



Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Edile
Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

REALIZZAZIONE DI UN FORNO SOLARE A SCATOLA TIPO NEWTON 2.0 E PRIMI TEST SPERIMENTALI

Realization of a Newton 2.0 type solar box cooker and preliminary
experimental tests

Relatore:
Prof. Giovanni Di Nicola

Tesi di Laurea di:
Nicola Francioni

Anno Accademico 2019/2020

INDICE

INDICE DELLE FIGURE.....	V
---------------------------------	----------

INDICE DELLE TABELLE.....	VIII
----------------------------------	-------------

INTRODUZIONE.....	1
--------------------------	----------

1 STATO DELL'ARTE.....	2
-------------------------------	----------

1.1 Importanza del risparmio energetico e dello sviluppo sostenibile.....	2
1.2 Energia da fonti rinnovabili.....	4
1.3 Energia solare.....	8
1.4 Applicazioni dell'energia solare.....	10
1.5 Cottura solare.....	13
1.6 Forno solare.....	14
1.7 Tipologie di forni solari.....	15
1.7.1 Forni solari a pannelli.....	15
1.7.2 Forni solari parabolici.....	16
1.7.3 Forni solari a scatola.....	17

2 FORNO SOLARE REALIZZATO.....	19
---------------------------------------	-----------

2.1 Premessa.....	19
2.2 Considerazioni e scelte progettuali.....	20
2.3 Descrizione.....	21
2.4 Materiali.....	22
2.4.1 Pannello di base.....	22
2.4.2 Pannelli laterali di base.....	23
2.4.3 Sportelli laterali.....	24
2.4.4 Maniglie.....	24
2.4.5 Vetro temprato extrachiaro.....	25
2.4.6 Profilo a L di alluminio.....	26
2.4.7 Magneti al neodimio.....	28
2.4.8 Specchi in plexiglass.....	28
2.4.9 Fogli di alluminio.....	29
2.4.10 Nastro adesivo di carta.....	29
2.4.11 Viti da legno.....	30
2.4.12 Dadi autobloccanti, bulloni e rondelle.....	30
2.4.13 Analisi dei costi.....	31
2.5 Dettagli costruttivi.....	32

2.6	Realizzazione.....	41
2.6.1	Premessa.....	41
2.6.2	Attrezzatura occorrente.....	41
2.6.3	Fasi costruttive.....	42
2.7	Principio di funzionamento.....	48
2.7.1	Apporti energetici.....	48
2.7.2	Orientamento del forno e regolazione degli specchi.....	49
2.7.3	Limitazione delle dispersioni termiche.....	53
2.7.4	Fase di cottura.....	54
2.8	Studio dell'ottica.....	56
3	PROCEDURE STANDARD INTERNAZIONALI.....	59
3.1	Premessa.....	59
3.2	Procedura proposta da Khalifa et al.....	59
3.3	Procedura proposta da Mullick.....	60
3.4	Variabili.....	61
3.4.1	Premessa.....	61
3.4.2	Variabili controllabili.....	61
3.4.2.1	Carico.....	61
3.4.2.2	Inseguimento.....	61
3.4.2.3	Rilevamento della temperatura.....	62
3.4.3	Variabili non controllabili.....	62
3.4.3.1	Vento.....	62
3.4.3.2	Temperatura ambiente.....	62
3.4.3.3	Temperatura del fluido.....	62
3.4.3.4	Radiazione solare.....	63
4	INSTALLAZIONE DEL BANCO DI PROVA.....	64
4.1	Premessa.....	64
4.2	Termocoppie.....	65
4.2.1	Principio di funzionamento.....	65
4.2.2	Termocoppie di tipo T.....	66
4.3	Pireliometro.....	67
4.3.1	Pireliometro utilizzato.....	68
4.4	Computer ed acquisitore.....	69
5	TEST SPERIMENTALI SVOLTI.....	71
5.1	Premessa.....	71
5.2	Prove a vuoto senza piastra.....	71
5.2.1	Prima prova del 23/06/2020.....	72
5.2.2	Seconda prova del 23/06/2020.....	74

5.2.3 Prova del 26/06/2020.....	75
5.2.4 Riepilogo prove a vuoto senza piastra.....	76
5.3 Prove a vuoto con piastra.....	77
5.3.1 Prima prova del 30/09/2020.....	78
5.3.2 Seconda prova del 30/09/2020.....	80
5.3.3 Riepilogo prove a vuoto con piastra.....	81
5.4 Prove con carico.....	82
5.4.1 Prova del 25/06/2020.....	84
5.4.2 Prova del 29/06/2020.....	85
5.4.3 Prova del 09/07/2020.....	86
5.4.4 Riepilogo prove con carico.....	88
6 MIGLIORAMENTI DEL FORNO.....	89
7 CONCLUSIONI.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	92

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1: Relazione tra temperatura terrestre e CO ₂ nell'atmosfera.....	3
Fig. 2: Percentuali delle fonti energetiche, Rapporto REN21 del 2017 [2].....	4
Fig. 3: Esempi di energie rinnovabili.....	6
Fig. 4: Quota di energia da fonti rinnovabili in Europa, 2018 [4].....	7
Fig. 5: Investimenti globali nelle energie rinnovabili [7].....	8
Fig. 6: Radiazione solare incidente sulla Terra.....	9
Fig. 7: Radiazione solare al suolo.....	9
Fig. 8: Solare fotovoltaico.....	11
Fig. 9: Solare termico.....	12
Fig. 10: Solare termodinamico.....	13
Fig. 11: Tipologie di forni solari: (a) forno solare a pannelli; (b) forno solare parabolico; (c) forno solare a scatola [11].....	15
Fig. 12: Forno solare a pannelli (Cookit).....	16
Fig. 13: Forno solare a parabola.....	17
Fig. 14: Forno solare a scatola.....	18
Fig. 15: Forno solare a scatola tipo Newton 2.0.....	19
Fig. 16: Individuazione dei componenti del Newton 2.0.....	21
Fig. 17: Pannello di base.....	23
Fig. 18: Pannelli laterali di base.....	23
Fig. 19: Sportelli laterali.....	24
Fig. 20: Maniglie.....	25
Fig. 21: Vetri temprati extrachiari.....	25
Fig. 22: Scomposizione della radiazione solare incidente sul vetro.....	26
Fig. 23: Angolari di alluminio.....	27
Fig. 24: Profili a L di alluminio.....	27
Fig. 25: Magneti al neodimio.....	28
Fig. 26: Specchi in plexiglass.....	28
Fig. 27: Fogli di alluminio.....	29
Fig. 28: Nastro adesivo di carta.....	30
Fig. 29: Viti da legno.....	30
Fig. 30: Dadi autobloccanti, bulloni e rondelle.....	31
Fig. 31: Pannello di base quotato.....	33
Fig. 32: Pannello laterale di base quotato.....	33
Fig. 33: Sportello laterale quotato.....	34
Fig. 34: Pannello in vetro temprato quotato.....	34
Fig. 35: Profilo a L specchio anteriore quotato.....	35
Fig. 36: Profilo a L specchio posteriore quotato.....	36
Fig. 37: Angolare quotato.....	36
Fig. 38: Specchio anteriore quotato.....	37
Fig. 39: Specchio posteriore quotato.....	37

Fig. 40: Prospetto laterale del forno.....	38
Fig. 41: Prospetto anteriore del forno.....	38
Fig. 42: Prospetto posteriore del forno.....	39
Fig. 43: Particolare del collegamento angolare - profilo a L.....	39
Fig. 44: Rendering 1 del forno.....	40
Fig. 45: Rendering 2 del forno.....	40
Fig. 46: Rendering 3 del forno.....	41
Fig. 47: Collegamento dei pannelli laterali alla base.....	42
Fig. 48: Angolari e profili di alluminio.....	43
Fig. 49: Foratura profili di alluminio.....	43
Fig. 50: Collegamento angolare – profilo a L.....	44
Fig. 51: Foratura angolari di alluminio.....	44
Fig. 52: Smussatura spigolo degli angolari.....	45
Fig. 53: Collegamento dei profili a L agli angolari.....	45
Fig. 54: Applicazione maniglie e rivestimento in carta d'alluminio degli sportelli.....	46
Fig. 55: Realizzazione camera di cottura.....	47
Fig. 56: Posizionamento degli specchi, ultimazione del forno.....	47
Fig. 57: Trasmissione spettrale del vetro.....	48
Fig. 58: Radiazione solare trasmessa (giallo) e radiazione infrarossa trattenuta (rosso).....	49
Fig. 59: Corretto orientamento del forno.....	50
Fig. 60: Inclinazione specchi nelle ore centrali della giornata.....	51
Fig. 61: Inclinazione specchi fuori dalle ore centrali della giornata.....	51
Fig. 62: Schema di funzionamento del Newton 2.0 (1).....	52
Fig. 63: Schema di funzionamento del Newton 2.0 (2).....	53
Fig. 64: Schema di funzionamento degli sportelli laterali.....	55
Fig. 65: Apertura della camera durante la cottura.....	55
Fig. 66: Prospetto laterale del forno quotato.....	56
Fig. 67: Vista dall'alto del forno.....	57
Fig. 68: Area di apertura (A _A) del forno.....	57
Fig. 69: Schematizzazione del banco di prova.....	64
Fig. 70: Collegamento delle termocoppie all'acquisitore.....	66
Fig. 71: Termocoppia di tipo T.....	67
Fig. 72: Pireliometro.....	68
Fig. 73: Tubo del pireliometro.....	69
Fig. 74: Schermata del software PicoLog.....	70
Fig. 75: Forno durante la prova a vuoto senza piastra.....	72
Fig. 76: Grafico della prima prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020.....	73
Fig. 77: Grafico della seconda prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020.....	74
Fig. 78: Grafico della prova a vuoto senza piastra del 26/06/2020.....	75
Fig. 79: Forno durante la prova a vuoto con piastra.....	78
Fig. 80: Grafico della prima prova a vuoto con piastra del 30/09/2020.....	79
Fig. 81: Grafico della seconda prova a vuoto con piastra del 30/09/2020.....	80
Fig. 82: Pentola utilizzata per le prove con carico.....	82
Fig. 83: Forno durante la prova con carico.....	83

Fig. 84: Grafico della prova con acqua del 25/06/2020.....	84
Fig. 85: Grafico della prova con acqua del 29/06/2020.....	85
Fig. 86: Grafico della prova con acqua del 09/07/2020.....	87
Fig. 87: Angolare deformato.....	89

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1: Dati generali del Newton 2.0.....	22
Tab. 2: Caratteristiche del vetro [12].....	26
Tab. 3: Analisi dei costi del forno.....	31
Tab. 4: Dati della prima prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020.....	73
Tab. 5: Dati della seconda prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020.....	75
Tab. 6: Dati della prova a vuoto senza piastra del 26/06/2020.....	76
Tab. 7: Riepilogo prove a vuoto senza piastra.....	76
Tab. 8: Proprietà termiche della piastra di acciaio.....	77
Tab. 9: Dati della prima prova a vuoto con piastra del 30/09/2020.....	79
Tab. 10: Dati della seconda prova a vuoto con piastra del 30/09/2020.....	81
Tab. 11: Riepilogo prove a vuoto con piastra.....	81
Tab. 12: Dati della prova con acqua del 25/06/2020.....	85
Tab. 13: Dati della prova con acqua del 29/06/2020.....	86
Tab. 14: Dati della prova con acqua del 09/07/2020.....	87
Tab. 15: Riepilogo prove con acqua.....	88

INTRODUZIONE

In questo lavoro viene trattata la realizzazione di un forno solare a scatola tipo Newton 2.0 e la sua caratterizzazione mediante dei test sperimentali.

Nel primo capitolo viene introdotto il problema legato allo sfruttamento delle fonti non rinnovabili e l'importanza del risparmio energetico e dello sviluppo sostenibile; vengono quindi introdotte le fonti energetiche rinnovabili, con una trattazione più approfondita dell'energia solare e delle sue principali applicazioni. Successivamente il discorso viene centrato sulla cottura solare e i suoi vantaggi, descrivendo cos'è un forno solare e analizzandone le varie tipologie.

Nel secondo capitolo viene introdotto il forno solare in esame, descrivendone minuziosamente e mediante l'uso di dettagli costruttivi ed immagini le varie componenti, l'intera fase realizzativa e il principio di funzionamento.

Nel terzo capitolo vengono presentate le procedure standard internazionali, presenti in letteratura, seguite per analizzare il comportamento del forno ed i parametri da ricavare per poterne calcolare l'efficienza.

Nel quarto capitolo viene presentato il banco di prova allestito per effettuare i test, con una descrizione del funzionamento dei vari componenti.

Nel quinto capitolo vengono trattati i test sperimentali effettuati, descrivendone le modalità di svolgimento, riportandone i grafici ed i parametri ottenuti per caratterizzare il forno. Vengono quindi analizzati i risultati ottenuti, commentando il comportamento del forno in relazione alle condizioni meteorologiche presenti e al tipo di prova svolto.

Nel sesto capitolo viene trattata la principale problematica riscontrata durante le prove, analizzando dei possibili miglioramenti da applicare al forno solare per aumentarne le prestazioni.

Nel settimo capitolo sono riportate le conclusioni sul lavoro sperimentale svolto.

CAPITOLO 1

STATO DELL'ARTE

1.1 Importanza del risparmio energetico e dello sviluppo sostenibile

Nella vita di tutti i giorni sfruttiamo energia, sotto svariate forme, per soddisfare i propri bisogni come, ad esempio, il riscaldamento, l'illuminazione ed il trasporto; è quindi evidente come la società moderna sia strettamente dipendente dal consumo di energia.

L'energia è una grandezza termodinamica che viene spesso intesa come la capacità di un sistema fisico di compiere lavoro.

Le fonti da cui prelevare energia si possono distinguere, per esauribilità, in due gruppi:

- Fonti esauribili o non rinnovabili: costituite principalmente da combustibili fossili (petrolio, carbone e gas naturale) e nucleari (uranio);
- Fonti non esauribili o rinnovabili: costituite dalle biomasse, dall'irraggiamento solare, dal vento, dalle maree e dalle precipitazioni.

La domanda mondiale di energia nel corso degli anni ha avuto un andamento crescente, raddoppiando dagli anni '80 ad oggi. Per rispondere a tale domanda l'utilizzo di energia da fonti non rinnovabili, in particolare dei combustibili fossili, fu massiccio fino alla crisi energetica del 1973. Tale evento, che causò un radicale aumento del prezzo del petrolio, portò ad un brusco cambio di mentalità della popolazione, specialmente dei Paesi importatori. Da quell'evento si acquisì piena consapevolezza sulla limitatezza e sull'impatto ambientale causato dalla combustione delle risorse energetiche fino ad all'ora utilizzate. La combustione delle fonti fossili rilascia in atmosfera grandi quantità di anidride carbonica, uno dei gas protagonisti dell'effetto serra.

Il fenomeno del global warming (riscaldamento globale) è causato appunto dalla presenza in quantità eccessive nell'atmosfera di determinati gas, come l'anidride carbonica e il metano, che lasciano passare la radiazione solare in entrata sulla Terra ma trattengono la maggior parte della radiazione infrarossa emessa dalla superficie terrestre.

Negli anni successivi furono molti gli studi effettuati riguardo le problematiche derivanti dall'utilizzo di fonti energetiche di origine fossile, evidenziando come l'innalzamento della temperatura media globale sia strettamente correlato alla concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera (Fig. 1).

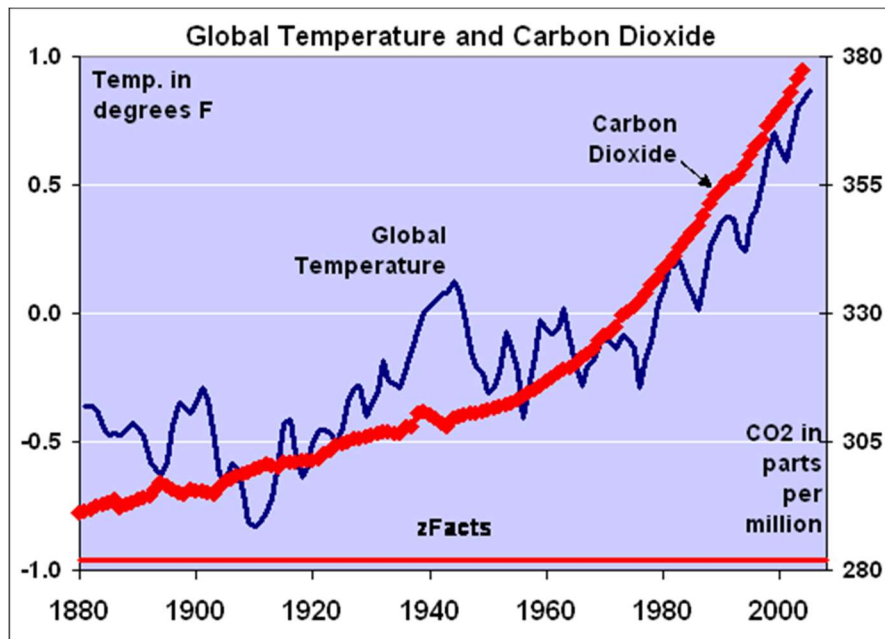


Fig. 1 – Relazione tra temperatura terrestre e CO₂ nell'atmosfera

L'aumento della temperatura globale con i suoi effetti disastrosi come mutamenti climatici, ondate di calore anomalo, violente alluvioni ed uragani, aumento delle zone aride, scioglimento dei ghiacciai con conseguente innalzamento del livello dei mari, provoca ogni anno milioni di morti e la distruzione di interi ecosistemi.

È quindi necessario virare al più presto verso uno sviluppo sostenibile, acquisendo energia da fonti rinnovabili ed abbandonando l'uso dei combustibili fossili, al fine di scongiurare uno scenario ostile per la vita sulla Terra. Il concetto di sviluppo sostenibile fu introdotto per la prima volta nel rapporto Brundtland del 1987:

<<Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali>> [1]. L'idea alla base del concetto di sviluppo sostenibile è quella di uno sviluppo economico compatibile con la salvaguardia dell'ambiente e dei beni liberi per le generazioni future.

Dal rapporto del 2017 di REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) è risultato che la fornitura energetica da fonti rinnovabili è pari al 19,3% (Fig. 2) [2], dato destinato a crescere fortemente in futuro secondo le previsioni.

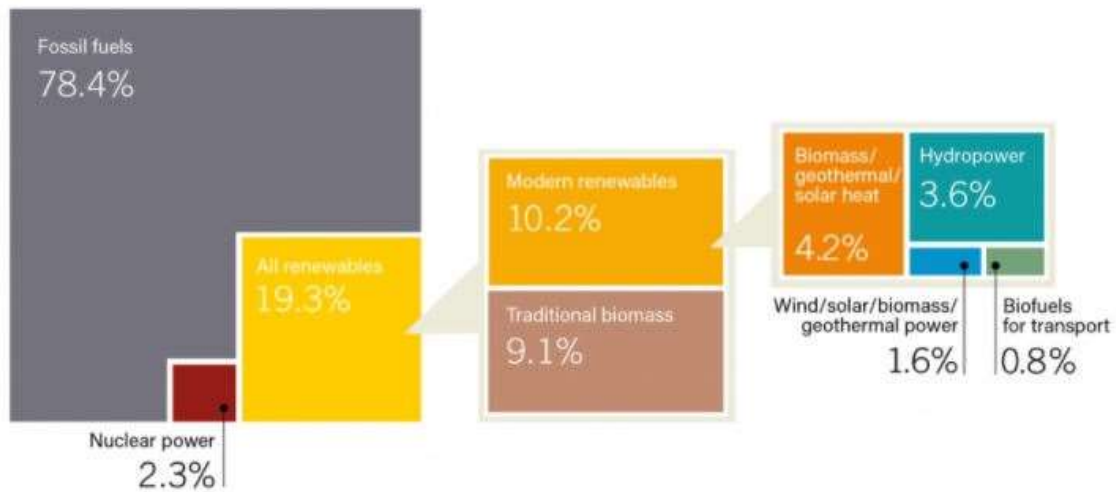


Fig. 2 – Percentuali delle fonti energetiche, Rapporto REN21 del 2017 [2]

Per far fronte alla domanda mondiale di energia, oltre ad aumentare l'uso delle fonti rinnovabili, sarà necessario utilizzare tecnologie a maggiore efficienza energetica, il che equivale a soddisfare i bisogni quotidiani impiegando sempre meno energia possibile.

L'efficientamento energetico consente quindi di ridurre i consumi e le emissioni di anidride carbonica (in quanto la maggior parte dell'energia è, ancora oggi, prelevata da fonti non rinnovabili), con una conseguente riduzione dell'inquinamento. Abbandonare i consueti sistemi energetici basati sull'utilizzo di combustibili fossili e sugli sprechi, in favore delle energie rinnovabili permette un risparmio, energetico ed economico e contemporaneamente di favorire la salvaguardia ambientale.

Acquista quindi sempre più importanza la ricerca del risparmio energetico, legato allo sviluppo sostenibile, ovvero l'impiego di varie tecniche atte a ridurre i consumi dell'energia necessaria allo svolgimento delle attività umane. Il risparmio energetico può essere raggiunto sia modificando i processi energetici in modo da avere meno sprechi, sia trasformando l'energia da una forma all'altra più efficientemente.

Quindi, un grande investimento nelle tecnologie per il risparmio energetico e per l'approvvigionamento di energia da fonti rinnovabili si rivelerà, in un futuro non molto lontano, una scelta davvero importante per l'umanità.

1.2 Energia da fonti rinnovabili

A causa del possibile esaurimento dei combustibili fossili e dell'inquinamento ambientale causato dal loro sfruttamento è necessario aumentare l'utilizzo delle fonti rinnovabili per rispondere alla domanda energetica mondiale in continuo aumento.

L'energia rinnovabile è ricavata da risorse energetiche dette appunto rinnovabili, ovvero quelle risorse che sono naturalmente reintegrate in una scala temporale umana; tali fonti

energetiche sono considerate inesauribili in quanto, appartenendo alla struttura fisica del nostro pianeta, sono rinnovate costantemente e riprodotte dai cicli naturali della Terra.

Le fonti rinnovabili seguono alla lettera il concetto di sviluppo sostenibile in quanto il loro utilizzo non ne pregiudica la disponibilità per le generazioni future e sono ottime per ricavare energia riducendo al minimo l'impatto ambientale.

Inoltre le rinnovabili permettono di sfruttare le risorse del proprio territorio, generando una ricchezza specialmente per i Paesi importatori di combustibili fossili.

Tra le risorse per ricavare energia pulita troviamo l'irraggiamento solare, il vento, le biomasse, le maree e le correnti marine e le precipitazioni (utilizzabili tramite il dislivello di acque), a cui si possono associare le seguenti fonti di energia rinnovabile:

- Energia idroelettrica. È l'energia ricavata convogliando opportunamente il flusso d'acqua di un lago, un fiume o un bacino artificiale attraverso apposite condutture, in cui la sua forza viene trasformata in energia di pressione e cinetica; questa energia alimenta un generatore che la converte in elettricità;
- Energia geotermica. È generata per mezzo di fonti geologiche ad elevata temperatura; in particolare si basa sullo sfruttamento del calore naturale della Terra, prodotto naturalmente dal decadimento nucleare di elementi radioattivi contenuti all'interno del pianeta; questa energia viene trasferita alla superficie terrestre attraverso i moti convettivi del magma, riscaldando o vaporizzando le acque sotterranee. Negli impianti geotermici l'energia geotermica viene utilizzata per produrre energia elettrica, o per riscaldamento e raffrescamento degli edifici;
- Energia solare. È di immediata reperibilità e sfrutta l'irraggiamento solare per generare elettricità attraverso il sola fotovoltaico, oppure per generare calore attraverso il solare termico;
- Energia eolica. Sfrutta l'energia cinetica del vento attraverso gli aerogeneratori; il vento causa un movimento rotazionale delle pale, collegate a loro volta ad un generatore che converte l'energia rotazionale in elettrica;
- Energia da biomasse. È l'energia ottenuta da materiali di scarto di origine organica, di natura vegetale e animale; l'utilizzo delle biomasse non aggrava il fenomeno dell'effetto serra in quanto la quantità di CO₂ immessa in atmosfera durante la decomposizione (naturale o attraverso combustione) è pari a quella assorbita durante la crescita della biomassa stessa;
- Energia marina. È l'energia contenuta in varie forme nei mari e negli oceani; tramite particolari tecniche si sfruttano il moto ondoso, il movimento dell'aria sopra le onde, le maree o la differenza di temperatura tra il fondo e la superficie.



Fig. 3 – Esempi di energie rinnovabili

A livello politico, dagli anni '90 in poi, sono state attuate varie iniziative con lo scopo di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera e promuovere l'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili. Il primo passo importante verso una politica incentrata sulla sostenibilità fu il Protocollo di Kyoto, un trattato internazionale riguardante il surriscaldamento globale pubblicato nel 1997 ed entrato in vigore nel 2005; il protocollo prevede che i Paesi industrializzati riducano del 5% le proprie emissioni di gas serra. A maggio 2013 sono 192 gli Stati che hanno aderito e ratificato il protocollo; tra i Paesi non aderenti ci sono gli USA responsabili del 36,2% delle emissioni totali di CO₂. Inoltre Paesi come Cina, India e Brasile sono esenti dalle limitazioni delle emissioni perché considerati Paesi in via di sviluppo [3]. Successivamente l'Unione Europea, con la Direttiva 2009/29/CE, emanò il “pacchetto 2020” che definisce tre obiettivi principali da raggiungere entro il 2020: riduzione del 20% delle emissioni di gas serra (rispetto ai livelli del 1990), 20% del fabbisogno energetico ricavato da fonti rinnovabili e miglioramento del 20% dell'efficienza energetica [4].

Di seguito viene riportato un grafico (Fig. 4) che rappresenta la situazione della produzione di energia da fonti rinnovabili dei Paesi dell'Unione Europea al 2018 ed il loro obiettivo per il 2020 [5].

Quota di energia da fonti rinnovabili, 2018
(in % del consumo finale lordo di energia)

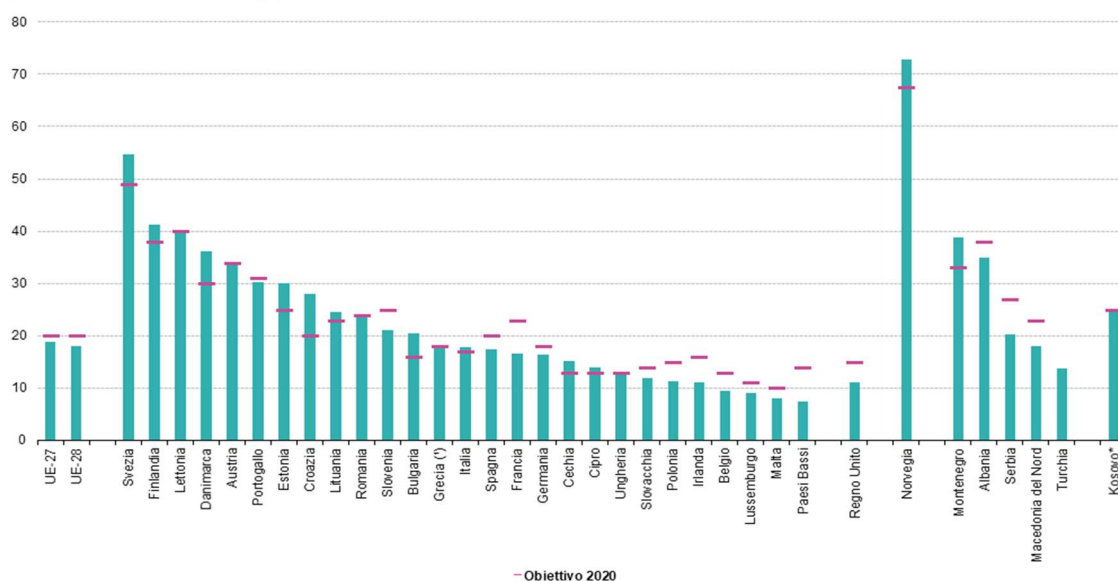


Fig. 4 – Quota di energia da fonti rinnovabili in Europa, 2018 [5]

Col quadro 2030 per il clima e l'energia sono stati individuati tre obiettivi principali, rivisti poi al rialzo nel 2018, da raggiungere entro il 2030: riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990), una quota almeno del 32% di energia rinnovabile e un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica [6].

Purtroppo, ad oggi, ci sono delle problematiche legate all'utilizzo di energia rinnovabile. Il problema maggiore di queste fonti è dovuto alla loro intermittenza, in particolare della radiazione solare e del vento, che può essere risolto grazie a sistemi di accumulo dell'energia che assicurerebbero la continuità del servizio. Un'alternativa valida per risolvere il problema dell'intermittenza di tali fonti risiede nell'integrare più fonti rinnovabili in un unico sistema di produzione energetico, supportato da una rete elettrica smart grid.

Di seguito viene riportata una pubblicazione dell'organizzazione BloombergNEF riguardo l'andamento degli investimenti nelle energie rinnovabili dal 2004 al 2018 [7].

Dal grafico (Fig. 5) è evidente come il settore delle energie rinnovabili, specialmente di quella eolica e solare, abbia avuto un notevole aumento degli investimenti, fatto a dimostrazione che la popolazione mondiale stia realmente capendo l'importanza che tali fonti energetiche rappresentano per il nostro futuro.

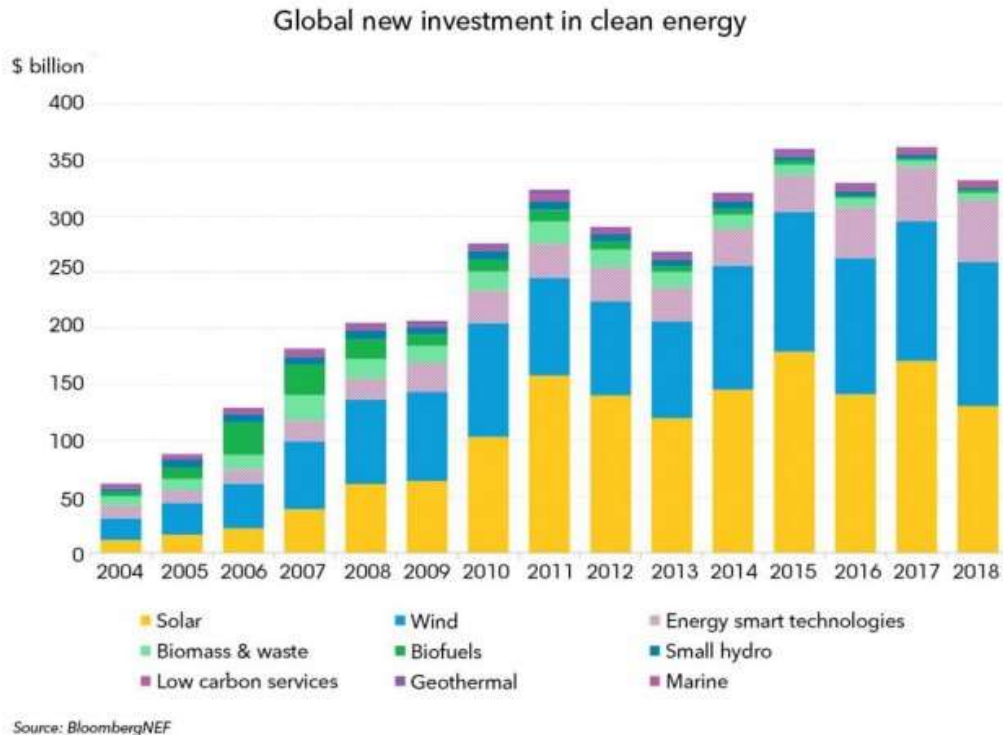


Fig. 5 – Investimenti globali nelle energie rinnovabili [7]

1.3 Energia solare

L'energia solare è la principale fonte di energia rinnovabile presente sul pianeta ed è associata alla radiazione solare.

Le reazioni termonucleari di fusione dell'idrogeno in elio che avvengono nel Sole sprigionano un'elevata quantità di energia che viene emessa nello spazio sotto forma di radiazione elettromagnetica a varie frequenze d'onda (principalmente nel campo del visibile e dell'infrarosso); la radiazione solare è quindi l'energia trasportata dalle radiazioni elettromagnetiche della stella.

Il flusso di energia radiante misurato al di fuori dell'atmosfera terrestre mediamente è pari a 1367 W/m^2 , valore noto come costante solare. Tuttavia la radiazione che si registra a livello del suolo è minore a causa di effetti come l'assorbimento e la riflessione; all'incirca il 40% della radiazione viene assorbita o riflessa dalle nubi e circa il 15% viene assorbita dall'atmosfera, facendo arrivare al suolo il 45% della radiazione totale incidente sulla Terra. Inoltre è da considerare anche che una parte di questa percentuale finisce negli oceani.

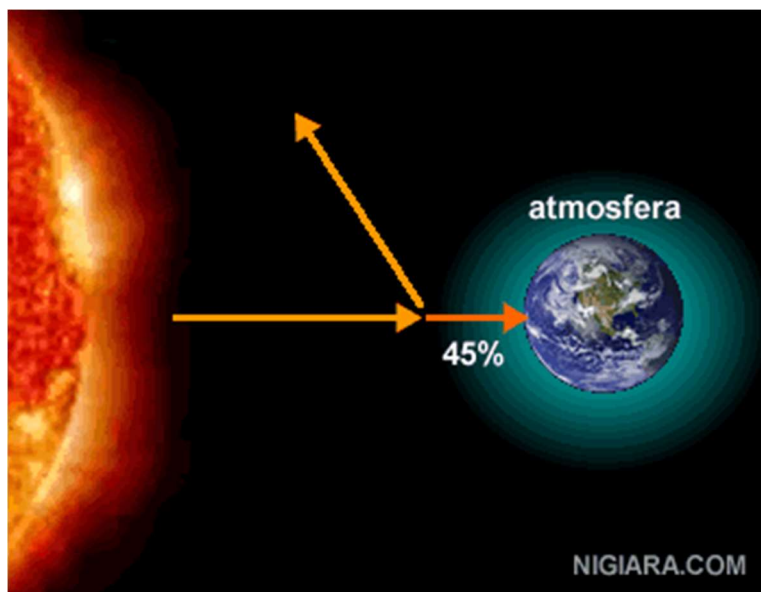


Fig. 6 – Radiazione solare incidente sulla Terra

Della radiazione totale al suolo circa il 3% è nel campo dell'ultravioletto (UV), circa il 42% nelle lunghezze d'onda del visibile e circa il 55% nel campo dell'infrarosso.

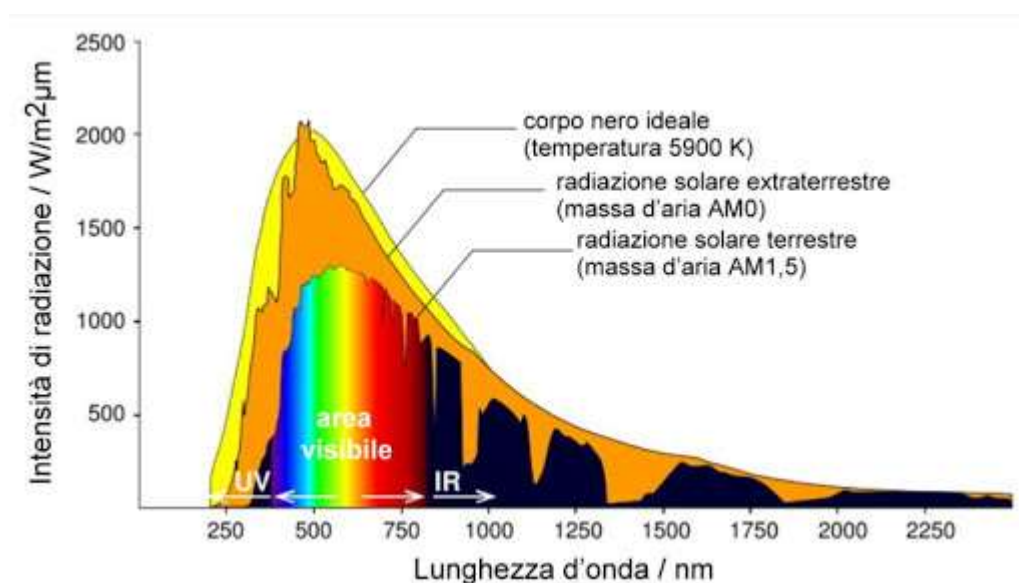


Fig. 7 – Radiazione solare al suolo

Nonostante la radiazione al suolo sia molto minore rispetto a quella esterna all'atmosfera, la potenza catturabile sulla superficie rimane comunque in enorme quantità, tanto da essere abbondantemente sufficiente per soddisfare i bisogni energetici di tutto il mondo.

L'energia solare può essere potenzialmente la più utilizzata per rispondere alla domanda energetica del pianeta ma, al giorno d'oggi, soddisfa una percentuale molto bassa della

domanda mondiale; ciò è dovuto maggiormente a due problemi: la bassa concentrazione di energia e la sua intermittenza.

Il fatto che sia un'energia poco concentrata, prelevarne una quantità a sufficienza, richiederebbe l'impiego di impianti molto vasti, visto la loro bassa efficienza, rendendo tale fonte energetica molto costosa.

Inoltre, per risolvere il problema dell'intermittenza di tale energia, dovuto dall'alternarsi del giorno e della notte e dalle condizioni atmosferiche, bisognerà integrare i dispositivi di trasformazione dell'energia solare con tecnologie per l'accumulo energetico.

Tuttavia l'utilizzo dell'energia solare, in particolare del fotovoltaico, ha avuto un andamento crescente di anno in anno sin dai primi 2000 e, secondo le previsioni di mercato dal 2019 al 2024 dell'IEA (International Energy Agency), la capacità solare fotovoltaica aumenterà di oltre il 250% nel periodo di previsione. Secondo l'IEA l'energia solare acquisterà sempre maggiore importanza, rappresentando il 60% della crescita della capacità rinnovabile nel periodo di previsione [8].

Oltretutto, negli ultimi anni sono anche aumentati gli investimenti sulle energie rinnovabili, specialmente nel settore del solare, con gli obiettivi principali di migliorarne l'efficienza degli impianti odierni e di sviluppare tecnologie adeguate all'accumulo energetico, al fine di poter soddisfare una maggiore domanda energetica.

1.4 Applicazioni dell'energia solare

L'energia solare viene utilizzata per generare calore o elettricità mediante appositi pannelli, di caratteristiche differenti a seconda del tipo di applicazione, che captano la radiazione solare e la convertono in energia termica o elettrica. Le tecnologie principali per attuare queste conversioni dell'energia solare sono tre:

- **Solare fotovoltaico:** in questa tecnologia vengono utilizzati dei pannelli fotovoltaici per produrre elettricità. I pannelli fotovoltaici, detti anche moduli, sono costituiti dall'unione di più celle fotovoltaiche all'interno delle quali è presente un materiale semiconduttore (in genere silicio) di spessore ridotto.

Per convertire la radiazione solare in elettricità si sfrutta l'effetto fotovoltaico, un processo nel quale i fotoni, colpendo le celle, trasferiscono la loro energia agli elettroni presenti nel silicio; questi elettroni vengono "eccitati" e iniziano a fluire nel circuito producendo corrente elettrica continua; poi l'inverter, un componente del pannello, converte la corrente da continua ad alternata per poterla immettere nella rete di distribuzione.

Con le tecnologie attuali i migliori moduli hanno un'efficienza di conversione del 20-22%, con alcuni moduli sperimentali che possono arrivare anche al 30% ma con costi di produzione elevati. Comunque sono molti gli investimenti nella ricerca del fotovoltaico per puntare ad aumentarne la loro efficienza;



Fig. 8 – Solare fotovoltaico

- Solare termico: gli impianti solari termici sono dispositivi che sfruttano l'energia solare per il riscaldamento dell'acqua, sostituendo così le tradizionali caldaie alimentate a gas naturale con la conseguente diminuzione dell'uso di fonti non rinnovabili.

L'elemento fondamentale dell'impianto è il collettore solare; il collettore assorbe energia solare attraverso degli assorbitori, cedendola quindi a dei tubi all'interno dei quali scorre un fluido termovettore; il fluido si riscalda, scorrendo verso uno scambiatore di calore dove trasferisce la sua energia termica all'acqua per usi sanitari.

Ci sono due tipi di impianti: a circolazione naturale e a circolazione forzata.

Nel primo caso il fluido utilizzato è l'acqua che, riscaldandosi, sale in un serbatoio di accumulo che contiene lo scambiatore di calore posto più in alto del pannello. Il secondo sfrutta una pompa per far circolare il fluido (glicole propilenico) all'interno della serpentina posta nel boiler dove avviene lo scambio di calore.

Oltre che per la produzione di acqua calda sanitaria, la tecnologia del solare termico può essere integrata nell'impianto di riscaldamento (condizionamento), offrendo un notevole risparmio di elettricità e di conseguenza anche dei combustibili fossili utilizzati per la sua produzione;



Fig. 9 – Solare termico

- Solare termodinamico: detto anche solare a concentrazione è una tecnologia che accumula energia termica dalla radiazione solare, per convertirla poi in elettricità. L'impianto è costituito da specchi (in genere parabolici) che, opportunamente orientati, riflettono la radiazione solare su un tubo ricevitore; all'interno del tubo scorre un fluido termovettore che assorbe energia termica dalla radiazione e la trasporta ad uno scambiatore di calore, dove avviene la produzione di vapore; il vapore viene poi utilizzato per produrre energia elettrica tramite un sistema turbina-alternatore.
L'impianto può essere dotato anche di un serbatoio di accumulo che permette di avere una produzione di elettricità anche in periodi dove la radiazione solare è scarsa o nulla.
Nelle centrali di 1° generazione si utilizzava olio diatermico come fluido termovettore; oggi invece si utilizzano dei sali fusi che possono arrivare a temperature anche maggiori di 550 °C.



Fig. 10 – Solare termodinamico

1.5 Cottura solare

Oltre all'impianto solare termico per il riscaldamento di acqua ad uso sanitario e agli impianti solare fotovoltaico e solare termodinamico per la produzione di elettricità, la radiazione solare trova applicazioni anche per altri scopi come il riscaldamento degli ambienti, la fornitura di calore per processi industriali, la distillazione, l'essiccazione e la cottura.

Ma ora approfondiamo la trattazione della cottura solare [9], applicazione che sfrutta la radiazione solare per la cottura di alimenti mediante l'uso di un forno solare.

Tale applicazione dell'energia solare non è innovativa come molte altre, ma ha inizio nel 1767 quando Horace De Saussure, uno fisico franco-svizzero, intuì e sperimentò l'utilizzo della radiazione solare per la cottura degli alimenti. In un primo esperimento prese cinque scatole di vetro mettendole una dentro l'altra per poi esporle al sole; orientandole in relazione alla posizione del sole, notò che la camera interna raggiunse una temperatura massima di 86,5°C cuocendo della frutta posta al suo interno.

Successivamente De Saussure sviluppò un prototipo di forno a scatola costituito appunto da una scatola in legno rivestita internamente con del sughero nero e chiusa superiormente da tre lastre di vetro; con tale forno raggiunse una temperatura di 108,89°C.

Nel 1830 l'astronomo Sir John Herschel, ispirandosi al modello di De Saussure, realizzò un forno costituito da due scatole, poste una dentro l'altra, che raggiunse i 115,56°C.

Le esperienze con il forno a scatola, denominato anche hot box, ispirarono numerosi fisici e matematici tra i quali l'astrofisico Samuel Pierpoint Langley che lo replicò e il matematico Augustin Mochout che modificò il forno migliorandone le prestazioni con l'aggiunta di riflettori per aumentare la radiazione incidente.

Nella storia contemporanea dei forni solari risalta la figura della scienziata Maria Telkes che realizzò un modello di forno a scatola dotato di una copertura inclinata costituita da due vetri

separati da un intercapedine d'aria ed equipaggiato con quattro larghi riflettori; questo modello è utilizzato tutt'oggi con delle varianti.

Nel 1955 nacque la prima associazione per la promozione della cottura solare, la "Association for Applied Solar Energy".

Negli anni '70 la crisi energetica e l'aumento della popolazione in Cina e India incoraggiarono la ricerca verso l'uso di fonti energetiche alternative, con conseguente aumento dell'interesse generale per la cucina solare. Nel 1981 la Cina iniziò la distribuzione di forni solari.

Sempre negli anni '80 furono create varie associazioni come "Ulog" in Svizzera, "EG Solar" in Germania e "Solar Cookers International" negli Stati Uniti.

Una figura importante è quella della statunitense Barbara Kerr che, insieme ad altri colleghi, sviluppò diversi modelli di forni solari testandone l'efficienza. Tra i vari prototipi uno in particolare ebbe molto successo; si tratta di un forno a scatola in cartone assemblabile da chiunque.

Dalle esperienze di quegli anni nacque l'organizzazione della "Solar Cookers International network", un'alleanza di oltre 500 enti fra ONG, imprese, istituzioni educative e agenzie governative di oltre 120 Paesi, con l'obiettivo di promuovere la diffusione della cucina solare.

La cucina solare rappresenta una risorsa preziosa per i Paesi in via di sviluppo dove centinaia di milioni di persone, che cucinano su fiamme alimentate da legna o letame, sono costretti a percorrere vari chilometri al giorno per raccogliere il legname per evitare di spendere gran parte dei loro guadagni in carburante. Inoltre, utilizzando forni solari, si ridurrebbero notevolmente le morti causate dall'acqua non potabile e dall'inquinamento atmosferico domestico dovuto all'uso di combustibili solidi che, stando a quanto riportato dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità, rappresentano il 10% dei decessi in 23 Paesi [10]; infatti, grazie all'uso di forni solari, si può pastorizzare l'acqua, rendendola potabile, e cucinare alimenti evitando di emettere fumi dannosi alla salute umana.

Altro fattore a vantaggio della diffusione della cottura solare nei Paesi in via di sviluppo è che la maggior parte di loro si trovano in zone del mondo dove la radiazione solare è elevata; si registra una media di 5-7 kWh/m² e più di 275 giorni di sole a disposizione.

Con gli anni, grazie anche all'aiuto di molte organizzazioni umanitarie, l'uso della cucina solare si sta espandendo tra le popolazioni più svantaggiate.

1.6 Forno solare

Il forno solare è un dispositivo in grado di convogliare la radiazione solare concentrandola in uno spazio definito, fino al raggiungimento di temperature adatte alla cottura di alimenti. Il principio fondamentale su cui si basano i forni solari è la conversione dell'energia trasportata dalla radiazione solare in energia termica, garantendo il riscaldamento della camera di cottura; questo fenomeno avviene quando la radiazione solare colpisce la camera

di cottura che, assorbendone l'energia, si riscalda emanando a sua volta energia sotto forma di radiazioni nel campo dell'infrarosso, cioè calore, cuocendo gli alimenti al suo interno. Per operare sfruttando la massima efficienza è necessario orientare il forno verso il sole in modo da compensare la rotazione terrestre.

Il forno solare garantisce quindi un'importante risorsa per le popolazioni dei Paesi in via di sviluppo dove, in molti casi, l'energia necessaria per la cottura di cibi non è facilmente reperibile per motivi tecnologici o economici; cucinare sfruttando l'energia solare permette di avere un risparmio economico, data la grande disponibilità di tale risorsa, e di ottenere dei pasti ad emissioni zero, garantendo la salute delle persone e dell'ambiente.

1.7 Tipologie di forni solari

Ai giorni d'oggi la cottura solare è un'applicazione che conta un grande numero di ricercatori e produttori di forni in tutto il mondo, nonché di appassionati che si cimentano nella costruzione di tali.

Esistono quindi svariati tipi di forni solari con design anche molto differenti tra loro ma sono comunque raggruppabili in tre tipologie principali (Fig. 11) [11]:

- forni solari a pannelli;
- forni solari parabolici;
- forni solari a scatola.

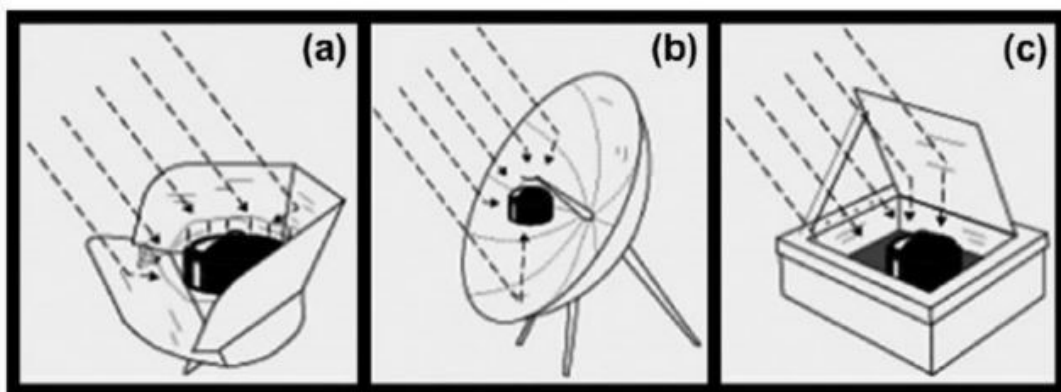


Fig. 11 – Tipologie di forni solari: (a) forno solare a pannelli; (b) forno solare parabolico; (c) forno solare a scatola [11]

1.7.1 Forni solari a pannelli

I forni solari a pannelli sono la tipologia più comune da utilizzare data la loro semplicità di realizzazione e il basso costo necessario all'acquisto dei materiali.

Tali forni utilizzano dei pannelli riflettenti per convogliare la radiazione solare nel recipiente di cottura posto sulla base; la pentola potrebbe anche essere rivestita da materiale plastico trasparente per trattenere più calore.

Questo tipo di forni non è però molto utilizzato in quanto non raggiungono temperature molto elevate (sono in grado di cucinare fino a 140°C circa) e la loro efficienza dipende strettamente dalle condizioni atmosferiche, visto che il loro principio di funzionamento si basa principalmente sulla riflessione della radiazione solare.

Un forno solare molto semplice e comune di questa categoria è stato realizzato dal Dr. Roger Bernard [11], modificato poi da Solar Cookers International e denominato Cookit (Fig. 12). È stato realizzato semplicemente con cartone e pellicola riflettente e, grazie alla caratteristica di essere richiudibile, è il forno solare a pannelli più comune.



Fig. 12 – Forno solare a pannelli (Cookit)

1.7.2 Forni solari parabolici

I forni solari parabolici sfruttano specchi o pannelli riflettenti, posti in modo da formare una parabola, per captare la radiazione solare; ciò consente di concentrare la radiazione in un punto focale. La pentola viene quindi posizionata nel punto di concentrazione della radiazione, senza il bisogno di utilizzare tecniche per trattenere il calore in quanto l'energia assorbita dalla pentola è tale da portarla a temperature molto alte (anche più di 300°C).

Questi forni sono senza dubbio i più efficienti, raggiungendo le alte temperature in poco tempo.

È necessario orientare frequentemente il forno per ottenere la massima efficienza e porre attenzione alla cottura del cibo che, se lasciato cuocere a lungo tempo, rischia di essere bruciato per la grande energia concentrata.

Il primo forno solare parabolico è stato sviluppato da Ghai negli anni '50 presso il National Physical Laboratory, in India. Successivamente Lof e Fester hanno progettato forni con diverse geometrie e configurazioni [11].



Fig. 13 – Forno solare a parabola

1.7.3 Forni solari a scatola

Il forno solare a scatola è stato il primo modello ad essere realizzato ed il più diffuso a livello mondiale. Il forno più comune è composto da una scatola ben isolata ai lati e alla base in modo da limitare il più possibile le perdite di calore verso l'esterno; la scatola è poi chiusa superiormente con un pannello in vetro.

Internamente la scatola è verniciata di nero in modo da poter assorbire più calore.

Con questa categoria di forni è possibile fare anche più cotture alla volta; naturalmente ciò dipende dalla grandezza della camera di cottura.

Per aumentare la superficie captante possono essere utilizzati degli specchi o pannelli riflettenti.

È importante porre molta attenzione alla qualità dei materiali e al design del forno in quanto la sua efficienza è strettamente dipendente da tali parametri.

Il forno a scatola ha incuriosito molti ricercatori e produttori in quanto è in grado di funzionare bene anche in presenza di radiazione diffusa, vento e bassa temperatura ambientale.

È necessario orientare correttamente i pannelli riflettenti perché contribuiscono notevolmente alle prestazioni del forno.

Nonostante impieghino tempi abbastanza lunghi per arrivare alla temperatura di regime (circa 200°C per i più performanti), una volta raggiunta, la mantengono bene anche in presenza di radiazione diffusa.

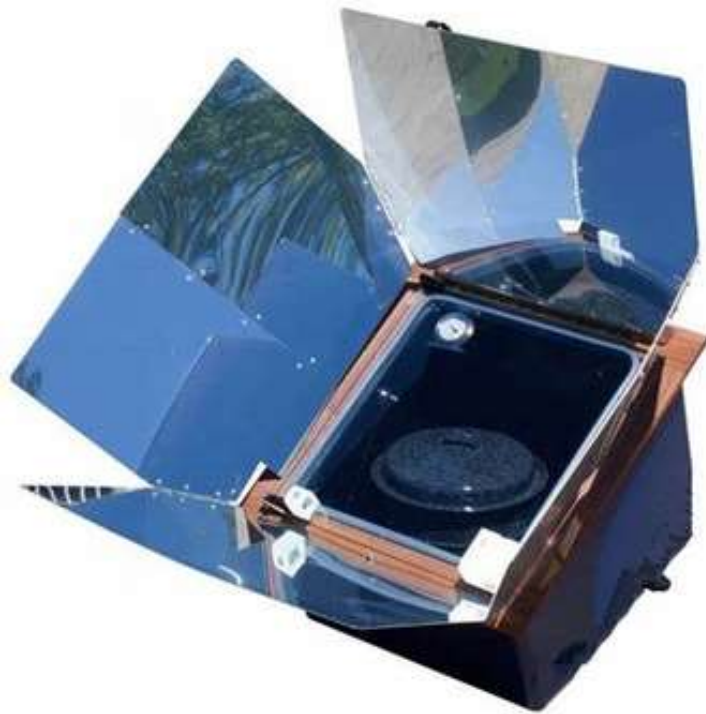


Fig. 14 – Forno solare a scatola

CAPITOLO 2

FORNO SOLARE REALIZZATO

2.1 Premessa

Il forno solare a cui si fa riferimento, denominato Newton 2.0, è un prototipo di forno solare a scatola realizzato all'interno del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche.

Per la realizzazione sono stati seguiti i disegni e dettagli costruttivi del prototipo ideato dall'Ing. Matteo Muccioli.

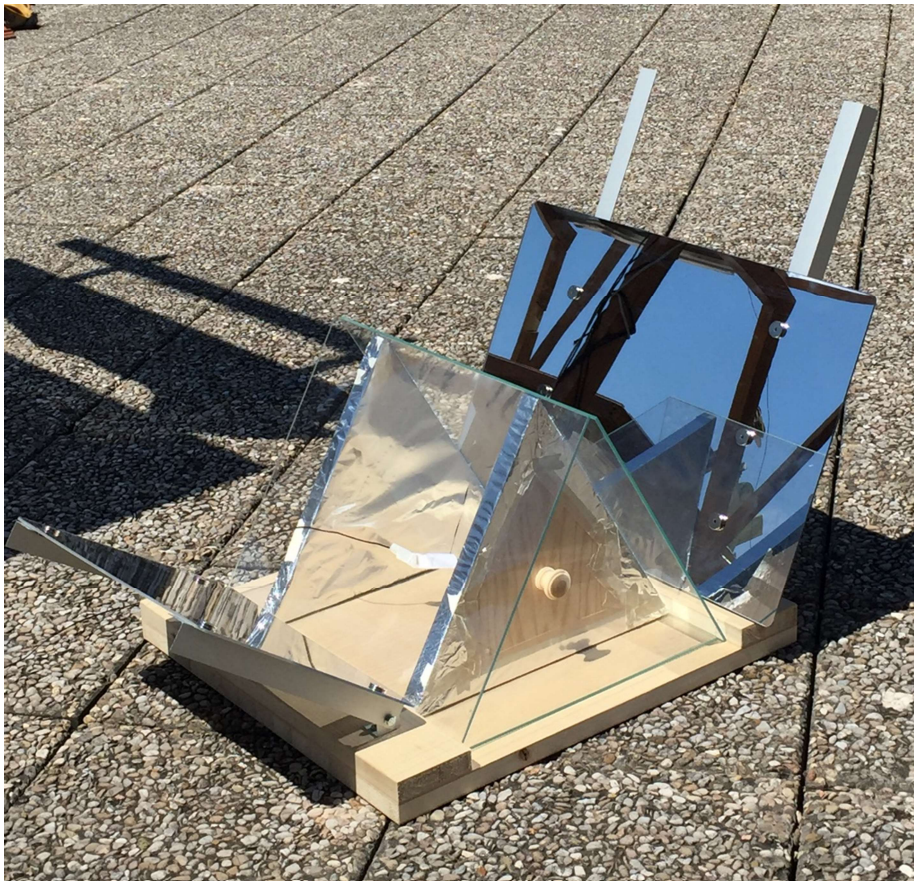


Fig. 15 – Forno solare a scatola tipo Newton 2.0

2.2 Considerazioni e scelte progettuali

Il forno realizzato, il Newton 2.0, è della tipologia a scatola ed è stato pensato per essere replicabile ed utilizzabile da chiunque.

Analizzando dunque il mercato si può dedurre che le persone sono più propense ad acquistare un forno solare semplice da utilizzare e facile da trasportare, pagandolo un prezzo ragionevole, piuttosto che un forno ad elevate prestazioni che si rivelerebbe ingombrante ed eccessivamente costoso per molte persone.

Da qui nasce l'esigenza di creare un nuovo forno solare che abbia le dovute caratteristiche per poter entrare nel mercato o per essere realizzato da chiunque.

Naturalmente un forno solare economico avrà delle prestazioni inferiori rispetto ai forni ad alta efficienza ma, anche se con tempi maggiori, assicurano comunque la cottura del cibo.

Dalle precedenti considerazioni ed esigenze da soddisfare si deducono le seguenti qualità che devono caratterizzare il Newton 2.0:

- **FACILE DA REALIZZARE**

Un aspetto fondamentale del progetto in esame riguarda proprio la facilità nel realizzare il forno, qualità non trascurabile.

Una volta ottenuti tutti i materiali necessari quali il legno, i vetri, gli specchi e i loro supporti, la fase realizzativa richiede un tempo di circa due ore e l'utilizzo di utensili facilmente reperibili.

La facilità della realizzazione permette a chiunque di poter costruire il forno senza la necessità di utilizzare attrezzature specifiche che difficilmente si hanno in casa.

- **FACILE DA SPOSTARE**

Altro aspetto importante da considerare è la facilità nel trasportare e spostare il forno solare, in quanto le persone sono più inclini ad acquistarne uno che si possa facilmente smontare e trasportare rispetto ad uno ingombrante ed utilizzabile in un solo luogo.

Questa è una qualità principale del Newton 2.0 in quanto i vetri, essendo solamente appoggiati, e gli specchi, tenuti dai soli magneti, possono essere rimossi dalla struttura del forno e trasportati senza il pericolo di romperli; inoltre la struttura stessa del forno ha un peso relativamente basso il quale lo rende trasportabile da un singolo individuo.

- **MATERIALI COMUNI ED ECONOMICI**

La scelta dei materiali è di fondamentale importanza in quanto l'efficienza del forno è strettamente correlata alle loro caratteristiche. Tuttavia, un aspetto importante che si è tenuto conto in fase di scelte progettuali è proprio l'economicità del forno e la sua facile replicabilità, facendo ricadere la scelta su materiali comuni ed economici, ma che assicurano comunque delle più che buone prestazioni al prototipo.

La scelta di realizzare il forno con materiali di comune impiego e quindi facilmente reperibili offre l'opportunità a chiunque di poterne costruire uno. Inoltre, dato il

diffuso utilizzo dei materiali scelti, si ha il vantaggio di poter costruire il forno con materiali di recupero e quindi a costo zero; in questi casi bisogna porre attenzione alla qualità dei materiali impiegati, perché potrebbero ridurre l'efficienza del forno se non sufficientemente adeguati.

2.3 Descrizione

Dalle caratteristiche individuate nel capitolo precedente si è giunti alla realizzazione del Newton 2.0 che, come si può notare dalla Fig. 16, ha un design semplice ma efficiente. Di seguito viene riportata un'immagine del forno con l'individuazione delle sue componenti e una tabella riguardante i dati tecnici del forno.

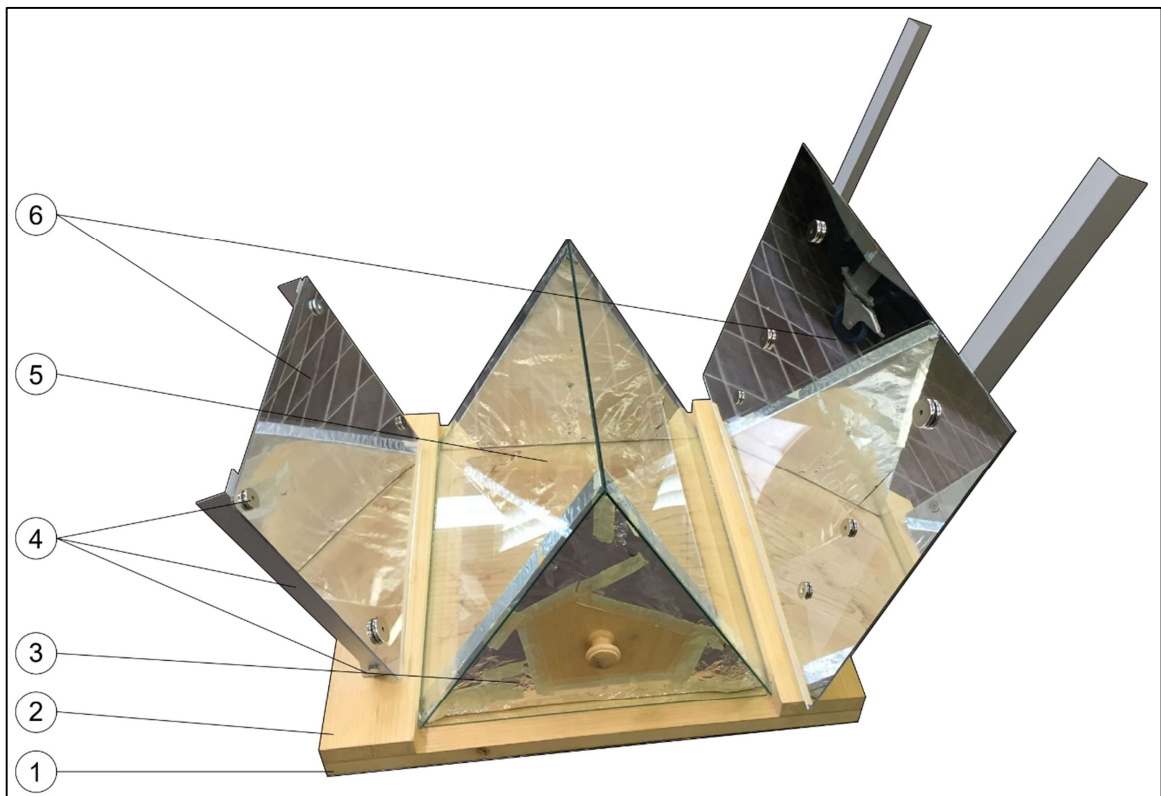


Fig. 16 – Individuazione dei componenti del Newton 2.0

1. Pannello di base.
2. Pannelli laterali di base.
3. Sportelli laterali.
4. Struttura di supporto degli specchi.

5. Pannelli in vetro temprato.
6. Specchi in plexiglass.

Di seguito si riporta una tabella con i dati generali del forno.

Tab. 1 – Dati generali del Newton 2.0

Ingombro della base [cm]	54×58
Ingombro massimo in altezza [cm]	87
Peso [kg]	9,5
Dimensioni massime base camera di cottura [cm]	43×39
Altezza camera di cottura [cm]	32,4

2.4 Materiali

I materiali utilizzati nella costruzione del forno sono di comune impiego e quindi facilmente reperibili, con un costo totale che si aggira intorno ai 160,00 €; ma, come specificato precedentemente, il Newton 2.0 può essere realizzato a costo zero procurandosi materiali di recupero.

Di seguito vengono riportati i materiali utilizzati per la costruzione del forno solare con una descrizione della loro funzione.

2.4.1 Pannello di base

È il basamento su cui poggia l'intero forno e le sue dimensioni sono di 54×58×2,5 cm; è stato realizzato con legno di abete che, avendo un peso specifico relativamente basso ($\gamma=440,00 \text{ kg/m}^3$) ed essendo rigido allo stesso tempo, permette di ottenere una buona struttura di base. Inoltre il legno, avendo delle buone caratteristiche isolanti, limita le dispersioni termiche per conduzione verso il basso.



Fig. 17 – Pannello di base

2.4.2 Pannelli laterali di base

Sono realizzati in legno di abete e hanno dimensioni 54×9,5×2,5 cm; avvitati sopra la base hanno il compito di trattenere i vetri evitando il loro scivolamento verso l'esterno, in modo da garantire la chiusura della camera di cottura.



Fig. 18 – Pannelli laterali di base

2.4.3 Sportelli laterali

Hanno la forma di triangolo isoscele con la base di 38 cm, altezza 32,4 cm e spessore 2,5 cm; anch'essi realizzati in legno di abete in modo da contenere il peso del forno.

Sono semplicemente appoggiati sopra al vetro posto sul basamento e costituiscono la struttura di supporto per i vetri in modo da formare la camera di cottura.

La loro superficie interna è rivestita con della carta d'alluminio in modo da ridurre le perdite di calore che si avrebbero attraverso la superficie in legno; il rivestimento interno con l'alluminio presenta anche il vantaggio di evitare la penetrazione del vapore, derivante dalla cottura, all'interno del legno, dove condenserebbe, peggiorandone le caratteristiche.

Inoltre sulla loro superficie esterna è applicata una maniglia in legno per poterli spostare agevolmente e, quindi, per aumentare o diminuire la larghezza della camera di cottura in base alle esigenze del caso.



Fig. 19 – Sportelli laterali

2.4.4 Maniglie

Sono in legno di abete ed avvitate agli sportelli laterali in modo da poterli togliere agevolmente una volta terminata la cottura; inoltre permettono di spostare i pannelli per ridurre o aumentare la larghezza della camera di cottura in base alle esigenze.



Fig. 20 - Maniglie

2.4.5 Vetro temprato extrachiario

Sono complessivamente tre pannelli in vetro temprato extrachiario di dimensioni 38×48×0,4 cm e costituiscono la camera di cottura del forno.



Fig. 21 – Vetri temprati extrachiari

Un pannello è appoggiato sopra il basamento in legno e gli altri due vengono adagiati sugli sportelli triangolari in modo da chiudere la camera.

E' di fondamentale importanza utilizzare il vetro temprato per due ragioni: ridurre al minimo il rischio di rottura causata dallo shock termico (il processo della tempra conferisce al vetro una maggiore resistenza alle alte temperature) ed eliminare il rischio di danno alle persone in caso di rottura accidentale del vetro; quest' ultima è una caratteristica del vetro temprato

(detto anche “di sicurezza”) in quanto si rompe in tanti piccoli pezzi smussati e arrotondati, a differenza del vetro non trattato che si rompe formando schegge affilate.

Il vetro extrachiaro è ottenuto dai comuni vetri float (circa il 90% del vetro prodotto nel mondo) tramite un procedimento che elimina il 90% dell’ossido di ferro, togliendo al vetro la tonalità verdastria. Naturalmente questo si traduce in caratteristiche luminose ed energetiche migliori rispetto al normale vetro float.

Di seguito si riporta una schematizzazione del comportamento del vetro quando viene colpito dalla radiazione solare (Fig. 22) con le relative caratteristiche luminose ed energetiche dalla scheda tecnica (Tab. 2).

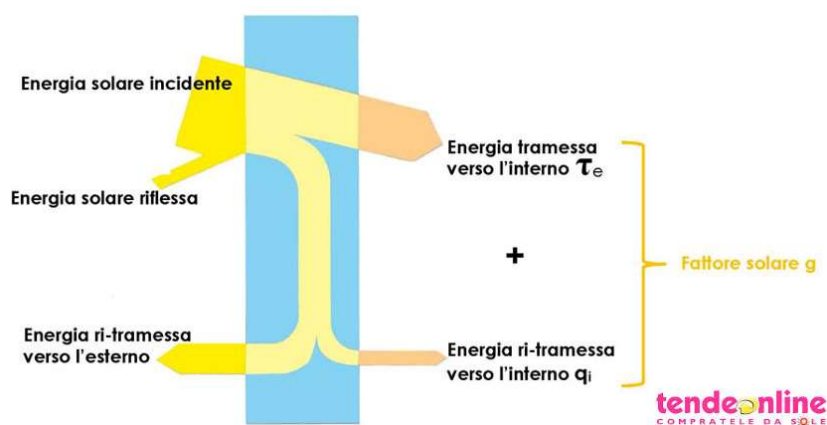


Fig. 22 – Scomposizione della radiazione solare incidente sul vetro

Tab. 2 – Caratteristiche del vetro [12]

Parametri luminosi	Trasmissione - τ_v [%]	92
	Riflessione - ρ_v [%]	8
Parametri energetici	Trasmissione diretta - τ_e [%]	91
	Riflessione - ρ_e [%]	8
	Assorbimento - α_e [%]	1
	Fattore solare - g [%]	91
Trasmittanza - U_g [W/m ² K]		5,8

2.4.6 Profilo a L di alluminio

Da un unico profilo a L di alluminio di sezione 3×3 cm e lunghezza 200 cm si ricavano:

- 4 angolari di lunghezza 3 cm; a tali angolari verranno poi serrati i profili per poter formare la struttura di supporto per gli specchi;



Fig. 23 – Angolari di alluminio

- 4 profili: due di lunghezza 30 cm per lo specchio anteriore e due di lunghezza 60 cm per lo specchio posteriore (la lunghezza dei profili di supporto per lo specchio posteriore è più lunga dell'altezza dello specchio per eventuali future modifiche). Sono i profili dove vengono appoggiati e assicurati gli specchi tramite i magneti.



Fig. 24 – Profili a L di alluminio

Questa fase costruttiva viene descritta nel capitolo 2.6.3.

La scelta di creare una struttura di supporto in alluminio deriva dal fatto di voler ottenere un forno di peso contenuto e quindi facilmente trasportabile, infatti l'alluminio, rispetto ad altri metalli, ha un peso notevolmente minore ($\gamma = 2700,00 \text{ kg/m}^3$).

2.4.7 Magneti al neodimio

Per poter assicurare gli specchi ai profili si utilizzano 20 dei magneti al neodimio; 12 per lo specchio più grande (3 coppie su ogni profilo di alluminio) e 8 per lo specchio più piccolo (2 coppie su ogni profilo di alluminio).



Fig. 25 – Magneti al neodimio

2.4.8 Specchi in plexiglass

Si utilizzano due specchi in plexiglass, uno anteriore e uno posteriore, di dimensioni rispettivamente $40 \times 30 \times 0,3$ cm e $60 \times 40 \times 0,3$ cm.



Fig. 26 – Specchi in plexiglass

Scegliere specchi in plexiglass piuttosto che in vetro permette di mantenere un peso relativamente basso del forno e di poter utilizzare una struttura di supporto in alluminio, piuttosto che di un metallo più pesante.

Permettono di riflettere maggiore radiazione solare all'interno della camera di cottura, aumentando l'efficienza del forno, attraverso la regolazione della loro inclinazione in relazione alla posizione del sole.

I dadi autobloccanti permettono di regolare rapidamente l'inclinazione degli specchi in quanto, una volta applicata la coppia di serraggio, essa rimane costante anche ruotando reciprocamente i due elementi collegati.

2.4.9 Fogli di alluminio

Viene utilizzata della semplice carta di alluminio per rivestire la superficie interna degli sportelli laterali in legno, in modo da trarne i vantaggi descritti precedentemente.



Fig. 27 – Fogli di alluminio

2.4.10 Nastro adesivo di carta

Il nastro adesivo in carta viene utilizzato per fissare il rivestimento in fogli di alluminio agli sportelli.



Fig. 28 – Nastro adesivo di carta

2.4.11 Viti da legno

Si utilizzano 12 viti per fissare i pannelli laterali di base al pannello di base (6 viti per ogni pannello) e 8 viti per fissare gli angolari ai pannelli laterali di base (2 viti per ogni angolare).



Fig. 29 – Viti da legno

2.4.12 Dadi autobloccanti, bulloni e rondelle

Si utilizzano 4 dadi autobloccanti, 4 bulloni, 4 rondelle grandi e 8 rondelle più piccole per serrare i profili a L agli angolari.



Fig. 30 – Dadi autobloccanti, bulloni e rondelle

2.4.13 Analisi dei costi

Tab. 3 – Analisi dei costi del forno

Materiale	Unità di misura	Dimensioni	Quantità	Prezzo unitario [€]	Prezzo totale [€]
Pannello di base (spessore 2,5 cm)	cm	54×58	1	6,20	6,20
Pannelli laterali di base (spessore 2,5 cm)	cm	54×9,5	2	1,03	2,06
Sportelli laterali (spessore 2,5 cm)	cm	Base = 38 Altezza = 32,4	2	1,20	2,40
Maniglie	/	/	2	1,00	2,00
Vetro temprato extrachiario (spessore 0,4 cm)	cm	48×38	3	24,85	74,55
Profilo a L di alluminio (sezione 3×3 cm)	cm	200	1	7,50	7,50
Magneti al neodimio	/	/	20	/	7,99
Specchi in plexiglass (spessore 0,3 cm)	cm	60×40 40×30	1 1	34,36 24,74	34,36 24,74
Fogli di alluminio	/	/	/	/	Presente in casa

Nastro adesivo di carta	/	/	/	/	Presente in casa
Viti da legno	/	/	12	/	Presente in casa
Dadi autobloccanti	/	/	4	/	Presente in casa
Bulloni	/	/	4	/	Presente in casa
Rondelle grandi	/	/	4	/	Presente in casa
Rondelle piccole	/	/	8	/	Presente in casa
				TOTALE	€ 161,80

2.5 Dettagli costruttivi

Di seguito sono riportati degli schizzi quotati (in centimetri) dei componenti del Newton 2.0 e le rappresentazioni del forno ultimato, realizzati col software AutoCAD.

- Pannello di base

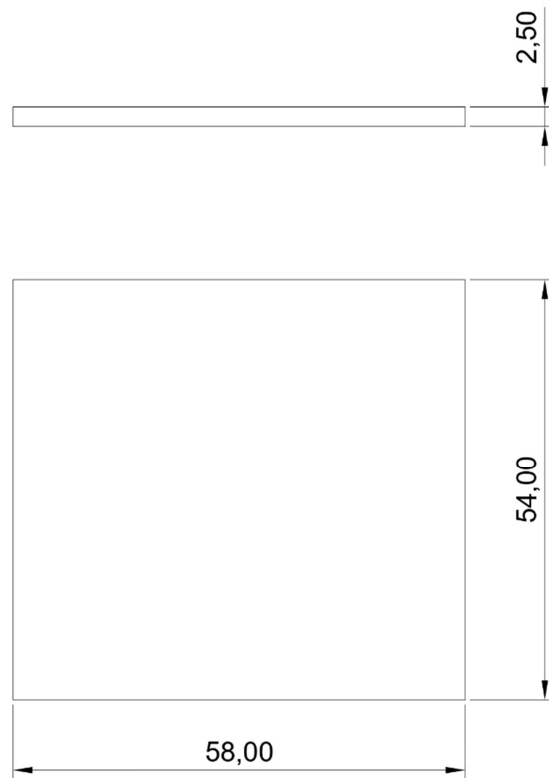


Fig. 31 – Pannello di base quotato

- Pannelli laterali di base (×2)

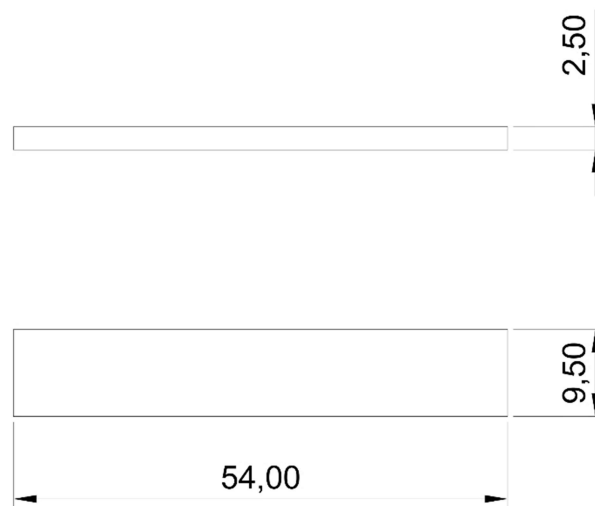


Fig. 32 – Pannello laterale di base quotato

- Sportelli laterali (×2)

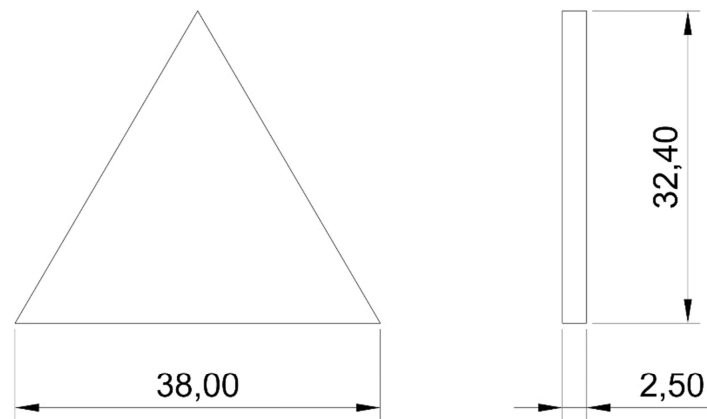


Fig. 33 – Sportello laterale quotato

- Pannelli in vetro temprato (×3)

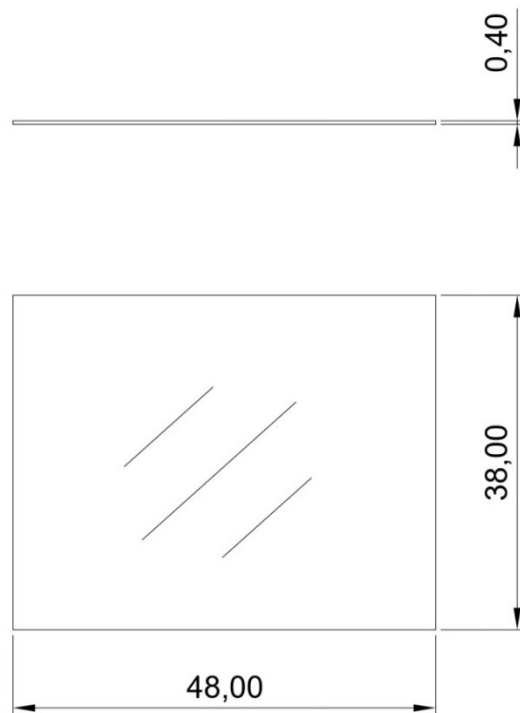


Fig. 34 – Pannello in vetro temprato quotato

- Profilo a L specchio anteriore (×2)

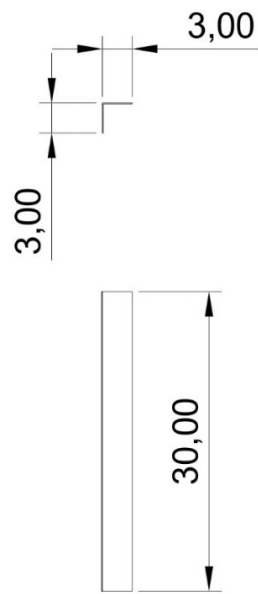


Fig. 35 – Profilo a L specchio anteriore quotato

- Profilo a L specchio posteriore (×2)

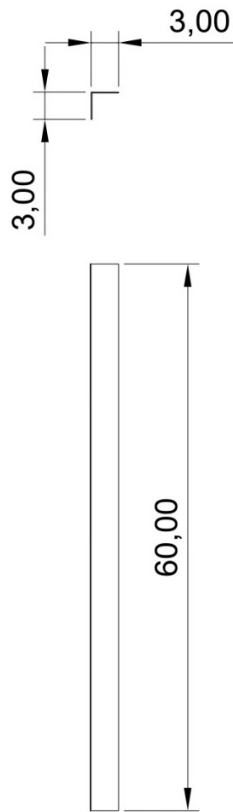


Fig. 36 – Profilo a L specchio posteriore quotato

- Angolari (×4)

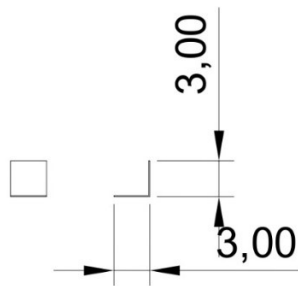


Fig. 37 – Angolare quotato

- Specchio anteriore

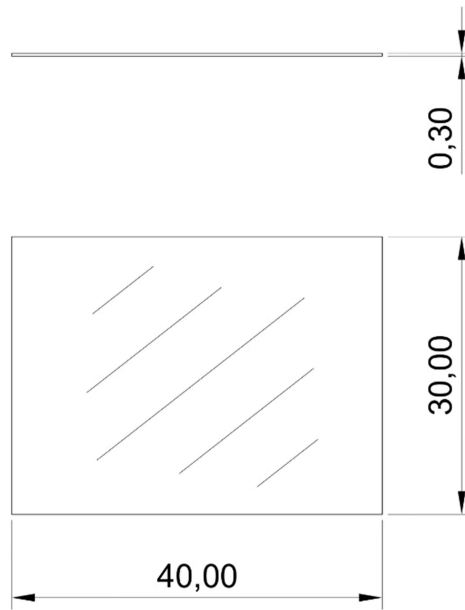


Fig. 38 – *Specchio anteriore quotato*

- Specchio posteriore

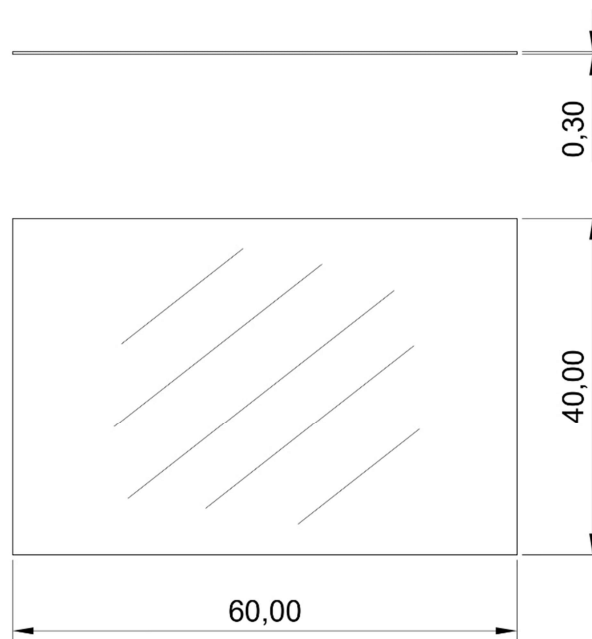


Fig. 39 – *Specchio posteriore quotato*

- Prospetto laterale

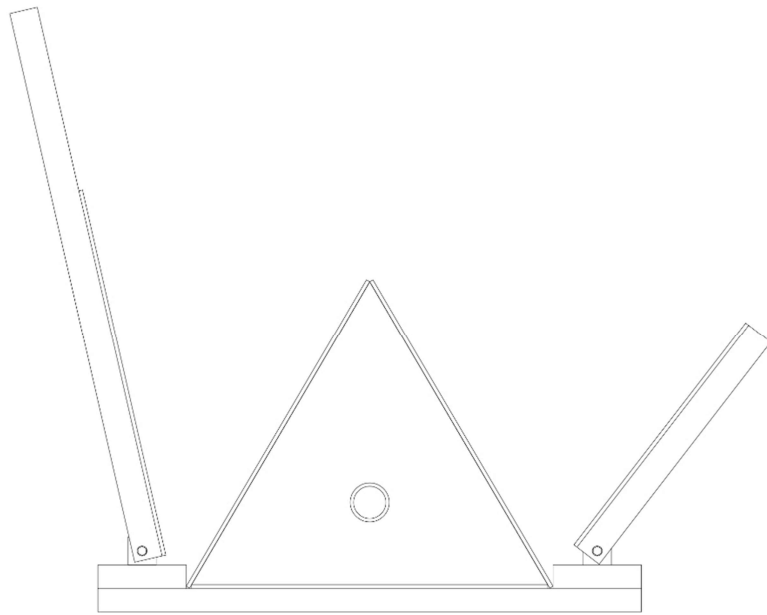


Fig. 40 – *Prospetto laterale del forno*

- Prospetto anteriore



Fig. 41 – *Prospetto anteriore del forno*

- Prospetto posteriore

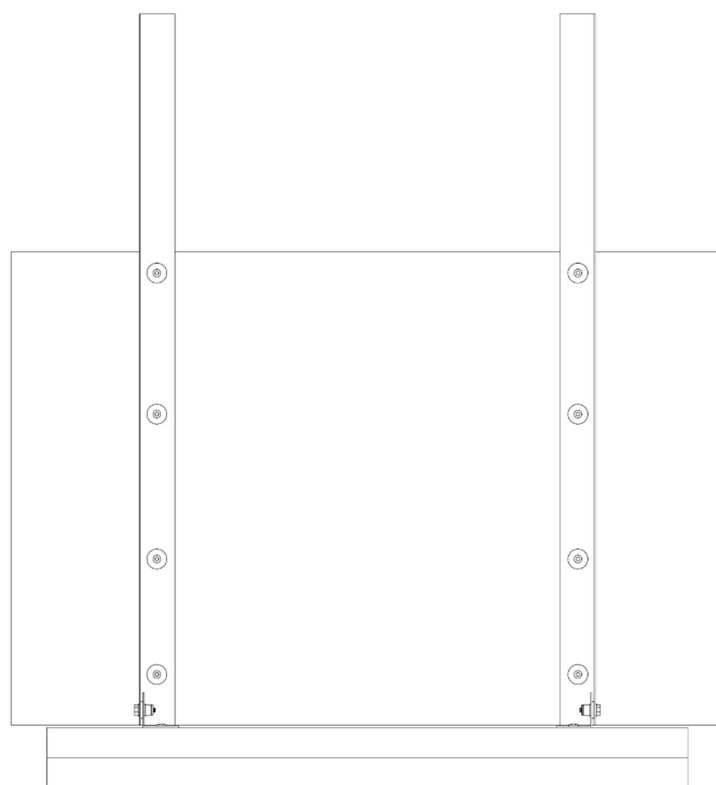


Fig. 42 – *Prospetto posteriore del forno*

- Particolare collegamento angolare – profilo a L

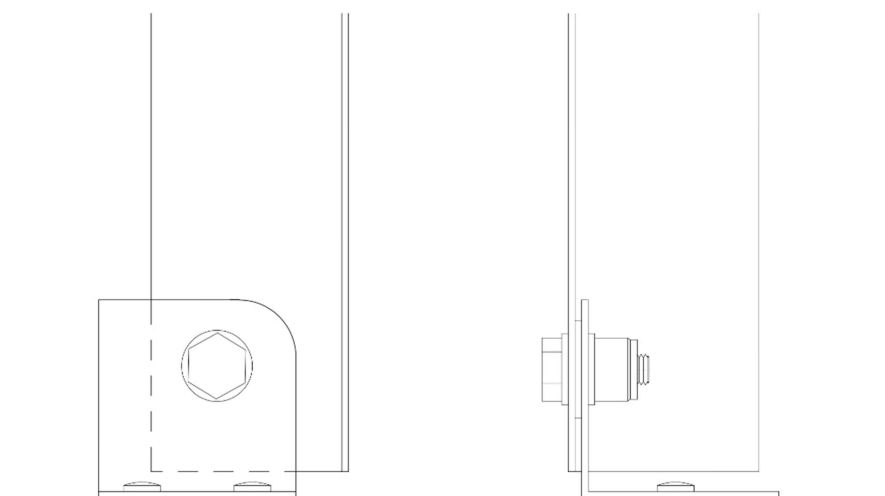


Fig. 43 – *Particolare del collegamento angolare - profilo a L*

- Rendering

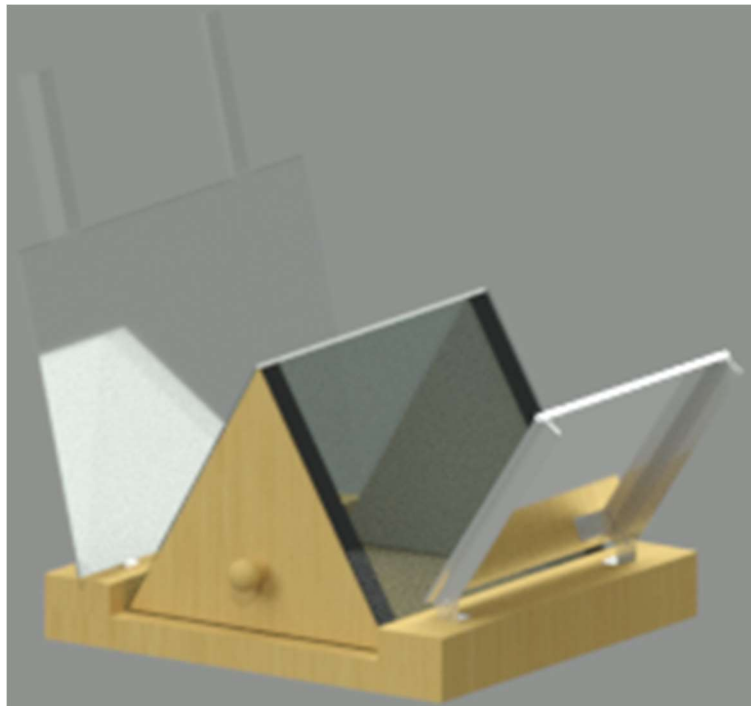


Fig. 44 – Rendering 1 del forno

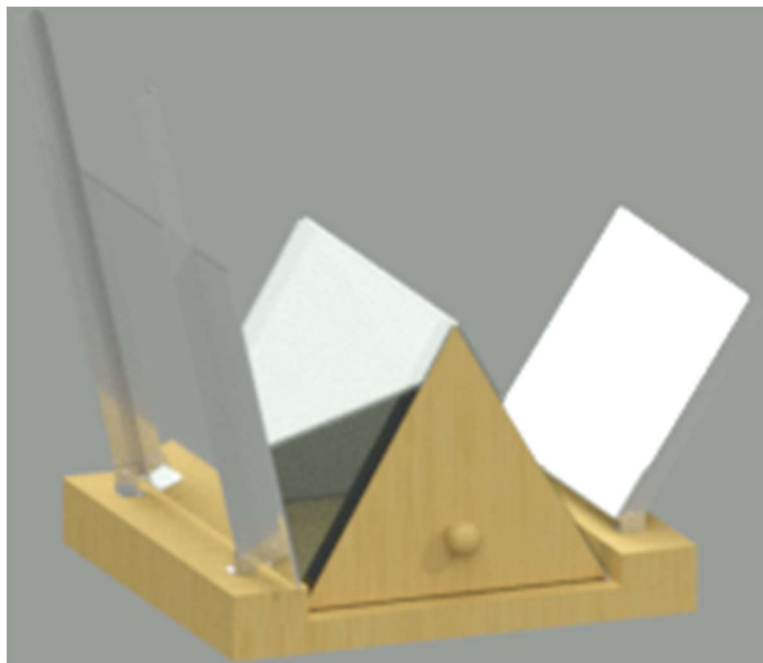


Fig. 45 – Rendering 2 del forno

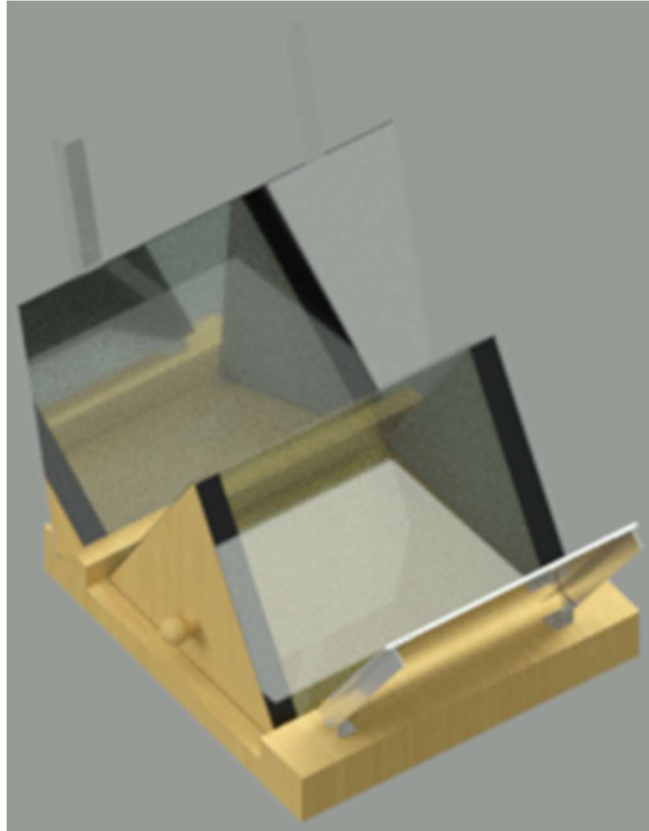


Fig. 46 – Rendering 3 del forno

2.6 Realizzazione

2.6.1 Premessa

Come specificato nel capitolo 2.2 la realizzazione del forno in esame è relativamente semplice e richiede un tempo di due ore circa.

In questo capitolo vengono descritte in dettaglio le fasi della costruzione del Newton 2.0 con l'utilizzo di immagini per una migliore comprensione e, quindi, per una semplice replicabilità del forno solare.

2.6.2 Attrezzatura occorrente

- Avvitatore con punte da foro (sia per legno che per alluminio) e punte da avvitamento
- Sega per alluminio
- Carta vetrata

- Chiave combinata
- Matita, gomma
- Riga, goniometro

2.6.3 Fasi costruttive

1. La prima fase per realizzare il forno consiste nel collegare i pannelli laterali di base col pannello di base sottostante; si posizionano quindi i pannelli lungo il lato più corto della tavola di base e, con l'utilizzo di un avvitatore, si assicurano a quest'ultima tramite 6 viti ciascuno.

E' di fondamentale importanza assicurarsi che i pannelli laterali siano perfettamente allineati con quello di base in quanto un loro disallineamento non permetterebbe una precisa chiusura dei vetri e quindi della camera di cottura, rendendo inutilizzabile il forno.



Fig. 47 – Collegamento dei pannelli laterali alla base

2. Dal profilo a L di alluminio di lunghezza 200 cm si ricavano, tramite l'utilizzo di una sega da alluminio, 4 angolari di lunghezza 3 cm, 2 profili di lunghezza 30 cm e due profili di lunghezza 60 cm.

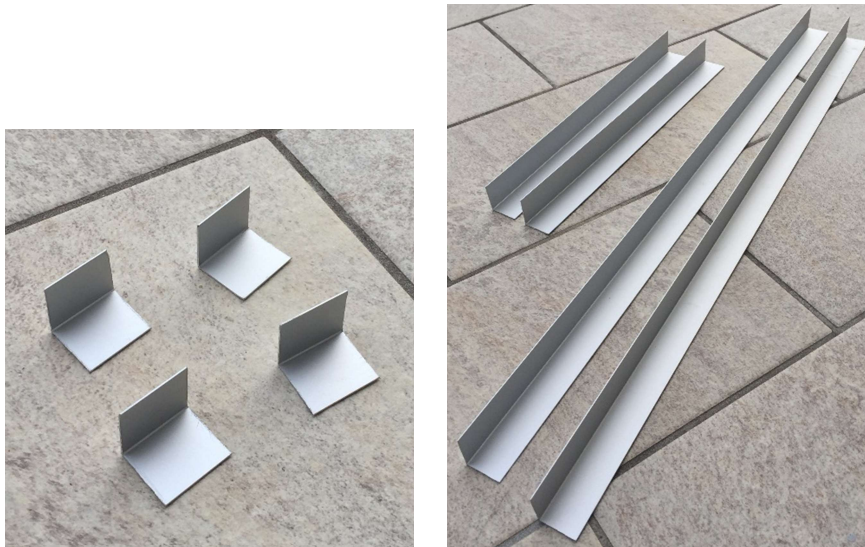


Fig. 48 – Angolari e profili di alluminio

3. Poi si crea un foro nei profili a L, che servirà per assicurarli agli angolari tramite un dado autobloccante, utilizzando un avvitatore con punta da foro; prima di questa operazione è bene verificare con accuratezza il punto in cui forare gli elementi in modo che, facendo ruotare simultaneamente il profilo e l'angolare attorno al teorico punto di applicazione del bullone, lo spigolo dell'angolare non ostacoli la rotazione del profilo stesso.



Fig. 49 – Foratura profili di alluminio

Di seguito viene mostrata una rappresentazione, fatta col software AutoCAD, del collegamento tra il profilo e l'angolare, così da poter individuare facilmente il punto in cui forare gli elementi.

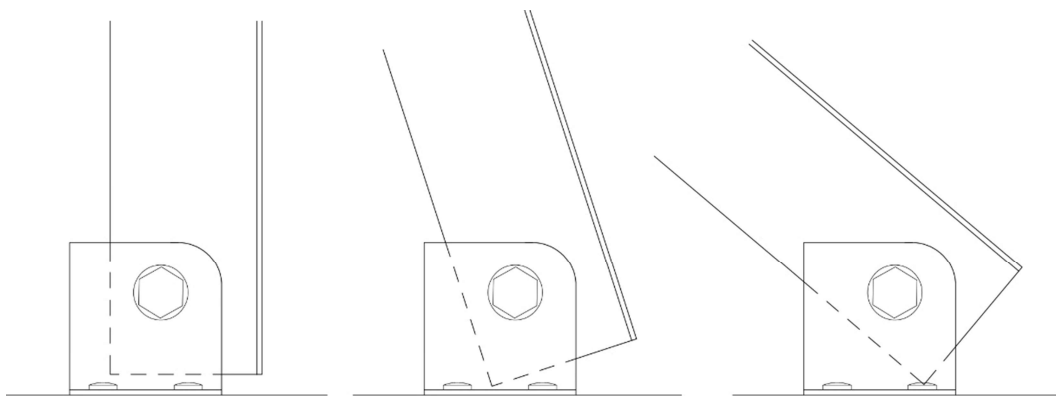


Fig. 50 – Collegamento angolare – profilo a L

4. Si creano quindi, negli angolari, il foro per l'applicazione del bullone, individuato nella fase precedente, e due fori alla loro base per poterli avvitare al pannello sottostante.



Fig. 51 – Foratura angolari di alluminio

5. Si smussa l'angolo interno degli angolari per non rischiare che lo spigolo ostacoli la rotazione del profilo.



Fig. 52 – Smussatura spigolo degli angolari

6. Successivamente si fissano gli angolari di alluminio ai pannelli laterali di base, con due viti ciascuno, tramite un avvitatore; gli angolari sono posizionati ad una distanza di 15 cm dal baricentro dei pannelli. In questa fase bisogna porre attenzione all'allineamento degli angolari per il fatto che un loro disallineamento porterebbe ad avere gli specchi in una posizione tale da non garantire la massima riflessione della radiazione solare all'interno della camera di cottura.

Tramite un dado autobloccante ed un bullone si assicurano i profili a L agli angolari applicando una coppia di serraggio sufficientemente alta da sostenere gli specchi in fase di utilizzo ma che permetti un'agevole regolazione degli stessi.

La rondella più grande è posta tra il profilo e l'angolare, mentre le due più piccole esternamente all'angolare e al profilo.

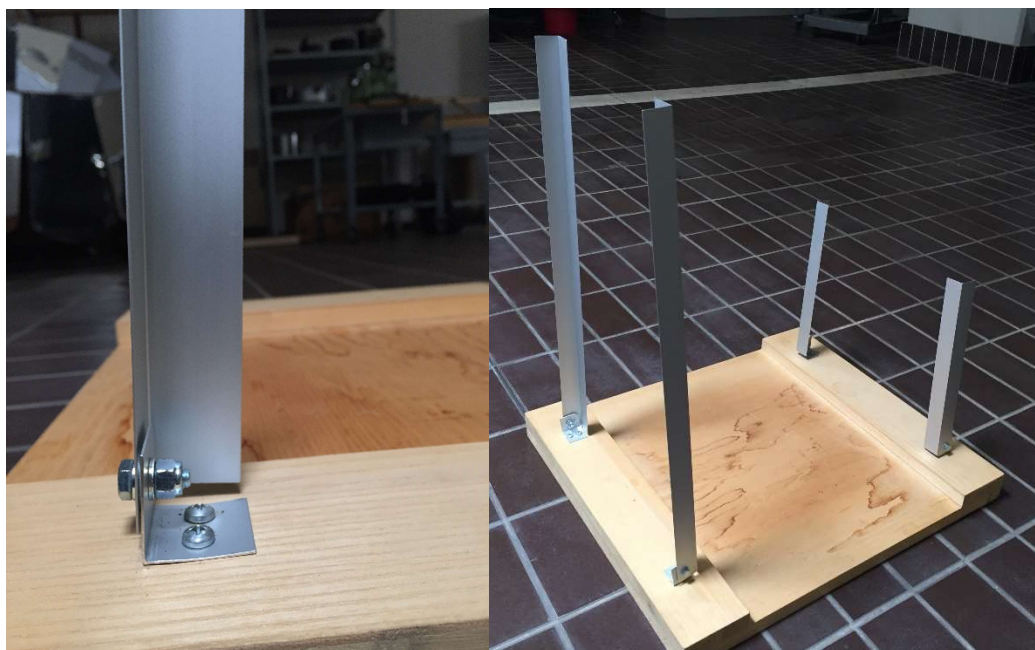


Fig. 53 – Collegamento dei profili a L agli angolari

7. In seguito si avvitano le maniglie nel baricentro dei pannelli triangolari di legno e si ricopre la facciata interna di quest'ultimi con della carta d'alluminio, assicurandola con del nastro adesivo di carta.

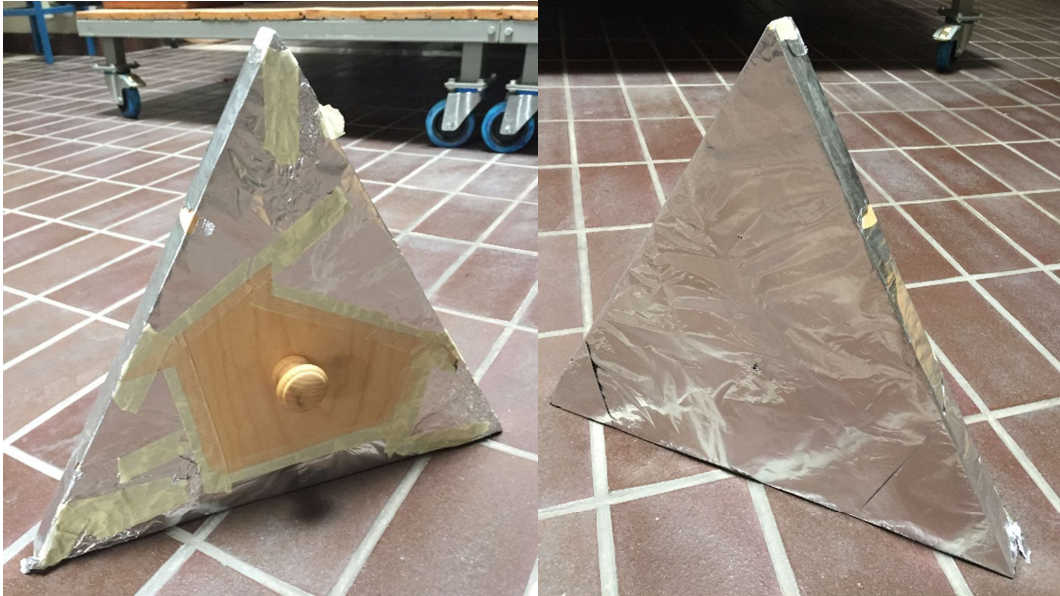


Fig. 54 – Applicazione maniglie e rivestimento in carta d'alluminio degli sportelli

8. A questo punto si può realizzare la camera di cottura appoggiando un vetro sopra la base in legno e gli altri due sopra gli elementi triangolari, come mostrato in figura.

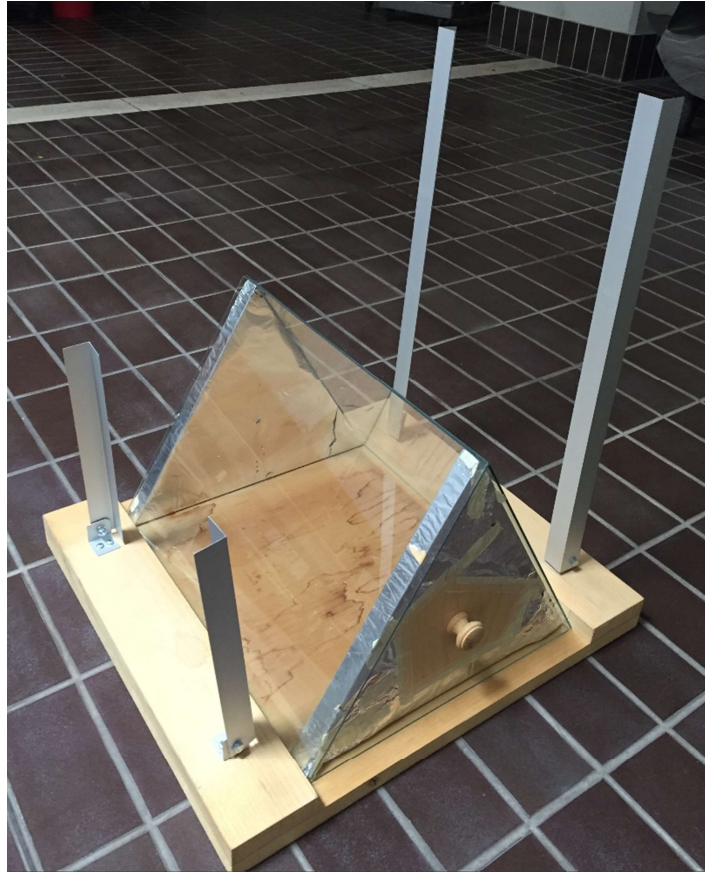


Fig. 55 – Realizzazione camera di cottura

9. Per completare il forno si assicurano gli specchi ai profili a L di alluminio tramite delle calamite al neodimio, come mostrato in figura.



Fig. 56 – Posizionamento degli specchi, ultimazione del forno

2.7 Principio di funzionamento

2.7.1 Apporti energetici

Il Newton 2.0 è un forno solare a scatola che sfrutta la radiazione solare (diretta e quella convogliata dagli specchi) e l'effetto serra generato all'interno della camera per cuocere gli alimenti.

La Fig. 57 indica la trasmissione spettrale del vetro per le varie lunghezze d'onda.

Per la lettura dell'immagine ricordiamo che le radiazioni nel campo del visibile sono incluse tra le lunghezze d'onda di 380 nm e 730 nm e quelle nel campo degli infrarossi vanno da 730 nm a 1 mm circa.

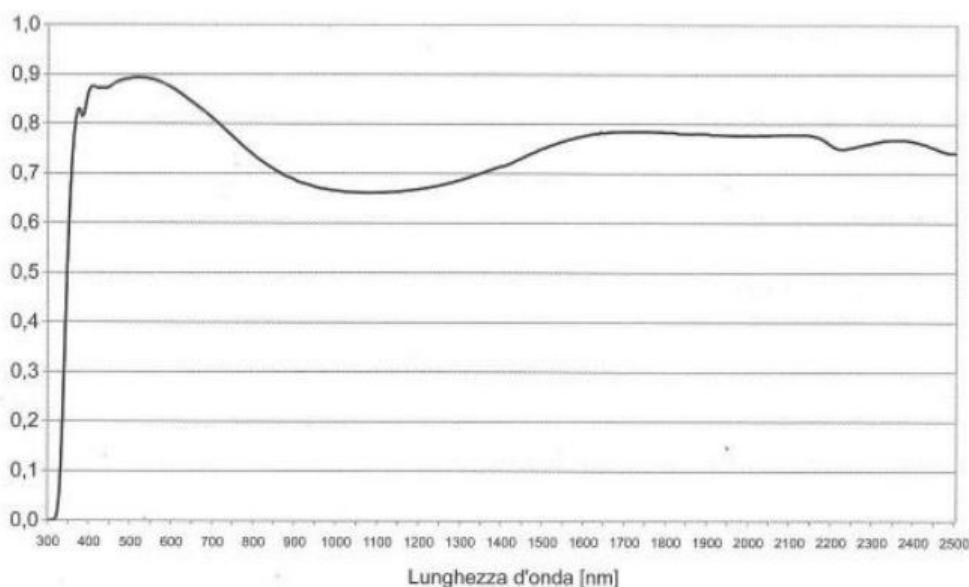


Fig. 57 – Trasmissione spettrale del vetro

La radiazione solare, per la maggior parte nel campo del visibile ed in minor parte nel campo dell'infrarosso penetra nella camera di cottura attraverso il vetro (come si può notare dal coefficiente di trasmissione spettrale della Fig. 57), colpisce la pentola o il contenitore del cibo e la massa per l'accumulo termico i quali, assorbendo l'energia della radiazione incidente, si riscaldano ed emettono energia termica sotto forma di radiazione elettromagnetica nel campo dell'infrarosso; gran parte di tale radiazione emessa dai corpi riscalda la camera di cottura perché, avendo una lunghezza d'onda adeguata, non riesce a passare attraverso i vetri, rimanendo appunto intrappolata nell'ambiente interno, riscaldandolo.

Di seguito viene riportata una schematizzazione di tale fenomeno, dove in giallo viene indicata la radiazione totale trasmessa attraverso il vetro ed in rosso la radiazione infrarossa trattenuta nella camera (Fig. 58).

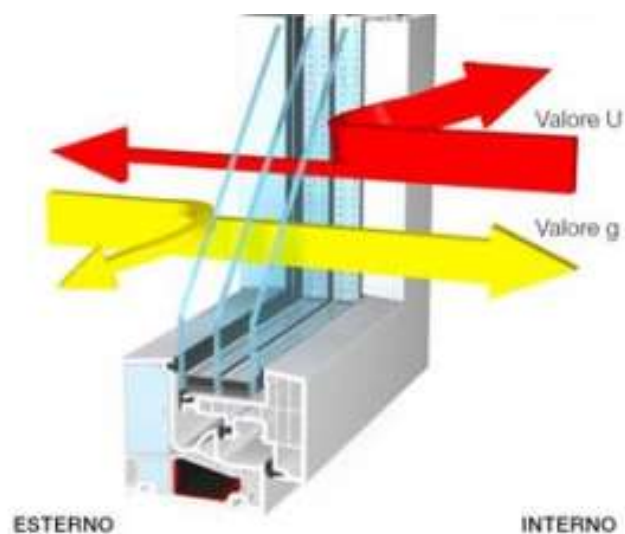


Fig. 58 - Radiazione solare trasmessa (giallo) e radiazione infrarossa trattenuta (rosso)

Quest'ultima è una caratteristica molto importante del vetro, la quale lo rende un materiale fondamentale per la costruzione di qualsiasi forno solare a scatola, specialmente del Newton 2.0 dal momento che la camera di cottura è composta interamente da vetri.

2.7.2 Orientamento del forno e regolazione degli specchi

Per avere un rendimento ottimale costante è necessario orientare il forno verso il sole ogni 5/10 minuti; per verificare che l'orientamento del forno sia corretto basta osservare l'ombra che lasciano i due sportelli laterali: se le ombre di entrambi risultano essere perfettamente allineate con i pannelli stessi, allora l'orientamento del forno è corretto (Fig. 59).

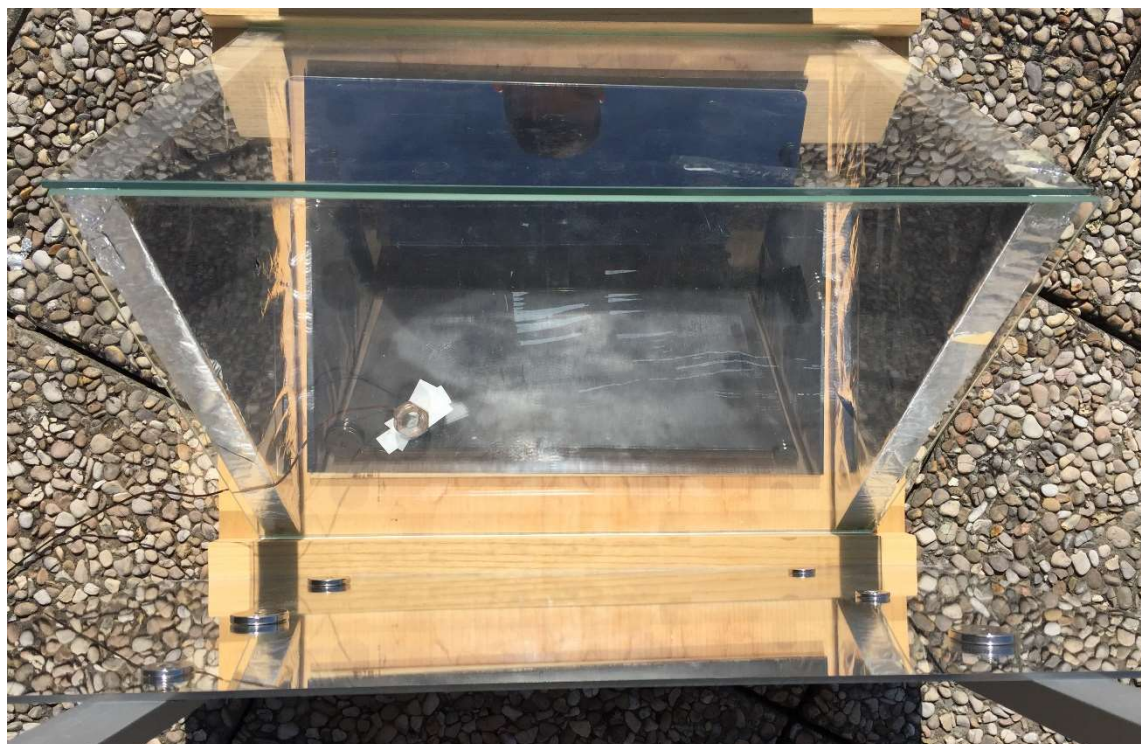


Fig. 59 – Corretto orientamento del forno

Per convogliare maggiore radiazione solare all'interno della camera si ricorre all'utilizzo di due specchi, uno anteriore ed uno posteriore di dimensioni maggiori.

Per ottimizzare il contributo degli specchi e, quindi, per avere la massima radiazione riflessa possibile, è bene regolare la loro inclinazione in relazione alla posizione del sole rispetto la verticale.

Per poter regolare facilmente l'inclinazione degli specchi è sufficiente osservare la radiazione da loro riflessa e fare in modo che ricada totalmente all'interno della camera di cottura.

Analisi dell'inclinazione degli specchi:

- Quando il sole si trova quasi sulla verticale, quindi nelle ore centrali della giornata (dalle 12:00 fino alle 14:00 circa), gli specchi avranno la seguente inclinazione.

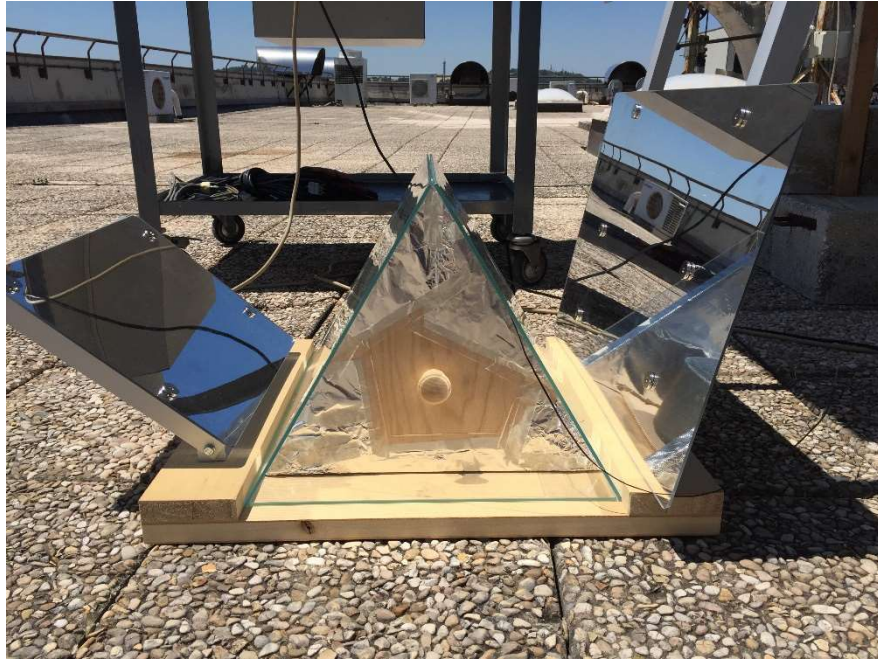


Fig. 60 – Inclinazione specchi nelle ore centrali della giornata

- Quando il sole si trova in una posizione lontana dalla verticale, quindi non nelle ore centrali della giornata, gli specchi dovranno avere la seguente inclinazione.

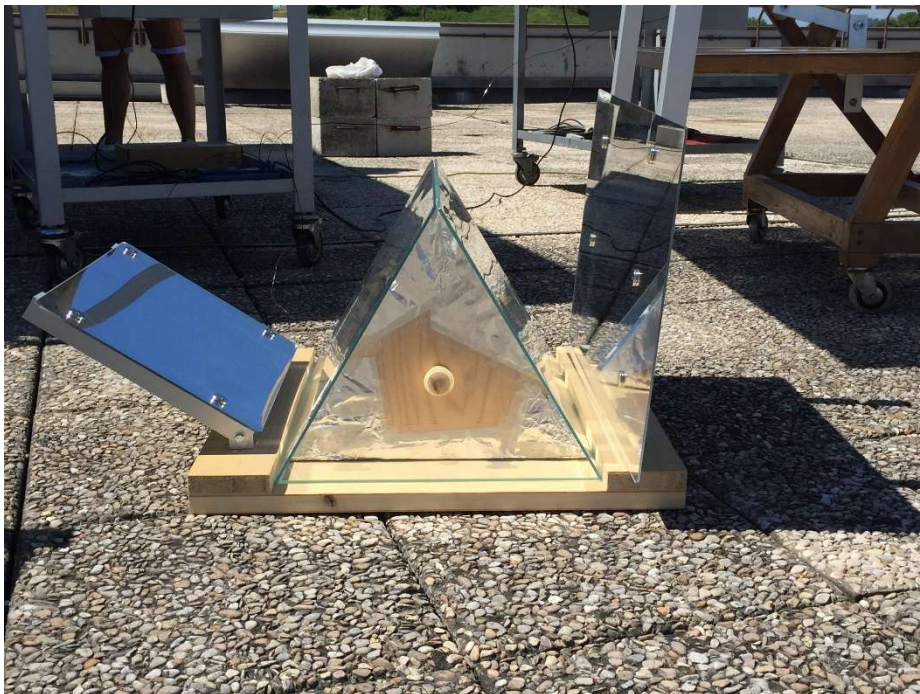


Fig. 61 – Inclinazione specchi fuori dalle ore centrali della giornata

Schizzi realizzati con software AutoCAD per una facile comprensione del funzionamento del forno solare:

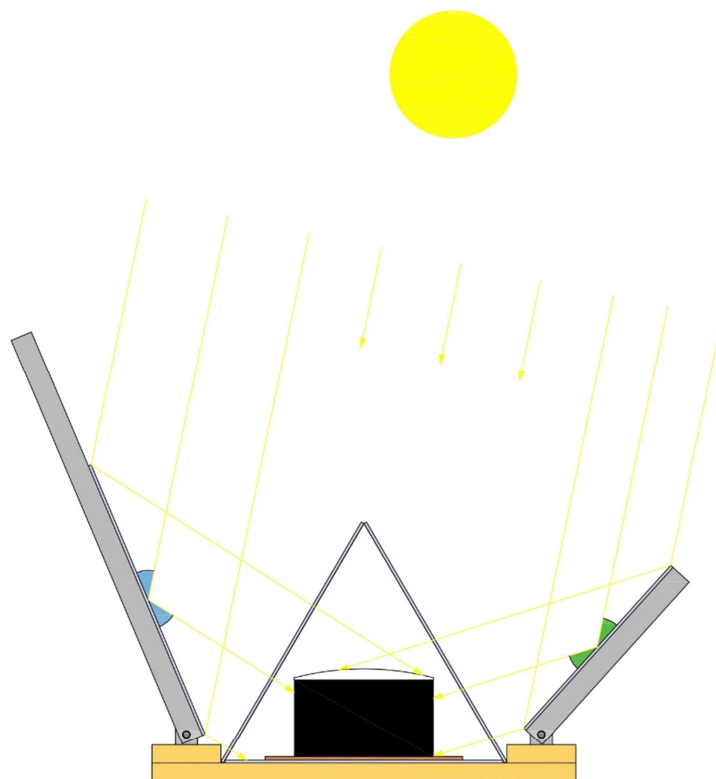


Fig. 62 – Schema di funzionamento del Newton 2.0 (1)

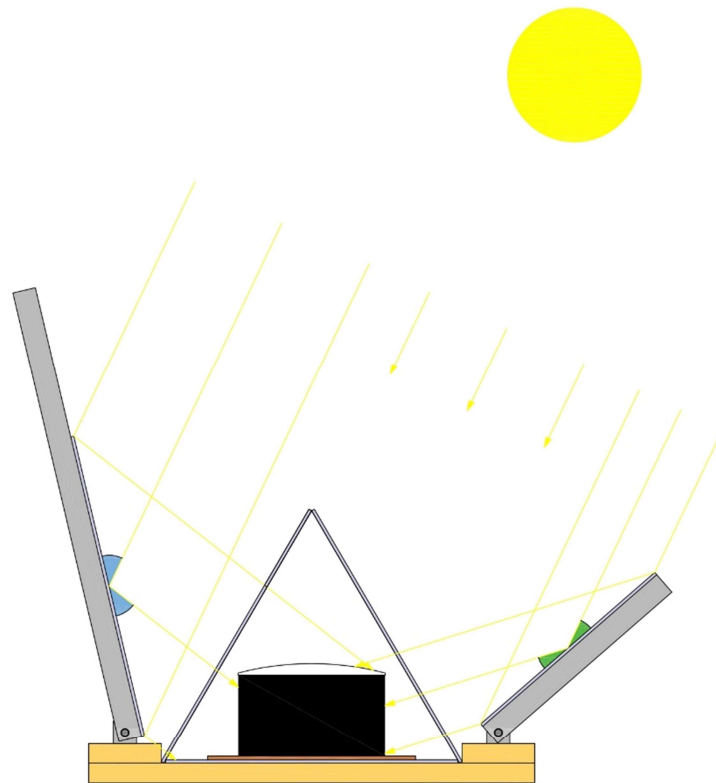


Fig. 63 – Schema di funzionamento del Newton 2.0 (2)

2.7.3 Limitazione delle dispersioni termiche

In fase di utilizzo la camera di cottura si riscalda fino al raggiungimento dell'equilibrio termico, ovvero fino al punto in cui gli apporti e le perdite di energia termica risultano essere uguali. Per avere quindi un'alta efficienza del forno è necessario sia orientare il forno e regolare l'inclinazione degli specchi in relazione alla posizione del sole, sia ridurre le perdite di calore verso l'esterno, che si possono verificare per conduzione, convezione e irraggiamento. Perdite di calore per:

- **Conduzione:** è la trasmissione di calore che può avvenire nei solidi o nei fluidi in quiete da zone con temperatura maggiore a zone con temperatura minore del corpo stesso; inoltre avviene anche quando due corpi a temperatura differente sono a contatto tra loro.

Nella conduzione l'energia termica si trasmette tramite il contatto delle particelle che, trovandosi ad una temperatura maggiore dello zero assoluto, oscillano con una velocità proporzionale alla temperatura del corpo stesso; quindi, quando un corpo a temperatura maggiore si trova a contatto con un altro a temperatura minore, le particelle dei due corpi urtano tra loro scambiandosi quantità di moto che, a livello macroscopico, si traduce in energia termica;

- **Convezione:** è una forma di scambio termico che avviene tra un solido e un fluido a temperature differenti a contatto tra loro. Quando il corpo e il fluido entrano in

contatto si scambiano energia termica, quindi calore, per conduzione; successivamente, all'interno del fluido, si creano dei moti convettivi a causa delle zone a differente temperatura (la parte di fluido a temperatura maggiore è meno denso di quella a temperatura minore);

- Irraggiamento: è lo scambio di energia termica tra più corpi (solidi, liquidi o gassosi) che avviene tramite la propagazione di onde elettromagnetiche e, quindi, non necessita del contatto tra corpi e di un mezzo di propagazione (avviene anche nel vuoto). Ogni corpo, a temperatura maggiore dello zero assoluto, emana delle onde elettromagnetiche di frequenza legata alla temperatura e alla natura del corpo stesso.

Per ridurre le perdite di calore ci si deve assicurare che la camera di cottura non presenti dei vuoti che causerebbero flussi d'aria verso l'ambiente esterno; quindi i vetri devono essere correttamente appoggiati ai pannelli triangolari in modo da chiudere bene la camera. Naturalmente il forno in esame non può avere una camera di cottura perfettamente stagna in quanto i vetri sono semplicemente appoggiati agli sportelli.

Inoltre sotto la pentola, o sotto ad un eventuale assorbitore di calore, si deve disporre un materiale isolante (nel nostro caso sono stati utilizzati sia un pannello di legno che un foglio di cartone) che ha una duplice funzione: limita il trasferimento di calore, per conduzione, dalla pentola o dall'assorbitore al vetro sottostante e, di conseguenza, alla base in legno e protegge il vetro dal rischio di rottura dovuto allo shock termico.

Altro accorgimento è quello di rivestire la superficie interna dei pannelli triangolari in legno con la carta d'alluminio che, avendo una buona riflettanza, limita la dispersione di energia termica verso l'esterno.

2.7.4 Fase di cottura

Durante la cottura, grazie alle maniglie applicate agli sportelli, è possibile regolare la larghezza della camera, e quindi il suo volume, in relazione alle esigenze del caso e controllare la cottura degli alimenti rimuovendo lo sportello; quest'ultimo aspetto offre il vantaggio di mantenere la maggior parte del calore all'interno della camera di cottura in quanto non viene aperta del tutto.

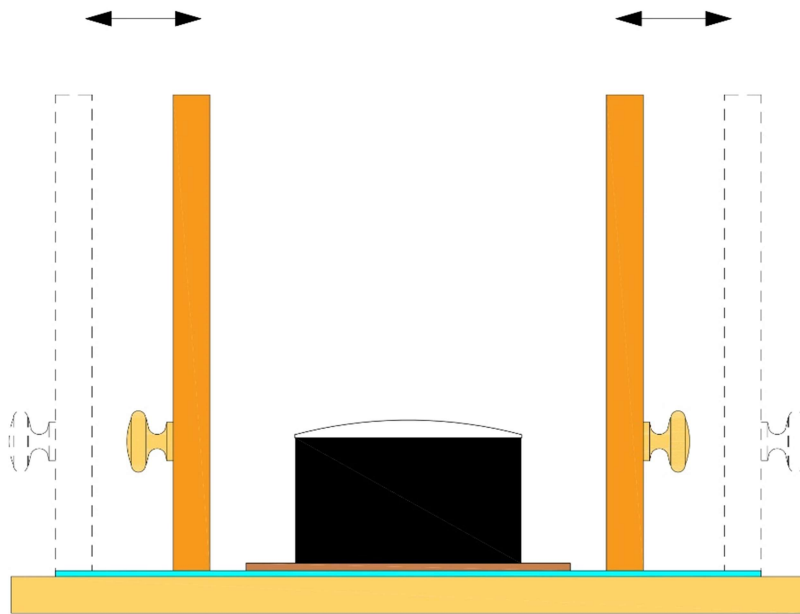


Fig. 64 – Schema di funzionamento degli sportelli laterali

Inoltre, il fatto di poter muovere i vetri consente di lasciare una piccola apertura nella parte superiore della camera, facendo fuoriuscire i vapori della cottura ed evitando così la formazione di condensa che, appannando i vetri, ostacolerebbe il passaggio della radiazione solare.

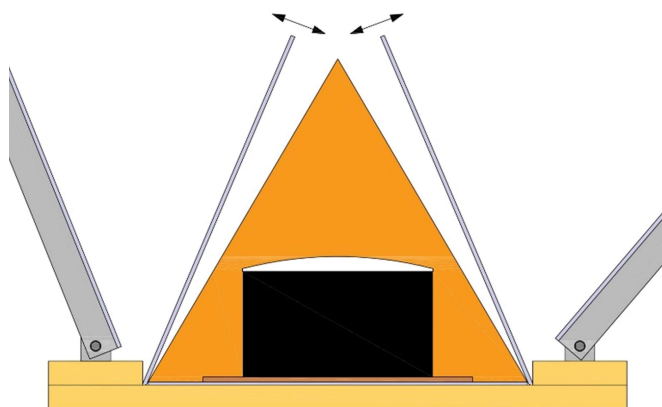


Fig. 65 – Apertura della camera durante la cottura

2.8 Studio dell'ottica

L'efficienza del forno è direttamente proporzionale al calore utilizzabile dal forno, cioè alla temperatura massima raggiungibile nella camera di cottura (temperatura di stagnazione o equilibrio termico). A sua volta, il calore ottenibile dal forno, è direttamente proporzionale all'area del collettore proiettata perpendicolarmente alla radiazione incidente, detta area di apertura (A_A).

La superficie di apertura viene calcolata considerando una posizione del sole perfettamente sulla verticale, avendo quindi una radiazione incidente perpendicolare al terreno.

La Fig. 66 mostra una schematizzazione del forno solare, con relativo angolo di inclinazione degli specchi, per il calcolo della superficie di apertura (le quote sono in centimetri).

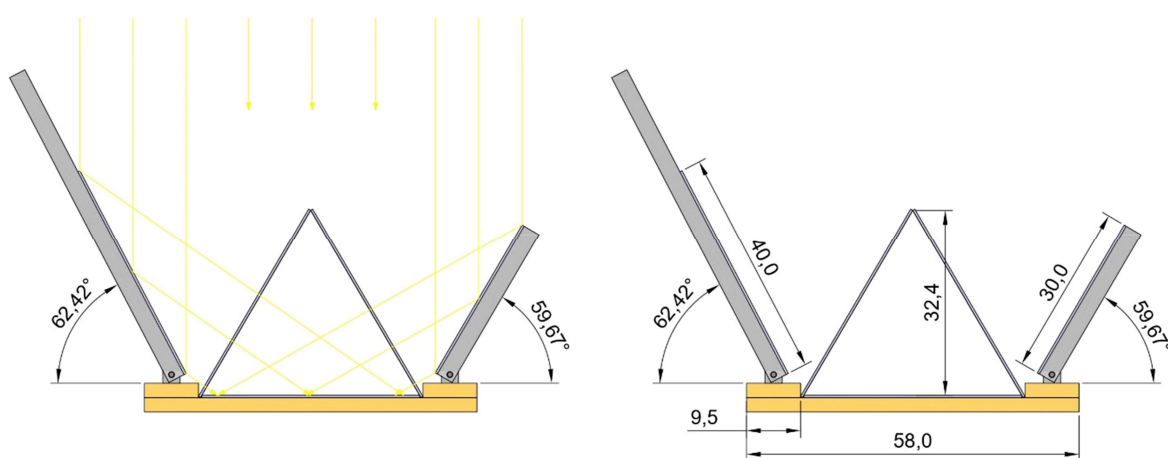


Fig. 66 – Prospetto laterale del forno quotato

Dal prospetto laterale ci si può ricavare la vista dall'alto del forno.

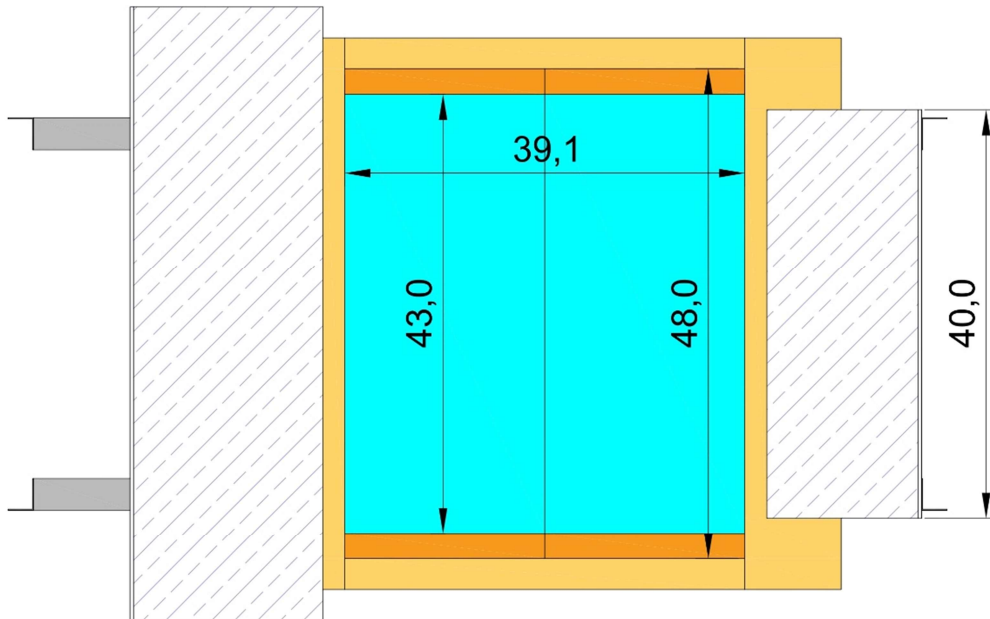


Fig. 67 – Vista dall'alto del forno

Si ricava quindi l'area di apertura dalla vista dall'alto.

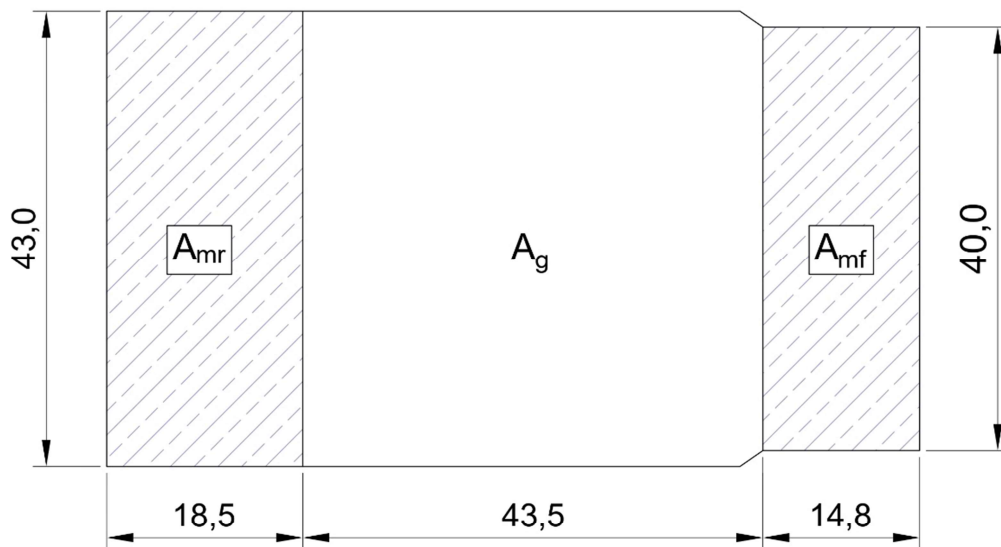


Fig. 68 – Area di apertura (A_A) del forno

Dalla Fig. 68 si possono ricavare le varie aree:

- Superficie del ricevitore (in bianco): $A_g = 1865,41 \text{ cm}^2 = 0,1865 \text{ m}^2$
- Superficie specchio anteriore (tratteggio blu): $A_{mf} = 592,00 \text{ cm}^2 = 0,0592 \text{ m}^2$
- Superficie specchio posteriore (tratteggio blu): $A_{mr} = 796,00 \text{ cm}^2 = 0,0796 \text{ m}^2$

Si hanno quindi a disposizione le aree dei due specchi proiettate sulla superficie normale alla radiazione solare.

L'area di apertura viene calcolata sommando le aree appena ottenute:

$$A_A = A_g + A_{mf} + A_{mr} = 0,1865 \text{ m}^2 + 0,0592 \text{ m}^2 + 0,0796 \text{ m}^2 = 0,3253 \text{ m}^2$$

CAPITOLO 3

PROCEDURE STANDARD INTERNAZIONALI

3.1 Premessa

L'esigenza di virare verso un maggiore uso di combustibili alternativi che non creino danni alle persone e all'ambiente ha portato ad un crescente interesse, da parte di ricercatori e produttori di tutto il mondo, per lo sviluppo dei forni solari.

È fondamentale utilizzare coefficienti e parametri comuni per misurare e catalogare le prestazioni dei forni solari, così da agevolare la comunicazione dei risultati degli esperimenti ad altri ricercatori di tutto il mondo.

Per poter analizzare il comportamento e calcolare l'effettiva efficienza del Newton 2.0 sono state prese come riferimento due procedure già presenti in letteratura, le quali mostrano i parametri da ricavare al fine di ottenere dei risultati standardizzati.

Le procedure sperimentali valutate sono state:

- procedura proposta da Khalifa et al. [13];
- test sperimentale proposto da Mullick [13].

La valutazione di queste procedure consisterà nel determinare se gli standard sono pratici da usare in riferimento al nostro prototipo, quindi capire se ci sono differenze tra le diverse tipologie di forni solare e se i risultati sono ripetibili e applicabili al forno solare studiato e testato presso il nostro Dipartimento.

3.2 Procedura proposta da Khalifa et al.

Le procedure seguite per valutare le prestazioni dei forni solari si basano sulla determinazione dei seguenti parametri:

- tempo di cottura per i diversi prodotti alimentari;
- tempo necessario per avvertire un sensibile riscaldamento di una quantità nota di acqua fino al punto di ebollizione;
- temperatura massima raggiungibile registrata in una prova senza carico.

Dal primo metodo, come si può intuire, non si può ricavare uno standard attendibile in quanto entrano in gioco delle variabili non facilmente controllabili come la variazione degli ingredienti e soprattutto il giudizio soggettivo sulla cottura di un alimento.

Il secondo e il terzo metodo risultano quindi i migliori per valutare le prestazioni del forno.

Khalifa et al [13]. Ha utilizzato il secondo metodo per individuare le prestazioni del forno solare mediante il calcolo dell'efficienza termica complessiva η_{av} , il tempo di ebollizione specifico t_s espresso in $[\text{min m}^2/\text{kg}]$, e quello caratteristico t_c espresso in $[\text{min m}^2/\text{kg}]$.

t_s rappresenta il tempo necessario per bollire 1 kg di acqua usando un forno solare con 1 m² di superficie di apertura; t_c è utilizzato come parametro di confronto tra i vari forni solari con differenti livelli di radiazione solare.

Le espressioni matematiche per il calcolo dei parametri t_s , t_c e η_{av} sono fornite da Refs e sono rispettivamente:

$$t_s = \frac{\Delta t A_A}{mf}$$

$$t_c = t_s \frac{DNI_{av}}{DNI_{ref}}$$

$$\eta_{av} = \frac{mf cf (T_2 - T_1)}{DNI_{av} A_A \Delta th}$$

dove mf e cf sono rispettivamente la massa $[\text{kg}]$ e il calore specifico $[\text{J/kg K}]$ del fluido; Δth è il tempo necessario per raggiungere la massima temperatura del fluido; DNI_{av} è l'intensità solare media $[\text{W/m}^2]$ durante l'intervallo di tempo Δth ; DNI_{ref} è l'intensità media solare di riferimento pari a 900 W/m^2 ; T_2 e T_1 sono rispettivamente la temperatura massima e la temperatura minima dell'intervallo di tempo considerato, mentre A_A è l'area di apertura $[\text{m}^2]$ del forno solare.

3.3 Procedura proposta da Mullick

Mullick [13] propose una procedura di prova standard per i forni solari a scatola, dove determinò due figure di merito F_1 e F_2 , attraverso la prova di stagnazione (cioè senza carico) e riscaldando una massa nota di acqua.

F_1 $[\text{°C m}^2/\text{W}]$ è definito come:

$$F_1 = \frac{T_{a,max} - T_{amb}}{DNI}$$

dove $T_{a,max}$, T_{amb} e DNI sono rispettivamente la temperatura dell'assorbitore, la temperatura ambiente e la radiazione solare su un piano orizzontale una volta raggiunta la temperatura di stagnazione.

F_2 implica la misura dell'incremento della temperatura nel tempo di una quantità nota di acqua contenuta nella pentola, come indicato dalla seguente relazione:

$$F_2 = \frac{F_1 m_f c_f}{A_A \Delta t h} \ln \frac{1 - \frac{1}{F_1} \frac{(T_1 - T_{amb,av})}{DNI_{av}}}{1 - \frac{1}{F_1} \frac{(T_2 - T_{amb,av})}{DNI_{av}}}$$

dove $\Delta t h$ rappresenta l'intervallo di tempo [s] durante il quale la temperatura dell'acqua passa da T_1 (temperatura iniziale dell'acqua) a T_2 (temperatura finale dell'acqua). DNI_{av} e $T_{amb,av}$ sono rispettivamente la radiazione solare media [W/m^2] e la temperatura ambiente media [$^{\circ}C$] nell'intervallo di tempo in considerazione. I valori m_f , c_f e A_A sono rispettivamente, come detto sopra, la massa dell'acqua [kg], il calore specifico [$J/kg K$] e l'area di apertura del forno [m^2].

Inoltre, Mullick [13], con la collaborazione di Buddhi [13], analizzò gli effetti del carico m_f e del numero di pentole in F_2 ; arrivarono alla conclusione che F_2 aumenta con l'aumentare sia della massa m_f che del numero di pentole.

3.4 Variabili

3.4.1 Premessa

Nel 1997 Paul A. Funk [14], in una conferenza sulla cucina solare, analizzò tutte le variabili che incidono sulle prestazioni di un forno solare a scatola ed individuò i valori in cui queste variabili devono rientrare affinché il test svolto sia valido.

Le variabili si dividono in controllabili e non controllabili.

3.4.2 Variabili controllabili

3.4.2.1 Carico

Il carico d'acqua deve essere di 7 kg/m^2 distribuiti uniformemente tra le pentole; l'area considerata è data dalla somma del ricevitore con l'area di apertura degli specchi proiettata ortogonalmente alla radiazione solare.

3.4.2.2 Inseguimento

I forni solari a scatola richiedono un orientamento verso il sole ogni 15/30 minuti; se il test è svolto a mezzogiorno e per un massimo di due ore e mezza l'angolo zenitale (inclinazione degli specchi) può non essere monitorato.

3.4.2.3 Rilevamento della temperatura

Per rilevare la temperatura è consigliato l'uso delle termocoppie in quanto sono economiche, danno una misurazione precisa e rapide nella risposta.

La termocoppia deve essere inserita nel foro del coperchio e posta a circa 1 cm dal fondo della pentola.

3.4.3 Variabili non controllabili

3.4.3.1 Vento

Durante le prove la velocità del vento dovrebbe essere minore di 10 m/s; se supera i 2,5 m/s per più di 10 minuti il test non è valido.

Questo perché il vento influisce di molto sulle perdite di calore del forno (perdite per convezione).

3.4.3.2 Temperatura ambiente

I test vanno condotti quando la temperatura ambiente è compresa tra 20 °C e 35 °C; questo è motivato dal fatto che l'efficienza di un forno solare è strettamente correlata alla temperatura ambiente. Tale range di temperatura è facilmente presente in molte località del mondo per almeno 6 mesi all'anno.

Condurre i test con temperature estreme porterebbe al rischio di non poter confrontare i risultati ottenuti a causa dell'eccessiva differenza di temperatura ambiente.

3.4.3.3 Temperatura del fluido

La temperatura dell'acqua all'interno della pentola che viene presa in considerazione è nell'intervallo tra 40 °C e 90 °C.

40 °C come limite inferiore perché il fluido deve avere una temperatura maggiore di quella ambiente. 90 °C come limite superiore in quanto la temperatura di ebollizione dipende dall'altitudine e inoltre perché, come l'acqua si avvicina al punto di ebollizione, il calore latente di vaporizzazione riduce fortemente il potere di cottura.

3.4.3.4 Radiazione solare

La prova effettuata dovrebbe essere scartata in caso di una variazione della radiazione solare maggiore di 100 W/m^2 nell'arco di 10 minuti e di un valore medio della radiazione al di fuori dell'intervallo di 450 W/m^2 e 1100 W/m^2 .

CAPITOLO 4

INSTALLAZIONE DEL BANCO DI PROVA

4.1 Premessa

L'operazione preliminare ad ogni misura sperimentale del forno solare è l'installazione del banco di prova. È un sistema di misura che rileva, per ogni intervallo di tempo (1 secondo), i parametri necessari per poter poi calcolare l'efficienza e la potenza del forno solare.

Il banco di prova utilizzato in questo lavoro è composto da:

- termocoppie di tipo T;
- pireliometro;
- computer portatile;
- acquisitore Data Logger TC-08.

Di seguito una schematizzazione del collegamento dei vari componenti del banco di prova.

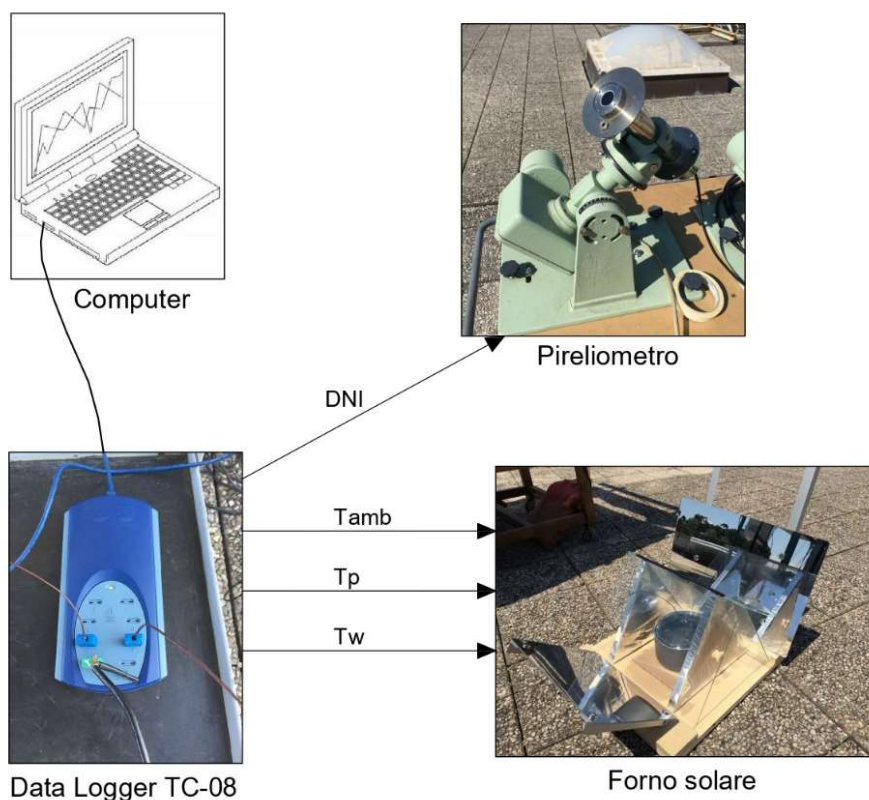


Fig. 69 – Schematizzazione del banco di prova

4.2 Termocoppie

La termocoppia è un trasduttore di temperatura il cui funzionamento è basato sull'effetto Seebeck.

Le termocoppie sono ampiamente utilizzate in quanto economiche, facilmente sostituibili, standardizzate e possono misurare un ampio intervallo di temperature; sono però limitate per quanto riguarda l'accuratezza, infatti hanno errori sistematici il più delle volte maggiori di 1 °C.

4.2.1 Principio di funzionamento

Nel 1822 il fisico Thomas Johann Seebeck scoprì che in un circuito chiuso formato da due conduttori differenti saldati alle estremità in modo da formare un anello, sottoposto a un gradiente di temperatura, si instaura una differenza di potenziale proporzionale alla differenza di temperatura. Le termocoppie sfruttano questo fenomeno, detto effetto Seebeck. Le termocoppie sono infatti costituite da due conduttori diversi uniti tra loro in un punto. La giunzione utilizzata per la misurazione della temperatura è detta giunto caldo o giunzione calda, mentre l'altra estremità, costituita dalle due estremità dei conduttori è detta giunto freddo o giunzione fredda.

Quando si registra una differenza di temperatura tra il giunto caldo e quello freddo, si instaura una differenza di potenziale elettrico tra le estremità libere della termocoppia. La funzione che lega la differenza di temperatura e di potenziale elettrico è la seguente:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n V^n$$

dove i valori a_n variano in relazione ai materiali usati; è possibile scegliere N a seconda della precisione desiderata.

Nella pratica, il giunto caldo è inserito all'interno di una guaina di protezione e posto dove si vuole misurare la temperatura. Subito all'esterno, i due conduttori sono connessi a una morsettiera di porcellana contenuta dentro una testina di protezione. Da questo punto, altri due conduttori, di caratteristiche simili, prolungano il collegamento elettrico fino alla morsettiera di uno strumento indicatore o registratore di temperatura (acquisitore in questo caso).

Si applica una compensazione della temperatura ambiente per avere la massima precisione delle misurazioni; consiste nel misurare la temperatura tramite una termoresistenza, utilizzata poi per compensare elettricamente il segnale proveniente dalla termocoppia. In questo modo è come se il giunto freddo si trovasse sempre alla temperatura di 0 °C.



Fig. 70 – Collegamento delle termocoppie all'acquisitore

4.2.2 Termocoppie di tipo T

Ci sono vari tipi di termocoppie che si differenziano per il tipo di conduttori elettrici che compongono la giunzione e per il campo di applicazione (industriale, scientifico, alimentare, medico, ecc.).

Le termocoppie utilizzate per i nostri test sperimentali sono quelle di tipo T, chiamata anche Rame-Costantana, che sono appunto composte da Rame (Cu) (+) e Costantana (Cu-Ni) (-), una lega composta di rame (60%) e nichel (40%).

Sono utilizzate principalmente per misure da laboratorio nell'intervallo fra -250 °C e 400 °C, sebbene oltre queste temperature il rame tende ad ossidarsi rapidamente; per un uso continuo la temperatura di operabilità va da -185 °C a 300 °C.

La loro ripetibilità è eccellente per temperature comprese tra -200 °C e 200 °C ($\pm 0,1$ °C) [15]; hanno una sensibilità di $48,2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.



Fig. 71 – Termocoppia di tipo T

4.3 Pireliometro

Il pireliometro è uno strumento utilizzato per la misurazione della radiazione solare diretta o radiazione a incidenza normale (DNI), ovvero quella che giunge a terra sotto un determinato angolo e senza subire riflessioni.

Lo strumento, in genere, è costituito da un tubo all'estremità del quale è posizionato perpendicolarmente il sensore; quest'ultimo è un corpo nero che assorbe tutta la radiazione solare riscaldandosi. Misurando la temperatura del corpo nero si può risalire all'energia assorbita, cioè all'intensità della radiazione che l'ha colpito.

La radiazione solare che viene misurata dal pireliometro è costituita dalla radiazione visibile e quasi visibile (ultravioletto e vicino infrarosso) emessa dal sole; le lunghezze d'onda delle tre radiazioni sono contenute nell'intervallo a banda larga da 0,20 a 4,0 μm (micron). In particolare la radiazione ultravioletta è compresa tra 0,20 e 0,39 μm , quella visibile tra 0,39 e 0,78 μm e quella del vicino infrarosso tra 0,78 e 4,0 μm .

Circa il 99% della radiazione solare, o ad onde corte, sulla superficie terrestre è contenuta nella regione da 0,3 a 3,0 μm .

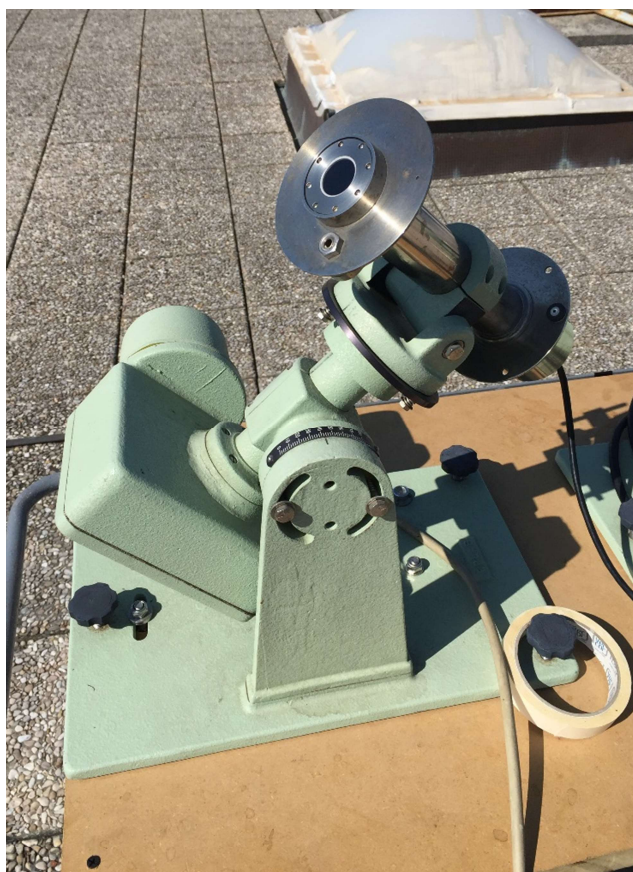


Fig. 72 - Pireliometro

4.3.1 Pireliometro utilizzato

Il pireliometro utilizzato in questo lavoro è il modello NIP (Normal Incidence Pyrheliometer), progettato dall'azienda americana Eppley Laboratory Inc [16]; lo strumento è considerato di prima classe dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM).

Il NIP incorpora una termopila a filo avvolto alla base di un tubo in ottone e annerito al suo interno. L'apertura nella quale passa la radiazione solare ha un rapporto fra diametro e lunghezza di 1:10, sottendendo un angolo di $5^{\circ} 43' 30''$.

Il tubo è riempito con aria secca a pressione atmosferica e sigillato all'estremità di osservazione con da un inserto recante una finestra di 1 mm di spessore.

Il pireliometro è dotato anche di due flange, una a ciascuna estremità del tubo, per puntare lo strumento direttamente verso il sole; la flangia superiore ha un foro per permettere di allineare lo strumento centrando il fascio di radiazione passante su un apposito dispositivo presente nella flangia inferiore.

Il pireliometro è installato su un inseguitore solare, uno strumento in grado di seguire autonomamente il sole grazie ad un motore elettrico.

Durante l'uso è bene controllare frequentemente il giusto allineamento del pireliometro col sole e, nel caso servisse, regolarlo manualmente.

L'energia radiante assorbita dalla termopila genera una differenza di temperatura tra il giunto caldo ed il corpo del pireliometro, che funge da giunto freddo; grazie all'effetto Seebeck la differenza di temperatura è convertita in differenza di potenziale.

Dividendo quindi il segnale rilevato per una costante di calibrazione (sensibilità) si ottiene l'irradianza in W/m^2 .

I dati misurati sono trasferiti all'acquisitore a cui è collegato il pireliometro che, a sua volta, è collegato con un computer che ne registra i valori.



Fig. 73 – Tubo del pireliometro

4.4 Computer ed acquisitore

Le termocoppie utilizzate ed il pireliometro vengono collegati ad un acquisitore, nel nostro caso il Data Logger TC-08 che, mediante il software PicoLog nel computer, ci permette di visualizzare con dei grafici l'andamento delle temperature e della radiazione solare nel tempo.

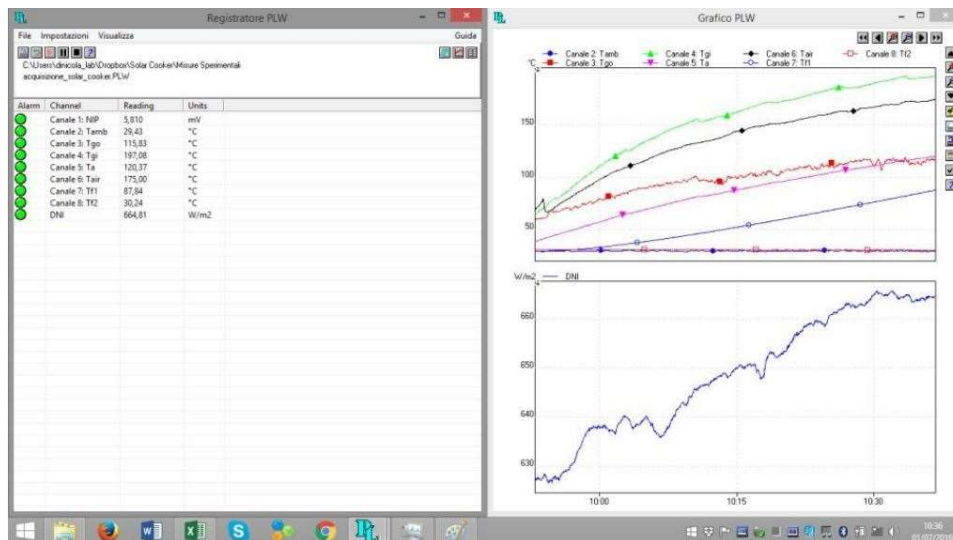


Fig. 74 – Schermata del software PicoLog

L’acquisizione dei dati del Data Logger Tc-08 è stata impostata su una presa al secondo, anche se può arrivare fino a dieci prese al secondo.

L’acquisitore presenta 8 canali ai quali si possono collegare altrettante termocoppie; per questo lavoro sono stati utilizzati 3 canali, a cui sono state assegnate le seguenti misurazioni:

- Canale 1: pireliometro; misura della radiazione solare diretta sia in mV (NIP) che in W/m^2 (DNI);
- Canale 2: temperatura ambiente esterna (T_{amb}) in °C;
- Canale 7: temperatura della piastra (T_p) in °C nelle prove a vuoto e temperatura dell’acqua (T_w) in °C nelle prove a carico.

CAPITOLO 5

TEST SPERIMENTALI SVOLTI

5.1 Premessa

Le prove sperimentali sono state effettuate nei mesi di giugno, luglio e settembre 2020 presso il terrazzo del DIISM dell'Università Politecnica delle Marche.

L'obiettivo del lavoro è quello di caratterizzare il forno solare in questione, il Newton 2.0, e di offrire dei risultati da poter confrontare con quelli che si otterranno dopo aver apportato delle modifiche al forno.

Sono state eseguite tre diversi tipi di prove:

- Prove a vuoto senza piastra
- Prove a vuoto con piastra
- Prove con carico

Di seguito vengono riportate le prove effettuate descrivendone le modalità di svolgimento ed analizzando i grafici e i risultati ottenuti.

5.2 Prove a vuoto senza piastra

Queste prove sono state svolte posizionando la termocoppia sospesa all'interno della camera di cottura; l'estremità della termocoppia è stata rivestita con della carta per evitare di avere delle letture della temperatura influenzate dalla radiazione diretta.



Fig. 75 – Forno durante la prova a vuoto senza piastra

Durante questa prova sono state misurate:

- Temperatura dell'aria interna alla camera di cottura: T_{air} [°C];
- Temperatura ambiente: T_{amb} [°C];
- Radiazione solare diretta: DNI [W/m^2].

Dalle misurazioni fatte sono stati ricavati la temperatura ambiente media ($T_{\text{amb,av}}$), la radiazione solare media (DNI_{av}), la figura di merito F_1 con i relativi parametri necessari al suo calcolo, ovvero la temperatura massima raggiunta ($T_{\text{a,max}}$) ed i corrispondenti valori della temperatura ambiente ($T_{\text{amb,corr}}$) e della radiazione solare (DNI_{corr}).

La differenza tra questo tipo di prova e quella introdotta da Mullick per il calcolo di F_1 sta nel fatto di non aver utilizzato un assorbitore per il calcolo della temperatura massima raggiunta, misurando quindi la temperatura dell'aria nella camera di cottura.

5.2.1 Prima prova del 23/06/2020

La prima prova svolta il 23 giugno 2020 è iniziata alle ore 10:20 ed è terminata alle ore 13:00.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di $874,01 \text{ W}/\text{m}^2$ con una temperatura ambiente media di $26,53 \text{ °C}$; la temperatura massima dell'aria della camera di cottura raggiunta è di $77,7 \text{ °C}$.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

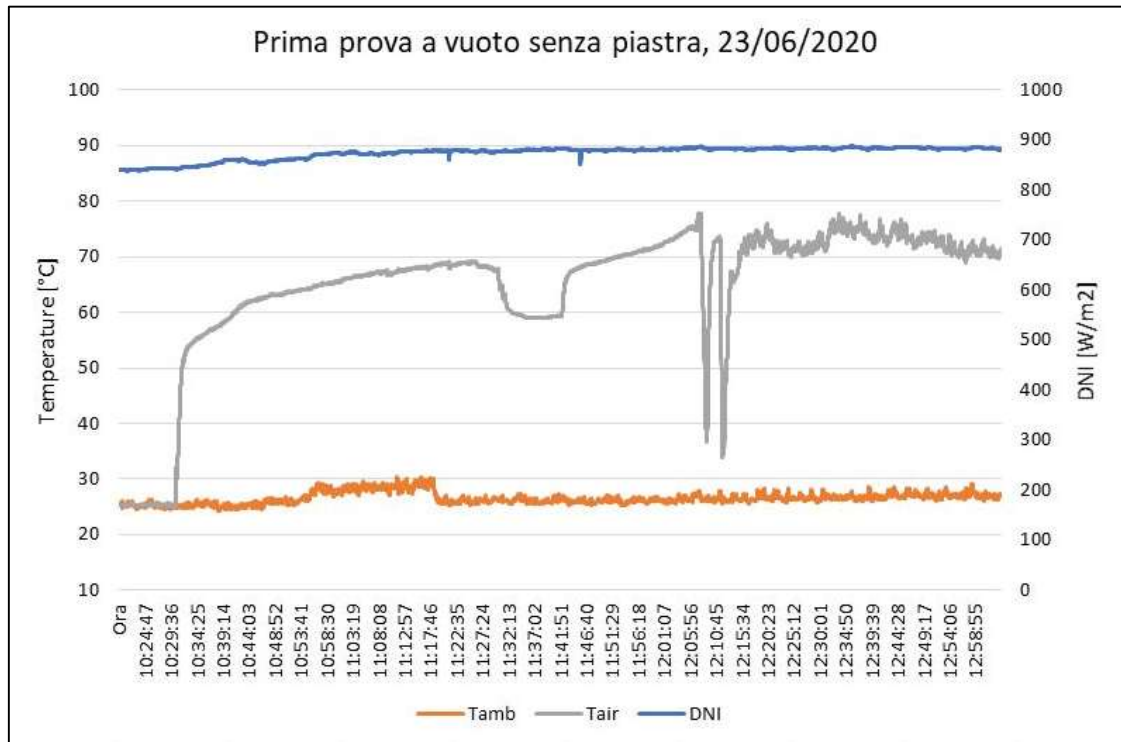


Fig. 76 – Grafico della prima prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020

Dal grafico si può notare come l'andamento della temperatura della camera di cottura sia molto variabile a causa delle condizioni meteorologiche, come il passaggio di qualche nuvola o la presenza di vento; questa grande variabilità è dovuta al fatto di non aver utilizzato un assorbitore che abbia una certa inerzia termica.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed il relativo valore di F_1 .

Tab. 4 – Dati della prima prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	26,53
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	874,01
$T_{amb,corr}$ [°C]	26,68
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	886,86
$T_{a,max}$ [°C]	77,7
F_1	0,0575

5.2.2 Seconda prova del 23/06/2020

La seconda prova a vuoto senza piastra effettuata il 23 giugno 2020 è iniziata alle ore 14:00 e conclusa alle ore 16:00.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di 870,91 W/m² con una temperatura ambiente media di 28,03 °C; la temperatura massima dell'aria della camera di cottura raggiunta è di 73,04 °C.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

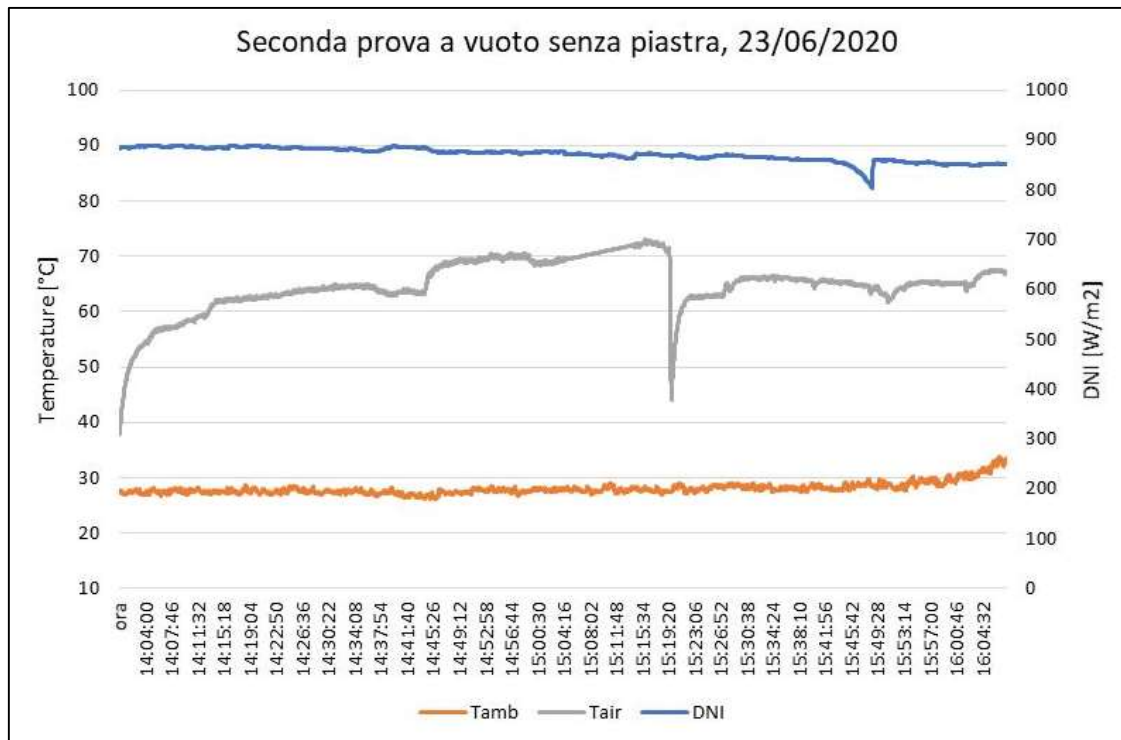


Fig. 77 – Grafico della seconda prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020

Anche per la seconda prova è possibile notare come la temperatura della camera possa variare di molto in presenza di disturbi meteorologici.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed il relativo valore di F_1 .

Tab. 5 – Dati della seconda prova a vuoto senza piastra del 23/06/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	28,03
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	870,91
$T_{amb,corr}$ [°C]	28,14
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	870,64
$T_{a,max}$ [°C]	73,04
F_1	0,0515

5.2.3 Prova del 26/06/2020

La terza prova a vuoto effettuata il 26 giugno 2020 è iniziata alle ore 10:15 e conclusa alle ore 12:20.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di 787,44 W/m² con una temperatura ambiente media di 27,37 °C; la temperatura massima dell'aria della camera di cottura raggiunta è di 71,1 °C.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

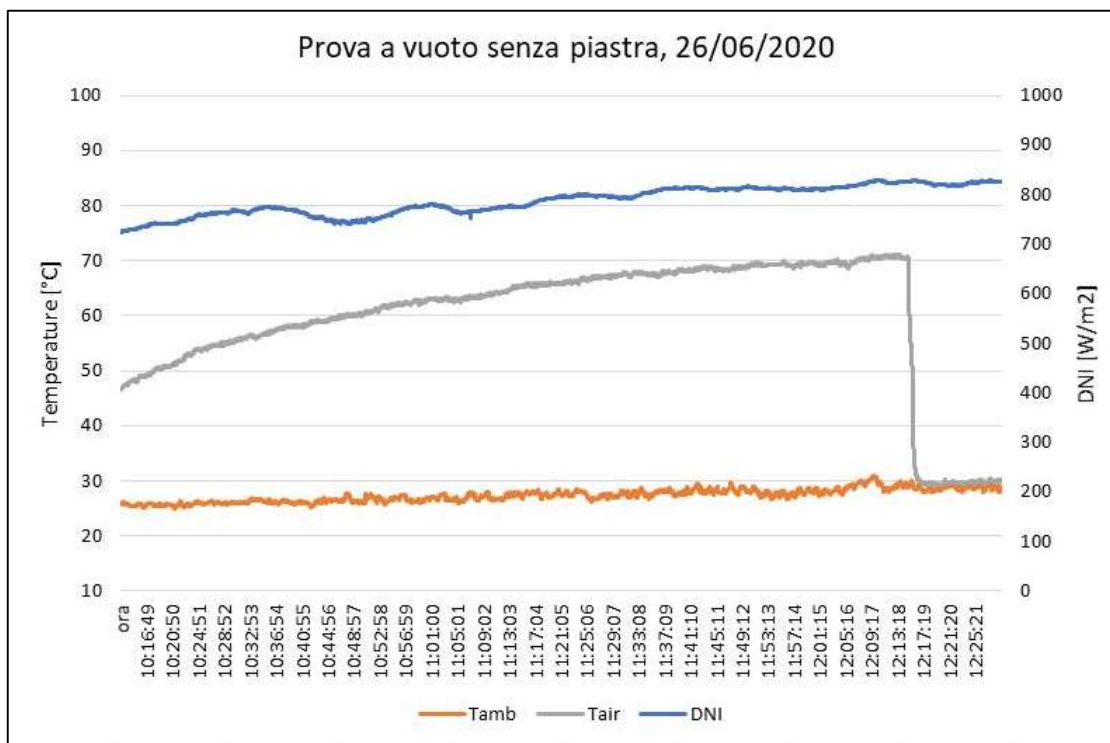


Fig. 78 – Grafico della prova a vuoto senza piastra del 26/06/2020

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed il relativo valore di F_1 .

Tab. 6 – Dati della prova a vuoto senza piastra del 26/06/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	27,37
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	787,44
$T_{amb,corr}$ [°C]	29,17
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	824,46
$T_{a,max}$ [°C]	71,1
F_1	0,0508

5.2.4 Riepilogo prove a vuoto senza piastra

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva di tutte e tre le prove eseguite, in cui vengono riportati i parametri rilevati ed i valori del fattore F_1 , per avere una visione completa del comportamento del forno solare.

Tab. 7 – Riepilogo prove a vuoto senza piastra

N° prova	1	2	3
Data	23/06/2020	23/06/2020	26/06/2020
Inizio	10:20	14:00	10:15
Fine	13:00	16:00	12:20
$T_{amb,av}$ [°C]	26,53	28,03	27,37
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	874,01	870,91	787,44
$T_{amb,corr}$ [°C]	26,68	28,14	29,17
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	886,86	870,64	824,46
$T_{a,max}$ [°C]	77,7	73,04	71,1
F_1	0,0575	0,0515	0,0508

Si ricava quindi il valore medio di F_1 delle tre prove. $F_1 = 0,0532$.

5.3 Prove a vuoto con piastra

Le prove sono state svolte posizionando una piastra di acciaio nel forno, sotto la quale è posto un pannello di legno compensato di abete.

Grazie all'utilizzo di una piastra per l'accumulo termico le prestazioni del forno sono aumentate, come vedremo successivamente.

La piastra di acciaio è stata dipinta di nero in modo da aumentare la sua capacità di assorbire calore dalla radiazione solare; le sue dimensioni sono di 30×40×0,3 cm e pesa circa 2,8 kg. Non si conoscono le proprietà in modo specifico dell'acciaio in quanto è stato recuperato da un fabbro, ma ne possiamo trarre una stima.

Tab. 8 – Proprietà termiche della piastra di acciaio

Densità [kg/m ³]	7874
Calore specifico [J/kg K]	440
Conducibilità [W/m K]	80,2
Diffusività [m ² /s]	2,3×10 ⁻⁵

Il pannello in legno posto sotto la piastra funge da isolante termico, in quanto limita le dispersioni termiche per conduzione verso la base del forno, ed inoltre protegge il vetro da una possibile rottura dovuta allo shock termico causato dal diretto contatto con la piastra.

La tavola di legno ha dimensioni 30×40×0,3 cm per un peso di circa 0,14 kg.

Le prove sono state effettuate posizionando la termocoppia a contatto con la piastra, assicurandola con del nastro isolante.



Fig. 79 – Forno durante la prova a vuoto con piastra

Durante questa prova sono state misurate:

- Temperatura della piastra di acciaio: T_p [°C];
- Temperatura ambiente: T_{amb} [°C];
- Radiazione solare diretta: DNI [W/m^2].

Dalle misurazioni effettuate sono stati ricavati la temperatura ambiente media ($T_{amb,av}$), la radiazione solare media (DNI_{av}), la figura di merito $F1$ con i relativi parametri necessari al suo calcolo, ovvero la temperatura massima raggiunta dalla piastra ($T_{a,max}$) ed i corrispondenti valori della temperatura ambiente ($T_{amb,corr}$) e della radiazione solare (DNI_{corr}).

5.3.1 Prima prova del 30/09/2020

La prima prova svolta il 30 settembre 2020 è iniziata alle ore 10:15 ed è terminata alle ore 13:25.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di $794,4 W/m^2$ con una temperatura ambiente media di $19,48 °C$; la temperatura massima raggiunta dalla piastra è di $105,54 °C$.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

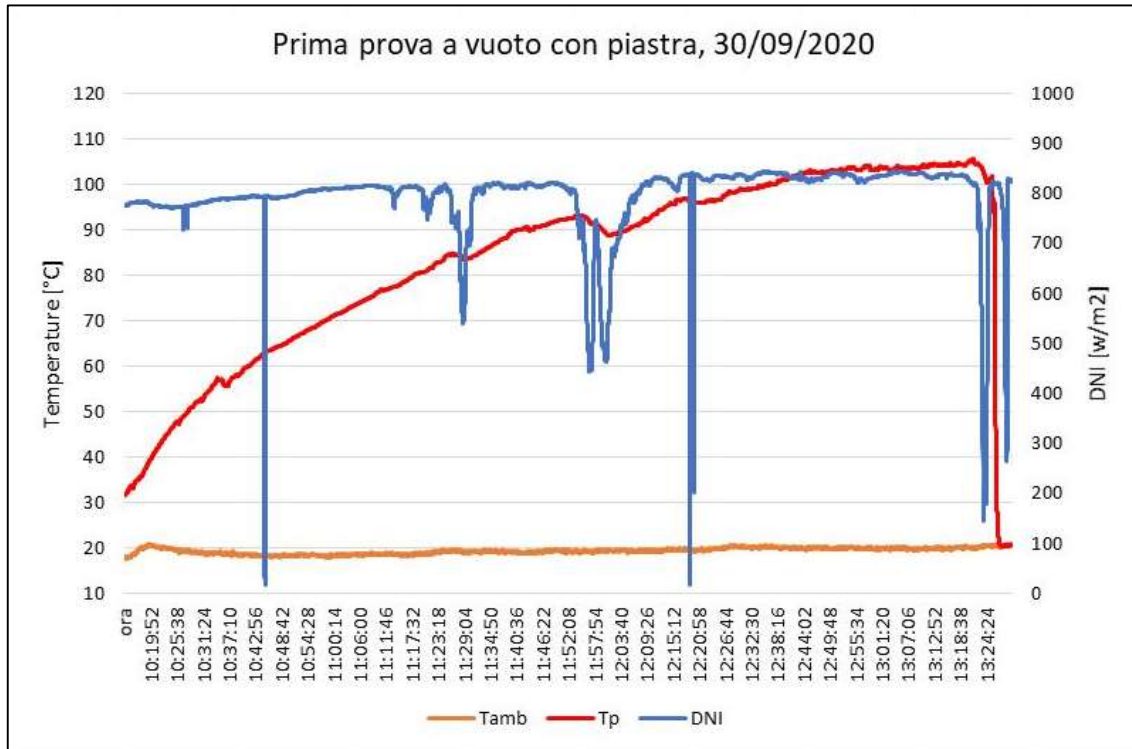


Fig. 80 – Grafico della prima prova a vuoto con piastra del 30/09/2020

Dal grafico si può notare come a una diminuzione della radiazione solare, dovuta all'oscuramento del sole da parte di nuvole, corrisponda un abbassamento della temperatura della piastra di acciaio; questo è dovuto alla scarsa inerzia termica della piastra. Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed il relativo valore di F_1 .

Tab. 9 – Dati della prima prova a vuoto con piastra del 30/09/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	19,48
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	794,4
$T_{amb,corr}$ [°C]	19,99
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	821,87
$T_{a,max}$ [°C]	105,54
F_1	0,1041

5.3.2 Seconda prova del 30/09/2020

La seconda prova svolta il 30 settembre 2020 è iniziata alle ore 13:38 ed è terminata alle ore 16:00.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di 678,08 W/m² con una temperatura ambiente media di 20,98 °C; la temperatura massima raggiunta dalla piastra è di 97,82 °C. Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

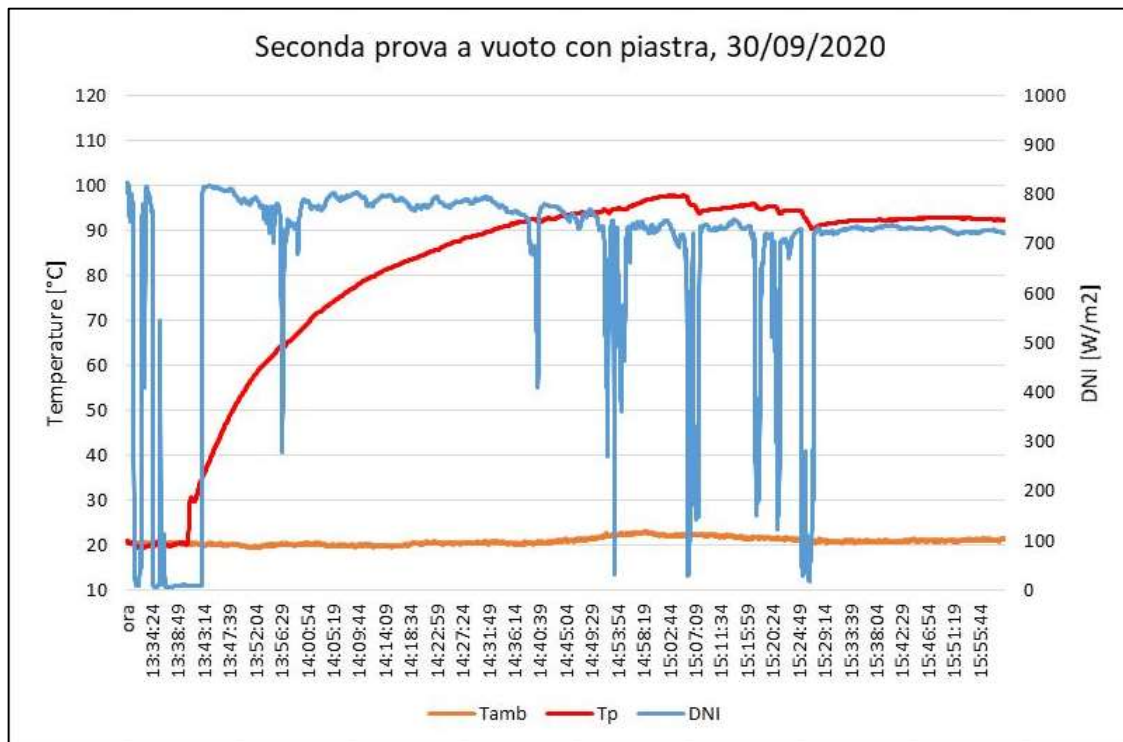


Fig. 81 – Grafico della seconda prova a vuoto con piastra del 30/09/2020

Anche per questa prova si nota come l'andamento della temperatura della piastra sia correlato all'andamento della radiazione solare.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed il relativo valore di F₁.

Tab. 10 – Dati della seconda prova a vuoto con piastra del 30/09/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	20,98
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	678,08
$T_{amb,corr}$ [°C]	22,26
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	726,37
$T_{a,max}$ [°C]	97,82
F_1	0,1040

5.3.3 Riepilogo prove a vuoto con piastra

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle due prove eseguite, in cui vengono riportati i parametri rilevati ed i valori del fattore F_1 , per avere una visione completa del comportamento del forno solare.

Tab. 11 – Riepilogo prove a vuoto con piastra

N° prova	1	2
Data	30/09/2020	30/09/2020
Inizio	10:15	13:38
Fine	13:25	16:00
$T_{amb,av}$ [°C]	19,48	20,98
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	794,4	678,08
$T_{amb,corr}$ [°C]	19,99	22,26
$DNI_{,corr}$ [W/m ²]	821,87	726,37
$T_{a,max}$ [°C]	105,54	97,82
F_1	0,1041	0,1040

Si ricava quindi il valore medio di F_1 delle tre prove. $F_1 = 0,1041$.

Il valore di F_1 ottenuto utilizzando una piastra per l'accumulo termico è aumentato del 96% rispetto a quello delle prove senza piastra. Si può affermare quindi che utilizzando un materiale per l'accumulo termico, come una piastra in acciaio, l'efficienza del forno solare aumenta notevolmente.

5.4 Prove con carico

I test con carico sono stati eseguiti utilizzando una semplice pentola da cucina e l'acqua come fluido di prova.

Nelle prove con carico il fluido maggiormente utilizzato è l'acqua in quanto, essendo facilmente reperibile, permette di avere dei risultati facilmente confrontabili con quelli ottenuti dai ricercatori di tutto il mondo. Per ognuna delle seguenti prove sono stati utilizzati 2 kg di acqua.

Per effettuare questa tipologia di prove è stata posizionata una pentola da cucina (Fig. 82) all'interno della camera di cottura; la pentola ha un diametro di 20,7 cm, un'altezza di 10,4 cm ed un peso complessivo di 880 g.



Fig. 82 – Pentola utilizzata per le prove con carico

Sotto la pentola è stato posto un foglio di cartone che svolge due funzioni importanti: isola termicamente la pentola, limitando le dispersioni per conduzione verso la base del forno, e riduce il rischio di rottura del vetro causato dallo shock termico.

La termocoppia è stata fatta passare nel foro centrale del coperchio e posta circa a metà altezza del fluido.



Fig. 83 – Forno durante la prova con carico

Durante la prova sono state misurate:

- Temperatura dell'acqua: T_w [°C];
- Temperatura ambiente: T_{amb} [°C];
- Radiazione solare diretta: DNI [W/m^2].

Va specificato che per il calcolo dei parametri del forno solare sono stati considerati il fattore $F_1 = 0,1041$ ricavato dalle prove a vuoto con piastra ed un intervallo di temperatura dell'acqua compreso tra 40 °C e 90 °C, per poter avere dei risultati confrontabili con quelli degli altri forni; il limite inferiore di 40 °C è dovuto al fatto che la temperatura esterna deve essere minore di quella dell'acqua, mentre il limite superiore di 90 °C è dovuto al fatto che, avvicinandosi al punto di ebollizione, il calore latente di vaporizzazione riduce fortemente le prestazioni del forno ed inoltre a causa della variazione della temperatura di ebollizione in relazione all'altitudine.

Dalle misurazioni effettuate sono stati ricavati la temperatura ambiente media ($T_{amb,av}$), la radiazione solare media (DNI_{av}), il tempo necessario al raggiungimento di 90 °C partendo da 40 °C (Δth), il tempo di ebollizione specifico (t_s), il tempo di ebollizione caratteristico (t_c), l'efficienza termica complessiva (η_{av}) e la figura di merito F_2 .

5.4.1 Prova del 25/06/2020

La prima prova a carico effettuata il 25 giugno 2020 è iniziata alle ore 10:00 ed è terminata alle ore 15:19.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di $707,46 \text{ W/m}^2$ con una temperatura ambiente media di $27,69 \text{ }^\circ\text{C}$.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

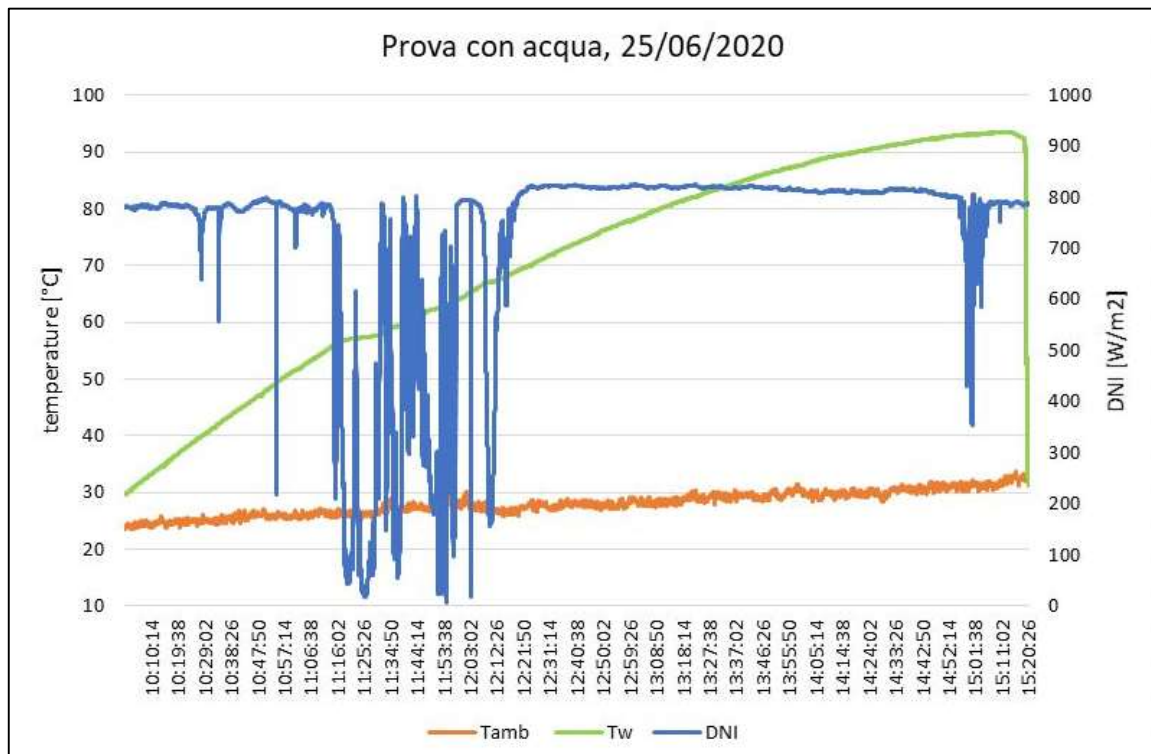


Fig. 84 – Grafico della prova con acqua del 25/06/2020

La temperatura massima dell'acqua raggiunta è di $93,56 \text{ }^\circ\text{C}$. Dal grafico si può notare come ad una diminuzione della radiazione solare corrisponda un rallentamento dell'aumento di temperatura del fluido; con l'utilizzo di un assorbitore, posto sotto la pentola, questo rallentamento sarebbe meno sensibile alle variazioni meteorologiche.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed i valori dei relativi parametri.

Tab. 12 – Dati della prova con acqua del 25/06/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	27,69
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	707,46
Δth [h]	3,85
t_s [h m ² /kg]	0,6261
t_c [h m ² /kg]	0,4921
η_{av}	0,1313
F_2	0,1419

5.4.2 Prova del 29/06/2020

La seconda prova a carico effettuata il 29 giugno 2020 è iniziata alle ore 10:20 ed è terminata alle ore 15:30.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di 848,7 W/m² con una temperatura ambiente media di 33,25 °C.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

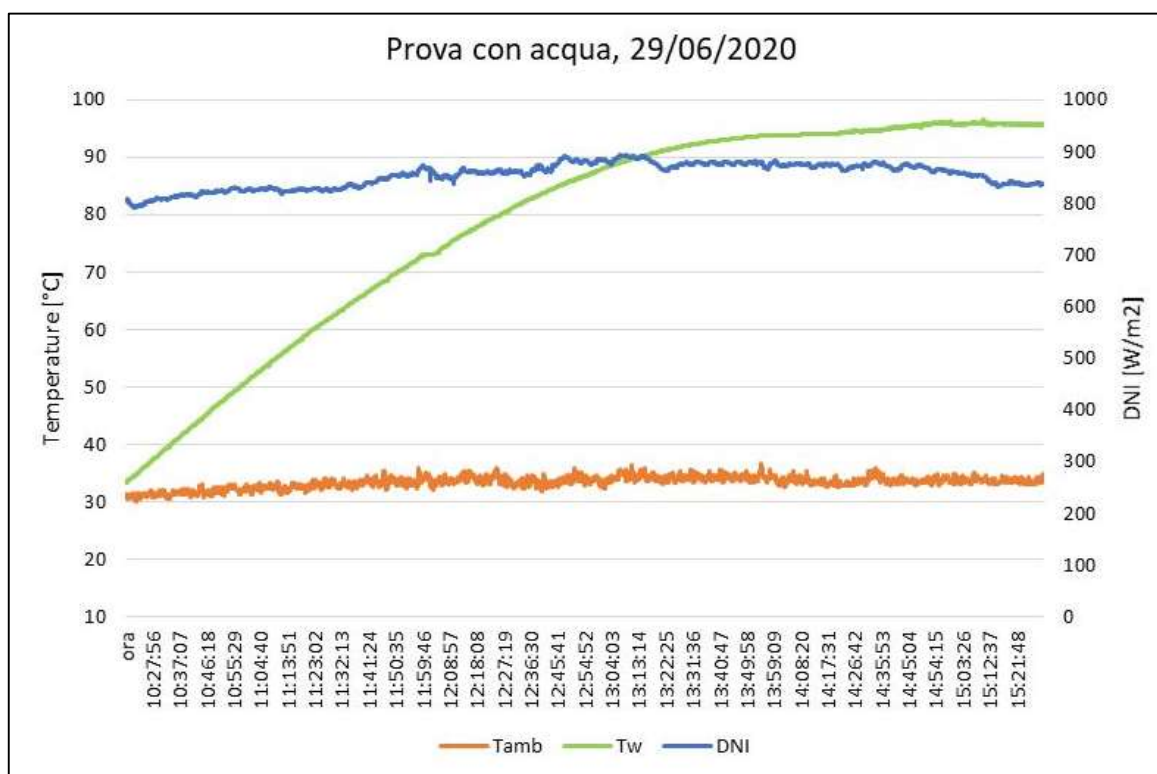


Fig. 85 – Grafico della prova con acqua del 29/06/2020

La temperatura massima dell'acqua raggiunta è di 96,53°C.

Da notare come in questo caso, dove la radiazione solare non è stata discontinua come per la prova del 25/06/2020, la temperatura massima dell'acqua raggiunta è stata maggiore di 3°C.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed i valori dei relativi parametri.

Tab. 13 – Dati della prova con acqua del 29/06/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	33,25
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	848,7
Δth [h]	2,65
t_s [h m ² /kg]	0,4302
t_c [h m ² /kg]	0,4057
η_{av}	0,1593
F_2	0,1160

5.4.3 Prova del 09/07/2020

La terza prova a carico effettuata il 9 luglio 2020 è iniziata alle ore 10:40 ed è terminata alle ore 15:50.

Il valore medio della radiazione solare registrata è di 911,88 W/m² con una temperatura ambiente media di 26,54 °C.

Di seguito viene riportato il grafico che illustra l'andamento delle temperature e della radiazione solare diretta misurate durante la prova.

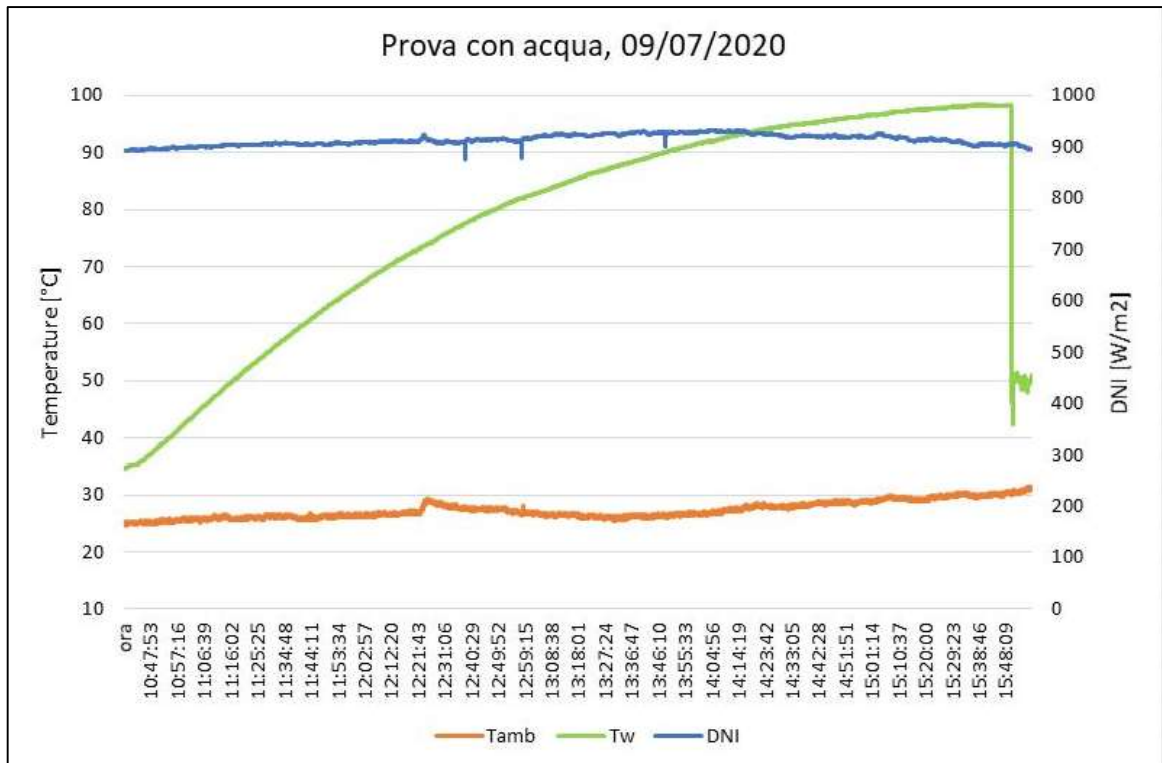


Fig. 86 – Grafico della prova con acqua del 09/07/2020

In questo caso si è raggiunta la temperatura massima di 98,41 °C, arrivando quasi ad ebollizione; anche per questa prova la radiazione solare si è mantenuta pressoché costante, senza intermittenze dovute al passaggio di nuvole.

Nella tabella si riportano i dati raccolti dalla prova svolta ed i valori dei relativi parametri.

Tab. 14 – Dati della prova con acqua del 09/07/2020

Parametri	Valori
$T_{amb,av}$ [°C]	26,54
$DNI_{,av}$ [W/m ²]	911,88
Δth [h]	2,90
t_s [h m ² /kg]	0,4719
t_c [h m ² /kg]	0,4781
η_{av}	0,1351
F_2	0,1060

5.4.4 Riepilogo prove con carico

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva di tutte e tre le prove eseguite, in cui vengono riportati i parametri ottenuti, per avere una visione completa del comportamento del forno solare.

Tab. 15 – Riepilogo prove con acqua

N° prova	1	2	3
Data	25/06/2020	29/06/2020	09/07/2020
Inizio	10:00	10:20	10:40
Fine	15:19	15:30	15:50
T_{amb,av} [°C]	27,69	33,25	26,54
DNI_{av} [W/m²]	707,46	848,7	911,88
Δth [h]	3,85	2,65	2,90
t_s [h m²/kg]	0,6261	0,4302	0,4719
t_c [h m²/kg]	0,4921	0,4057	0,4781
η_{av}	0,1313	0,1593	0,1351
F₂	0,1419	0,1160	0,1060

Si ricava quindi il valore medio di F₂ dalla media delle tre prove. F₂ = 0,1213.

CAPITOLO 6

MIGLIORAMENTI DEL FORNO

Durante lo svolgimento delle prove sperimentali è stato riscontrato più volte un problema causato dagli angolari di alluminio.

L'utilizzo di dadi autobloccanti per assicurare i profili a L agli angolari si è rivelata una scelta azzeccata in quanto permettono di regolare agevolmente gli specchi. L'unico problema non trascurabile si è riscontrato nei giorni ventosi.

Per non permettere al vento di far oscillare gli specchi, è stata applicata una coppia di serraggio maggiore ai dadi; in questo modo gli specchi non venivano mossi dal vento.

Ma, nel momento in cui si doveva regolare l'inclinazione degli specchi, gli angolari non sono risultati abbastanza rigidi rispetto la coppia di serraggio applicata; la rotazione degli specchi ha causato quindi una deformazione degli angolari (Fig. 87).

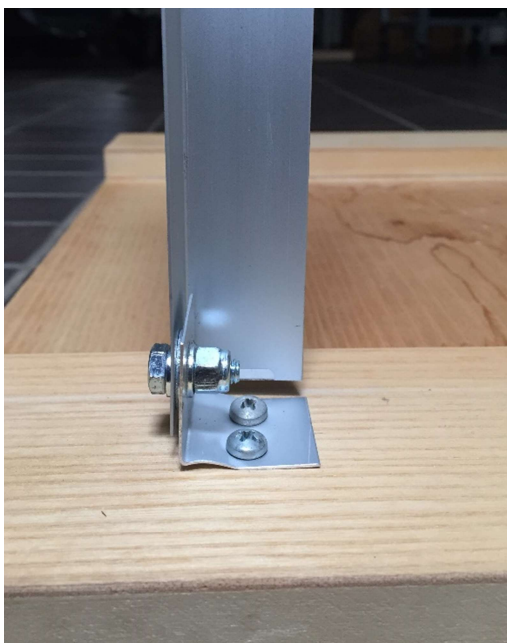


Fig. 87 – Angolare deformato

Quindi un miglioramento da applicare sicuramente al Newton 2.0 consiste nel sostituire gli angolari di alluminio con altri più resistenti, ad esempio in ferro, che saranno in grado di resistere a coppie di serraggio maggiori.

Inoltre, per aumentare le prestazioni del forno è consigliabile cambiare l'attuale configurazione degli specchi, aggiungendone altri e porli in modo da convogliare maggiore radiazione solare all'interno della camera di cottura.

CAPITOLO 7

CONCLUSIONI

In questo elaborato, dopo un incipit sull'importanza delle fonti rinnovabili e dei loro utilizzi, ci siamo concentrati sul ruolo fondamentale che ha la cucina solare nei confronti dei Paesi in via di sviluppo.

L'obiettivo è quello di presentare un forno solare facilmente ed economicamente realizzabile dalla maggior parte delle persone ma che, al tempo stesso, abbia delle buone caratteristiche di cottura.

Quindi si è descritta l'intera fase realizzativa del forno, allegandone i dettagli costruttivi per una semplice replicabilità e descrivendo la funzione dei vari componenti.

Sono quindi stati svolti dei primi test sperimentali per poter caratterizzare il Newton 2.0 e capire quali migliorie apportare al fine di aumentarne le prestazioni.

Dalle prove a vuoto svolte è emerso che l'utilizzo di un materiale per l'accumulo termico, da porre sotto la pentola nella fase di cottura, è di fondamentale importanza se si vuole ricercare delle prestazioni migliori; infatti il fattore F_1 ottenuto sfruttando un assorbitore è pari a 0,1041, a fronte di 0,0532 delle prove senza piastra, aumentando del 96%.

In seguito sono state svolte delle prove con carico, utilizzando 2 kg di acqua, ma senza la piastra per l'accumulo termico, arrivando quasi ad ebollizione ed ottenendo un valore di F_2 pari a 0,1213.

Si è inoltre affrontato il problema causato dagli angolari troppo poco resistenti per fronteggiare delle coppie di serraggio, applicate ai dadi autobloccanti, necessarie per non far muovere gli specchi nei giorni di vento; il problema può essere risolto utilizzando degli angolari in ferro, più resistenti di quelli in alluminio.

In conclusione, il Newton 2.0, con le dovute modifiche atte a migliorarne l'efficienza, può essere, a tutti gli effetti, un forno solare con grandi potenzialità di diffusione grazie al suo costo ridotto ed alla semplicità di realizzazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sito internet <https://www.isprambiente.gov.it/files/agenda21/1987-rapporto-brundtland.pdf>
- [2] Sito internet https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2017_Full-Report_English.pdf
- [3] Sito internet https://it.wikipedia.org/wiki/Protocollo_di_Kyoto
- [4] Sito internet https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it
- [5] Sito internet https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/it#:~:text=Nel%202018%20l'energia%20rinnovabile,l'8%2C3%20%25.
- [6] Sito internet https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it
- [7] Sito internet <https://about.bnef.com/blog/clean-energy-investment-exceeded-300-billion-2018/>
- [8] Sito internet <https://www.iea.org/reports/renewables-2019>
- [9] Sito internet https://www.slideshare.net/Sentinelle_dell_Energia/beve-storia-dei-forni-solari
- [10] Sito internet <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2007/pr30/en/>
- [11] Erdem Cuce, Pinar Mert Cuce, “A comprehensive review on solar cookers”. Applied Energy 2012; 102: 1399 – 1421.
- [12] Scheda tecnica Pilkington Optiwhite
- [13] A. A. El-SEBAIL, a. Ibrahim, “Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power”. Renewable Energy 2005; 30: 1861 – 1871.
- [14] P. A. Funk, “Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance”, Solar Energy, vol. 68, pp.1-7, 2000.
- [15] Sito internet <https://www.tc-srl.it/termocoppie/tipo-t-termocoppie.html>
- [16] Specifiche del modello NIP, The Eppley Laboratory