso in grado di fornire il vapore saturo oltre i 100 °C grazie ad uno strato di aerogel trasparente ottimizzato che gli fornisce una concentrazione solare maggiore e grazie al quale il dispositivo può convertire in modo più efficiente l'energia solare in calore per guidare il processo di generazione di vapore. Il vapore saturo ($T > 121\text{ C}$ e $P > 205\text{ kPa}$), come già descritto nel capitolo 2, è ampiamente utilizzato nel processo di sterilizzazione medica noto come autoclave. Tuttavia, la generazione di vapore ad energia solare a temperature e pressioni così elevate richiede costosi concentratori ottici, simili a quelli utilizzati negli impianti solari termici su larga scala, per far bollire l'acqua con la luce solare. Un concentratore ottico focalizza la radiazione solare in entrata su un assorbitore, come mostrato nella Fig. 34 A (a sinistra), aumentandone la temperatura e il flusso di calore oltre la soglia di ebollizione per avviare la generazione di vapore. Tuttavia, il costo e la complessità degli ingombranti concentratori ottici e dei sistemi di tracciamento associati hanno impedito l'adozione diffusa della generazione di vapore solare, specialmente in aree remote e con risorse limitate. Un approccio alternativo e più semplice per aumentare localmente la temperatura e il flusso di calore è tramite la concentrazione termica. In questo caso, una superficie assorbente solare più grande converte la luce solare in calore e conduce il calore in un'area più piccola, aumentando così il flusso di calore per consentire la generazione di vapore come mostrato nella Figura 34 A (a destra). L'approccio della concentrazione termica si basa sulla conduzione del calore che può essere facilmente realizzata utilizzando materiali termoconduttori a basso costo (ad esempio metalli) senza parti in movimento.

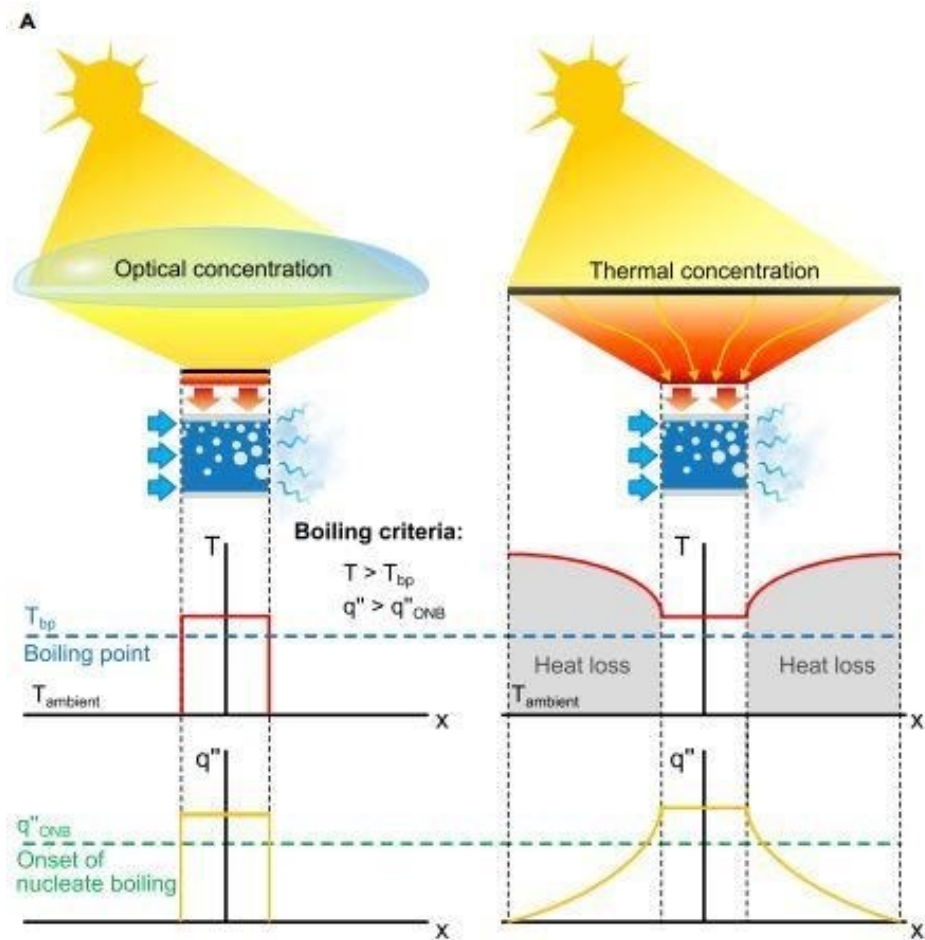


Figure 34: Generazione di vapore saturo abilitata alla concentrazione termica. (A) Aumento del flusso di calore locale mediante concentrazione ottica (sinistra) e termica (destra). Per avviare l'ebollizione nucleata dell'acqua, la temperatura superficiale deve essere superiore al punto di ebollizione (surriscaldamento della parete) e il flusso di calore locale deve superare il valore all'inizio dell'ebollizione nucleata. Il pannello centrale e inferiore illustra la corrispondente distribuzione della temperatura e del flusso di calore lungo la superficie dell'assorbitore solare per la concentrazione ottica e termica. L'area ombreggiata nella distribuzione della temperatura dell'approccio termico indica la perdita di calore aggiuntiva dovuta all'area dell'assorbitore allargata

In questo sistema di sterilizzazione, un dispositivo solare termico passivo è in grado di generare vapore saturo, alle condizioni di sterilizzazione richieste, anche con cieli parzialmente nuvolosi e velati senza parti in movimento.

Abilitato da uno strato di aerogel di silice ottimizzato, il dispositivo utilizza un assorbitore solare ad alette tubolari pronto all'uso per raggiungere la temperatura e il flusso di calore richiesti tramite la concentrazione termica. Al fine di superare la limitazione della perdita di calore, sono state fabbricate piastrelle di aerogel di silice otticamente trasparenti e termoisolanti e integrate nel dispositivo per ridurre il coefficiente di perdita di calore effettiva h a circa $1 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Una soppressione di 10 volte rispetto ai tipici sistemi aperti a

vapore. Questa perdita di calore estremamente bassa consente al processo di concentrazione termica di essere efficiente quanto la controparte di concentrazione ottica (Fig. 35). In un test sul campo eseguito a Mumbai, India ($19^{\circ}7'48''N, 72^{\circ}55'8''E$), il dispositivo ha generato vapore saturo a $100^{\circ}C$ con efficienza del 56% (flusso solare solar $0,7 \text{ kW} / \text{m}^2$). Più di 2 volte superiore alla massima efficienza riportata ottenuta in un ambiente di laboratorio controllato con illuminazione solare costante.

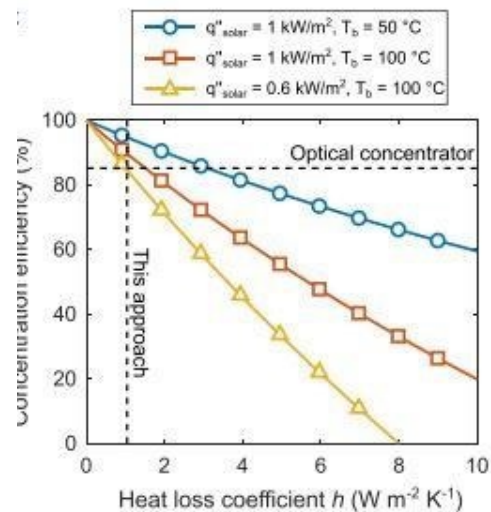


Figura 35: Efficienza della concentrazione termica in funzione del coefficiente di perdita di calore superficiale h per diversi flussi solari e temperature di base. La linea tratteggiata orizzontale mostra le prestazioni di un tipico concentratore ottico e la linea tratteggiata verticale mostra le prestazioni di concentrazione termica comparabili ottenute in questo lavoro

Oltre al processo di concentrazione termica altamente efficiente, la geometria planare dell'assorbitore facilita l'uso di un semplice concentratore parabolico composto non tracciabile (CPC) per aumentare ulteriormente la capacità di potenza del dispositivo a discapito di un'efficienza leggermente ridotta del 47%. Grazie all'elevata efficienza energetica, il processo di sterilizzazione a $128^{\circ}C$ e 250 kPa è stato dimostrato e verificato con successo utilizzando un nastro indicatore standard per autoclave. La progettazione e la costruzione del prototipo del generatore di vapore è mostrata nella Fig. 36.

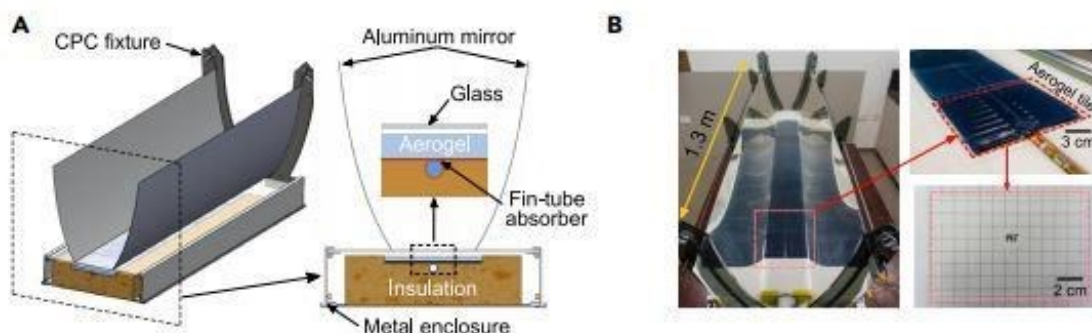


Figure 36: : Progettazione e fabbricazione del prototipo del generatore di vapore.

(A) Schema CAD e (B) fotografia del prototipo assemblato.

Un assorbitore ad alette tubolari (Thermafin Manufacturing, 127 mm × 965 mm) in rame con rivestimento ad assorbimento solare selettivo è stato utilizzato per l'elevato assorbimento solare, la bassa emittenza infrarossa e l'elevata conduttività termica. La parte posteriore dell'assorbitore è stata isolata da un foglio di fibra di vetro spesso 50 mm. L'assorbitore è alloggiato all'interno di un involucro protettivo in alluminio e l'apertura superiore è stata coperta da una lastra di vetro borosilicato (Swift Glass, spessore 3,3 mm) per ridurre la perdita di calore nel lato posteriore. Per coprire l'intera superficie di assorbimento solare sono stati piastrellati dieci campioni monolitici di aerogel trasparenti (150 mm × 100 mm × 7 mm) (riquadro rosso tratteggiato in B). Il CPC senza tracciamento è stato costruito piegando due specchi di alluminio nella forma parabolica progettata. L'ottimizzazione del trasporto ottico e termico nel prototipo del generatore di vapore consente una concentrazione termica efficiente, infatti, la radiazione solare viene catturata e assorbita con una perdita minima. L'elevata trasmittanza solare dell'aerogel di silice e del vetro, in combinazione con l'elevata riflettanza dello specchio concentratore, assicura che la maggior parte della radiazione solare incidente raggiunga l'assorbitore e venga convertita in calore. (Fig.37).

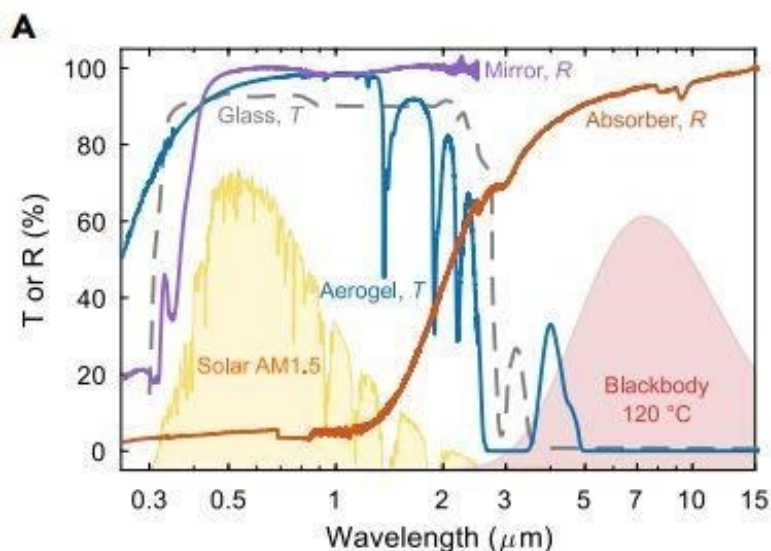


Figura 37: (A) Spettri di trasmittanza (T) e riflettanza (R) dell'aerogel, dell'assorbitore, del vetro e dello specchio nella regione solare e dell'infrarosso

Lo spessore ottimale dell'aerogel dipende dalle condizioni operative ovvero dalla temperatura dell'assorbitore e il flusso di radiazione solare.

La figura 38 D illustra l'andamento della perdita ottica e termica in funzione dello spessore dell'aerogel per due flussi solari rappresentativi (1, 2 kW / m²) a 100 C. In entrambi i casi, la perdita totale di energia diminuisce rapidamente con l'aumentare dello spessore

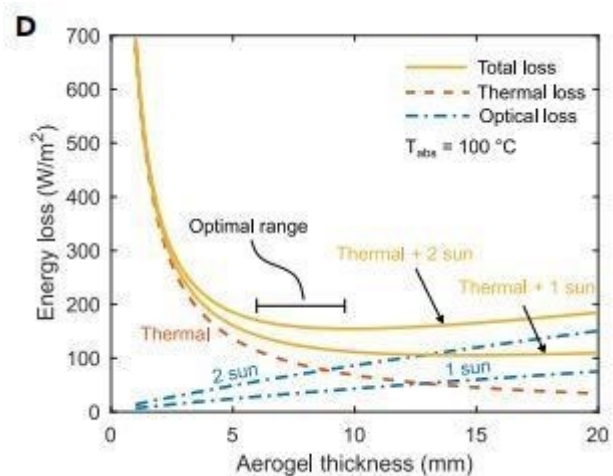


Figura 38: (D) Perdita di energia ottica, termica e totale in funzione dello spessore dell'aerogel per un flusso solare in ingresso di 1 e 2 kW / m² e della temperatura dell'assorbitore di 100 C.

dell'aerogel a piccoli spessori di aerogel (<5 mm). Quando lo

spessore dell'aerogel è maggiore di

10 mm, la perdita di energia totale inizia a livellarsi e alla fine aumenta a causa della predominanza delle perdite ottiche. Questo compromesso si traduce in

una gamma di spessori di aerogel ottimale di 6–9 mm, che rappresenta

l'equilibrio più favorevole tra perdita ottica e termica. Pertanto, nel prototipo sono state utilizzate piastrelle in aerogel di 7 mm di spessore. L'aerogel ottimizzato è stata una caratteristica chiave che ha consentito al prototipo, altrimenti costruito con componenti standard, di essere un generatore di vapore solare ad alte prestazioni in grado di raggiungere le temperature e le pressioni richieste per la sterilizzazione senza fare affidamento su sistemi ottici complicati o infrastrutture costose.

Per valutare le prestazioni del prototipo in condizioni meteorologiche realistiche, sono state eseguite delle prove di generazione di vapore e sterilizzazione a Mumbai, in India, come luogo di prova sul campo rappresentativo nel mondo in via di sviluppo. Gli esperimenti sono stati condotti sul tetto dell'edificio del Department of Energy Science and Engineering nel campus dell'Indian Institute of Technology Bombay ed hanno avuto ottimi risultati. [17]

Capitolo 4 : Soluzioni costruttive in ambito domestico

I sistemi per lo sfruttamento dell'energia solare, sviluppati per l'utilizzo dell'energia termica in ambito domestico (solar cooker) e sanitario (solarclave), che da questa ne deriva, si basano sulla concentrazione della radiazione solare in un punto, che consente il raggiungimento di temperature tali da poter sostenere i processi di cottura dei cibi o, come descritto nel precedente capitolo, di sterilizzazione della strumentazione medica. La tecnologia di cottura solare termica è una soluzione ideale a numerose sfide globali, come l'invasione del deserto e il surriscaldamento globale. Le risorse energetiche basate sui combustibili fossili continuano a predominare con la quota più alta nel consumo energetico globale. La cucina solare consente alle persone di respirare aria più pulita, riduce le emissioni di anidride carbonica, sconfigge le malattie trasmesse dall'acqua, preserva gli habitat, aumenta la sicurezza e le opportunità per donne e bambini e protegge la biodiversità. Poiché la salute umana, la qualità della vita e gli ambienti sono influenzati dalle scelte del combustibile per cucinare, la cucina solare offre una soluzione alle difficili scelte che molte famiglie fanno ogni giorno: acquistare carburante o acquistare cibo per soddisfare altre esigenze familiari. L'energia gratuita del sole è una soluzione praticabile per tutti coloro che vivono dove il sole splende. [18]

I fornelli solari sono stati classificati in vari modi, in base alla forma e / o alla funzione, le soluzioni costruttive di base, nate in ambito domestico sono principalmente tre: (Fig. 39)

- solar box cooker
- solar panel cooker
- solar parabolic cooker

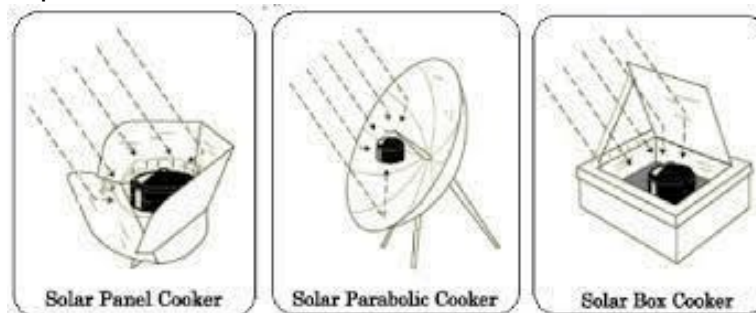


Figure 39: Tipi di fornelli solari

4.1 Solar Box Cooker

I primi progetti di forno solare furono proprio di questo tipo, ovvero una scatola rettangolare isolata con vetri, progettato dal naturalista svizzero de-Saussure nel 1767. La storia dice che l'interesse di de-Saussure per la cucina solare si è acceso quando ha osservato che la frutta conservata sotto una ciotola di vetro capovolta, posta al sole, veniva cotta. Questa osservazione lo ha spinto a progettare il primo fornello solare. Più tardi, nel 1945, il signor MK Ghosh progettò il primo fornello solare a scatola come prodotto commerciale. Il suo design si basa sul concetto di un forno tradizionale moderno in cui il cibo è collocato all'interno di una scatola isolata allo scopo di trattenere ed intrappolare i raggi solari che penetrano attraverso un rivestimento di vetro trasparente. La scatola di cottura può essere realizzata con qualsiasi tipo di materiale: legno, plastica, cartone ecc. Le soluzioni costruttive più avanzate adoperano due scatole di dimensioni diverse per poter adattare quella più piccola all'interno di quella più grande, creando così un'intercapedine intorno alla scatola più piccola che può essere riempita con carta, fieno, fibra di vetro o qualsiasi altro isolante termico in modo da ridurre la fuga di calore per conduzione. La realizzazione dei pannelli riflettenti è ottenuta utilizzando fogli di alluminio applicati su cartone opportunamente sagomato o attraverso pannelli di lamiera o di latta lucidati a specchio o tramite specchi. I pannelli riflettono la radiazione solare sul recipiente adibito alla cottura del cibo posto sotto una coppa di vetro e situato all'interno della scatola che viene colorata di nero per massimizzare l'assorbimento. La copertura in plastica o vetro consente ai raggi UV di penetrare comportandosi allo stesso tempo da isolante nei confronti dell'energia termica immagazzinata all'interno (Fig.40). Tramite questa tecnologia è possibile raggiungere temperature dell'ordine di 150-200 °C ed è possibile adagiare più pentole, in genere impiegano da una a tre ore per cucinare vari alimenti. Il design di De-Saussure ha ora guadagnato una vasta popolarità e grazie alla sua robustezza, affidabilità e facilità d'uso rappresenta la varietà più comune e popolare di cucina solare. Il design gode anche di un ampio supporto da parte della comunità scientifica del mondo, che sta cercando di stimare l'efficienza energetica ed exergetica e armeggiare con ogni aspetto, come le dimensioni,

aggiungendo riflettori interni o esterni in più numeri per migliorare le prestazioni (Fig.41) . [18]

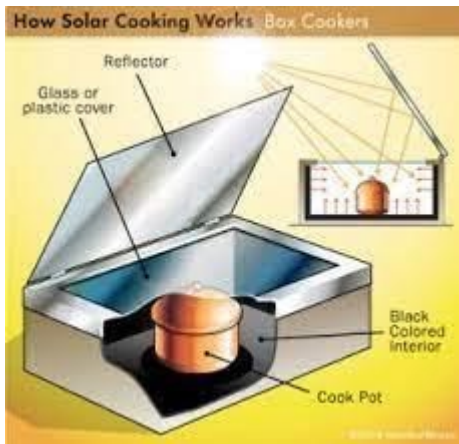


Figura 41: Rappresentazione grafica Box Figura 40: Box Cooker migliorato Cooker

4.2 Solar Panel Cooker

I fornelli a pannelli solari sono solitamente configurazioni semplici che possono essere facilmente prodotte. La realizzazione dei pannelli riflettenti è ottenuta allo stesso modo della cucina solare a scatola vista nel paragrafo precedente.

Esistono diversi modelli:

Fun panel cooker (fornello a imbuto): i pannelli riflettono la radiazione solare sul recipiente adibito alla cottura del cibo che è contenuto in un sacchetto di plastica trasparente resistente alle temperature raggiunte, o posto sotto una coppa di vetro e situato in posizione tale che la sagomatura dei pannelli formi intorno ad esso un semicerchio in grado di convogliare la radiazione solare sulla sua superficie. Anche la copertura trasparente assume la medesima funzione vista in precedenza lasciando penetrare i raggi solari e comportandosi allo stesso tempo da isolante nei confronti dell'energia termica immagazzinata all'interno (Fig.42). Questa soluzione presenta una notevole semplicità



costruttiva e risulta molto economica nella sua realizzazione, consentendo il raggiungimento di temperature tra 100 °C e 120 °C, che seppur inferiori a quelle raggiungibili mediante le altre tipologie di cucina solare presentano comunque una notevole efficacia nella maggior parte delle situazioni. [19]

Figura 42: Fun Panel Cooker

Pucca cooker (fornello a imbuto di cemento): nel 2009 Celestino Ruivo ha sviluppato una variante del fornello più resistente attraverso l'utilizzo di materiali comuni e disponibili in loco, come il cemento e specchi. Per realizzare l'effetto serra ha utilizzato due finestre riciclate di lavabiancheria invece di un sacchetto di plastica (Fig.43).

Questo modello può essere utilizzato senza problemi in inverno, è resistente alla pioggia e al vento in quanto molto pesante, è facilmente pulibile e molto duraturo. La capacità termica utile di questo forno è stata stimata intorno ad un valore di 100 W.



[20]

Figura 43: Fun Panel in cemento (Celestino Ruivo)

Cookit: è il più famoso panel cooker. Basato su un progetto dello scienziato francese Roger Bernard e sviluppato da Solar Cookers International (SCI) nel 1994, è realizzato in cartone e pellicola sagomata, pesa 0,5 kg e si piega per avere le dimensioni di un grande notebook quando non viene utilizzato (Fig. 44).



Uno degli svantaggi della cucina a pannelli è la sua instabilità, a causa della flessibilità della struttura, per questo motivo sono state progettate

molte *Figura 44: Cookit piegato* configurazioni differenti. La legatura con delle pietre sembra essere molto apprezzata da COOKIT, anche se vengono usati svariati metodi per renderli stabili. [18]

Kimono Solar Cooker: nata dall'ing. Matteo Muccioli è una configurazione molto utilizzata ed in costante evoluzione. Il fornello presenta una geometria autoportante composto da due gruppi ottici principali costituiti da pannelli riflettenti di diversi materiali (cartone e plexiglass rivestiti con materiale riflettente) fissati tramite un perno scorrevole che permette sia di orientarli e fissarli in posizione diversa in base all'orientamento del sole sia di consentire l'apertura e la rotazione degli stessi gruppi ottici in modo da consentire alla stufa di irradiarsi sia dalla parte superiore che dai lati del ricevitore (Fig.45). [21]



Figura 45: Kimono solar cooker (Matteo Muccioli)

4.3 Solar Parabolic Cooker

Questa soluzione si presenta costruttivamente più complicata rispetto a quelle viste in precedenza a causa della necessità di una maggiore precisione richiesta per la realizzazione, dovuta al principio su cui la concentrazione della radiazione solare attraverso una superficie parabolica si fonda, ovvero la convergenza nel punto focale dei raggi che giungono paralleli all'asse della parabola e la capacità del sistema di mantenere la superficie ricevente costantemente raggiunta dal fascio concentrato (Fig.44). Comunemente denominate “cucine a concentrazione”, consentono di raggiungere temperature superiori ai 200 °C con una rapidità maggiore rispetto alle soluzioni precedenti. Il concentratore è solitamente costituito da un paraboloide di circa 1,4 m di diametro realizzato

mediante parabole satellitari, ombrelloni o fogli di lamiera appositamente tagliati ed assemblati per ottenere questa forma e fissato a un supporto stabile in modo tale che possa essere facilmente ruotato per seguire l'altitudine solare e gli angoli azimutali, ogni 15-20 min. Un gruppo di ricercatori messicani ha sviluppato una tecnica innovativa per ottenere una parabola completamente in cartone. Sono state elaborate anche delle varianti in sostituzione del paraboloido vero e proprio, utilizzando superfici curve riflettenti paraboliche o una serie di specchi piani che realizzano complessivamente una superficie parabolica in grado di concentrare la radiazione nel punto focale (Fig.46). Questo sistema necessita di un sostegno strutturale che renda possibile l'inclinazione ottimale a concentrare la maggior parte dei raggi solari incidenti e consenta di mantenere la pentola alla giusta distanza focale. Il contesto in cui ci si propone l'utilizzo di tali sistemi, impone che questi siano facilmente assemblabili a partire da materiale di non difficile reperimento, quindi, sia partendo da considerazioni di natura economica sia volendo mantenere un elevato livello di semplicità costruttiva, non è pensabile per sistemi di questo tipo realizzare un meccanismo di inseguimento automatico del sole ma risulta importante conoscere quale sia l'inclinazione ottimale della superficie captante per ogni ora del giorno in modo tale da consentire il massimo della raccolta dell'energia radiante concentrata e non avere un crollo dell'efficienza ottica e di conseguenza di quella termica. [18]

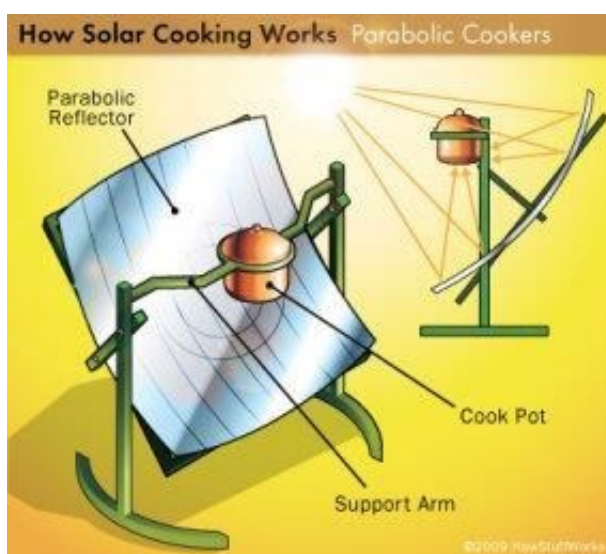


Figure 46: Parabolic Solar Cooker

Capitolo 5 : Soluzioni costruttive su larga scala e in ambito istituzionale

La cottura solare è un ottimo potenziale anche per applicazioni a livello istituzionale che prevede la cottura per gruppi anche con un unico sistema di cottura solare integrato, piuttosto che utilizzare semplicemente molti fornelli solari più piccoli. Può essere progettato per l'uso in mense, ristoranti o panifici, templi, scuole o strutture di produzione su larga scala che preparano molte migliaia di pasti al giorno offrendo opportunità vantaggiose sia dal punto di vista ambientale che economico. A seconda del numero di persone, l'istituto potrebbe essere indicato come istituto piccolo (fino a 50 persone), medio (50-100 persone) e grande (oltre 100 persone). Il numero di pasti in caso di cucina istituzionale potrebbe variare da un minimo di 20-25 pasti a poche migliaia di pasti alla volta. Una delle caratteristiche favorevoli della cucina istituzionale è che gran parte di un pasto cucinato comporta essenzialmente l'ebollizione degli ingredienti del cibo nell'acqua (come riso, legumi, patate, ecc.).

5.1 India : tipologie e progetti di cucina istituzionale

L'India, sotto la pressione comune del cambiamento climatico globale e della domanda interna di energia, ha iniziato ad attribuire importanza allo sviluppo di energia solare diventando la prima scelta di utilizzo per quasi tutti gli usi. Al fine di promuovere rapidamente lo sviluppo dell'industria dell'energia solare, il governo indiano ha avanzato l'ambizioso obiettivo che la capacità installata di energia solare raggiunga i 100 GW nel 2022. Lo

sviluppo dell'energia solare è diventato il fulcro dell'India nel nuovo campo energetico essendo uno dei paesi più ricchi di energia solare al mondo grazie alla posizione geografica a ridosso dei tropici e nelle regioni subtropicali.

Secondo le stime, la maggior parte dell'India ha circa 250-300 giorni di luce all'anno, specialmente nelle regioni centrali e nord-occidentali (GENI, 2013). La radiazione solare media annua che arriva in India è di $20 \text{ MW} / \text{km}^2$ e l'intensità di luce solare giornaliera è fino a $4 \sim 7 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$ (MNRE, 2017). Inoltre, il potenziale di generazione di energia delle risorse di energia solare dell'India

(750 GW) supera di gran lunga altre energie rinnovabili come l'energia eolica (102 GW, 80 m di altitudine, escluse le risorse eoliche offshore), la piccola energia idroelettrica (20 GW) e l'energia da biomassa (25 GW). Non è difficile scoprire che l'abbondante risorsa di energia solare è un motivo importante per il governo indiano per favorire l'energia solare tra le altre energie pulite. [22]

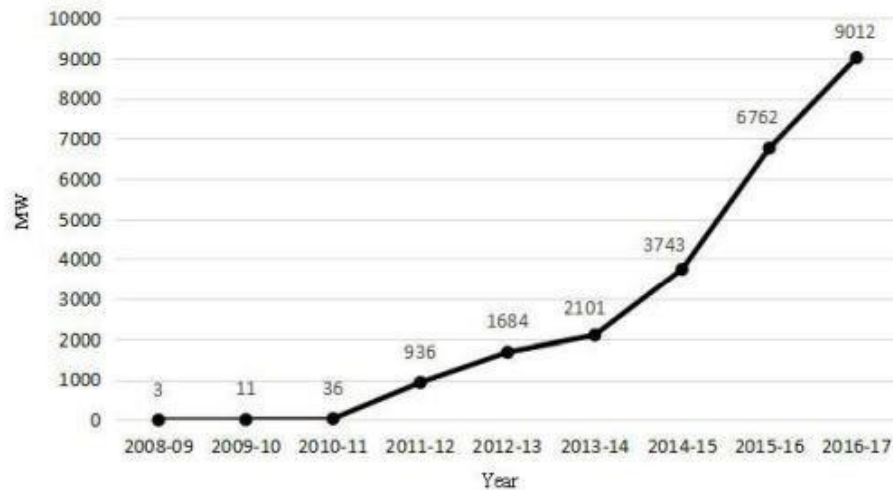


Grafico 1: Capacità solare installata tra il 2008-09 e il 2016-17 in India

In India, il settore della cucina rappresenta quasi il 40% del totale consumo di energia, l'interesse per la cucina solare istituzionale è cresciuto costantemente negli ultimi anni. Negli ospedali, ai pazienti ricoverati viene fornito un pasto cucinato che contiene principalmente cibi bolliti (come riso, legumi, latte).

Il tipo di bollitura può essere suddiviso nelle seguenti due fasi:

- *Fase di riscaldamento* in cui la temperatura del cibo crudo, dell'acqua e della pentola viene aumentata dalla temperatura iniziale dell'acqua (spesso pari alla temperatura ambiente) alla temperatura di ebollizione dell'acqua.
- *Fase di bollitura* che prevede il mantenimento della temperatura della pentola e degli ingredienti del cibo nella pentola intorno alla temperatura di ebollizione dell'acqua per un certo periodo di tempo per garantire che il cibo crudo sia completamente cotto.

“L'energia utile totale richiesta per cucinare è la somma dell'energia utile richiesta in ogni fase della cottura.”

Tuttavia, i valori stimati delle cucine istituzionali, comunitarie e commerciali in India, nonché le corrispondenti stime del fabbisogno energetico per cucinare come riportato in letteratura, sono presentati nella Tabella 2 .

Secondo studi recenti, il fabbisogno giornaliero di energia utile per cucinare varia tra 1,7 e 2,7 MJ / persona / giorno. Pertanto, è richiesta una grande quantità di combustibile (i) su base giornaliera per la cottura degli alimenti sia a livello familiare che istituzionale.

Potenziali istituzioni / comunità	Numero di entità (circa)	Numero previsto di beneficiari (milioni) al giorno	Potenziale di risparmio energetico utile (GJ) al giorno ^a	Risparmio di GPL atteso al giorno (tonnellate) ^b
Scuole governative (programma pasto a metà giornata)	1150000	102	40800-51000	1609-2011
Scuole residenziali	34350	0.9	1530-2430	60-96
Ostelli per studenti (studi superiori)	31232	3.6	6120-9720	241-383
Prigioni (prigioni)	1387	0.4	680-1080	27-43
Ostelli per donne lavoratrici	916	0,07	119-189	5-7
Centri religiosi / spirituali	-	0.63	1071-1701	42-67
Settore alberghiero e della ristorazione	2200000	-	-	-

Tabella 2 : Potenziali istituzioni / comunità / entità commerciali in India, dove : *a* = Energia utile per cucinare 1,7-2,7 MJ / persona / giorno ; *b* = Potere calorifico del GPL - 46,1 MJ / kg ed efficienza di utilizzo nella stufa a GPL - 55%

Vale la pena ricordare che potrebbe non essere fattibile eseguire la cottura solare tutti i giorni dell'anno a causa dell'intermittenza e della variabilità della risorsa solare nel luogo. Inoltre, è stato riportato in letteratura che solo i sistemi

di cottura solare del tipo a concentrazione sono adatti per la cottura solare istituzionale poiché i fornelli del tipo non concentrante (cioè del tipo a scatola) potrebbero non essere adatti per la cottura su larga scala, specialmente quando i pasti devono essere serviti all'interno di un periodo di tempo specificato (Mahavar et al.2013; Pohekar e Ramachandran 2006). In questo capitolo vengono discussi solo i sistemi di cottura solare a concentrazione per applicazioni di cucina istituzionale / comunitaria dove viene utilizzato un piatto riflettente per concentrare l'irradiazione normale diretta (DNI) su una piccola porzione del ricevitore mantenuto nel suo punto focale. A causa della concentrazione della radiazione solare su una piccola porzione del ricevitore, è possibile ottenere una temperatura elevata dell'ordine di 400 ° C con un rapporto di concentrazione superiore a 50-60 che si traduce in una velocità di cottura più rapida. I ricevitori sono generalmente verniciati con rivestimento nero per migliorare le loro prestazioni termiche. I fornelli solari a concentrazione possono essere classificati in diversi metodi a seconda delle loro caratteristiche, come ad esempio, a seconda del metodo di trasferimento del calore alla pentola possono essere:

- TIPO DIRETTO : la radiazione solare si concentra direttamente sulla pentola
 - TIPO INDIRETTO : l'energia solare viene prima utilizzata per produrre vapore ad alta temperatura e pressione e la stessa viene poi trasportata in cucina
- } → PIATTO PARABOLICO
e PIATTO SCHEFFLER
- } → PARABOLA ARUN®
e SCHEFFLER

Per la cucina solare istituzionale, quindi, vengono utilizzati principalmente tre tipi di concentratori solari promossi dal Ministero delle Energie Nuove e Rinnovabili (MNRE) per le applicazioni in cucina. Questi sono :

- **PIATTI PARABOLICI** (tipo SK, tipo PRINCE) : fornelli solari a paraboloidi a tracciamento manuale per cottura diretta di 10-40 persone .

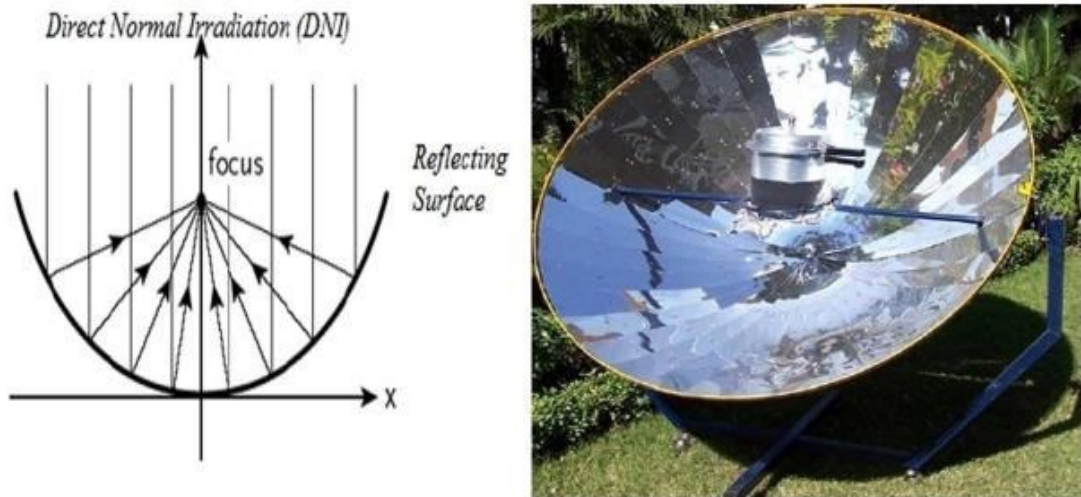


Figure 47: Principio di funzionamento del fornello a parabola solare

Un fornello solare a piatto parabolico consiste in un concentratore solare montato su un supporto strutturale con 4-6 ruote piroettanti per facilitare il tracciamento manuale del sole durante la giornata. I materiali riflettenti includono foglio di alluminio e acciaio lucido e devono avere una riflettività superiore all'80% secondo le specifiche tecniche prescritte dal Ministero delle Energie Pulite e Rinnovabile del Governo dell'India (MNRE-GOI) . La pentola è posizionata su un supporto fissato al telaio nel punto focale del paraboloide. Il fornello solare a piatto parabolico utilizza le caratteristiche ottiche di un paraboloide per riflettere tutti i raggi incidenti di irraggiamento normale diretto sulla sua apertura al suo punto focale, nelle giornate di sole può raggiungere temperature elevate (250° - 400° C) e quindi si adatta facilmente alle cotture veloci (Fig. 47). Questa tipologia di fornello è disponibile in diversi diametri di apertura e lunghezza focale. Un fornello SK-14, ad esempio, con diametro di apertura di 1,4 m e lunghezza focale di 0,28 m può far bollire 2 litri di acqua in 15 min con un valore di irradiazione normale diretta (DNI) di 600 W e può essere utilizzato per la cucina domestica fino a 10 – 15 persone, tuttavia, per la cottura a livello istituzionale (da livello piccolo a medio) è richiesto un piatto parabolico con un raggio di apertura maggiore che va da 1 a 10 metri. Esistono diversi modelli commercializzati da vari produttori in India (SK-20,SK-23,SK30,PRINCE-40), tra questi, i modelli che vengono utilizzati per la cucina a livello istituzionali sono SK-23 ,SK-30 e PRINCE-40 (con parabola quadrata) in

quanto riescono a garantire circa 40 / 50 pasti al giorno e facendo risparmiare 25 / 30 bombole di GPL all'anno. [23]

- **PIATTO SCHEFFLER** : disco parabolico ellittico a fuoco fisso tracciato automaticamente

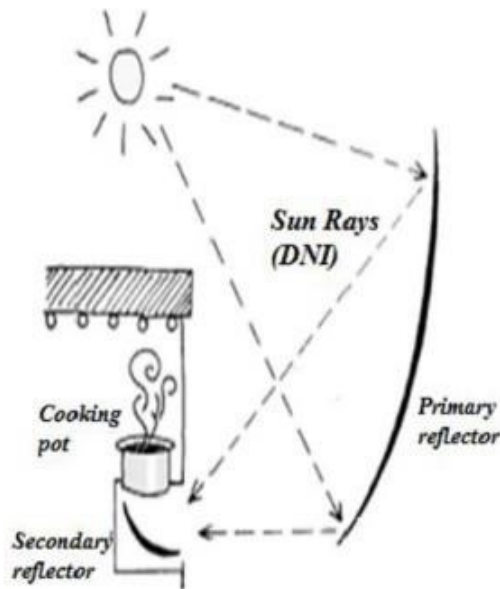
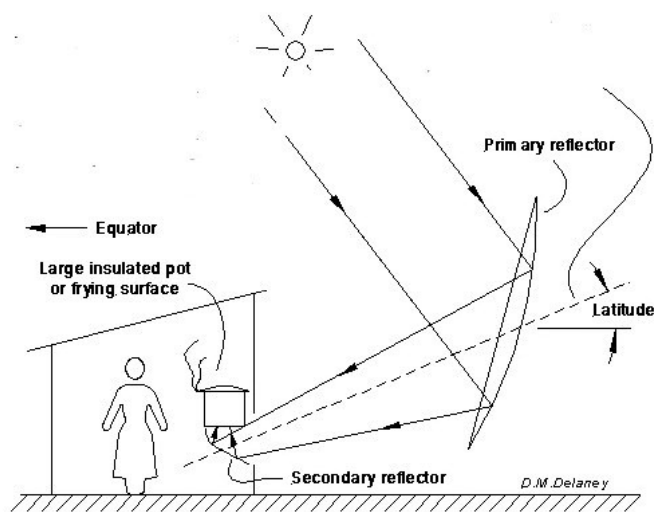


Figure 48: : Funzionamento del sistema di cottura diretta Scheffler

Un sistema di cottura solare a base di piatti Scheffler solitamente è composto da tre componenti:

- Concentratore Scheffler
- Ricevitore
- Dispositivo di tracciamento

I riflettori concentranti seguono il movimento del sole, riflettono la luce del sole e la concentra su una posizione fissa (ricevitore). In alcune configurazioni la luce solare riflessa e concentrata entra direttamente in una cucina vicina per colpire una pentola o una superficie. In altre configurazioni, la luce solare concentrata viene utilizzata prima per creare vapore che viene poi trasportato attraverso dei tubi in una cucina vicina. L'eliostato (dispositivo di tracciamento) è un dispositivo che riflette la luce solare in una direzione fissa mentre il sole si muove; è costituito da un riflettore concentrante ruotato da un meccanismo a orologeria alimentato a gravità o pannelli fotovoltaici.

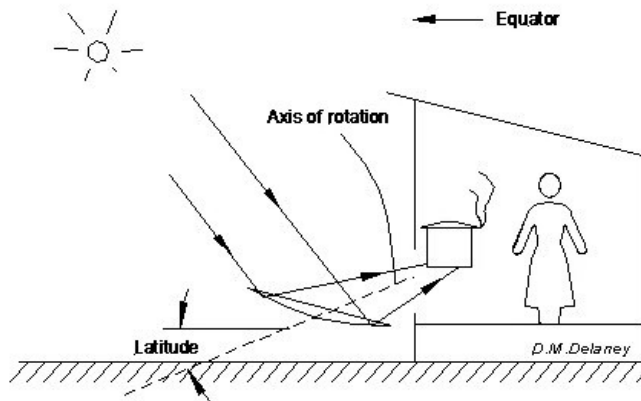


Il riflettore rotante produce un fascio di luce solare convergente allineato con il proprio asse di rotazione, parallelo all'asse terrestre. Il raggio convergente della luce solare riflessa entra in cucina attraverso un foro nel muro. Quando il riflettore rotante (in questo caso il riflettore primario) è

Figura 49: Principio di funzionamento del riflettore Scheffler posizionato sul lato polare della cucina, un riflettore secondario fisso all'interno della cucina reindirizza il raggio verso l'alto verso il fondo nero di una pentola dove viene assorbito e convertito in energia termica. Il riflettore rotante ruota a una velocità di un giro al giorno (15 gradi all'ora) per mantenere il raggio riflesso allineato con l'asse di rotazione mentre il sole si muove (Fig.49).

Ogni mattina, l'operatore ruota il riflettore concentrante in una posizione di partenza in cui il raggio riflesso è allineato con l'asse di rotazione del riflettore e avvia il meccanismo a orologeria. Ogni tanto l'operatore regola l'angolo tra l'asse di rotazione e il riflettore concentrante per adattarsi alla variazione stagionale dell'altezza del sole. Una volta che il raggio riflesso è allineato con l'asse di rotazione del riflettore concentrante e il meccanismo a orologeria è in movimento, il raggio riflesso rimane allineato con l'asse di rotazione per tutto il giorno. La forma del riflettore concentrante si avvicina a una sezione fuori asse di un paraboloide, inoltre, a causa della variazione stagionale dell'altezza del sole si richiede di cambiare non solo l'angolo tra il riflettore concentrante e il suo asse di rotazione, ma anche la forma del riflettore.

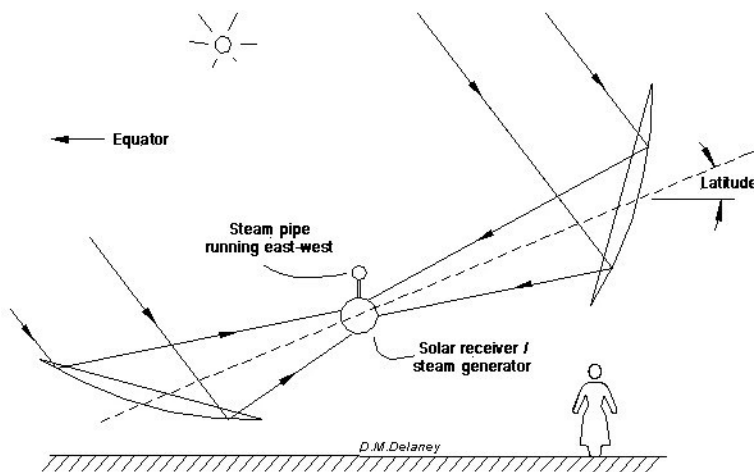
La superficie riflettente del concentratore è costituita da una serie di sfaccettature, solitamente specchi di vetro piano, mentre la base è costituita da un blocco di cemento e una struttura spaziale in acciaio saldata su di esso. L'area dei riflettori concentranti nelle configurazioni mostrate sopra è solitamente di circa 10 metri quadrati, erogando circa 2 kW alla pentola o al



ricevitore solare. Il riflettore può essere posizionato sul lato equatoriale della cucina. Da questa posizione, la luce solare riflessa viaggia verso l'alto lungo l'asse di rotazione, eliminando la necessità di un riflettore secondario (Fig. 50).

Figura 50: La riflessione verso l'alto lungo l'asse di rotazione posiziona il riflettore sul lato equatoriale del luogo di cottura ed elimina il riflettore secondario

L'area di apertura di una parabola Scheffler per applicazioni a bassa e media temperatura varia comunemente da 8 – 16 metri, tuttavia, in alcune applicazioni ad alta temperatura come la generazione di energia solare termica, è stato riportato anche l'uso di una parabola Scheffler di apertura fino a 60 m². Le installazioni delle parabole sono dotate di sistemi di inseguimento solare automatici ad asse singolo o biassiale.



I riflettori Scheffler sono stati utilizzati anche per cucine solari a vapore. Il tempio di Tirumala nella città dell'India meridionale di Tirupathithat, ad esempio, utilizza molti riflettori Scheffler per produrre vapore per

Figura 51: Disposizione dei riflettori Scheffler per grandi impianti di cucinare in una cucina generazione di vapore vicina. Nelle cucine solari a

vapore, riflettori concentranti sono disposti su entrambi i lati ,equatoriale e polare dei ricevitori solari attaccati ai tubi del vapore che trasportano il vapore alla cucina. [24]

- **PARABOLA SOLARE DI LENTI FRESNEL** con un punto focale a doppio asse completamente tracciato (**ARUN®** piatto).



Figura 52: Parabola solare Arun®

Il sistema è costituito da una parabola, chiamata **ARUN®** che è un concentratore solare parabolico di lenti Fresnel con un punto focale, traccia automaticamente il sole dall'alba al tramonto su entrambi gli assi Est-Ovest e Nord-Sud per intercettare la massima luce solare durante tutto l'anno, indipendentemente dal luogo di

installazione. Grazie a questa precisione di tracciamento, al ricevitore ad alta efficienza che si muove con la parabola e alla disposizione accurata degli specchi ad alta riflettività, le parabole ARUN® possono raggiungere un'efficienza massima del 65% e un'efficienza media annuale compresa tra 50-60%. Per le cotture serali, dopo il tramonto, la parabola può essere ampliata con un impianto di accumulo di energia termica. Il funzionamento di base di un sistema di generazione di vapore ARUN® è molto semplice. Il ricevitore al centro della parabola trasferisce il calore della radiazione solare a un mezzo di trasferimento del calore come l'acqua. Una volta che l'acqua è stata convertita in vapore e sono state raggiunte la pressione e la temperatura desiderate, il vapore viene erogato all'area di applicazione o al collettore comune della caldaia. La parabola ARUN® è montata su una singola colonna, occupando così un'area al suolo inferiore a 3m x 3m. Può gestire vari fluidi di trasferimento del calore tra cui vapore, olio caldo, acqua calda o anche aria calda a temperature fino a 350 ° C e pressioni fino a 25 bar. L'area bassa richiesta per l'installazione lo rende ideale per le industrie con vincoli di spazio fornendo allo stesso tempo un rendimento efficiente. [23]

DIFFERENZA FORNI SOLARI :

TIPOLOGIA DI FORNO SOLARE	FORNELLO SOLARE PARABOLICO	SCHEFFLER (DIRETTO)	PARABOLA SOLARE(INDIRETTA) SCHEFFLER - FRESNEL
DESIGN	Parabolico (SK-14,23,30,40) Quadrato circolare (PRINCE-23-40)	Ellittica / paraboloide	Ellittica / paraboloide
AREA DI APERTURA	1,4 – 7 mq	7 – 16 mq	7 – 16 mq
MODALITA' DI COTTURA	Diretto	Diretto	Indiretto (vapore)
CAPACITA' (numero di persone)	10-50	50 – 200	Piu di 200
TIPO DI COTTURA	Tutti	Tutti	Ebollizione
POSIZIONE DEI RECIPIENTI DI COTTURA	Sul concentratore solare (fuori al sole)	Lontano dal concentratore (dentro l'edificio)	Lontano dal concentratore (dentro l'edificio)
COSTO DI CAPITALE (INR:rupia nazionale indiana)	6000 – 7000 INR	14000 – 16000 INR	16000 – 20000 INR
FUNZIONAMENTO E MANUTENZIONE	Facile	Relativamente difficile	Difficile
VINCOLO DI SPAZIO	Cucina con flessibilità di movimento	Lo spazio libero fisso è necessario	Lo spazio libero fisso è necessario
FLESSIBILITA' NEL PERIODO DI COTTURA	No (minimo 400-500 W/DNI richiesto)	Limitato (può essere utilizzato il dispositivo di accumulo di calore)	Si (il vapore può essere conservato per periodi di cottura non solari)
FABBISOGNO DI MANODOPERA	Non qualificato	Semi qualificati	Abile
PROCESSO DI PRODUZIONE	Facile (può essere prodotto sul posto)	Relativamente difficile	Difficile (generazione, immagazzinamento e traspirazione del vapore richiede lavorazioni e processi di alta qualità)

5.1.1 Luoghi religiosi



Figura 53: Muni Serva Ashram ha convertito il suo sistema di cottura solare Scheffler basato sul vapore per utilizzare il fluido termico per essere in grado di fornire la cottura notturna

Si trova nel tempio di Shirdi Saibaba a Shirdi, Maharashtra, in India. Con quasi 30.000 visitatori ogni giorno, le sale da pranzo del tempio sono tra le più grandi dell'India. Il sistema di cottura a vapore solare è composto da 73 riflettori Scheffler montati sul tetto di 16 mq ciascuno. I piatti concentrano la luce solare sui ricevitori che contengono acqua, generando vapore che viene convogliato in cucina per cucinare. Per mantenere una concentrazione costante con il sole, i piatti ruotano automaticamente durante il giorno dopo essere stati allineati manualmente una volta ogni mattina. Il sistema di cottura a vapore solare è adattato alle caldaie a vapore esistenti alimentate a gas di petrolio liquido che sono ancora utilizzate la sera e durante periodi prolungati di tempo inclemente. Nel 2014 il professor Chandak ha scritto della recente installazione di sistemi di cottura solare con generatori di vapore presso il tempio di Akshardham situato a Nuova Delhi e presso la casa dello studente della missione Ram Krishna, Mylapore, Chennai. Il sistema del tempio di Akshardham è ora in grado di servire da 2.000 a 3.000 pasti in una limpida giornata di sole, risparmiando circa 30-50 scm di PNG per ogni giorno di funzione. Il Ministero delle energie nuove e rinnovabili (MNRE) ha in parte finanziato questa installazione e Clique Solar ha prodotto e installato il sistema (Fig.52).

5.1.2 Scuole

Un caso studio, appena accennato sopra, riguarda un sistema di cottura solare istituzionale nella casa degli studenti 'Ramakrishna Mission Student's Home' nella città di Chennai, la capitale dello stato del Tamil Nadu sulla costa sudorientale dell'India. Si tratta di una scuola superiore residenziale combinata

Le installazioni nei santuari religiosi, come quelli di Tirupati e Shirdi in India, illustrano la prodigiosa capacità culinaria di questo approccio. Gadhia Solar Energy Systems Pvt. Ltd. ha completato l'installazione di un sistema di cottura a vapore

solare, in grado di cucinare 40.000-50.000 pasti al giorno.

e un college politecnico che ospita circa 700 studenti orfani e poveri fornendo istruzione, cibo e alloggio gratuiti ogni anno. La cucina utilizzava 2 bombole di gas di petrolio liquefatto (GPL) al giorno, tuttavia, a causa di un improvviso aumento dei prezzi del carburante, il GPL non poteva essere una scelta sostenibile e per poter cucinare il cibo con meno costi è stata installata una parabola ARUN100 dalla società Clique Solar, Mumbai, nel 2014 (Fig.54). [25] La cucina della scuola residenziale offre colazione (dalle 4.30 alle 6.30), pranzo (dalle 10.00 alle 11.30) e cena (dalle 15.30 alle 17.30). Una fornitura ininterrotta di acqua calda, una rapida generazione di vapore al mattino e il funzionamento automatizzato erano i requisiti principali con cui Clique Solar ha affrontato questo progetto. Il sistema, quindi, è stato adattato con la capacità di immagazzinare il calore in eccesso generato a metà giornata per poter cucinare molto presto durante la giornata, per la preparazione della colazione che inizia già alle 4 del mattino e dopo il tramonto, pertanto, il vapore è necessario anche durante le ore non solari. [26]



Il sistema è costituito da 1 concentratore solare termico ARUN®100 con sistema di accumulo di energia che genera 540 kg di vapore / giorno durante le ore

solari in una limpida

Figura 54: Casa degli studenti Ramakrishna Mission Student's Home giornata di sole, soddisfacendo il fabbisogno energetico completo per la cottura e l'acqua calda, con un risparmio di carburante GPL del 100% di 30-40 kg al giorno (a seconda dell'utilizzo). Il sistema è posizionato sul tetto di un edificio esistente e cucina 2000-3000 pasti al giorno. Per poter garantire vapore 24 ore su 24 è stato necessario predisporre uno schema di integrazione che fornisce vapore al collettore di una caldaia e il vapore in eccesso lo trasmette all'accumulo termico per il funzionamento non solare.

Un altro caso studio riguarda la Sathyabama University che il 1 ° luglio 2009 ha inaugurato nel campus il più grande sistema di cottura a vapore solare al mondo. Sono stati installati 110 piatti concentratori con una superficie di 1100 m² (installazione più grande del mondo in termini di numero di piatti e metri quadrati di piatti concentratori riflettenti). Il progetto è stato prodotto e commissionato da Gadhia Solar Energy Sistem Pvt battendo il proprio record mondiale nella realizzazione del più grande sistema di energia solare del mondo. Questo sistema comprende 110 piatti ed ha la capacità di preparare circa 30000 pasti al giorno (Fig.55) . Il loro record precedente era il più grande sistema di cottura a vapore solare con 106 piatti, installato nel tempio di Tirupati. Le celle solari dell'università di Sathyabama sono state progettate in modo da poter essere utilizzate nella preparazione del pranzo e della cena, mentre la preparazione della colazione potrebbe non essere possibile con questo sistema in quanto mancherebbe un dispositivo di accumulo di energia per le ore non solari. [27]



Figura 55: Pannelli solari installati nel campus della Sathyabama University

5.1.3 Hotel

Clique Solar, la prima azienda indiana di caldaie solari, installa il primo grande sistema solare termico a concentrazione (CST) al mondo che soddisfa le esigenze termiche nel settore dell'ospitalità nell'hotel dell'ITC, The Maurya Hotel, Nuova Delhi.



Dopo una valutazione dettagliata di varie tecnologie solari termiche e tenendo conto dei vincoli di spazio e dei requisiti di integrazione, ITC-The Maurya ha deciso di installare due caldaie solari ARUN di Clique Solar. Il vapore

Figura 56: Caldaie solari Arun dell'hotel The Maurya Hotel generato dai sistemi termici ARUN viene

utilizzato per fornire vapore o acqua calda per:

- Lavanderia
- Cucina
- Bagno / Igiene

Il sistema è composto da: 2 caldaie solari ARUN con una superficie di apertura combinata di 338 m² che generano vapore e viene utilizzato per la lavanderia, la cucina e altre esigenze di riscaldamento dell'hotel. Una di queste caldaie solari ARUN è installata sopra la sala banchetti esistente, mentre l'altra parabola ARUN è installata sul terreno nel cortile sul retro dell'hotel con un'area di ingombro inferiore a 3m x 3m.

La parabola solare ARUN segue il sole su due assi (Est-Ovest e NordSud).

L'acqua circola attraverso la serpentina di ricezione che è posta al centro del piatto solare concentrato trasferendo l'energia termica dal sole all'acqua circolante e convertendola in vapore pressurizzato a 175 ° C a 8 bar (g). Il processo di generazione di vapore e acqua calda avviene attraverso tre fasi:

Fase 1: All'inizio della giornata, il sistema solare termico a concentrazione (CST) (piatto ARUN) preleva l'acqua dal serbatoio di alimentazione per generare vapore a 175 ° C e pressione 8 bar.

Fase 2: L'erogazione del vapore dai piatti a varie applicazioni inizia non appena viene raggiunta la pressione di erogazione del vapore richiesta, ovvero 8 bar e 175 ° C.

Fase 3: il vapore secco viene inviato all'intestazione comune e viene distribuito a varie applicazioni. In assenza di sole, la caldaia esistente viene utilizzata per alimentare il vapore al collettore comune.

Questa installazione è operativa da oltre un anno ormai e consente a ITC di risparmiare un equivalente di quasi 40.000- 42.000 litri di combustibile fossile (olio da forno) all'anno, il che equivale a una riduzione delle emissioni di CO2 di quasi 110-130 tonnellate all'anno.

La prima azienda indiana di caldaie solari, Clique Solar, ha dimostrato con successo l'uso di sistemi solari termici nel settore alberghiero installando due piatti ARUN all'ITC, The Maurya, per soddisfare le sue esigenze di energia termica in lavanderia, cucina, bagni e altre applicazioni. Non solo il sistema ha funzionato con successo, ma l'economia dell'investimento è anche un valido motivo per tutti gli hotel per installare tali sistemi. [28]

5.2 America Meridionale

5.2.1 Ristorante solare in Cile (Villaseca)

Il ristorante solare Delicias del Sol è stato fondato dalla signora Rojas e suo marito, che, nei primi anni '90, consentirono ai ricercatori dell'università del Cile di posizionare un forno solare nella loro casa per sfruttare il potenziale del sole e cercare di risolvere il problema drammatico della deforestazione. La legna da ardere in Cile ha un enorme impatto sull'ambiente della nazione essendo la fonte di un quinto dell'energia del Cile; le foreste secolari, devastate da continui assalti, forniscono il 60% del legno e se l'attuale tasso di deforestazione dovesse continuare si stima che tra 30 anni potrebbero scomparire. Di conseguenza, i forni solari potrebbero essere stati l'unica soluzione per aiutare a ridurre la deforestazione. Nonostante all'inizio ci fosse molta incertezza sulle potenzialità e i vantaggi dei forni solari, oggi il villaggio di Villaseca è l'unico posto in Cile dove praticamente tutti i residenti cucinano con l'energia solare.

Il ristorante, fondato grazie all'aiuto del Programma delle Nazioni Unite per lo



Figura 57: Ristorante solare Delicias Del Sol Villaseca Cile



Figura 58: Evoluzione del fornello solare, a parabola, Villaseca, Cile

Sviluppo, inizialmente era stato progettato per ospitare 16 persone, la cucina era formata da 10 forni a scatola, arancioni, disposti in fila su tavoli sfalsati. I forni erano formati da ampi lembi intarsiati con fogli metallici aperti verso il cielo che riflettevano la luce negli interni scuri delle scatole (Fig. 57).

Con l'aumentare delle richieste dei commensali e l'esigenza di avere forni più facile da usare il forno a scatola venne sostituito con un nuovo modello a parabola in grado di cucinare per 30 persone (Fig. 58) . Dal 2012, il ristorante può ospitare 120 persone. L'area asciutta della valle centrale riceve oltre 300 giorni di sole all'anno e, come aree simili, le fonti di carburante tradizionali stanno diventando sempre più scarse e costose. I turisti si divertono a vedere la cucina solare al lavoro . [29]

5.3 Africa

5.3.1 Panificio in Burkina Faso

Solar Cookers International (SCI), ha classificato il Burkina Faso come il 17 ° paese al mondo in termini di potenziale di cottura solare. Il numero stimato di persone in Burkina Faso che vivono in zone soleggiate del paese e che hanno scarsità di carburante nel 2020 è di 3.400.000.

Nell'ottobre 2016 viene installato un forno solare ibrido per la cottura del pane da 'Isomet' ,una società di tecnologia pulita, con il supporto di organizzazioni

non governative internazionali (Solar cookers International) con l'obiettivo di creare reddito per la popolazione rurale promuovendo i vantaggi del passaggio dalla legna all'energia solare per la cottura e la tostatura. I forni solari ibridi sono riscaldati da una parabola solare, un riflettore Scheffler di 16 mq e, se richiesta potenza supplementare, da un bruciatore a gas e sono in grado di cucinare 1500 pagnotte di pane al giorno.



Essi funzionano seguendo il principio dell'effetto serra: i raggi del sole a onde corte attraversano le due pareti di vetro senza perdere energia. Nel toccare le pareti interne del forno che sono ricoperte da una

Figura 59: Forno solare con riflettore Scheffler per la cottura del pane, Burkina Faso

vernice atossica, si trasformano in raggi di calore che non possono più attraversare le pareti di vetro. Questo crea una trappola energetica che permette di cucinare o riscaldare i pasti. Ciò consente di risparmiare preziose risorse di legno e riduce le emissioni di gas serra.

L'apparato utilizzato nel riscaldamento solare non richiede assemblaggi complicati. Per la maggior parte, i materiali necessari si trovano già nel Sahel. Questa costruzione potrebbe quindi richiamare una gran parte della popolazione locale. Contrariamente all'idea del fotovoltaico, che utilizza tecnologie complicate e materiali che devono essere importati, i riscaldatori solari producono un mercato prezioso che mantiene i soldi nell'economia del Burkina e aiuta nella lotta contro la povertà.

ISOMET forma le donne ed è responsabile dell'installazione dei forni, dell'assistenza tecnica e della fornitura delle materie prime agli affiliati. Questa soluzione ha vinto il premio SEED, ovvero una partnership globale per l'azione sullo sviluppo sostenibile e l'economia verde.

IMPATTI FORNI SOLARI:

Impatto sociale: la rete di franchising crea posti di lavoro e genera reddito per le donne nelle zone rurali. Queste donne beneficiano anche di formazione tecnica e manageriale. Un forno fornisce reddito ad

almeno tre persone in un villaggio. Inoltre, le famiglie godono di un maggiore potere d'acquisto grazie alla riduzione del prezzo del pane e di migliori condizioni di vita grazie al metodo più igienico di lavorazione degli alimenti.

Impatto ambientale: la tecnologia innovativa è rispettosa dell'ambiente, riducendo il livello di emissioni di CO₂ (sostituendo la combustione del legno) e anche il consumo di combustibili fossili. Un forno solare ibrido può far risparmiare fino a 40 kg di legna bruciata all'ora. Inoltre, il pane che prima veniva trasportato al villaggio ora viene prodotto localmente, riducendo così le emissioni dovute al trasporto.

Impatto economico: l'iniziativa aiuta lo sviluppo economico locale. Crea inoltre ulteriori opportunità per attività generatrici di reddito legate alla lavorazione degli alimenti. Ad esempio, l'utilizzo del forno solare ibrido conserva gli alberi di karité, che a sua volta aumenta la raccolta dei frutti di karité che possono essere venduti.

PROSPETTIVE FUTURE:

Utilizzando l'energia potenziale del sole come alternativa alla legna da ardere, questa iniziativa sta facendo passi da gigante nella lotta alla desertificazione nel Sahel. Alcuni dei piani per il potenziamento per un impatto più ampio includono:

- Miglioramento del design del prodotto affinché si trovi una soluzione per collegarlo ai digestori di biogas e garantire una fornitura continua di energia.
- Progettazione e sviluppo di nuovi prodotti alimentari che possono essere prodotti utilizzando i forni
- Installare da due a tre panifici pilota in Burkina Faso
- Definire i termini e le condizioni del concetto di franchising e avviare negoziati con le associazioni femminili [30]

Nel novembre 2020, in Africa, viene installato un nuovo forno solare per la cottura del pane alimentato attraverso un concentratore solare, Lytefire 5, che genera calore e raggiunge temperature elevate. Il progetto è stato sviluppato e finanziato da GoSol in collaborazione con l'ONG Remar.



disposto davanti poco distante

Figura 61: : Concentratore solare modello Lytefire 5, GoSol da

Il funzionamento di un forno solare di GoSol (modello "Lytefire 5") è costituito da un telaio in metallo sul quale vengono saldati piccoli specchi che focalizzano la luce del sole e la trasmettono al forno

esso (Fig. 60). Il forno può raggiungere temperature di 300° ed è in grado di cucinare pane e dolci in 20-30 minuti solo con il calore del sole.



Figura 60: Panificio solare Burkina Faso

Questo progetto ha avuto l'ulteriore vantaggio di iniziare prima che l'OMS dichiarasse una pandemia globale, così ad ottobre è stato inaugurato ufficialmente ed ora il forno è in grado di produrre più di 100 kg di pane a settimana e 5 kg di torte. Grazie a questa iniziativa le donne hanno riferito di sentirsi più sicure dopo aver ricevuto una formazione in quanto ora hanno il vocabolario e le competenze per gestire un'impresa e guadagnare denaro. [31] Questa tipologia di forno è multiuso: in Kenya oltre ad essere usato per cuocere pane e dolci, viene utilizzato anche per tostare arachidi /cacao /caffè e per l'essiccazione del pesce. [32]

5.4 Francia

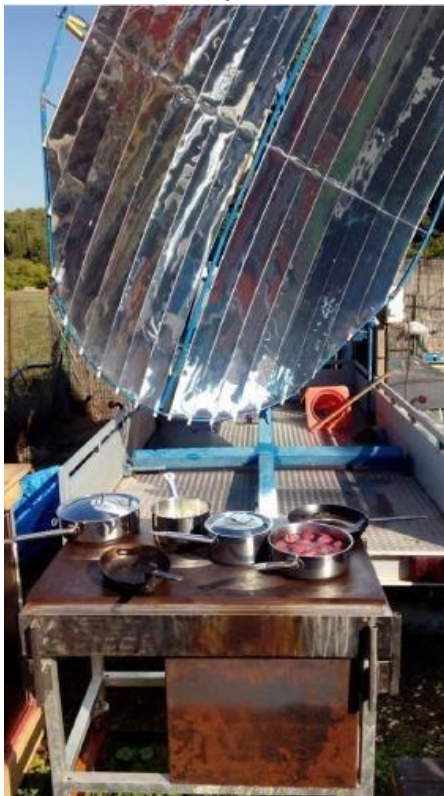
5.4.1 Ristorante solare ' Le Présage'

L'idea del progetto nasce dallo chef francese Pierre-André Aubert, grazie ad una campagna di crowdfunding e il sostegno dell'associazione Rêves Germés. L'avventura ebbe inizio alla fine del 2015, quando installa, in via sperimentale, una cucina mobile alimentata da un riflettore Scheffler (Fig. 59) ed energeticamente autosufficiente grazie ad una stufa e un sistema di riciclaggio dei rifiuti in un metanizzatore. Pierre-André, già laureato in ingegneria aerospaziale decide nel 2010 di dare un



Figura 62: Prima sperimentazione del ristorante solare 'Le Présage' (2015)

nuovo orientamento alla sua carriera, ricominciando come artigiano ottenendo una laurea professionale in cucina e dopo aver imparato come si cucina nei ristoranti professionali e grazie ad una sua naturale curiosità decide di costruire una stufa solare. Inizia così il progetto di ristorante solare 'Le Présage'. Per progettare la stufa, Pierre-André si avvale delle esperienze fatte nel mondo culinario rispettando le abitudini e i



modi di fare che i cuochi hanno quando eseguono una cottura in stile occidentale. Infatti, in quest'ultima, il fornello centrale consente di cuocere contemporaneamente più temperature dei piatti oppure di spostare una padella da un punto più caldo ad un punto con temperatura più bassa attraverso un piano di ghisa. Esso, infatti, è capace di graduare la temperatura da fredda a calda lungo tutta la sua lunghezza permettendo al cuoco di lavorarci come farebbe su un normale fornello a gas in una cucina professionale ed è riscaldata da un riflettore Scheffler di 8 m² (Fig. 63) .

Lavorando in collaborazione con il Dr. W. Scheffler e H. Hoedt di Simply Solar, hanno ristrutturato un vecchio ricevitore con l'obiettivo di riscaldare il più possibile (circa 500°C) una piastra in ghisa quindi ritennero necessario costruire un secondo riflettore per mantenere il fuoco il più piccolo possibile e per ottenere questo risultato decisero di costruirlo a forma di ellisse grazie alla peculiare proprietà riflessiva della forma ellittica. Il riflettore secondario venne installato in modo

da ottenere il secondo punto focale al centro

Figura 63: Cucina ristorante 'Le Présage' della piastra sulla sua larghezza e in un terzo della sua lunghezza in modo che l'intervallo di temperatura fosse ottimale.

(Fig.64)

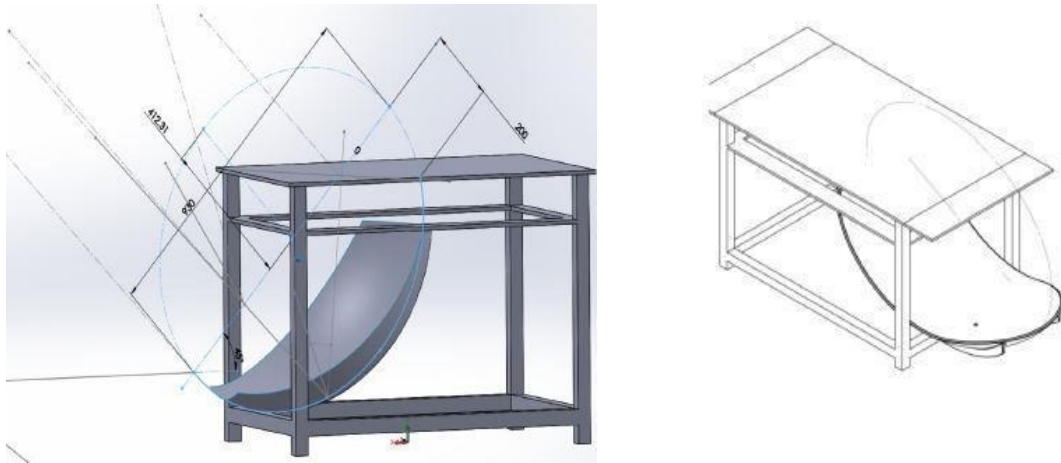


Figura 64: Dettaglio del secondo riflettore



Figura 67: Il riflettore secondario realizzato in fogli di alluminio e inserito nella stufa



Figura 66:



Stufa in funzione



Figura 68:

Esempio di un pasto 'Le Présage'

Figura 69: Dettaglio temperatura

Dopo un riscaldamento di 35 minuti, la piastra in ghisa arriva ad una temperatura di 450 ° C nel punto più caldo scendendo a 125°C da un lato e 80°C dall'altro consentendo allo chef di gestire contemporaneamente più piatti e di mantenerli caldi o arrostiti così da poter preparare piatti sofisticati per almeno 25 persone.



Figura 69: Dettaglio ristorante 'Le Prèsage' in Marsiglia

La fase di test del progetto si è svolta ad Aubagne, una piccola città vicino a Marsiglia, nella regione più soleggiata della Francia sulla costa mediterranea. [33]

Il ristorante era all'aperto quindi operativo solo se le condizioni metereologiche lo permettevano, infatti, durante la sperimentazione fu aperto per 33 giorni fornendo circa 322 pasti a pagamento, 12 gratuiti e 15 pasti premio come riconoscenza alle persone che hanno partecipato alla campagna di lancio e

circa 150 pasti per il personale e volontari. Anche per la scelta degli ingredienti lo chef André si basò esclusivamente su prodotti locali e, possibilmente, biologici situati nella regione di Aubagne garantendo una cucina salutare. Nel 2017, nonostante il notevole successo del ristorante solare, lo staff di Le Présage iniziò ad avere delle difficoltà legate ad alcune criticità come l'assenza di acqua, la necessità di coprire e conservare l'attrezzatura durante la notte e quindi decise di migliorare il ristorante sviluppando un nuovo progetto. Ristrutturando una vecchia serra orticola trovò la soluzione per ospitare il bancone della cucina aperto su una sala da pranzo, sia luminosa che ombreggiata e in grado di proteggere dal sole e dal vento. Il sistema di cottura rimase lo stesso ma con la possibilità di cucinare all'interno dell'edificio (Fig.70).



Figura 70: Secondo modello del ristorante solare 'Le Présage' (2017)

Pierre-Andre Aubert, chef solare, attualmente sta collaborando con l'università locale per sponsorizzare un dottorato di ricerca in cucina solare su scala (ristorante, ritenzione del calore e riscaldamento solare passivo). A partire da aprile 2021 la taverna solare mobile di Marsiglia si stabilirà a terra presso il tecnopolo Château-Gombert a Marsiglia con l'intenzione e l'ambizione di fare non solo cucina solare, ma diventare un laboratorio di innovazione climatica, energetica, agro ecologica. [34]

Pierre-André lavora da anni per portare Le Présage in una nuova dimensione, visti anche i successi ottenuti dai due esperimenti di cucina solare tenutosi nel 2015 e nel 2017. Dopo lunghe trattative con Aix – Marseille – Provence Metropolis e Soleam, Pierre André ha firmato un contratto di acquisizione per un

terreno di 2.700 m² dove è intenzione dello chef di collocare la nuova visione del ristorante (Fig. 71).

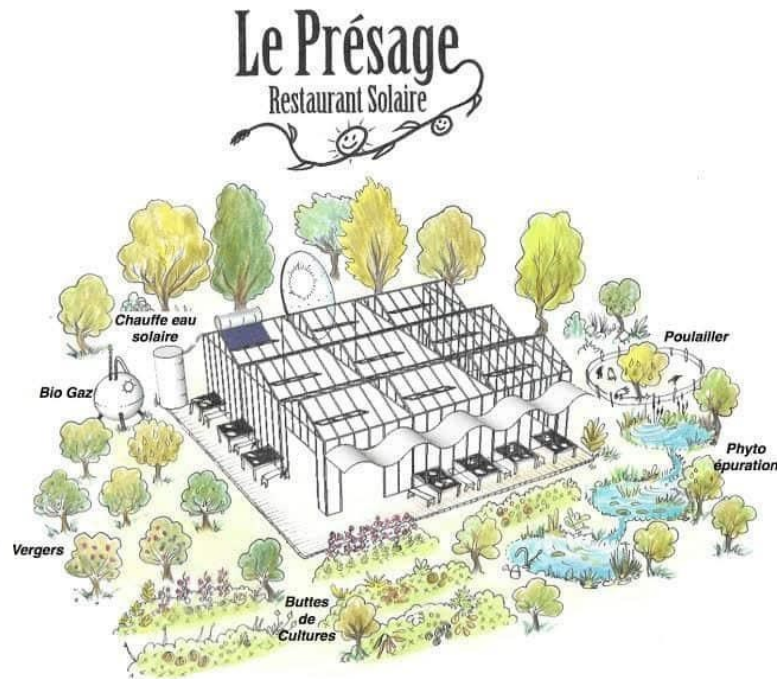


Figura 71: Rappresentazione artistica del nuovo progetto di Le Présage, disegnata da Olivier Nattes.

Per progettare il futuro ristorante, Pierre André si è rivolto a Solari & Associés Architectes, una piccola agenzia di Aix specializzata da tempo in architettura bioclimatica. Oltre alla cucina solare, l'intero ristorante e la trama sono progettati con una visione eco-responsabile.

L'edificio immaginato per essere molto "efficiente dal punto di vista energetico" dovrebbe essere alimentato da pannelli solari. In cucina, oltre al forno e alle piastre solari, funzionerà un sistema di cottura in parallelo a biogas proveniente dai rifiuti organici del ristorante, grazie ad un mini-impianto di digestione anaerobica. Inoltre, i rifiuti organici verranno utilizzati come fertilizzanti nell'orto che verrà gestito secondo il principio dell'agro forestazione, ovvero un sistema agricolo promiscuo che prevede la combinazione di alberi e arbusti gestiti razionalmente con la coltura agraria nell'appezzamento dove sorgerà Le Présage. Infine, l'orto verrà sapientemente irrigato con reflue "grigie", ossia leggermente inquinate, previo trattamento di fitodepurazione.

"L'obiettivo è che un quarto delle verdure servite nel ristorante provenga dall'orto".

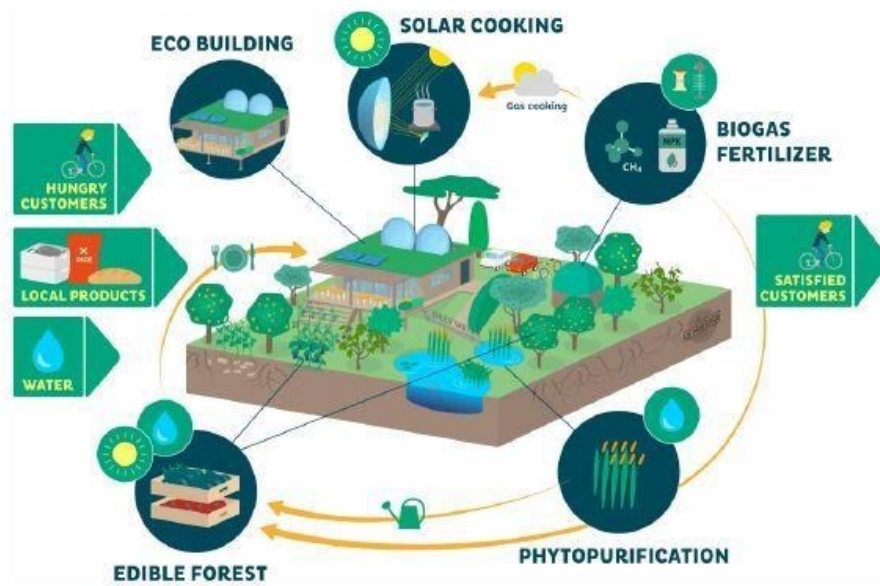


Figura 72: Una rappresentazione del ciclo di lavoro previsto per Le Présage, Made in Marseille (2020)

Questo progetto sarà il primo ristorante in Francia a utilizzare l'energia solare per la sua cucina grazie a due antenne paraboliche e produrrà le verdure che offrirà nel suo menu. Una volta che il primo ristorante solare sarà attivo e funzionante, sarà chiaramente possibile duplicarlo. L'autore ritiene che l'apertura di un ristorante solare delizioso e di successo in Francia sarà definitivamente un grande aiuto per il progresso del movimento Solar Cooking come esso aprirà le menti, aumenterà la consapevolezza sulla cucina solare e offrirà nuove opportunità in paesi che ancora non considerano le potenzialità del Solar Cooking. [33]

5.5 Italia

5.5.1 Torrefazione solare 'Puro Sole'

Nasce a Roma, da una startup innovativa "PuroSole", il primo caffè solare, pregiato e unico al mondo perché tostato in un impianto innovativo e brevettato in Italia, con soltanto la luce del sole. Una torrefazione naturale a cielo aperto che produce caffè biologico, eco sostenibile e pregiato senza alcuna produzione di energia elettrica o diffusione di Co2.

“Solo con il calore e l'energia del sole”

La tecnica della torrefazione del caffè per irraggiamento solare di PuroSole nasce dalla ricerca di sostituire lo sfruttamento di risorse naturali non rinnovabili con l'energia solare consentendo di ridurre l'inquinamento ambientale. La tostatura del caffè è una pratica che risale al XV secolo e che nel corso del tempo si è evoluta passando dalle padelle perforate alle odierne torrefattrici computerizzate. L'idea alla base di questa tecnica è di indurre la tostatura del chicco di caffè crudo, anziché dal contatto con aria rovente, come attualmente in uso, dal diretto irraggiamento solare, ovvero attraverso l'irradiazione diretta dei suoi raggi luminosi. Questa metodica innovativa ha inaspettatamente influito anche sulle caratteristiche organolettiche del caffè, tanto da approfondire i processi fisici coinvolti e mettere così a confronto questa tecnica ad irraggiamento solare con la classica tecnica basata sull'aria calda. Il primo impianto di produzione è stato installato nella casa di campagna di uno dei tre soci, Luca del Bufalo architetto, che è diventato produttore di caffè.

5.5.1.1 La tecnica della tostatura classica

“La torrefazione o tostatura è un processo generico di arrostitimento, che sottopone una sostanza ad elevata temperatura, in maniera da disidrarla, ossidarla e in taluni casi anche carbonizzata parzialmente.” [35]

La definizione presa da Wikipedia è abbastanza chiara ma necessita, nel caso specifico della tostatura del caffè, dell'accento a due aspetti insidiosi e negativi che sono inevitabili in questo processo.

- la gassificazione : ovvero la rapida trasformazione di oli e zuccheri in gas e la loro conseguente espulsione dal chicco in tostatura.

Questo processo inizia quando la temperatura del grano di caffè supera i 100°C, con l'evaporazione dell'acqua. Successivamente, con l'aumentare della temperatura, vengono coinvolte altre sostanze in una complessa combustione e questo fino al raggiungimento della temperatura dei 200-220°C necessari alla tostatura. La dilatazione temporale di questo processo incrementa la perdita per espulsione come gas delle varie e complesse componenti del chicco in torrefazione, motivo per cui questa fase di tostatura deve essere completata in un tempo più ridotto possibile.

- l'autocombustione : interessa la fase finale della tostatura, quando la temperatura si avvicina ai 200°C. Infatti, a questa temperatura inizia la carbonificazione e all'interno del chicco si innesca un processo di combustione auto-alimentata, che continua a innalzarne la temperatura anche senza l'apporto di un riscaldamento esterno. Per questo motivo, poco dopo il raggiungimento di questa fase, è necessario un rapido raffreddamento del caffè appena tostato per abbattere la temperatura al suo interno ed evitare che lo stesso si consumi per completa autocombustione.

5.5.1.2 Stato dell'arte: due principali tecniche di torrefazione in uso

Nei due sistemi tradizionali di tostatura il calore viene trasmesso al grano di caffè per convezione dell'aria, molto forzata nel caso del "letto fluido" e più moderata nel caso del "tamburo rotante". Semplificando, la tostatura con "letto fluido" equivale alla cottura degli alimenti nel forno di casa con modalità *termoventilata*, mentre la tostatura a "tamburo rotante" equivale alla cottura degli alimenti nel forno di casa con modalità normale: con la termoventilazione la cottura sarà più intensa e più rapida, ma cuocerà gli alimenti ancora più all'esterno che all'interno di quanto non avvenga con la normale cottura in forno. In entrambi i casi comunque, il calore viene ceduto dall'aria riscaldata a 300°C – 400°C all'intero grano di caffè tramite il contatto con lo strato esterno del chicco stesso.

Anche se nelle moderne torrefazioni la temperatura ed il flusso dell'aria vengono controllati da sistemi automatizzati che permettono di determinare in modo preciso il profilo di tostatura, cioè la curva di temperatura del grano di caffè durante tutto il processo, inevitabilmente con le due tecniche appena descritte, ogni singolo chicco di caffè risulterà tostato sempre di più all'esterno che all'interno, ovvero il chicco sarà sempre tostato troppo all'esterno e poco all'interno. D'altra parte, aumentare il tempo di tostatura, seppure a temperatura più bassa, per migliorare l'uniformità, comporterebbe una prolungata evaporazione e combustione degli zuccheri e degli oli interni al

chicco con conseguente riduzione delle caratteristiche organolettiche di un buon caffè.

- tostatura veloce = chicco non omogeneo
- tostatura lenta = degradazione delle caratteristiche organolettiche

La complessità nella ricerca del miglior compromesso nella modulazione dei vari fattori che influenzano il delicato processo della torrefazione è il motivo principale per cui ancora oggi questa pratica è considerata un'arte.

5.5.1.3 La tostatura per irraggiamento a luce solare

1. Gli aspetti positivi della fisica del processo

La peculiarità della torrefazione mediante irraggiamento a luce solare consiste in una migliore uniformità del grado di tostatura tra la parte esterna e la parte interna del chicco e quindi ad una maggiore conservazione delle sue proprietà naturali con conseguente esaltazione delle sue caratteristiche organolettiche. Il metodo di torrefazione per irraggiamento a luce solare, descritto in questo capitolo, si basa essenzialmente sul riscaldamento dei grani di caffè attraverso l'energia elettromagnetica della luce emanata dal sole. Il chicco di caffè crudo è di colore verde chiaro e parzialmente traslucido (Fig.73)

ovvero non completamente opaco alla luce e quando illuminato dall'esterno la luce penetra all'interno del chicco dal quale viene assorbita e convertita in calore a diverse profondità in funzione della lunghezza d'onda. La luce del sole ha una caratteristica speciale che non è praticamente riproducibile da nessun tipo di dispositivo

generatore di luce artificiale: ha uno spettro di colori molto ampio. Questo vuol dire che contiene tutte le diverse lunghezze d'onda, dalla gamma degli ultravioletti a quella degli infrarossi (Fig.74).



Figura 74: Un chicco di caffè crudo che illuminato dal basso mostra la sua opalescenza



Figura 73: Di tutta la gamma delle emissioni solari la parte con la maggiore energia è nella sezione della luce visibile. In questa zona il chicco crudo di caffè è parzialmente permeabile e permette ai fotoni di queste lunghezze d'onda di penetrare la superficie

Questo aspetto fa sì che il calore è “generato” all’interno del grano di caffè contemporaneamente a diverse profondità e non soltanto propagato dall’esterno verso l’interno come invece accade con il tradizionale riscaldamento a contatto con l’aria calda. I fotoni che penetrano la superficie del grano di caffè, cedono energia durante il loro percorso in modo diverso in funzione sia della loro frequenza e sia del colore del chicco, e che a sua volta cambia con il grado di tostatura. Inoltre, in questa tecnica, la funzione dell’aria è addirittura opposta a quella tradizionale. Infatti, l’aria che avvolge il chicco, non essendo riscaldata dai raggi solari in virtù della sua trasparenza, sarà sempre più fredda del chicco stesso, contrastando in tal modo l’aumento della temperatura sulla superficie del grano di caffè e contribuendo alla riduzione del gradiente di temperatura tra l’esterno e l’interno del chicco stesso.

Un altro effetto visibile della torrefazione per irraggiamento a luce solare è la rapida bruciatura della pellicola interna (Fig.75), effetto che ne aiuta il distacco e la successiva eliminazione.

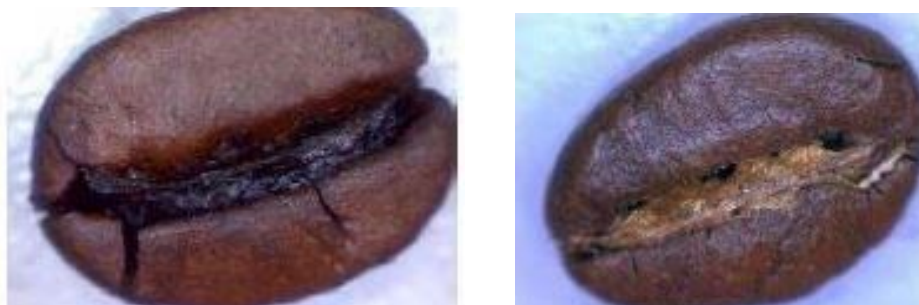


Figure 75: Il chicco a sinistra è tostato con irraggiamento solare e la sua pellicola è più scura del chicco a destra che è stato tostato con la macchina classica di torrefazione a tamburo rotante

2. Gli aspetti critici della fisica del processo

L'aspetto più delicato della fisica di questo processo è dato dall'estrema direzionalità della luce. Per tostare correttamente il caffè, durante tutta la fase di cottura, ogni chicco deve essere direttamente illuminato dai diversi angoli ciclicamente e allo stesso tempo senza rimanere troppo esposto all'intensa luce dalla stessa angolazione per troppo tempo. Al contrario del classico processo di riscaldamento con l'aria calda, che penetra e circola in ogni spazio libero tra i chicchi durante la tostatura, la luce colpisce soltanto i grani di caffè antistanti che incontra, e che naturalmente coprono i chicchi retrostanti lasciandoli in ombra. E' da sottolineare che l'energia per la tostatura, in questa tecnica, non può raggiungere il caffè in nessun altro modo: se un chicco non è irraggiato direttamente può rimanere quasi completamente crudo anche se immerso insieme al resto del caffè perfettamente tostato.

5.5.1.4 La tecnica di irraggiamento per concentrazione

Per ottenere una corretta torrefazione la luce solare deve essere concentrata affinché raggiunga l'intensità luminosa necessaria per ottenere una tostatura completa. Per ottenere questa intensità luminosa il sole viene riflesso da diversi specchi, ognuno dei quali con una dimensione della superficie simile a quella del contenitore da riscaldare, che puntano tutti sullo stesso obiettivo. In questo modo l'intensità della luce ottenuta sarà uguale alla somma di tutti i fasci di luce inviati dai riflettori utilizzati. Per mantenere il fascio luminoso prodotto in un punto fisso durante tutto il giorno vengono utilizzati degli apparecchi chiamati eliostati a concentrazione, ovvero strumenti motorizzati che cambiano automaticamente l'inclinazione degli specchi in funzione del cambiamento della posizione del sole. Il ricevitore contenitore del caffè può essere disposto sia all'aperto di fronte agli eliostati (Fig. 75) o all'interno di un edificio provvisto di un'apertura a vetro per il passaggio della luce riflessa proveniente gli specchi. Dal punto di vista energetico per ogni kg. di caffè crudo è necessario almeno un KW di energia radiante.

Infatti, per far evaporare i 200 gr. di acqua mediamente contenuti in un kg, il caffè crudo assorbe 520 kilojoule che, con una energia di irraggiamento di 1 Kw

corrispondono a circa 9 minuti (520 secondi). Questa evaporazione dell'acqua corrisponde circa alla perdita di peso che si ha nel caffè tostato rispetto a quello crudo. Terminata la fase di evaporazione, la restante metà dell'energia fornita dal sole è utilizzata per portare la temperatura del chicco da poco sopra i 100°C ai 200-220°C necessari a terminare il processo di torrefazione. Per assicurare questa energia necessaria alla torrefazione, per ogni kg. di caffè crudo servono circa 2 mq. di specchi di collettore solare.



Figura 76: Torrefazione solare 'Puro Sole'

Un aspetto che deve essere preso in considerazione con questa tecnica di tostatura è che il trasferimento di energia verso il chicco in torrefazione è direzionale. La luce che investe il grano di caffè lo fa principalmente da una direzione preferenziale, al contrario del sistema di tostatura ad aria calda che invece circonda completamente il chicco. Per questo motivo il sistema di contenimento e miscelazione del caffè deve essere progettato con molta cura per permettere ad ogni singolo grano di essere esposto alla luce con un ciclo breve e per una discreta frazione del tempo totale di esposizione. Il caffè per essere irraggiato dalla luce solare può essere contenuto sia in un cestello rotante in acciaio inox (Fig.77) che permette il passaggio di oltre l'80% della luce incidente, sia all'interno di un cilindro di vetro borosilicato (Fig. 78) che permette oltre il 90% della luce incidente.



Figura 78: Caffè in fase di tostatura contenuto all'interno di un cestello rotante



Figura 77: : Caffè in fase di tostatura all'interno di un cilindro di vetro borosilicato. I grani di caffè vengono mantenuti in sospensione e continuamente miscelati da un flusso di aria dal basso verso l'alto

Pur considerando tutti i lati positivi legati all'utilizzo dell'energia solare nel procedimento di tostatura del caffè, c'è un aspetto critico che richiede una speciale organizzazione, ovvero quello legato alla discontinuità della disponibilità dell'energia solare stessa. Infatti, il sistema di torrefazione solare richiede un'illuminazione solare piuttosto costante durante tutta la fase di tostatura e questo aspetto purtroppo limita l'utilizzo di questa tecnica alle sole giornate in cui sia prevedibile, con una buona attendibilità, un cielo sereno in cui il sole non venga coperto dalle nuvole con troppa frequenza. È molto importante che, una volta iniziato il processo di tostatura, questa non venga interrotta nei 520 minuti successivi.

Questa limitazione, pur essendo di fatto l'unico aspetto critico di questa tecnica di torrefazione, influenza in modo rilevante gli orari, i giorni ed i luoghi in cui sia possibile applicarla.

5.5.1.5 Le caratteristiche organolettiche

La tostatura rapida e uniforme che l'irraggiamento solare agevola, è senza dubbio uno dei punti a favore di questa tecnica di torrefazione. Ma non è l'unico: infatti l'altro aspetto importante insito in questa innovativa tecnica è l'assenza della convezione forzata dell'aria sul chicco di caffè. Infatti, se nei sistemi tradizionali di torrefazione l'aria che viene fatta circolare forzatamente tra i

chicchi di caffè potrebbe trascinare via con sé anche i prodotti aerei della trasformazione fisica che avviene nel chicco, questo non succede con la tostatura per irraggiamento in cui il chicco è sempre circondato dai suoi stessi vapori prodotti dalla trasformazione degli oli e degli zuccheri che contribuiscono a produrre differenti risultati organolettici. [36]

5.6 Perù

5.6.1 Torrefazione solare ‘ Cafè Compadre ‘

L'idea di Cafè Compadre è nata grazie a Juan Pablo. Nell'ambito della sua tesi di laurea a Lima ha preparato una macchina per tostare il caffè usando l'energia solare. Un concetto semplice, un forno per torrefazione montato su un fornello solare. Dopo aver difeso la tesi, insieme a due suoi amici, ha deciso di verificare se questa macchina potesse davvero cambiare la vita dei piccoli agricoltori in Perù, i quali ricevono meno del 10% del valore finale di un sacchetto di caffè tostato, anche se fanno la maggior parte del lavoro. La soluzione prevede l'installazione di una stazione di produzione di caffè solare nella giungla, dove i coltivatori possono andare durante tutto l'anno a lavorare e tostare il caffè, guadagnando un reddito extra per il loro lavoro. Sono state sviluppate varie versioni di macchine che permettono la tostatura del caffè con la sola energia del sole e degli



Figura 79: Torrefazione solare

Compadre, Perù

specchi Scheffler capaci di raggiungere temperature di oltre 200°. Questo metodo dipende sostanzialmente dal sole e quindi dalle condizioni climatiche del luogo di tostatura, pertanto, uno dei passi successivi è stato quello di installare un sistema di pannelli fotovoltaici che fornissero energia extra alla torrefazione e allo stesso tempo le consentissero di gestire meglio i tempi di tostatura. Questo sistema ha permesso di abilitare altre macchine e anche di realizzare un centro di lavorazione nella stessa comunità dove si produce e si acquista il caffè. Attualmente, il team tecnologico continua a sviluppare,

migliorare e testare alternative progettuali di torrefazione solare che aiutano a soddisfare i requisiti tecnici e la capacità di produzione necessari. [37]

Capitolo 6 : Fornelli solari in ambito didattico



L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Essa ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile 'Sustainable Development Goals' (SDGs), tra questi, il numero 7 che sostiene l'accesso di tutti a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni, in un grande programma d'azione per un totale di 169 'target' o traguardi da raggiungere entro il 2030. L'energia è un elemento centrale per quasi tutte le sfide e le opportunità più importanti che il mondo si trova oggi ad

affrontare. Che sia per lavoro, sicurezza, cambiamento climatico, produzione alimentare o aumento dei redditi, l'accesso all'energia è essenziale.

Traguardi

7.1 Garantire entro il 2030 accesso a servizi energetici che siano convenienti, affidabili e moderni

7.2 Aumentare considerevolmente entro il 2030 la quota di energie rinnovabili nel consumo totale di energia

7.3 Raddoppiare entro il 2030 il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica

7.a Accrescere entro il 2030 la cooperazione internazionale per facilitare l'accesso alla ricerca e alle tecnologie legate all'energia pulita – comprese le risorse rinnovabili, l'efficienza energetica e le tecnologie di combustibili fossili più avanzate e pulite e promuovere gli investimenti nelle infrastrutture energetiche e nelle tecnologie dell'energia pulita

7.b Implementare entro il 2030 le infrastrutture e migliorare le tecnologie per fornire servizi energetici moderni e sostenibili, specialmente nei paesi meno sviluppati, nei piccoli stati insulari e negli stati in via di sviluppo senza sbocco sul mare, conformemente ai loro rispettivi programmi di sostegno

Inoltre, analizzando a fondo l'Agenda emergono concetti chiave di fondamentale importanza come l'inclusione dei giovani e l'istruzione nello sviluppo dell'energia sostenibile. In questo capitolo, verranno affrontati i temi della sostenibilità, in particolare riguardanti l'uso dei collettori solari a livello didattico come formazione per studenti. [38]

6.1 Il ruolo dei giovani nello sviluppo sostenibile

In questo periodo, un'intera generazione di utenti di stufe è nata, cresciuta e ora sta facendo scelte legate all'energia per le proprie famiglie. E sebbene l'inclusione dei giovani negli sforzi dei fornelli sia aumentata periodicamente e indirettamente, ci sono pochi studi che includono intenzionalmente i bambini

negli sforzi di implementazione dei fornelli. Recentemente, ci sono stati studi che hanno indicato che quando i bambini sono inclusi negli sforzi per il cambiamento del comportamento mirati da parte delle madri, il tasso di diffusione della nuova tecnologia di cottura è elevato e le transizioni energetiche all'interno della casa richiedono il consenso di tutti i membri della famiglia, compresi i bambini. Tuttavia, i giovani sono spesso trascurati, non sistematicamente impegnati nella maggior parte degli sforzi per cucinare fino a quando non sono già adulti con abitudini e atteggiamenti completamente formati. È dimostrato, quindi, che le conoscenze e gli atteggiamenti acquisiti nei programmi di Educazione allo Sviluppo Sostenibile (ESS) orientati ai giovani possono essere trasferiti tra generazioni e indurre indirettamente cambiamenti comportamentali mirati. Quando si cerca di incoraggiare i cambiamenti negli atteggiamenti e nei comportamenti della famiglia, può essere efficace nel rivolgersi ai bambini perché gli atteggiamenti e i comportamenti dei giovani sono flessibili. L'educazione allo sviluppo sostenibile (ESS), una politica e un'agenda delle Nazioni Unite allineate agli Obiettivi allo Sviluppo Sostenibile (SDG), possono dare vita ad un programma per educare e responsabilizzare i giovani per ispirare i cambiamenti nelle loro comunità.

6.1.1 Studio NaDEET

Questo studio esamina il ruolo dell'ESS orientato ai giovani come fattore trainante degli atteggiamenti energetici legati alla cucina e dei cambiamenti comportamentali in casa e nella comunità. Lo studio è avvenuto nella primavera del 2019 nella regione di Hardap in Namibia. L'Hardap è uno degli stati più poveri della Namibia, dove attualmente meno della metà dei residenti ha accesso alla rete elettrica. Circa la metà di tutti i residenti di Hardap e il 90% delle famiglie rurali di Hardap, bruciano combustibili solidi, principalmente legna da ardere, per il loro fabbisogno energetico domestico. La maggior parte dei namibiani rurali cucina al chiuso o in uno spazio semi-chiuso e più della metà ne è colpita dall'inquinamento atmosferico domestico. Una combinazione dello stato delle infrastrutture nelle aree rurali e di un'economia depressa rende la

cottura con l'elettricità, un'attività ad alta intensità energetica, economicamente non disponibile per molte famiglie.

Il Namib Desert Environmental Education Trust (**NaDEET**) è un'organizzazione non governativa dedicata all'ESS orientata ai giovani. NaDEET ha ospitato le scuole dell'Hardap e di tutto il paese nel loro campo, NaDEET Center, situato nell'Hardap nella Riserva Naturale del NamibRand dal 2003. Gli studenti in età scolare (classi 5-12) trascorrono quattro giorni imparando comportamenti di stile di vita sostenibili destinati ad alleviare gli oneri economici e sanitari associati a quattro temi principali; accesso a energia pulita e moderna, acqua e servizi igienico-sanitari migliori, biodiversità e conservazione e gestione responsabile dei rifiuti. NaDEET, una recente vincitrice del premio UNESCO-Giappone, è una delle poche organizzazioni nel continente africano riconosciuta dall'UNESCO come promotrice degli obiettivi ESS. Da quando si è formato, NaDEET ha ospitato più di 300 gruppi scolastici e quasi 100 insegnanti e gruppi di sviluppo della comunità nel loro campo.



Figura 80: Una pizza fatta dai partecipanti al campo cotta in un fornello solare. Foto scattata a marzo 2019

Come parte della programmazione energetica, i giovani partecipanti

preparano i propri pasti utilizzando

efficienti fornelli a biomassa e fornelli solari (Fig.80), nessuno dei quali si trova comunemente nell'Hardap. Gli studenti apprendono anche gli svantaggi sociali, economici e ambientali della raccolta della legna da ardere, una risorsa in diminuzione nell'Hardap. Ciò avviene attraverso lezioni dirette che esaminano le sfide di sostenibilità della Namibia e indirettamente attraverso giochi e attività, come una staffetta che simula gli svantaggi di chi deve trascorrere una parte significativa della giornata nella raccolta di legna da ardere. Gli studenti apprendono le alternative alla legna da ardere ed al carbone mentre usano fornelli solari e fornelli efficienti e mentre producono delle palle di fuoco di carta riciclata. Mentre i fornelli solari vengono utilizzati per la preparazione del pranzo e della cena al NaDEET

Center, il pasto mattutino, tipicamente 'pap mielie' (un porridge di mais e acqua calda) , caffè e tè viene preparato su stufe a basso consumo di carburante. I gruppi scolastici producono palle di fuoco riciclate da utilizzare in queste stufe come alternativa alla legna da ardere. Tutta la carta usata viene riciclata presso NaDEET per questo scopo, insegnando contemporaneamente ai bambini come ridurre il consumo di legna da ardere ed eliminare i rifiuti cartacei, che spesso diventano rifiuti a causa dei pochi programmi di gestione dei rifiuti urbani a livello nazionale.

La carta viene immersa nell'acqua, i bambini la tagliuzzano in piccoli pezzi, quindi premono insieme alcune manciate per formare una palla tesa (Fig.81). Ogni palla di fuoco viene quindi essiccata su una griglia per una settimana. Le palle di fuoco prodotte durante la sessione precedente vengono utilizzate nei fornelli durante la visita al campo dei bambini. Sono necessarie circa dieci palle di fuoco per riscaldare una pentola d'acqua utilizzando un fornello efficiente disponibile in commercio. NaDEET non conosce altre organizzazioni in Namibia che producono palle di fuoco riciclate o un prodotto simile.

Sondaggio:

E' stata condotta un'indagine stratificata su 200 famiglie in due città rurali nella regione di Hardap in Namibia dove state selezionate due comunità demograficamente simili, una con una storia di invio di gruppi scolastici al centro NaDEET e una seconda comunità, che funge da un gruppo di controllo, senza tale associazione. La città di cura, quella con una storia di impegno con NaDEET, ha inviato almeno un gruppo scolastico al campo in 9 degli ultimi 10 anni. Le due città sono equidistanti dal Centro NaDEET sulla Riserva Naturale di NamibRand, ma non sono vicine l'una all'altra. La proprietà di veicoli in entrambe le città è bassa e non esiste un modello specifico di migrazione tra le due comunità.

Questo studio ha cercato di determinare se i bambini influenzano la conoscenza o gli atteggiamenti legati all'energia in casa come risultato della loro stessa istruzione in un campo ESS non formale. I dati raccolti nelle due comunità rurali supportano l'idea che l'apprendimento all'interno di una famiglia sia bidirezionale, cioè che i genitori imparino dai loro figli oltre alla convinzione comune che i bambini imparino dai loro genitori. Il supporto per questa idea proviene da due fonti primarie. Il primo è che la



maggior parte degli intervistati
Studente al NaDEET Center che pressa la

Figura carta stracciata per fare una palla di fuoco riciclata81:

che erano genitori di ex partecipanti al Centro NaDEET poteva nominare attività o argomenti specifici in cui il loro bambino era impegnato mentre frequentava la programmazione di NaDEET, nonostante il tempo medio trascorso dalla frequenza del bambino fosse di quasi quattro anni. La seconda è che ci sono differenze significative nella conoscenza e negli atteggiamenti sull'energia solare utilizzata per cucinare, ma non sull'ambiente in generale, che dimostrano un trasferimento di conoscenze tra bambini e genitori. In conclusione, questo studio evidenzia l'importanza di ampliare la definizione di stakeholder nel settore delle cucine e dello sviluppo energetico per includere i bambini. Le famiglie con bambini che in passato erano partecipanti alla programmazione a tema energetico erano più ricettive e avevano una visione più favorevole della cucina solare e dell'energia solare. Questo studio raccomanda anche l'ESS (educazione sviluppo sostenibile) orientata ai giovani come quadro per cambiare atteggiamenti e comportamenti intergenerazionali, posizionando i bambini come agenti di cambiamento all'interno delle proprie case. I partenariati con fornitori locali di ESS hanno il potenziale per rafforzare la comunità investendo nei suoi giovani, oltre a portare avanti i risultati desiderati del progetto integrando gli sforzi rivolti agli adulti. [39]

6.2 Fornelli solari nell'aula di fisica

L'apprendimento basato su progetti ha dimostrato di essere una strategia pedagogica efficace che motiva gli studenti quindi promuove l'apprendimento. Al college Edgewood, a Madison (Wisconsin), è stato promosso un progetto incentrato sulla fisica dei fornelli solari. L'obiettivo, descritto da *Rachael Lancor and Brian Lancor*, era evidenziare le potenzialità del fornello solare da un'attività campo estivo ad un progetto di livello universitario utilizzando lo studio della termodinamica in modo più coinvolgente. Le cucine solari sono utilizzate nei paesi in via di sviluppo come alternativa alla cottura con il fuoco e alle pericolose stufe al cherosene, il che motiva gli studenti a studiare la termodinamica nonché il funzionamento dei fornelli solari. Gli obiettivi del progetto di apprendimento sono:

- Capire l'assorbimento e la perdita di energia, i meccanismi di trasferimento del calore, la radiazione del corpo nero, la riflessione e l'effetto serra attraverso la costruzione di un fornello solare a scatola
- Attraverso un processo di progettazione ingegneristica si progetta, costruisce e testa un fornello solare
- Calcolo dell'efficienza del fornello solare
- Attraverso un elaborato finale si elenca le decisioni di progettazione, si spiega l'efficienza dei fornelli solari utilizzando i concetti fisici pertinenti

Attraverso questo progetto gli studenti riescono a capire il concetto di risparmio energetico e l'influenza dell'efficienza della cucina solare, attraverso il

diagramma in figura che rappresenta il modello concettuale utilizzato per comprendere la termodinamica.

L'energia arriva nel fornello solare dal sole quindi si inizia una discussione sull'energia solare, i radiatori del corpo nero e la radiazione elettromagnetica. Nonostante la maggior parte degli studenti abbiano familiarità con lo spettro elettromagnetico, molti non sanno che l'intensità del sole non è uniforme in tutto lo spettro. Per spiegare questo fenomeno si utilizza una lampadina a incandescenza e uno spettrometro a fibra ottica (PASCO) collegato al computer. Inoltre, si calcola matematicamente l'energia persa per conduzione e irraggiamento:

- La CONDUZIONE è la velocità di trasferimento di calore che avviene attraverso il contatto tra due oggetti, in questo caso, il fornello solare caldo e l'ambiente circostante. Questo trasferimento di calore è rappresentato come:

$$P_{\text{conduzione}} = \frac{Q}{\Delta T} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

$\frac{Q}{\Delta T}$ = velocità di trasferimento di energia (potenza)

k = conduttività termica del materiale (W/mK)

A = area della sezione trasversale dell'oggetto (m²)

ΔT = differenza di temperatura tra le 2 estremità dell'oggetto (K)

L = lunghezza dell'oggetto (m)

Gli studenti si rendono conto di quanto sia alta la perdita di calore attraverso l'involucro di plastica, in quanto molto sottile, motivando così una discussione sia sulla convezione che sull'effetto serra.

- La RADIAZIONE è il trasferimento di energia da parte delle onde elettromagnetiche. Un oggetto irradierà energia fino a raggiungere l'equilibrio termico con l'ambiente circostante. La velocità con cui l'oggetto perde energia dipende dalla differenza di temperatura tra esso e l'ambiente:

$$P_{\text{radiazione}} = \frac{Q}{\Delta t} = e\sigma A(T_4 - T_0)$$

$\frac{Q}{\Delta t}$ = velocità di trasferimento di energia (potenza)
 e = emissività del

materiale

A = area superficiale dell'oggetto (m^2)

T = temperatura dell'oggetto (K)

σ = costante pari a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Da tenere in considerazione che l'emissività per un radiatore di corpo nero perfetto è pari a 1. Si introduce così il fornello solare come radiatore di corpo nero, il che significa che esiste una relazione tra temperatura e lunghezza d'onda di picco della radiazione. Questa relazione è chiamata LEGGE DI SPOSTAMENTO DI WIEN ed è data dalla seguente equazione :

$$\lambda_{\text{picco}} = \frac{2.90 \times 10^6 \text{ nm} \cdot \text{K}}{T}$$

T = temperatura (K)

λ = lunghezza d'onda di picco

Da tenere in considerazione che il fornello solare (come la Terra) non è un perfetto radiatore di corpo nero. L'involucro di plastica sul fornello solare consente il passaggio della luce solare, ma impedisce gli infrarossi. L'energia

che viene irradiata dal fornello solare raggiunge il picco nell'infrarosso, il che significa che viene assorbita dalla pellicola trasparente e contribuisce al riscaldamento del forno.

Gli studenti testano l'efficienza del forno attraverso la formula :

$$\% \text{ efficienza} = \frac{E_{\text{assorbita}}}{E_{\text{incidente}}} \times 100\%$$

La quantità di energia assorbita dall'acqua viene calcolata utilizzando l'equazione del calore specifico:

Q = energia assorbita m = massa dell'acqua

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} = c \Delta T$$

capacità specifica dell'acqua

ΔT = variazione di temperatura

L'energia solare incidente è calcolata sulla base di una misura del flusso luminoso rilevata attraverso un esposimetro Extech LT300, per la luce solare, l'intensità può essere calcolata utilizzando il fattore di conversione 1 LUX = 0,0107 W/mq che viene poi convertito in energia :

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{\Delta t A}$$

$$E_{\text{incidente}} = I A \Delta t$$

I = intensità della luce solare

A = area di raccolta del fornello solare

ΔT = intervallo di tempo in cui il fornello è esposto alla luce solare

Il modello matematico descritto consente agli studenti di calcolare la potenza netta in entrata o in uscita dai forni a qualsiasi temperatura dando loro la

possibilità e la conoscenza per riprogettare i loro prototipi migliorando l'efficienza.



Figura 82: Modelli di fornelli solari sviluppati dagli studenti

Nella relazione finale, gli studenti spiegano la tipologia di forno costruito fornendo i risultati del prototipo, considerando anche l'influenza degli effetti del tempo (copertura nuvolosa, temperatura, velocità del vento, ecc). I forni tipici raggiungono un'efficienza dell'1-3% anche se alcuni studenti hanno raggiunto efficienza fino al 6%. In conclusione, il fornello solare ha fornito una motivazione per far conoscere e approfondire agli studenti lo studio della termodinamica e attraverso i concetti acquisiti risolvere un problema reale confrontandosi nelle varie fasi teoriche e progettuali. [40]

Conclusioni

Al termine di questo elaborato, si è giunti alla conclusione che il sole potrebbe essere un'enorme fonte energetica soprattutto per i paesi in via di sviluppo che vivono senza accesso all'elettricità e nei quali la risorsa solare raggiunge valori elevati di irraggiamento. L'utilizzo dell'energia solare, infatti, rappresenta un'alternativa pulita e rinnovabile all'utilizzo dei combustibili fossili offrendo innumerevoli benefici economici e garantendo il rispetto per l'ambiente.

L'interesse verso fonti di energia pulite, negli ultimi anni, si è incrementato moltissimo dando slancio ad una fase di innovazione e sviluppo nell'utilizzo di sistemi a concentrazione dell'energia solare offrendo l'opportunità di ottenere energia termica utilizzabile sia in ambito domestico per la cottura dei cibi attraverso i fornelli solari, sia in ambito sanitario per la sterilizzazione di strumenti medici attraverso autoclavi solari. Come è stato descritto nei capitoli precedenti, la tecnologia solare è un ottimo potenziale anche per applicazioni a

livello istituzionale che prevede la cottura di cibo per gruppi anche con un unico sistema di cottura solare integrato, piuttosto che utilizzare semplicemente molti fornelli solari più piccoli. Può essere progettato per l'uso in mense, ristoranti o panifici, templi, scuole o strutture di produzione su larga scala che preparano molte migliaia di pasti al giorno. L'attrezzatura da cucina utilizza i principi di cottura solare di base e trae vantaggio dall'economia di scala. Considerando il suo notevole successo acquisito negli anni, numerose università del mondo promuovono attività di ricerca in ambito di forni solari. Queste attività di ricerca sono volte sia sullo sviluppo di forni solari sempre più efficienti sia per promuovere l'inclusione dei giovani sui temi della sostenibilità ambientale attraverso percorsi didattici mirati alla formazione degli studenti.

Appendice

Lista acronimi:

CSP	Concentrating Solar Power
STE	Solar Thermal Electricity
IEA	International Energy Agency
SEGS	Solar Energy Generating Systems
ENEA	Ente Nazionale per l'Energia e l'Ambiente
OMS	Organizzazione Mondiale della Sanità
MIT	Massachusetts Institute of Technology
FDA	Food and Drug Administration

SCI	Solar Cookers International
MNRE	Ministero delle Energie Pulite e Rinnovabile
SEED	Promoting entrepreneurship for sustainable development
ONG	Organizzazione Non Governativa
ONU	Organizzazione Nazioni Unite
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Lista figure/grafici :

FIGURA 1: SPETTRO ELETTROMAGNETICO: LE TONALITÀ IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA. I RAGGI CARATTERIZZATI DA LUNGHEZZE D'ONDA MOLTO PICCOLE (RAGGI GAMMA, X, ULTRAVIOLETTI) SONO I PIÙ ENERGETICI, VICEVERSA LE LUNGHEZZE D'ONDA PIÙ GRANDI SONO ASSOCIATE AI RAGGI INFRAROSSI E ALLE ONDE RADIO, CHE SONO MENO ENERGETICI. AL CENTRO C'È L'INTERVALLO DELLE LUNGHEZZE VISIBILI DALL'OCCHIO UMANO CHE, MISCELATE ASSIEME, VENGONO PERCIPITE COME LUCE BIANCA. I VALORI SULL'ASSE NON SONO IN SCALA.	3
FIGURA 2: SPETTRO DELL'IRRADIANZA SOLARE IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA. LA CURVA PIÙ ALTA SI RIFERISCE AL PROFILO RILEVABILE ALLA SOMMITÀ DELL'ATMOSFERA: È ALL'INCIRCA QUELLA DI EMISSIONE DI UN CORPO NERO ALLA TEMPERATURA DI 5780 K (IL SOLE); I LIEVI SCOSTAMENTI RISPETTO AL PROFILO REGOLARE DEL CORPO NERO SONO DOVUTI ALL'ASSORBIMENTO DA PARTE DELLE MOLECOLE E DEGLI ATOMI VAGANTI NELLO SPAZIO INTERPLANETARIO (IDROGENO ECC.). LA CURVA PIÙ BASSA, INVECE, SI RIFERISCE AL PROFILO RISCOINTRABILE AL LIVELLO DEL SUOLO: LE IRREGOLARITÀ E L'ATTENUAZIONE SONO PIÙ PRONUNCIATE A CAUSA DELLE NUMEROSE MOLECOLE DELLO STRATO ATMOSFERICO CHE ASSORBONO I RAGGI IN MANIERA SELETTIVA: SE GLI AEROSOL ASSORBONO IN MODO QUASI UNIFORME A TUTTE LE LUNGHEZZE D'ONDA, PARTICOLARI MOLECOLE (OSSIGENO, ANIDRIDE CARBONICA, OZONO ECC.) SONO RESPONSABILI DEI PICCHI ALL'INGIÙ IN CORRISPONDENZA DI PARTICOLARI LUNGHEZZE.	3
FIGURE 3: DISTRIBUZIONE AREA DELLA SUPERFICIE TERRESTRE MAGGIORMENTE INDICATA ALLO SVILUPPO DEL SOLARE A CONCENTRAZIONE: "SUN BELT" (CINTURA SOLARE)	6
FIGURE 4: DISTRIBUZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE DIRETTA INCIDENTE SUL GLOBO TERRESTRE	6
FIGURA 5: SISTEMA DI CONCENTRAZIONE AD ATTRAVERSAMENTO PARABOLICO LINEARE	12
FIGURA 6: SISTEMA A CONCENTRAZIONE DI TIPO FRESNEL	13
FIGURA 7: SISTEMA A CONCENTRAZIONE A TORRE SOLARE.....	14
FIGURE 8 : DISCO SOLARE	16

FIGURE 9: PRIMA CONFIGURAZIONE “SOLARCLAVE”	29
FIGURA 10: SECONDA CONFIGURAZIONE “SOLARCLAVE”	30
FIGURE 11: EVOLUZIONE SECONDA CONFIGURAZIONE E DETTAGLIO PENTOLA A PRESSIONE CON ISOLANTE	31
FIGURE 12: SUL TETTO DEL MIT INTERNATIONAL DESIGN CENTER, GOMEZ-MARQUEZ AIUTA LE STUDENTESSE COLLABORATRICI ANNA YOUNG (A SINISTRA) ED ELIZABETH PHILLIPS A MONTARE UN PROTOTIPO DEL SOLARCLAVE, UNO STERILIZZATORE PER STRUMENTI MEDICI. SAM OGDEN	32
FIGURA 13: : SCHEMA SEMPLICE DEL SISTEMA AUTOCLAVE A ENERGIA SOLARE TERMICA	33
FIGURA 14: COLLETTORE SOLARE TERMICO, CAPTEUR SOLEIL	34
FIGURA 15: PIATTO CALDO. SEZIONE SUPERIORE (SINISTRA) E SEZIONE INFERIORE (DESTRA)	35
FIGURA 16: AUTOCLAVE ALLOGGIATA IN BOX COIBENTATO.	35
FIGURA 17: RENDERING SOLIDWORKS DEL DISPOSITIVO HELIOS	37
FIGURA 19 : RENDERING SOLIDWORKS DEL DISPOSITIVO ELIOS	37
FIGURA 18: : IMMAGINE DEL DISPOSITIVO HELIOS IN FUNZIONE A PITTSBURGH, PA	38

F	
FIGURA 20:	RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI DEL TEST DI STERILITÀ DEL COMPONENTE DELLO SCAMBIATORE DI CALORE CON CRESCITA BATTERICA PRESENTE SOLO NELL'ACQUA DEL LAGHETTO NON STERILE 39
FIGURA 21:	SCHEMA DEL SISTEMA DI STERILIZZAZIONE SOLARE A VAPORE 40
FIGURA 22:	FORMAZIONE DEL PERSONALE TECNICO PER RISOLVERE EVENTUALI PROBLEMI IMMINENTI 41
FIGURA 23:	SISTEMA IBRIDO : VERDE =COLLETTORE SOLARE DI CONDENSA ; ROSSO= CALDAIA ELETTRICA ORIGINALE 41
FIGURA 24:	SCHEMA SISTEMA IBRIDO 41
FIGURA 26:	BLOCCO DI FERRO TOTALMENTE ISOLATO CON VETRO RESISTENTE AL CALORE 42
FIGURA 25:	SCHEMA BLOCCO DI FERRO 42
FIGURA 27:	CURVA DI CARICO DEL SISTEMA 42
FIGURE 28:	EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA DELLA GENERAZIONE DI VAPORE SOLARE. (A): TEMPERATURA IN FUNZIONE DEL TEMPO PER ACQUA DISPERSA CON NANOSHELL DI AU (I, LIQUIDO; II, VAPORE) E ACQUA SENZA NANOPARTICELLE (III, LIQUIDO; IV, VAPORE) SOTTO L'ESPOSIZIONE SOLARE. (CONCENTRAZIONE DI NANOPARTICELLE DI AU SUFFICIENTE A PRODURRE UNA DENSITÀ OTTICA DI UNITÀ.) (B) FOTOGRAFIA DEL SISTEMA UTILIZZATO NELL'EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA DELLA GENERAZIONE DI VAPORE SOLARE: (A) RECIPIENTE TRASPARENTE ISOLATO CON UNA CAMICIA A VUOTO PER RIDURRE LE PERDITE TERMICHE, (B) DUE TERMOCOPPIE PER RILEVARE LA SOLUZIONE E LA TEMPERATURA DEL VAPORE, (C) SENSORE DI PRESSIONE E (D) UGELLO DA 1/16 DI POLLICE. 44
FIGURE 29(A):	SCHEMA E FOTOGRAFIA DELL'AUTOCLAVE SOLARE A CIRCUITO CHIUSO CHE MOSTRA (I) IL MODULO DI GENERAZIONE DEL VAPORE, (II) IL MODULO DI CONNESSIONE E (III) IL MODULO DI STERILIZZAZIONE. I COMPONENTI DEL SISTEMA SONO (A) RECIPIENTE DI STERILIZZAZIONE, (B) SENSORE DI PRESSIONE, (C) SENSORE DI TERMOCOPPIA, (D) VALVOLA DI SICUREZZA, (E ED F) VALVOLE DI CONTROLLO, (G) COLLETTORE SOLARE CONTENENTE LA SOLUZIONE DI RISCALDAMENTO A BASE DI NANOPARTICELLE , (H) VALVOLA DI RITEGNO E (K) CONCENTRATORE SOLARE (UNALENTE DI FRESNEL IN PLASTICA DI 0,67 M ² DI SUPERFICIE). 45
FIGURA 30:	DETTAGLIO MODULO DI STERILIZZAZIONE. AUTOCLAVE CON PIANO COTTURA LEGGERMENTE MODIFICATO. CONSISTE DI UN CORPO, IN CUI È CONTENUTO IL VOLUME, E IL COPERCHIO, CHE È FILETTATO SUL CORPO UTILIZZANDO UNA SERIE DI DADI AD ALETTE. IL VAPORE VIENE CONVOGLIATO ATTRAVERSO UNA PORTA APPOSITAMENTE LAVORATA SULLA PARTE SUPERIORE DEL COPERCHIO E LA CONDENSA È RESTITUITO ATTRAVERSO IL FONDO DELLA NAVE. 46
FIGURA 31(B):	SCHEMA E FOTOGRAFIA DELL'AUTOCLAVE SOLARE A CIRCUITO APERTO: I COMPONENTI DEL SISTEMA SONO (I) CONCENTRATORE SOLARE (SPECCHIO PIATTO DA 44 POLLICI), (II) COLLETTORE DI CALORE CONTENENTE NANOPARTICELLE METALLICHE E (III) RECIPIENTE DI STERILIZZAZIONE CHE CONTIENE UN SENSORE DI PRESSIONE, DUE SENSORI A TERMOCOPPIA, UNA VALVOLA DI SFIATO DEL VAPORE E DUE POMPE MANUALI E VALVOLE CHE CONTROLLANO L'INGRESSO E L'USCITA DEI RIFIUTI. IL SISTEMA DI PARABOLE A CONCENTRATORE SOLARE HA UN DOPPIO SISTEMA DI

F	
	TRACCIAMENTO ALIMENTATO DA UNA PICCOLA BATTERIA PER AUTO RICARICATA DA UN'UNITÀ A CELLE SOLARI. 47
FIGURE 32:	DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA DELL'AUTOCLAVE DELLE AUTOCLAVI SOLARI (A) A CIRCUITO CHIUSO E (B) A CIRCUITO APERTO. LA TEMPERATURA DEL VAPORE RISPETTO AL TEMPO MISURATA IN DUE DIVERSI PUNTI IN AUTOCLAVE: SUPERIORE (CURVA ROSSA) E RISPETTIVO FONDO (CURVA BLU). LA LINEA TRATTEGGIATA INDICA LA TEMPERATURA RICHIESTA PER LA STERILIZZAZIONE E LA CASELLA ROSSA INDICA IL REGIME DI STERILIZZAZIONE (115 ° C PER 20 MIN O 132 ° C PER 4,6 MIN). LA TEMPERATURA AMBIENTE (VERDE) È STATA MONITORATA COME RIFERIMENTO. 48
FIGURE 33:	INDICATORI BIOLOGICI UTILIZZATI PER TESTARE LA STERILIZZAZIONE IN AUTOCLAVE SOLARE. FIALE DI TEST DI G. STEAROTHERMOPHILUS POSTE IN VARIE POSIZIONI NEL MODULO DI STERILIZZAZIONE: (A) LA PARTE SUPERIORE / INFERIORE DEI VASI È STATA SIGILLATA PER MATERIALE SOLIDO E CONTROLLO NON TRATTATO E (B) POSTA IN STIMOLANTE FECALE SIGILLATA PER MATERIALE LIQUIDO-SOLIDO E CONTROLLO NON TRATTATO..... 50
FIGURE 34:	GENERAZIONE DI VAPORE SATURO ABILITATA ALLA CONCENTRAZIONE TERMICA. (A) AUMENTO DEL FLUSSO DI CALORE LOCALE MEDIANTE CONCENTRAZIONE OTTICA (SINISTRA) E TERMICA (DESTRA). PER AVVIARE L'EBOLLIZIONE NUCLEATA DELL'ACQUA, LA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEVE ESSERE SUPERIORE AL PUNTO DI EBOLLIZIONE (SURRISCALDAMENTO DELLA PARETE) E IL FLUSSO DI CALORE LOCALE DEVE SUPERARE IL VALORE ALL'INIZIO DELL'EBOLLIZIONE NUCLEATA. IL PANNELLO CENTRALE E INFERIORE ILLUSTRA LA CORRISPONDENTE DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA E DEL FLUSSO DI CALORE LUNGO LA SUPERFICIE DELL'ASSORBITORE SOLARE PER LA CONCENTRAZIONE OTTICA E TERMICA. L'AREA OMBREGGIATA NELLA DISTRIBUZIONE DELLA TEMPERATURA DELL'APPROCCIO TERMICO INDICA LA PERDITA DI CALORE AGGIUNTIVA DOVUTA ALL'AREA DELL'ASSORBITORE ALLARGATA 52
FIGURA 35:	EFFICIENZA DELLA CONCENTRAZIONE TERMICA IN FUNZIONE DEL COEFFICIENTE DI PERDITA DI CALORE SUPERFICIALE H PER DIVERSI FLUSSI SOLARI E TEMPERATURE DI BASE. LA LINEA TRATTEGGIATA ORIZZONTALE MOSTRA LE PRESTAZIONI DI UN TIPICO CONCENTRATORE OTTICO E LA LINEA TRATTEGGIATA VERTICALE MOSTRA LE PRESTAZIONI DI CONCENTRAZIONE TERMICA COMPARABILI OTTENUTE IN QUESTO LAVORO 53
FIGURE 36:	PROGETTAZIONE E FABBRICAZIONE DEL PROTOTIPO DEL GENERATORE DI VAPORE..... 53
FIGURA 37:	(A) SPETTRI DI TRASMITTANZA (T) E RIFLETTANZA (R) DELL'AEROGEL, DELL'ASSORBITORE, DEL VETRO E DELLO SPECCHIO NELLA REGIONE SOLARE E DELL'INFRAROSSO 54
FIGURA 38:	(D) PERDITA DI ENERGIA OTTICA, TERMICA E TOTALE IN FUNZIONE DELLO SPESSORE DELL'AEROGEL PER UN FLUSSO SOLARE IN INGRESSO DI 1 E 2 KW / M2 E DELLA TEMPERATURA DELL'ASSORBITORE DI 100 C. 55
FIGURE 39:	TIPDI FORNELLI SOLARI 56
FIGURA 41:	BOX COOKER MIGLIORATO 58
FIGURA 40:	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA BOX COOKER 58
FIGURA 42:	FUN PANEL COOKER 59

F	
FIGURA 43: FUN PANEL IN CEMENTO (CELESTINO RUIVO).....	59
FIGURA 44: COOKIT PIEGATO	59
FIGURA 45: KIMONO SOLAR COOKER (MATTEO MUCCIOLI)	60
FIGURE 46: PARABOLIC SOLAR COOKER	61
FIGURE 47: PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL FORNELLO A PARABOLA SOLARE	66
FIGURE 48: : FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA DI COTTURA DIRETTA SCHEFFLER	67
FIGURA 49: PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL RIFLETTORE SCHEFFLER	68
FIGURA 50: LA RIFLESSIONE VERSO L'ALTO LUNGO L'ASSE DI ROTAZIONE POSIZIONA IL RIFLETTORE SUL LATO EQUATORIALE DEL LUOGO DI COTTURA ED ELIMINA IL RIFLETTORE SECONDARIO	69
FIGURA 51: DISPOSIZIONE DEI RIFLETTORI SCHEFFLER PER GRANDI IMPIANTI DI GENERAZIONE DI VAPORE	69
FIGURA 52: PARABOLA SOLARE ARUN®	70
FIGURA 53: MUNI SERVA ASHRAM HA CONVERTITO IL SUO SISTEMA DI COTTURA SOLARE SCHEFFLER BASATO SUL VAPORE PER UTILIZZARE IL FLUIDO TERMICO PER ESSERE IN GRADO DI FORNIRE LA COTTURA NOTTURNA	72
FIGURA 54: CASA DEGLI STUDENTI RAMAKRISHNA MISSION STUDENT'S HOME	73
FIGURA 55: PANNELLI SOLARI INSTALLATI NEL CAMPUS DELLA SATHYABAMA UNIVERSITY	74
FIGURA 56: CALDAIE SOLARI ARUN DELL'HOTEL THE MAURYA HOTEL	75
FIGURA 57: RISTORANTE SOLARE DELICIAS DEL SOL VILLASECA CILE	77
FIGURA 58: EVOLUZIONE DEL FORNELLO SOLARE, A PARABOLA, VILLASECA, CILE	77
FIGURA 59: FORNO SOLARE CON RIFLETTORE SCHEFFLER PER LA COTTURA DEL PANE, BURKINA FASO	78
FIGURA 61: PANIFICIO SOLARE BURKINA FASO	80
FIGURA 60: : CONCENTRATORE SOLARE MODELLO LYTEFIRE 5, GO SOL	80
FIGURA 62: PRIMA SPERIMENTAZIONE DEL RISTORANTE SOLARE 'LE PRÉSAGE' (2015)	81
FIGURA 63: CUCINA RISTORANTE 'LE PRÉSAGE'	82
FIGURA 64: DETTAGLIO DEL SECONDO RIFLETTORE	82
FIGURA 66: STUFA IN FUNZIONE	83
FIGURA 65: L RIFLETTORE SECONDARIO REALIZZATO IN FOGLI DI ALLUMINIO E INSERITO NELLA STUFA.....	83
FIGURA 68: ESEMPIO DI UN PASTO 'LE PRÉSAGE'	83
FIGURA 67: DETTAGLIO TEMPERATURA	83
FIGURA 70: SECONDO MODELLO DEL RISTORANTE SOLARE 'LE PRÉSAGE' (2017)	84

F

FIGURA 71: RAPPRESENTAZIONE ARTISTICA DEL NUOVO PROGETTO DI LE PRÉSAGE, DISEGNATA DA OLIVIER NATTES.	85
FIGURA 72: UNA RAPPRESENTAZIONE DEL CICLO DI LAVORO PREVISTO PER LE PRÉSAGE, MADE IN MARSEILLE (2020)	86
FIGURA 74: DI TUTTA LA GAMMA DELLE EMISSIONI SOLARI LA PARTE CON LA MAGGIORE ENERGIA È NELLA SEZIONE DELLA LUCE VISIBILE. IN QUESTA ZONA IL CHICCO CRUDO DI CAFFÈ È PARZIALMENTE PERMEABILE E PERMETTE AI FOTONI DI QUESTE LUNGHEZZE D'ONDA DI PENETRARE LA SUPERFICIE	90
FIGURA 73: UN CHICCO DI CAFÈ CRUDO CHE ILLUMINATO DAL BASSO MOSTRA LA SUA OPALESCENZA.....	90
FIGURE 75: IL CHICCO A SINISTRA È TOSTATO CON IRRAGGIAMENTO SOLARE E LA SUA PELLICOLA È PIÙ SCURA DEL CHICCO A DESTRA CHE È STATO TOSTATO CON LA MACCHINA CLASSICA DI TORREFAZIONE A TAMBURO ROTANTE	91
FIGURA 76: TORREFAZIONE SOLARE 'PURO SOLE'	92
FIGURA 78: : CAFFÈ IN FASE DI TOSTATURA ALL'INTERNO DI UN CILINDRO DI VETRO BOROSILICATO. I GRANI DI CAFFÈ VENGONO MANTENUTI IN SOSPENSIONE E CONTINUAMENTE MISCELATI DA UN FLUSSO DI ARIA DAL BASSO VERSO L'ALTO	93
FIGURA 77: CAFFÈ IN FASE DI TOSTATURA CONTENUTO ALL'INTERNO DI UN CESTELLO ROTANTE.....	93
FIGURA 79: TORREFAZIONE SOLARE COMPADRE, PERÙ	94
FIGURA 80: UNA PIZZA FATTA DAI PARTECIPANTI AL CAMPO COTTA IN UN FORNELLO SOLARE. FOTO SCATTATA A MARZO 2019	99
FIGURA 81: STUDENTE AL NADEET CENTER CHE PRESSA LA CARTA STRACCIATA PER FARE UNA PALLA DI FUOCO RICICLATA	100
FIGURA 82: MODELLI DI FORNELLI SOLARI SVILUPPATI DAGLI STUDENTI	105

Bibliografia

- [1] «IEA (2019), World Energy Outlook 2019 , IEA, Parigi,» [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.
- [2] Tommaso Crescenzi, Massimo Falchetta, Alfredo Fontanella, Enzo Metelli, Adio Miliozzi, Francesco Spinelli, Luigi Sipione, «Opportunità di applicazione delle tecnologie solari termodinamiche in Italia,» 2016. [Online]. Available: <https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdfvolumi/v2016-applicazione-tecnologie-solari.pdf>.
- [3] Francesco Spinelli, ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili – Laboratorio Progettazione Componenti e Impianti, «Spettro (elettromagnetico) solare e assorbimento in atmosfera,» [Online]. Available: <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazionesolare/qualcosa-da-sapere-sul-sole-1/spettro-elettromagnetico-solare-eassorbimento-in-atmosfera>.
- [4] Enea, «Quanta energia solare arriva sulla Terra?,» [Online]. Available: <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/radiazionesolare/quanta-energia-solare-arriva-sulla-terra>.
- [5] Silvio Davolio, «Radiazione,» 2012. [Online]. Available: https://www.isac.cnr.it/dinamica/davolio/tmp/Didattica/dispense_radiazion e.pdf.
- [6] Dr. Sven Teske (Greenpeace International), Dr. Luis Crespo (President of ESTELA), Dr. Christoph Richter (Executive Secretary IEA SolarPACES), «Solar Thermal Electricity , Global Outlook 2016,» 2016. [Online].

Available: http://www.solarpaces.org/new-web-nasertic/images/pdfs/GPESTELA-SolarPACES_Solar-Thermal-Electricity-Global-Outlook2016_Executive-Summary.pdf.

- [7] ISPEL, Istituto Superiore Prevenzione E Salute Lavoro, «Linee Guida sull'attività di sterilizzazione quale protezione collettiva da agenti biologici per gli operatori nelle strutture sanitarie,» 2010. [Online]. Available: http://www.aiosterile.org/wordpress/documenti/APPROFONDIMENTI/LIN EE_GUIDA.pdf.
- [8] Prof. Silvano Monarca, 2015. [Online].
- [9] Tremayne Kaseman, Jean Boubour e Douglas A. Schuler, «Validation of the Efficacy of a Solar-Thermal Powered Autoclave System for Off-Grid Medical Instrument Wet Sterilization,» Brown School of Engineering, Rice University, Houston, Texas; Jones Graduate School of Business and Institute for Global Health, 2012. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3516307/>. [Consultato il giorno 17 Dicembre 2020].
- [10] David L. Chandler, «Sterilizing with the sun,» 26 February 2013. [Online]. Available: <https://news.mit.edu/2013/sterilizing-with-the-sun-0226>.
- [11] Anna Young, «Poster Solar Autoclaves,» MIT, [Online]. Available: https://www.who.int/medical_devices/poster_a18.pdf. [Consultato il giorno 21/ 12/ 2020].
- [12] R. Thottam, «Solarclave,» 2013. [Online]. Available: https://www.ele.uri.edu/Courses/bme281/F13/1_RobertT_2.pdf.
- [13] Jonathon Keats, «Revolutionizing Medical Tech With Dollar-Store Devices,» 01/ 08/ 2014. [Online]. Available: <https://www.discovermagazine.com/health/revolutionizing-medical-techwith-dollar-store-devices>.
- [14] Anshul Dhankher, Gryphon Drake, Jinie Haytko, Yatindra Patel, Christine Sidoti, Gihoon Song, «A Solar Sterilization and Distillation Unit for Water

- in Resource-Poor Settings,» IEEE Global Humanitarian Technology Conference, 4/ 12/ 2014. [Online]. Available:
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6970324>.
- [15] Michael Tyroller, Solare Brücke, «Solar steam sterilizer for rural hospitals,» Static Wikia, [Online]. Available:
https://static.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/c/cc/Granada06_Michael_Tyroller.pdf/revision/latest?cb=20070307184420.
- [16] Oara Neumann, Curtis Feronti , Albert D. Neumann , Anjie Dong , Kevin Schell , Benjamin Lu , Eric Kim , Mary Quinn , Shea Thompson , Nathaniel Grady , Peter Nordlander , Maria Oden e Naomi J. Halas, «Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles,» 2013. [Online]. Available:
<https://www.pnas.org/content/110/29/11677>.
- [17] Lin Zhao,Bikram Bhatia,Lenan Zhang,Elise Strobach, Arny Leroy,Manoj K. Yadav,Sungwoo Yang,1 Thomas A. Cooper, Lee A. Weinstein,Anish Modi,Shireesh B. Kedare,Gang Chen and Evelyn N. Wang, «A Passive High-Temperature High-Pressure Solar Steam Generator for Medical Sterilization,» 16/ 12/ 2020. [Online]. Available:
[https://www.cell.com/joule/pdfExtended/S2542-4351\(20\)30496-7](https://www.cell.com/joule/pdfExtended/S2542-4351(20)30496-7).
- [18] U.C. Arunachala ,Ashok Kundapur , «Cost-effective solar cookers: A global review,» 01/ 09/ 2020. [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20307581>.
- [19] Solar cookers international, «Fun panel,» [Online]. Available:
<https://solarcooking.fandom.com/wiki/Fun-Panel>.
- [20] Celestino Rodrigues Ruivo e ADAI-LAETA, «On the construction and users acceptance of funnel concrete solar cooker,» , [Online]. Available:
https://static.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/6/61/On_the_Construction_and_Users_Acceptance_of_Funnel_Concrete_Solar_Cooker_Ruivo.pdf/revision/latest?cb=20170128050935.
- [21] Solar cookers international, «Kimono fornello solare,» [Online]. Available:

- https://solarcooking.fandom.com/wiki/Kimono_Solar_Cooker.
- [22] Zhao Yuechen, «Current Situation and Challenges of Indian Solar Energy Development,» 26/ 04/ 2019. [Online]. Available:
<https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/inter2019/IN19-216.pdf>.
- [23] Sunil Indora ,Tara C. Kandpal, «Institutional cooking with solar energy: A review,» 26/ 02/ 2018. [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117315320>.
- [24] Wolfgang Scheffler, «Scheffler Community Kitchen,» SCI (Solar Cookers International), [Online]. Available:
https://solarcooking.fandom.com/wiki/Scheffler_Community_Kitchen.
- [25] Jaideep Malaviya, «India: First Solar Thermal Steam Storage for Cooking Applications,» Solar Thermal World, 23/ 12/ 2014. [Online]. Available:
<https://www.solarthermalworld.org/news/india-first-solar-thermal-steamstorage-cooking-applications>.
- [26] Prof. Dr. Ajay Chandak, «ARUN@100 with Thermal Storage at RAMKRISHNA MISSION, CHENNAI,» [Online]. Available:
https://static.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/c/c0/SCI_news_2.pdf/revision/latest?cb=20140812171745.
- [27] «The hindu,» [Online]. Available:
<https://www.thehindu.com/todayspaper/tp-features/tp-educationplus/Solar-energy-system-on-Sathyabamacampus/article15944567.ece>.
- [28] Clique Solar, «Hospitality Industry,» [Online]. Available:
<https://www.cliquesolar.com/Hospitality.aspx>.
- [29] «Delicias del Sol,» Solar Cookers International (SCI), [Online]. Available:
https://solarcooking.fandom.com/wiki/Delicias_del_Sol.
- [30] ISOMET, «HYBRID SOLAR OVEN: SAVING WOOD RESOURCES BY USING SOLAR-POWER OVENS,» [Online]. Available:
https://static.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/1/1d/HYBRID_SOLA

R_OVEN-
_SAVING_WOOD_RESOURCES_BY_USING_SOLARPOWER_OVENS
%2C_ISOMET%2C_10-18-
16.pdf/revision/latest?cb=20161018183018.

- [31] GoSol, «A new solar bakery in Burkina Faso,» GoSol.org, [Online]. Available:
https://gosol.org/spip.php?page=article&id_article=1112&connect=sf.
- [32] GoSol, «Progetto Kenya,» GoSol.org, [Online]. Available:
<https://gosol.org/kenya>.
- [33] Pierre-André Aubert, Association Rêves Germés – Restaurant Le Présage, «Testing phase of the first solar restaurant of France (Europe),» [Online]. Available:
https://static.wikia.nocookie.net/solarcooking/images/8/80/Testing_Phase_of_the_First_Solar_Restaurant_of_France_%28Europe%29_Aubert.pdf/revision/latest?cb=20170127043319.
- [34] Loïs Elziere, «Marseille : Le premier restaurant 100% solaire de France en bonne voie d'installation,» *Made in Marseille*, 22 février 2021.
- [35] Wikipedia, l'enciclopedia libera, «Torrefazione,» [Online]. Available:
<https://it.wikipedia.org/wiki/Torrefazione>.
- [36] Digitarch Farm S.r.l, «La tecnologia della torrefazione Solare di PuroSole,» [Online]. Available: <https://purosole.it/>.
- [37] Compadre, «Tecnologia,» [Online]. Available:
<https://compadre.pe/tecnologia/>.
- [38] Organizzazione delle Nazioni Unite, «Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile,» [Online]. Available:
<https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onuitalia.pdf>.

- [39] Samantha A. Lindgren, Assistant Professor, University of Illinois at Urbana-Champaign, «A broader definition of cookstove stakeholder: The inclusion of youth and education in sustainable energy development,» 2019. [Online]. Available: <https://ic-sd.org/wpcontent/uploads/2020/11/Samantha-Lindgren.pdf>.
- [40] Rachael Lancor, Brian Lancor (The Physics Teacher) Edgewood College, Madison, «Solar Cookers in the Physics Classroom,» *The Physics Teacher*, n. Vol 56, 12/ 2018.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Giovanni Di Nicola, relatore di questa tesi, per la grande disponibilità, professionalità e chiarezza dimostrate durante la stesura del lavoro e l'attività di tirocinio.

Ringrazio poi la mia famiglia per avermi permesso di coltivare gli studi, nonostante le difficoltà, per avermi appoggiato sempre nelle scelte e nei progetti di vita.