



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

**DISPOSITIVO DI COTTURA SOLARE
INNOVATIVO: APPLICAZIONE E ANALISI
PRELIMINARI**

**Innovative Solar Cooking Device: Application and
Preliminary Analysis**

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
JACOPO BARTOLUCCI

Relatore:
PROF. GIOVANNI DI NICOLA

Correlatore:
PROF.SSA DEBORAH PACETTI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Alla mia famiglia,
che mi ha sempre sostenuto nonostante tutto.

A nonna Lina,
a te che ci sei sempre stata.

SOMMARIO

SOMMARIO	3
ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	6
ABSTRACT.....	7
RIASSUNTO	8
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE.....	9
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI.....	11
2.1 Forni solari.....	11
2.1.1 Origini e sviluppo della cottura solare	11
2.1.2 Tipi di sistemi per forni solari.....	12
2.2 Design e specifiche tecniche del prototipo.....	14
2.3 Allestimento sperimentale	17
2.4 Prove di cottura	18
2.5 Analisi dei tocoferoli e carotenoidi.....	20
2.6 Analisi del contenuto fenolico totale	21
CAPITOLO 3 RISULTATI E DICUSSIONE	22
3.1 Il caso studio dei Pomodorini.....	22
3.1.1 Prove di cottura dei pomodorini	22
3.1.2 Pomodorini: analisi dei composti bioattivi (carotenoidi, tocoferoli, polifenoli). 24	
3.2 Il caso studio dei Fagiolini.....	27
3.2.1 Prove di cottura dei fagiolini.....	27
3.2.2 Fagiolini: analisi dei composti bioattivi (carotenoidi, tocoferoli, polifenoli)	29
CONCLUSIONI	33
BIBLIOGRAFIA	34

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 2-1: Componenti e Materiali forno solare.....	16
Tabella 2-2: Classificazione campioni.....	20
Tabella 3-1: Dati di cottura dei campioni di pomodorini con e senza filtro UV durante la giornata del 24/07/023.....	23
Tabella 3-2: Dati di cottura dei campioni di pomodorini con e senza filtro UV durante la giornata del 28/07/023.....	24
Tabella 3-3: Dati di cottura dei campioni di fagiolini con e senza filtro UV nella giornata del 27/07/2023.....	28
Tabella 3-4: Dati di cottura dei campioni di fagiolini con e senza filtro UV nella giornata del 28/07/2023.....	29

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 2-1: Forno solare a pannelli	13
Figura 2-2: Forno solare parabolico	13
Figura 2-3: Forno solare a scatola con riflettore	14
Figura 2-4: Design forno solare con vista 3D.....	16
Figura 2-5: Forno solare ripiegato, le dimensioni sono riportate in mm.....	16
Figura 2-6: Immagine della camera di cottura.....	17
Figura 2-7: Disposizione forni solari per cottura (con e senza filtro UV).....	19
Figura 2-8: A) Preparazione campione di fagiolini per la cottura (peso 100 g) B) Preparazione campione di pomodorini per la cottura (peso 100 g).....	19
Figura 2-9: Sistema esplicativo HPLC	21
Figura 3-1: Contenuto di tocoferoli nei pomodorini.....	25
Figura 3-2: Contenuto β -carotene nei campioni di pomodorini.....	26
Figura 3-3: Contenuto licopene nei campioni di pomodorini.....	26
Figura 3-4: Contenuto dei composti fenolici totali nei pomodorini.....	27
Figura 3-5: Contenuto di tocoferoli nei campioni di fagiolini.....	30
Figura 3-6: Contenuto di luteina nei campioni di fagiolini.....	31
Figura 3-7: Contenuto dei composti fenolici totali nei fagiolini.....	32

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

DNI Inserire qui l'eventuale tavola delle sigle e delle abbreviazioni.

UHPLC-PDA-FLRA Ultra High Performance Liquid Chromatography accoppiato con
rilevatore a serie di diodi e fluorimetro

ABSTRACT

Solar ovens can offer efficient and sustainable cooking, as well as being constructed of inexpensive, readily available materials and having excellent transportability. Experimental trials are conducted using two different types of cooking, with and without a UV filter, testing two vegetable food matrices: cherry tomatoes and green beans. In this study, we examined the operational capabilities of an innovative solar oven for cooking foods, taking into consideration the impact of cooking on bioactive compounds such as carotenoids, tocopherols, and polyphenols. Parameters such as average DNI and maximum temperatures reached during the cooking phase were also determined. From the analyses conducted, it is found that although there are no major differences between the two firings, the presence of the UV filter helps prevent the degradation of photosensitive compounds, such as carotenoids. The widespread use of solar ovens could help prevent the exacerbation of climate issues, creating a more sustainable environment and contributing positively to social welfare.

RIASSUNTO

I forni solari possono offrire una cottura efficiente e sostenibile, oltre che essere costruiti con materiali economici, facilmente reperibili ed avere un'ottima trasportabilità. Le prove sperimentali sono condotte utilizzando due tipologie differenti di cottura, con e senza filtro UV, testando due matrici alimentari vegetali: pomodorini e fagiolini. In questo studio abbiamo esaminato le capacità operative di un forno solare innovativo per la cottura di alimenti, prendendo in considerazione l'impatto della cottura su composti bioattivi quali carotenoidi, tocoferoli e polifenoli. Sono stati inoltre determinati parametri come DNI media e temperature massime raggiunte durante la fase di cottura. Dalle analisi condotte si evince che, seppure non ci siano grandi differenze tra le due cotture, la presenza del filtro UV aiuta a prevenire la degradazione di composti fotosensibili, come i carotenoidi. La diffusione dell'utilizzo dei forni solari potrebbe aiutare a prevenire l'accentuarsi delle problematiche climatiche, creando un ambiente più sostenibile e contribuendo positivamente al benessere sociale

Capitolo 1

INTRODUZIONE

All'inizio del XXI secolo, è diventata centrale nei dibattiti globali la questione energetica, premendo sulla necessità di bilanciare sostenibilità e sviluppo economico. L'energia, tenuta in considerazione come elemento fondamentale per il progresso economico e sociale, è riconosciuta sempre più come una delle molteplici cause di problemi ambientali, tra cui il cambiamento climatico, a causa del suo consumo crescente e delle difficoltà di accesso in molte aree del mondo (Bin Abu Sofian et al., 2024). L'anidride carbonica (CO₂), rappresenta la principale causa dell'effetto serra ed il suo continuo aumento sta aggravando in modo esponenziale tutte le problematiche relative al riscaldamento globale. Da sola essa, infatti, rappresenta più del 60% dell'effetto serra complessivo (Ozturk & Acaravci, 2010). L'incremento della richiesta energetica globale, spinto dall'aumento demografico e dall'innovazione in campo tecnologico, rende indispensabile l'uso di soluzioni sostenibili. Investire in fonti di energia rinnovabili è quindi una questione prioritaria per garantire risorse economiche, affidabili e durature, necessarie alle esigenze future. Tra le opzioni disponibili, l'energia solare si pone come una risorsa di grande valore grazie alla sua disponibilità illimitata e alla capacità di contribuire a lungo termine nella risoluzione delle sfide legate alla crisi energetica mondiale (Kannan & Vakeesan, 2016).

In questo campo, come citato da *Bank, w. (2005) (Indicatori Di Sviluppo Mondiale 2005, n.d.)*, tra il 2020 e il 2030, aumenterà il consumo di elettricità da fonti rinnovabili di quasi due terzi rappresentando così circa l'80% della richiesta globale. Questa tendenza ci dà uno spunto sull'immenso potenziale e la rapida crescita del settore dell'energia sostenibile. Tra le possibili soluzioni, i forni a cottura solare si presentano come un'opzione affidabile, pratica e innovativa. La tecnologia dietro questi dispositivi consente delle cotture efficienti, sostenibili e a costo zero, rendendosi utile sia in condizioni urbane, sia in Paesi in via di sviluppo e sottosviluppati colpiti in genere da problemi energetici (Arunachala & Kundapur, 2020). Un prototipo è stato realizzato da (Regattieri et al., 2016), con pannelli riflettenti regolabili e camera di cottura a forma trapezoidale, utilizzando materiali a basso costo e facilmente reperibili. Lo studio precedentemente citato si è concentrato sia sull'ottimizzazione della

forma, sia sulla sua efficienza, consentendo la possibilità di cucinare, riscaldare, purificare e bollire acqua non potabile. Gli alimenti scelti per questa sperimentazione sono pomodorini e fagiolini, due prodotti ampiamente diffusi nella dieta mediterranea e non solo, caratterizzati da un elevato contenuto di composti bioattivi. I pomodorini sono particolarmente ricchi di carotenoidi, come licopene e β -carotene, che svolgono un ruolo essenziale nei confronti dell'ossidazione cellulare. I fagiolini, d'altra parte, rappresentano una fonte importante di tocoferoli, oltre a vitamine e sali minerali, utili nella prevenzione delle malattie legate allo stress ossidativo (Massini, 2000). Un ulteriore elemento di innovazione previsto in questo studio è stato l'uso di un filtro UV durante la cottura, per valutare l'impatto della radiazione solare sugli alimenti. I campioni di pomodorini e fagiolini sono stati cotti sia con che senza il filtro UV, per confrontare il loro contenuto di composti bioattivi e verificare se la protezione dagli UV aiuta a preservarli. Questo confronto permette di capire più approfonditamente gli effetti del metodo di cottura solare e l'influenza delle diverse componenti dello spettro solare sulla qualità nutrizionale degli alimenti. Per valutare l'impatto della cottura solare sul contenuto di composti bioattivi degli alimenti, sono state condotte analisi di laboratorio mirate alla misurazione di tocoferoli e carotenoidi. Questi composti sono stati analizzati utilizzando il sistema UHPLC-PDA-FLR (Ultra High Performance Liquid Chromatography accoppiato con rivelatore a serie di diodi e fluorimetro). Questa tecnica avanzata consente una separazione e una quantificazione accurate dei nutrienti presenti nei campioni, permettendo di confrontare il contenuto di nutrienti nei campioni crudi e cotti, sia con che senza filtro UV. L'analisi si è concentrata specificamente sulla capacità del forno solare di mantenere o migliorare i livelli di questi composti antiossidanti durante il processo di cottura. Dal punto di vista ambientale, l'adozione su larga scala dei forni solari porterebbe a un'importante riduzione del consumo di fonti di energia non rinnovabili come i combustibili fossili, contribuendo alla diminuzione delle emissioni di gas serra contribuendo ad uno stile più sostenibile. Nei paesi con forte capacità solare, come molte regioni dell'Africa e dell'Asia, l'uso di questa tecnologia potrebbe avere un forte impatto anche come contrasto all'abbattimento delle foreste, causato dall'uso di legname come combustibile per la cottura. L'adozione di forni solari rappresenterebbe quindi una soluzione per migliorare l'efficienza energetica e promuovere pratiche alimentari più sostenibili, contribuendo ad un benessere sociale ed economico migliore. (Aramesh et al., 2019; Cuce & Cuce, 2013; Panwar et al., 2012)

Capitolo 2

MATERIALI E METODI

2.1 Forni solari

Il forno solare è un apparecchio progettato per sfruttare l'energia del sole allo scopo di cucinare alimenti, purificare l'acqua o essiccare prodotti, utilizzando una fonte energetica pulita e rinnovabile. Funziona concentrando la radiazione solare all'interno di una camera di cottura isolata, permettendo di raggiungere temperature adeguate alla preparazione degli alimenti senza la necessità di combustibili tradizionali come gas o elettricità. L'utilizzo di superfici riflettenti e contenitori scuri o trasparenti migliora l'assorbimento del calore e ne favorisce la conservazione, aumentando l'efficienza del sistema.

Negli ultimi anni, i progressi tecnologici hanno portato a significativi miglioramenti nella progettazione e nelle prestazioni dei forni solari, rendendoli sempre più accessibili per l'uso domestico e in contesti industriali. Oltre a garantire una maggiore sostenibilità ambientale, studi recenti, come quello presentato, stanno indagando l'impatto di queste tecnologie sulle caratteristiche nutrizionali degli alimenti trattati, evidenziando il loro potenziale per una diffusione più ampia come soluzione energetica efficace e rispettosa dell'ambiente.

Per ottimizzare l'efficienza del forno solare, è necessario orientarlo periodicamente (circa ogni 10 minuti) verso il sole, per compensare il movimento di rotazione terrestre e massimizzare la cattura dell'energia solare.

2.1.1 Origini e sviluppo della cottura solare

La cottura solare ha origini che risalgono al XVIII secolo. Il primo esperimento documentato in questo ambito fu condotto dal fisico tedesco Tschirn Hausen (1651-1708). Nel 1767, Horace de Saussure, provò a utilizzare l'energia solare per cucinare, costruendo una piccola serra fatta di scatole di vetro provando a cucinare della frutta (Saxena et al., 2011a). Nel 1860, Augustin Mouchot realizzò un forno solare molto efficiente, basato su specchi che riflettevano la luce solare verso una camera di cottura. Nel 1876, W. Adams progettò un forno con otto specchi che riuscì a cucinare pasti per sette soldati in due ore (Turner, 2001).

Nel 1891, l'idraulico americano Clarence Kemp ideò uno scaldabagno solare, mentre nel 1894 in Cina si riuscì a cuocere un'anatra sfruttando il calore solare. Nel 1930, la Francia spedì vari forni solari nelle colonie africane, e nello stesso periodo l'India avviò studi sull'energia solare per ridurre la deforestazione. Negli Stati Uniti, dalla metà del Novecento, si svolsero numerose ricerche sui forni solari, culminate con la pubblicazione di un libro intitolato "Solar Oven". Nel 1945 il primo forno solare divenne disponibile in commercio da parte di un pioniere indiano.

Negli anni successivi vennero sviluppati nuovi modelli, tra cui forni parabolici e dispositivi costruiti con materiali riciclati. Heather Gurley Larson nel 1983, scrisse il primo libro di cucina solare statunitense, *Solar Cooking Naturally* (Saxena et al., 2011b). Nel 1987, Mullick propose un metodo per valutare le prestazioni dei forni solari, mentre nel 2000 Funk sviluppò una procedura standard internazionale per misurare la curva di potenza di questi dispositivi. (Wentzel & Pouris, 2007)

2.1.2 Tipi di sistemi per forni solari

È possibile suddividere i forni solari in tre principali categorie:

- 1) Forni solari a pannelli
- 2) Forni solari parabolici
- 3) Forni solari a scatola

1) Il forno solare a pannelli è uno dei modelli più diffusi grazie alla facilità di costruzione e al basso costo dei materiali; è anche leggero e pieghevole, risultando facile da trasportare. Tuttavia, presenta una potenza di cottura piuttosto limitata. Il suo funzionamento si basa su un principio semplice: i pannelli riflettono i raggi solari verso il centro del forno, dove si colloca una pentola contenente gli alimenti da cuocere. Un aspetto critico del forno solare a pannelli è la forte dipendenza dalla radiazione solare riflessa; con un cielo nuvoloso o poco limpido, le sue prestazioni si riducono considerevolmente. Per migliorarne la capacità di cottura, è utile aumentare la superficie riflettente, ovvero l'area dei pannelli (Cuce & Cuce, 2013).



Figura 2-1: Forno solare a pannelli

2) I primi forni solari parabolici fecero la loro comparsa intorno alla metà del XX secolo, con il tempo sono stati sviluppati e studiati in diverse forme e configurazioni. Questa tipologia di forni solari si distinguono per essere realizzati con un collettore solare parabolico, che oltre ad esse facilmente ripiegabile e smontabile, permette di concentrare le radiazioni solari verso la camera di cottura, permettendo il raggiungimento di elevate temperature. In alcuni casi, come nel progetto di José M. Arenas (2007), questo tipo di forni solari possono essere costruiti come materiali poco costosi e facilmente trasportabili, garantendo un ampio utilizzo. (Arenas, 2007)



Figura 2-2: Forno solare parabolico (Arenas, 2007)

3) Un forno solare a scatola funziona riscaldando l'interno tramite l'energia solare. I raggi del sole attraversano la finestra di vetro, e l'energia luminosa viene trasformata in calore una volta assorbita dalla piastra scura o dalla pentola. Questo processo aumenta la temperatura interna fino a raggiungere un equilibrio tra il calore acquisito e quello disperso. In giornate soleggiate, si possono ottenere facilmente temperature sufficienti per cucinare o cuocere. Nelle zone equatoriali, l'irradiazione solare può superare i 1000 W/m^2 , permettendo tempi rapidi di riscaldamento se ben sfruttata. (Ohajianya et al., n.d.)

Il forno analizzato in questo lavoro rientra nella categoria dei forni solari a scatola; la caratteristica distintiva è la camera di cottura, che, anziché avere pareti opache, è dotata di superfici vetrate, consentendo una maggiore esposizione alla luce solare.



Figura 2-3: Forno solare a scatola ad un riflettore (Ohajianya et al., n.d.)

2.2 Design e specifiche tecniche del prototipo

La progettazione del forno solare utilizzato per queste prove è presente nell'articolo di (Demissie et al., 2024), successivamente verrà spiegato nel dettaglio.

Il processo di costruzione ha incluso il taglio di due pannelli trapezoidali in legno identici (C1) e di pannelli rettangolari (C2 e C3), oltre a due lastre rettangolari in vetro temperato (C4) e pannelli riflettenti (C5). I componenti sono stati assemblati come mostrato in Fig. 2-4. Il pannello inferiore (C2) è stato collegato a quello laterale sinistro (C3) tramite una cerniera (C9), facilitando la piegatura del dispositivo. La camera di cottura è stata formata disponendo i pannelli trapezoidali (C1) in posizione verticale davanti e dietro al pannello inferiore (C2) e

chiudendo lo spazio con le lastre di vetro temperato (C4), unite da una cerniera (C9). Il supporto in legno del pannello sinistro (C6) è stato fissato sul retro del pannello sinistro (C3) con una cerniera (C9), permettendo di resistere ai carichi del vento e allineare il pannello riflettente sinistro (C5) in base alla posizione del sole. Nella parte superiore del pannello sinistro (C3) è stato praticato un foro per collocare il supporto del pannello riflettente sinistro (C7).

Il prototipo piegato, rappresentato in Figura 2-5, ha dimensioni di 600 mm × 400 mm × 70 mm e pesa 7 kg. Seguendo la norma UNE-EN 13698-1 per il formato Euro-pallet singolo (U.E. 13698-1 Standard, 2022), un pallet misura 800 mm × 1200 mm × 144 mm, ha una capacità di carico fino a 1500 kg e un'altezza massima di carico di 2200 mm. Considerando questi parametri, un Euro-pallet può trasportare fino a 124 unità del dispositivo.

Il forno solare è costituito da diverse parti, come riportato nella Tabella 2-1 e illustrato nella Fig. 2-4. La camera di cottura ha una forma trapezoidale e un volume di 0,0218 m³. Essa è coperta da pannelli di vetro singolo (C4) con lunghezza di 340 mm, larghezza di 250 mm e spessore di 2 mm, disposti sulla parte superiore e sulle superfici inclinate, mentre le restanti superfici sono rivestite con pannelli di legno (C1, C2 e C3).

I pannelli laterali (C1) hanno la forma di prismi trapezoidali con basi di 455 mm e 315 mm, un'altezza di 210 mm e uno spessore di 10 mm. I pannelli rettangolari (C2 e C3) misurano rispettivamente 570 mm × 400 mm × 10 mm e 450 mm × 340 mm × 10 mm e sono posizionati alla base e sul lato sinistro. Il pannello laterale sinistro (C3) è sostenuto da una striscia di legno (C6) lunga 340 mm, larga 50 mm e spessa 10 mm.

All'interno della camera di cottura è possibile utilizzare direttamente una pentola nera come dispositivo di cottura. Per ottenere prestazioni migliori, si consiglia di utilizzare una pentola nera all'interno di un contenitore trasparente, come una ciotola di vetro o un sacchetto di plastica. Inoltre, il prototipo è dotato di due pannelli riflettenti di dimensioni uguali (C5), lunghi 500 mm, larghi 300 mm e spessi 1 mm, realizzati in alluminio, per riflettere la radiazione solare all'interno della camera di cottura. Come mostrato nella Fig. 2-4, un riflettore è posizionato sul lato sinistro (parte posteriore del forno), mentre il secondo è collegato alla base della camera di cottura sul lato destro (parte anteriore del forno).

Un'asta di legno con un diametro di 20 mm (C7) e un cuneo di legno (C8) consentono di modificare l'inclinazione dei pannelli riflettenti destro e sinistro, massimizzando così la quantità di radiazione solare riflessa all'interno della camera di cottura. I componenti C9 sono cerniere con tre fori su ciascun lato.

Tabella 2-1: Componenti e Materiali forno solare (Demissie et al., 2024)

Simbolo componenti	Nome componenti	materiale
C1	Pannello laterale	MDF legno
C2	Pannello inferiore	MDF legno
C3	Pannello sinistro	MDF legno
C4	Strato di vetro trasparente	Vetro temperato
C5	Pannelli riflettori	PMMA
C6	Supporto pannello sinistro	MDF legno
C7	Supporto pannello riflettore sinistro	MDF legno
C8	Supporto pannello riflettore destro	MDF legno
C9	Cerniere con 3 fori	Acciaio

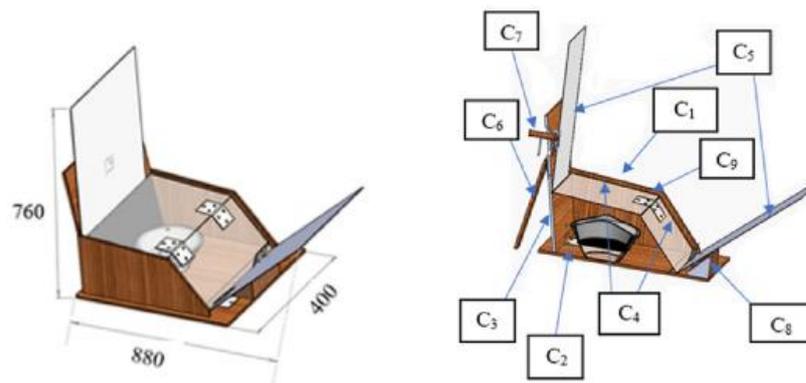


Figura 2-4: Design forno solare con vista 3D (Demissie et al., 2024)

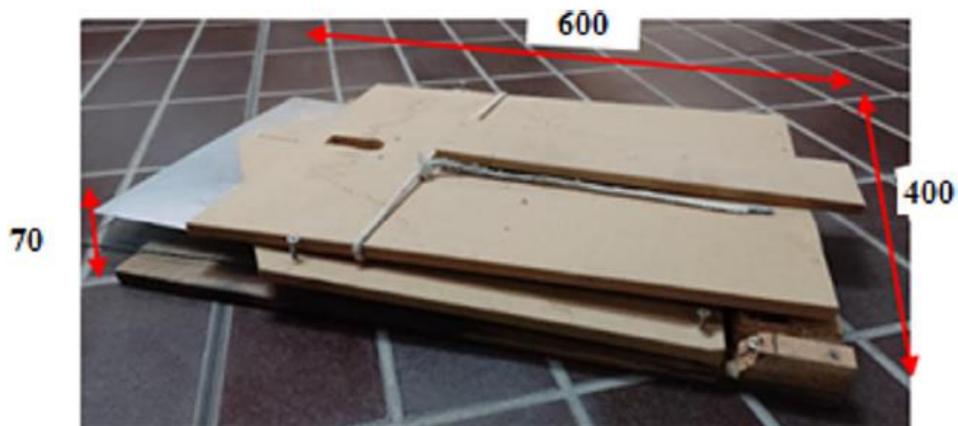


Figura 2-5: Forno solare ripiegato, le dimensioni sono riportate in mm (Demissie et al., 2024)

La trasportabilità è un'esigenza emergente nell'ambito della "energia umanitaria," un concetto che include istituzioni, programmi, politiche, iniziative globali e attività che utilizzano diverse fonti energetiche, sia sostenibili che derivanti da combustibili fossili, nel contesto specifico delle operazioni umanitarie. L'obiettivo principale dell'energia umanitaria è rispondere alle necessità energetiche di persone che vivono in campi, aree urbane o che si sono rifugiate autonomamente, incluse le persone sfollate internamente e le comunità ospitanti (Rosenberg-Jansen, 2019). Sono state inoltre utilizzate e progettate soluzioni energetiche trasportabili e pieghevoli con successo (Franceschi et al., 2014). La trasportabilità di un prodotto è ovviamente determinata da dimensioni, peso e forma del dispositivo progettato, e il forno solare pieghevole, utilizzato in queste prove, soddisfa bene questi requisiti.

2.3 Allestimento sperimentale

I test hanno previsto l'impiego di una pentola nera in acciaio inossidabile, racchiusa da una ciotola di vetro temperato con coperchio, come illustrato nella Fig. 2-6. La pentola, dal peso di 0,48 kg, ha un diametro di 200 mm, un'altezza di 130 mm e uno spessore di 2 mm, mentre la ciotola in vetro con coperchio pesa complessivamente 1,3 kg, con un diametro superiore esterno di 230 mm, un diametro inferiore di 100 mm e uno spessore di 3 mm.

La rilevazione dell'irradianza solare normale diretta (DNI) è stata eseguita con un pireliometro Eppley (NIP) montato su un inseguitore solare, caratterizzato da un'incertezza di $\pm 0,5\%$ e un tempo di risposta di 1 s. (Aquilanti et al., 2023)



Figura 2-6: Immagine della camera di cottura (Aquilanti et al., 2023)

2.4 Prove di cottura

Per le prove di cottura con il forno solare, sono stati selezionati pomodorini e fagiolini come alimenti campione. Al fine di standardizzare il processo, si è partiti da 100 g di ciascun campione, come riportato nella figura 2-8. Pomodorini e fagiolini surgelati sono stati forniti da un'azienda locale (O.R.T.O. Verde S.c.a.p.a., Senigallia, Italia). Questi sono stati conservati a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, poi scongelati e cotti con i forni solari. Al termine della cottura, sono stati lasciati raffreddare e poi liofilizzati utilizzando un CryoDryer 5 (Superco engineering, Augsburg, Germania). Il processo di liofilizzazione ha previsto una fase di essiccazione primaria a 0,38 mbar e una secondaria a 0,25 mbar, con una temperatura che non superava i $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. I campioni liofilizzati sono stati poi ridotti in polvere per le successive analisi chimiche.

Le prove di cottura sono state condotte sul tetto dell'edificio DIISM (Dipartimento di ingegneria industriale e scienze matematiche) dell'università Politecnica delle Marche (Italia). Per le prove di cottura sono stati utilizzati due forni solari identici per caratteristiche e condizioni operative, ma uno dei forni è stato dotato di un filtro anti-UV, al contrario dell'altro. Tutte le prove sono state condotte in doppio. In totale sono stati realizzati 8 campioni, 4 di pomodorini e 4 di fagiolini, di cui 2 cotti con forno solare senza filtro UV (condizioni standard) e 2 con forno solare provvisto di filtro UV, come descritto nella Tabella 2-8 e Tabella 2-7.

Durante ogni test, sono state inserite termocoppie di tipo T all'interno dell'alimento per misurare la temperatura al cuore del prodotto, parametro essenziale per valutare l'efficacia della cottura e una termocoppia per misurare la T ambiente con un'incertezza di $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. In tutte le prove si è cercato di mantenere condizioni di test il più uniforme possibile per garantire uniformità dei dati. Tuttavia, le condizioni meteorologiche presenti durante le giornate, non essendo controllabili, hanno determinato leggere variazioni della temperatura esterna e della radiazione solare incidente durante le prove di cottura

Per valutare l'efficienza e la consistenza delle prove di cottura mediante forni solari innovativi, è stata analizzata la radiazione solare diretta normale (Direct Normal Irradiance, DNI). La DNI rappresenta la quantità di radiazione solare che colpisce una superficie perpendicolare ai raggi solari ed è una misura fondamentale per comprendere l'energia disponibile durante il processo di cottura. Nelle nostre prove sperimentali, è stata calcolata la DNI media durante la cottura per garantire una valutazione accurata delle condizioni di irraggiamento solare e per poter confrontare in modo omogeneo i risultati ottenuti dai diversi test di cottura solare



Figura 2-7: Disposizione forni solari per cottura (con e senza filtro UV)



Figura 2-8: A) Preparazione campione di fagiolini per la cottura (peso 100 g) B) Preparazione campione di pomodorini per la cottura (peso 100 g)

Tabella 2-2: Classificazione campioni.

	FILTRO UV	SENZA FILTRO UV
POMODORINI	C1-C2; N1-N2	D1-D2; M1-M2
FAGIOLINI	F1-F2; G1-G2	E1-E2; H1-H2

2.5 Analisi dei tocoferoli e carotenoidi

I carotenoidi e i tocoferoli presenti nei pomodorini e fagiolini sono stati estratti seguendo la procedura descritta da (Fanesi et al., 2023). In breve, carotenoidi e tocoferoli sono stati estratti simultaneamente da ciascun campione liofilizzato (100 mg) utilizzando acetone (5 ml) come solvente. I campioni sono stati mantenuti in agitazione al buio per 5 minuti. In seguito, sono stati centrifugati a 3000 rpm per 10 minuti a 4 °C (centrifuga Remi Elektrotechnik Ltd., modello Neya 16R, Mumbai, India). Il surnatante è stato raccolto in un pallone, e l'estrazione è stata ripetuta una seconda volta con un'ulteriore aggiunta di 5 mL di acetone. Il surnatante ottenuto è stato unito con quello della prima estrazione, e poi tirato a secco utilizzando il Rotavapor R-210 (Buchi, Svizzera). Ciascun campione è stato poi risospeso in 1 mL di acetone. 2 µL sono stati iniettati in un sistema UHPLC-PDA-FLR Acquity H-class (Waters Corporation, MA, USA) dotato di colonna HSS T3 C18 (100 x 2,1 mm, 1,8 µm). La fase mobile utilizzata era costituita da:

Eluente A: 50 mM di Ammonio Acetato in H₂O

Eluente B → Acetonitrile: Diclorometano: Metanolo (75:10:15, v/v/v)

Per i primi 10 min il gradiente era in isocratica con 25% di A e 75% di B; in un minuto B aumentava al 98% e si manteneva costante per altri 9 min prima di ripristinare le condizioni iniziali. L'analisi durava in totale 28 min, mentre il flusso era mantenuto a 0.4 ml/min.

I carotenoidi sono stati identificati impostando il PDA ad una lunghezza d'onda di 450 nm, mentre per i tocoferoli, il FLR è stato impostato con la lunghezza d'onda di eccitazione e di emissione rispettivamente di 290 nm e 330 nm. L'identificazione dei composti è stata possibile confrontando i tempi di ritenzione e gli spettri di assorbanza con standard puri. La quantificazione è stata fatta utilizzando rette di calibrazione esterne. Per i tocoferoli sono stati impiegati gli standard di α-, β-, e δ-tocoferolo, mentre per i carotenoidi, la luteina è stata

utilizzata come standard di riferimento per la quantificazione delle xantofille e il β -carotene per i caroteni. Ciascun campione è stato analizzato in triplo.

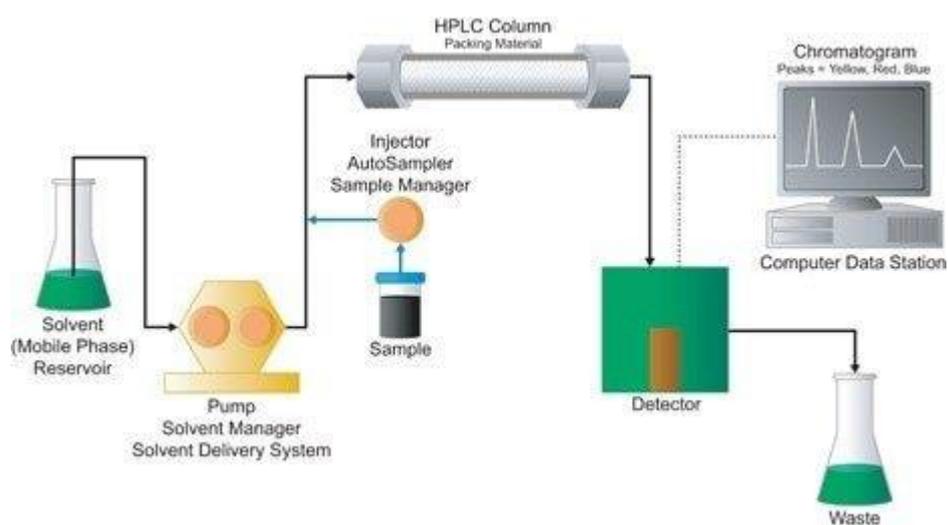


Figura 2-9: Sistema esplicativo HPLC

2.6 Analisi del contenuto fenolico totale

Pomodorini e fagiolini (1 g) sono stati miscelati con 15 mL di una soluzione di etanolo/acqua (50:50, v/v) a 40 °C per 1 ora al buio. Il surnatante è stato poi prelevato e utilizzato per l'analisi del contenuto fenolico totale utilizzando il metodo di Folin-Ciocalteu (Waterhouse, 2003). Di ciascun campione, 20 μ L sono stati aggiunti a 1,58 mL di acqua e 100 μ L di reattivo di Folin. Dopo 7 minuti, sono stati aggiunti 300 μ L di una soluzione di carbonato di sodio. I campioni sono stati lasciati a temperatura ambiente per 30 minuti, prima di effettuare la lettura dell'assorbanza a 750 nm utilizzando uno spettrofotometro UV-Vis (Onda, UV-31 SCAN, Pechino, Cina).

Ogni campione è stato analizzato in triplicato, e i risultati sono stati espressi in mg equivalenti di acido gallico (GAE) per grammo di campione, utilizzando una retta di calibrazione basata sull'acido gallico.

Capitolo 3

RISULTATI E DICUSSIONE

3.1 Il caso studio dei Pomodorini

3.1.1 Prove di cottura dei pomodorini

I dati raccolti durante la cottura dei campioni di pomodorini utilizzando un dispositivo di cottura solare (con e senza filtro UV) sono riportati nella Tabella 3-1 e Tabella 3-2. L'analisi è stata condotta in due diverse giornate con condizioni di radiazioni solari differenti (24-28/07/2023).

Il campione senza filtro UV ha raggiunto temperature leggermente più alte in entrambe le giornate rispetto a quello con filtro (24/07: 95 °C vs 91°C; 28/07: 100°C vs 95°C). Questo risultato indica che l'assenza del filtro UV potrebbe aver contribuito a un trasferimento di energia più efficiente, aumentando la temperatura massima raggiunta. Il filtro UV, agendo come barriera per alcune lunghezze d'onda, potrebbe ridurre la trasmissione di energia utile al riscaldamento.

La perdita di peso nei campioni senza filtro UV è stata più significativa rispetto a quelli con filtro: 24/07: 40% (senza filtro) vs 36% (con filtro), 28/07: 56% (senza filtro) vs 48,5% (con filtro). La maggiore perdita di peso nei campioni senza filtro è probabilmente correlata all'evaporazione più intensa dovuta alla temperatura più alta raggiunta. Questo fenomeno suggerisce un effetto diretto della temperatura sul contenuto di acqua residua nei campioni.

Il tempo di cottura è stato mantenuto costante in entrambi i giorni (1,45 ore), il che consente un confronto diretto tra i campioni. Tuttavia, considerando le temperature massime raggiunte, è possibile che il campione senza filtro UV abbia subito una cottura leggermente più intensa.

Il DNI medio (Direct Normal Irradiance) è stato significativamente più alto il 28/07 rispetto al 24/07 (786,62 W/m² vs 582,35 W/m²). Questo ha comportato un innalzamento delle temperature massime in entrambi i casi, ma la tendenza delle differenze tra i campioni con e senza filtro UV si è mantenuta.

La temperatura ambiente media era invece leggermente più alta il 24/07 rispetto al 28/07 (34,87°C vs 32,10°C), ma non sembra aver influenzato significativamente i risultati.

L'uso del filtro UV sembra ridurre la temperatura massima raggiunta e l'intensità della cottura, portando a una minore perdita di peso nei campioni.

La differenza nei dati suggerisce che il filtro UV potrebbe essere utile per una cottura più delicata, potenzialmente preservando meglio alcune proprietà nutrizionali o organolettiche, come i carotenoidi e altri antiossidanti, che sono sensibili alle alte temperature.

Tabella 3-1. Dati di cottura dei campioni di pomodorini con e senza filtro UV durante la giornata del 24/07/2023

Campione pomodorini	M (senza filtro UV)	N (con filtro UV)
Peso iniziale campione (g)	100	100
Peso finale campione (g)	60	64
Orario di inizio	11.35	11.35
Orario di fine	13.20	13.20
Tempo di cottura (h)	1,45	1,45
DNI media (W/m ²)	582,35	582,35
Temperatura max raggiunta (°C)	95	91
Temperatura ambiente media (°C)	34,87	34,87

Tabella 3-2: Dati di cottura dei campioni di pomodorini con e senza filtro UV durante la giornata del 28/07/023

Campione pomodorini	D (senza filtro UV)	C (con filtro UV)
Peso iniziale campione (g)	100	100
Peso finale campione (g)	44	51,5
Orario di inizio	13.45	13.45
Orario di fine	15.30	15.30
Tempo di cottura (h)	1,45	1,45
DNI media (W/m ²)	786,62	786,62
Temperatura max raggiunta (°C)	100	95
Temperatura ambiente media (°C)	32,10	32,10

3.1.2 Pomodorini: analisi dei composti bioattivi (carotenoidi, tocoferoli, polifenoli)

3.1.2.1 Tocoferoli

Nei campioni di pomodorini sono stati identificati α -, γ - e δ - tocoferolo, per un totale di circa 160 e 148 mg/kg rispettivamente per i campioni cotti con e senza filtro UV (Figura 3-1). L' α -tocoferolo, la principale forma di vitamina E nei pomodori, ha mostrato concentrazioni che variavano da 80,39 mg/kg per i campioni senza filtro UV a 96,43 mg/kg per i campioni con filtro UV, seguito da γ -tocoferolo (34,98-38,53 mg/kg) e δ - tocoferolo (~29 mg/kg). Hwang et al., 2012) ha riportato valori simili di α - e γ -tocoferolo in pomodori cotti al forno, evidenziando come temperature più elevate e tempi più lunghi aumentino il rilascio di tali composti dalla matrice. In questo studio, avendo cotto per entrambe le prove i pomodorini per 1,45 ore e non avendo variazioni importanti di temperatura (95 ± 5 °C) non sono state osservate differenze statisticamente significative tra le due prove di cottura (con e senza filtro UV).

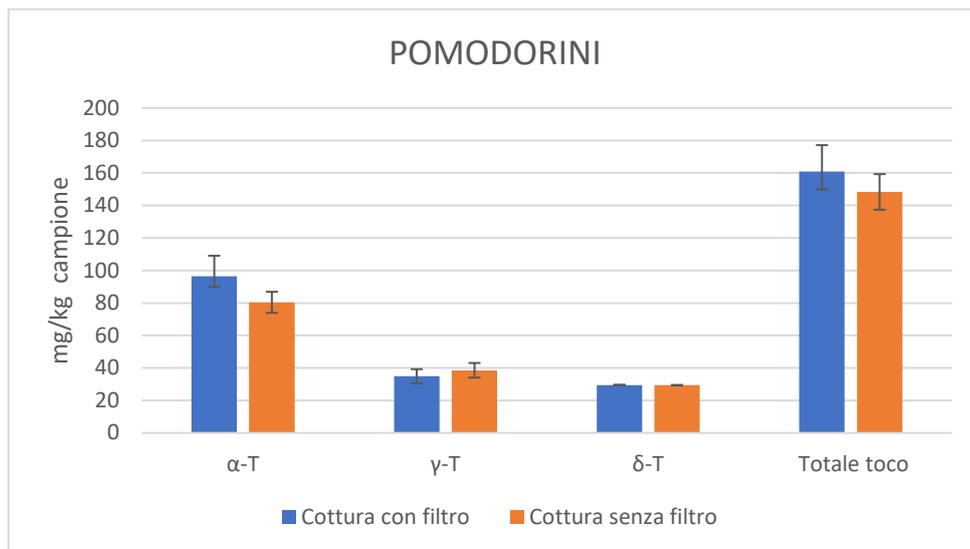


Figura 3-1: Contenuto di tocoferoli nei pomodorini

3.1.2.1 Carotenoidi

Nei campioni di pomodori sono stati indentificati β -carotene e licopene. Il β -carotene è stato individuato con una media di 50,27 mg/kg e 36,42 mg/kg rispettivamente per i campioni cotti con filtro UV e senza filtro UV (Figura 3-2). Hwang et al., 2012, ha riportato valori simili di β -carotene nei pomodori cotti al forno evidenziando, anche in questo caso, come un trattamento a temperature più alte favorisca il rilascio di tale composto. Il licopene è il carotenoide preponderante nei pomodori. Tuttavia, le due cotture hanno influenzato molto la concentrazione di licopene, registrando differenze significative tra i campioni cotti con filtro UV (454,51 mg/kg) e senza filtro UV (327,09 mg/kg) (Figura 3-3). Questo risultato suggerisce che, sebbene la cottura promuova il rilascio di carotenoidi dalla matrice, questi composti sono instabili se esposti a luce, calore e ossigeno, degradandosi e andando incontro ad isomerizzazioni trans-cis (Murakami et al., 2018) (Atencio et al., 2022). Di conseguenza, per tale cottura, è preferibile l'uso del filtro UV, al fine di preservare maggiormente questi composti antiossidanti con benefici sulla salute.

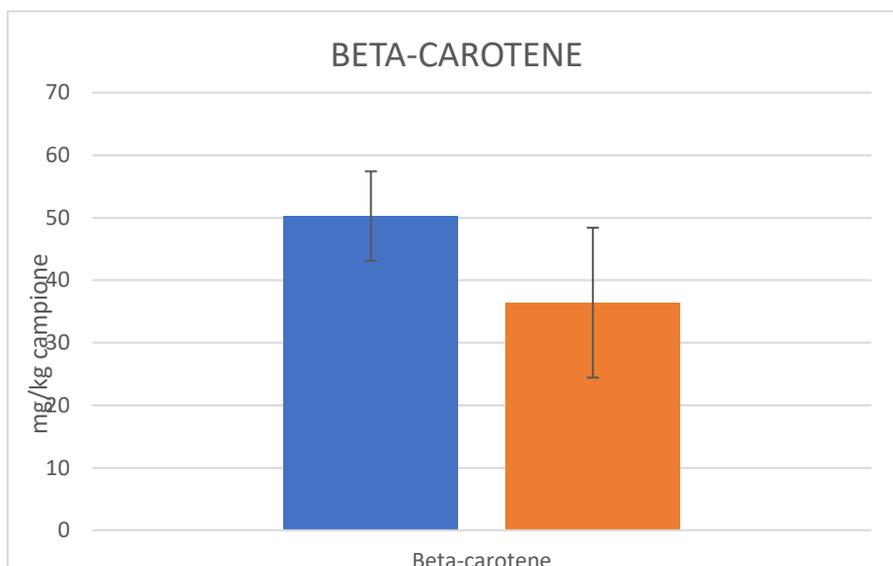


Figura 3-2: Contenuto β -carotene nei campioni di pomodorini

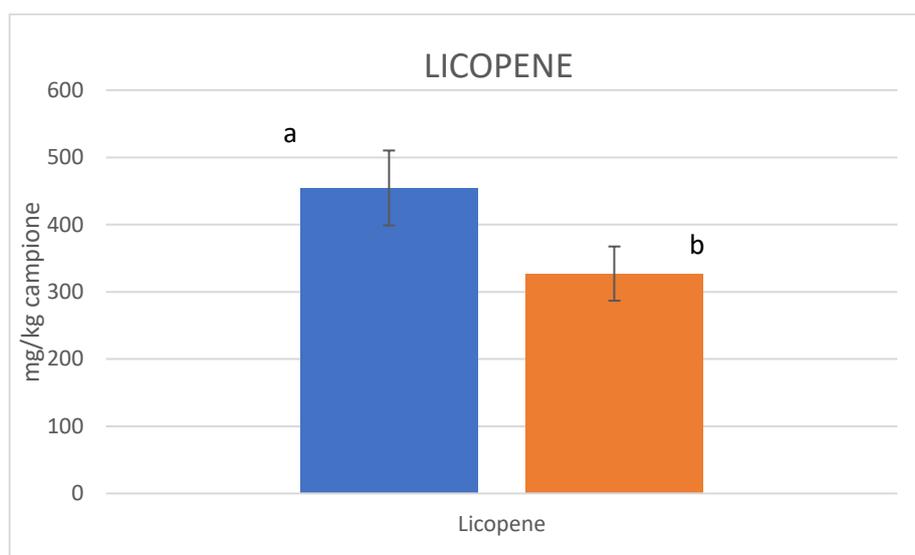


Figura 3-3: Contenuto licopene nei campioni di pomodorini

3.1.2.2 Composti fenolici totali

Nei campioni di pomodorini sono stati individuati i composti fenolici totali con una media totale di 1,35 mg GAE/g di campione e 1,44 mg GAE/g di campione, rispettivamente per i campioni cotti con filtro UV e per i campioni cotti senza filtro UV (Figura 3-4). Dai dati

riportati, non sono state individuate differenze statisticamente significative tra i due trattamenti.

I composti fenolici esercitano una potente azione antiossidante, tuttavia sottoponendo il prodotto a trattamenti termici spinti, il contenuto di tali composti si riduce fortemente, come anche dimostrato in numerosi studi precedenti (Sahlin et al., 2004) (Katırcı et al., 2020). Dunque, è necessario valutare in modo appropriato il tempo di cottura di ciascun alimento con questi forni innovativi, al fine di ottenere un prodotto sicuro dal punto di vista alimentare, e allo stesso tempo mantenere le sue proprietà nutrizionali.

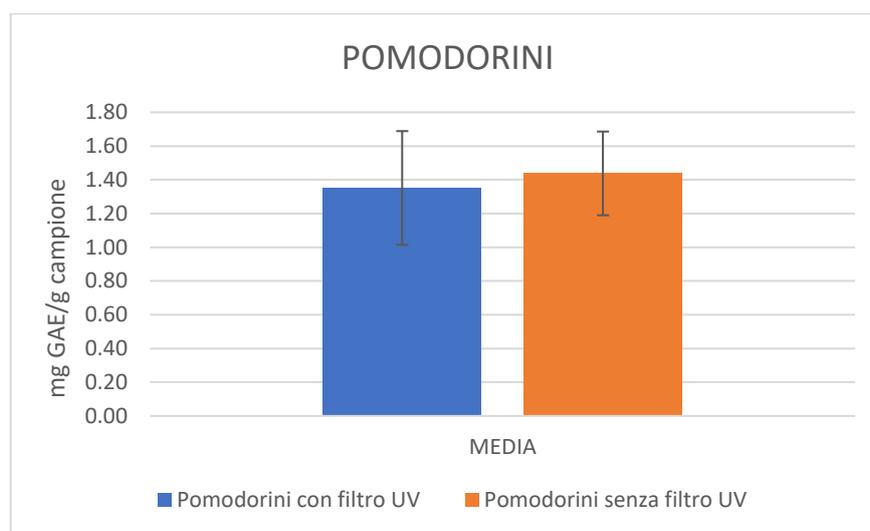


Figura 3-4: Contenuto dei composti fenolici totali nei pomodorini

3.2 Il caso studio dei Fagiolini

3.2.1 Prove di cottura dei fagiolini

I dati raccolti durante la cottura dei campioni dei fagiolini utilizzando un dispositivo di cottura solare (con e senza filtro UV) sono riportati nella Tabella 3-3 e Tabella 3-4. L'analisi è stata condotta in due diverse giornate con condizioni di radiazioni solari differenti (27-28/07/2023). Il campione senza filtro UV ha raggiunto temperature leggermente più alte nella giornata del 27/07/2023 (85°C vs 84°C), mentre nella giornata del 28/07/2023 le temperature raggiunte sono state le medesime. Questo risultato potrebbe essere dato dal quantitativo minore di acqua presente nei fagiolini rispetto che nei pomodorini.

La perdita di peso nei campioni è stata quasi del tutto simili, tranne che durante la giornata del 28/07/2023 in cui si è avuto una differenza di 1°C tra i campioni cotti con filtro UV ed i campioni cotti senza filtro UV (30% vs 31%). Questo risultato potrebbe suggerire che nel caso

dei fagiolini, contenendo meno acqua, il filtro UV non ha influenza particolarmente questo dato, accompagnata dalle minor temperature raggiunte durante la cottura.

Il tempo di cottura è stato mantenuto quasi costante in entrambe le giornate (1,45-1,50 ore), il che ci permette un confronto diretto tra i campioni.

Il DNI medio (Direct Normal Irradiance) è stato significativamente più alto nelle giornate del 27/07 rispetto al 28/07 (855,52 W/m² vs 506 W/m²), questo avrebbe potuto influenzare le temperature massime raggiunte anche se poi, presupponendo la durata relativamente lunga della prova si sono raggiunte temperature simili.

La temperatura ambiente media invece era più bassa il 27/07 rispetto al 28/07 (26,47 °C vs 30,23 °C), questo in parte potrebbe aver bilanciato la differenza nella DNI media.

Per i fagiolini l'utilizzo del filtro UV sembra avere una rilevanza minore rispetto ai pomodorini, sia per quanto riguarda la temperatura, sia per quanto riguarda la perdita di peso. Questo fatto potrebbe essere dovuto in parte alla differente natura del fagiolino rispetto al pomodorino nel contenuto di acqua.

I risultati ottenuti, senza tener conto della DNI, presentano un'elevata somiglianza che può suggerirci una cottura omogenea del campione, indicando di conseguenza un'ottima progettazione del forno solare

Tabella 3-3: Dati di cottura dei campioni di fagiolini con e senza filtro UV nella giornata del 27/07/2023

Campione fagiolini	E (senza filtro UV)	F (con filtro UV)
Peso iniziale campione (g)	100	100
Peso finale campione (g)	60	60
Orario di inizio	10.30	10.30
Orario di fine	12.20	12.20
Tempo di cottura (h)	1,50	1,50
DNI media (W/m ²)	855,52	855,52
Temperatura max raggiunta (°C)	85	84
Temperatura ambiente media (°C)	26,47	26,47

Tabella 3-4: Dati di cottura dei campioni di fagiolini con e senza filtro UV nella giornata del 28/07/2023

Campione fagiolini	H (senza filtro UV)	G (con filtro UV)
Peso iniziale campione (g)	100	100
Peso finale campione (g)	69	70
Orario di inizio	10.25	10.25
Orario di fine	12.30	12.30
Tempo di cottura (h)	1,45	1,45 h
DNI media (W/m ²)	506	506
Temperatura max raggiunta (°C)	83	83
Temperatura ambiente media (°C)	30,23	30,23

3.2.2 Fagiolini: analisi dei composti bioattivi (carotenoidi, tocoferoli, polifenoli)

3.2.2.1 I tocoferoli

Nei campioni di fagiolini sono stati indentificati α -, γ - e δ - tocoferolo, per un totale di circa 90 mg/kg in entrambe i campioni cotti con e senza filtro UV (Figura 3-5). Anche in questo caso come nei pomodorini, l' α -tocoferolo si presenta con concentrazioni maggiori rispetto agli altri due. Dai risultati ottenuti non si evince alcuna differenza statisticamente significativa tra i campioni analizzati, riportando valori di α -tocoferolo di circa 38 mg/kg δ -tocoferolo di ~29 mg/kg e γ - tocoferolo ~22 mg/kg.

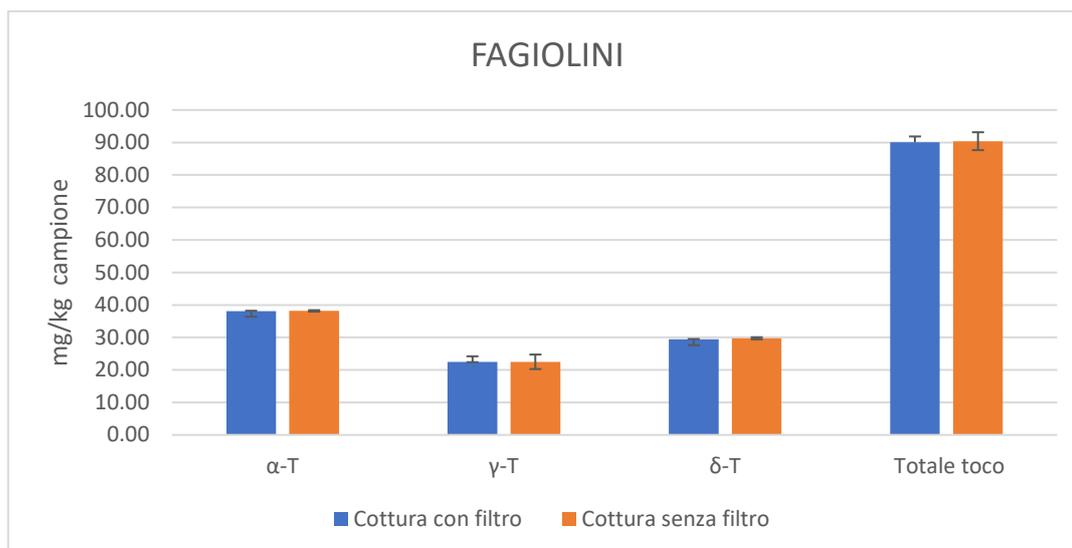


Figura 3-5: Contenuto di tocoferoli nei campioni di fagiolini

3.2.2.2 I carotenoidi

Nei campioni di fagiolini, il carotenoide preponderante è la luteina, un composto molto importante nelle piante per la sua azione di filtrazione della luce blu ad alta energia, oltre che come potente antiossidante. Si ritiene inoltre che sia correlato positivamente nei confronti della attenuazione della malattia agli occhi negli umani come citato da Alves-Rodrigues & Shao, 2004. La luteina in questo studio è stata ritrovata con valori molto simili tra i fagiolini cotti con e senza filtro UV (15,37 mg/kg vs 18,71 mg/kg, rispettivamente). Nello studio di Delchier et al., 2012, vengono presi in considerazione fagiolini sia surgelati che freschi, analizzati dopo bollitura, con valori di luteina inferiori rispetto a quelli ottenuti in questo studio (6,06 mg/kg dopo bollitura partendo da fagiolini surgelati)

Mentre nello studio effettuato da Lima et al., 2017, vengono riscontrati valori di luteina in campioni coltivati in un terreno convenzionale, simili a quelli ottenuto in questo studio. (13,91 mg/kg per fagiolini cotti al microonde e 15,92 mg/kg per fagiolini cotti sotto pressione). Nello studio citato i fagiolini venivano cotti a partire dal peso fresco.

Nel complesso però possiamo affermare che non si evincono differenze statisticamente rilevante nei campioni analizzati e che il differente metodo di cottura, per quanto si può dedurre dai dati ottenuti, non causa sostanziali differenze nel contenuto di luteina dei vari campioni.

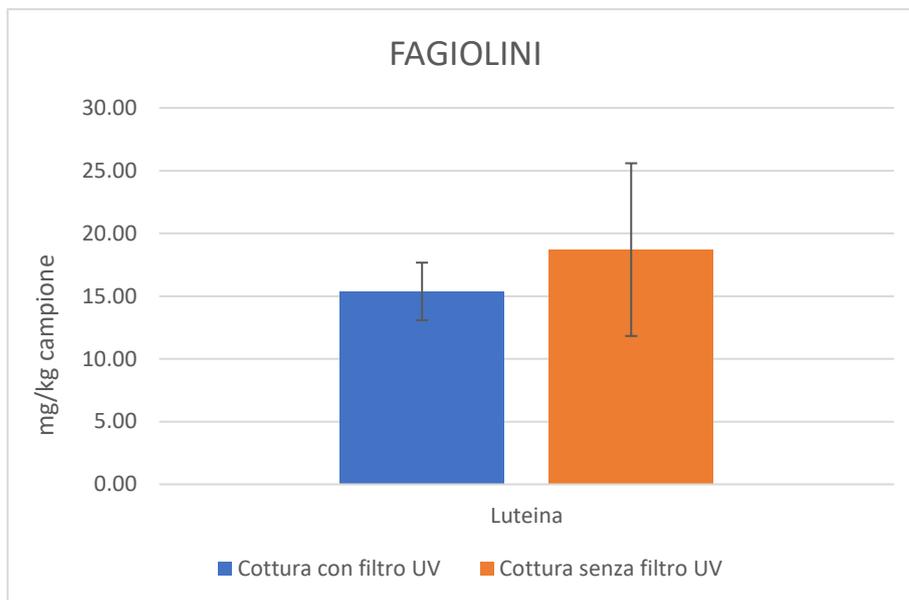


Figura 3-6: Contenuto di luteina nei campioni di fagiolini

3.2.2.3 Composti fenolici totali

Nei campioni di fagiolini sono stati individuati i composti fenolici totali con una media totale di 0,44 mg GAE/kg di campione e 1,31 mg GAE/kg di campione, rispettivamente per i fagiolini cotti con filtro UV e i fagiolini cotti senza filtro UV (Figura 3-7). Dai dati riportati non sono state individuate differenze statisticamente significative tra i due campioni. La più alta variazione di contenuto di composti fenolici nel campione cotto senza filtro UV, potrebbe essere dovuto a problematiche non individuate durante le fasi di cottura. Nello studio di Delchier et al., 2012, troviamo valori di polifenoli totali maggiori (0,97 g GAE/100g di prodotto FW dopo cottura con microonde), questa differenza potrebbe essere causata dalla degradazione di questi composti durante la fase di cottura.

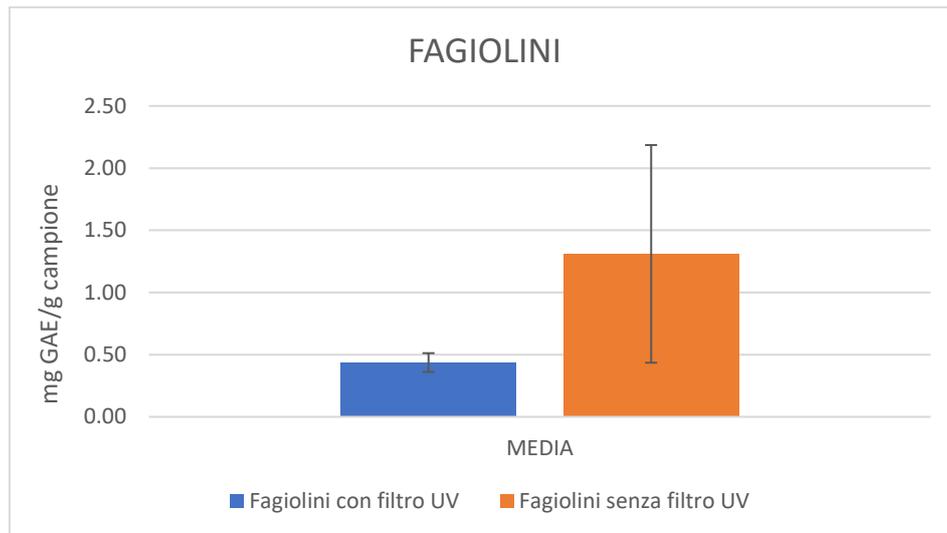


Figura 3-7: Contenuto dei composti fenolici totali nei fagiolini

CONCLUSIONI

Il prototipo di forno solare preso in considerazione in questo studio si è rilevato un dispositivo più che promettente per la cottura di alimenti in modo sostenibile, con delle performance, che se ottimizzate al meglio possono renderlo uno strumento estremamente utile in tutte le necessità.

I test su pomodorini e fagiolini, presi in esame in questo studio, hanno mostrato che l'assenza del filtro aumenta, nella maggior parte dei casi, la temperatura massima raggiunta all'interno del prodotto, favorendo un'evaporazione più intensa e conseguentemente una maggiore perdita di peso del campione. La presenza del filtro UV, invece, sembra favorire una cottura più tenue, con maggiori benefici nei confronti di composti bioattivi più sensibili andandoli a preservare maggiormente.

L'analisi chimica dei campioni in esame ha evidenziato come l'impiego del filtro UV possa a volte aiutare a prevenire la degradazione di composti bioattivi, in particolare dei carotenoidi (come il licopene nel pomodoro), causata dall'esposizione del prodotto alla radiazione solare. Questa tipologia di forno solare, quindi, rappresenta nel complesso una soluzione semplice ed efficiente per la cottura di alimenti, rafforzata dal fatto che può essere realizzato con materiali facilmente reperibili, di basso costo e per la sua caratteristica pieghevole. Tuttavia, possiamo dire che le condizioni di irradianza solare sono un fattore limitante per l'operatività del dispositivo solare, oltre che ad altre condizioni ambientali come vento e temperatura ambiente.

Studi futuri potrebbero approfondire l'impatto di questo tipo di cottura, tenendo in considerazione altri tipi di alimenti e di composti, valutare le prestazioni del prototipo in condizioni climatiche differenti e integrare ulteriori miglioramenti per massimizzare l'efficacia e la versatilità del forno solare.

BIBLIOGRAFIA

- Alves-Rodrigues, A., & Shao, A. (2004). The science behind lutein. *Toxicology Letters*, *150*(1), 57–83. <https://doi.org/10.1016/J.TOXLET.2003.10.031>
- Aquilanti, A., Tomassetti, S., Coccia, G., Muccioli, M., & Di Nicola, G. (2023). Experimental characterization and performance comparison of four prototypes of panel solar cooker for low to high sun elevations. *Journal of Cleaner Production*, *390*, 136158. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136158>
- Aramesh, M., Ghalebani, M., Kasaeian, A., Zamani, H., Lorenzini, G., Mahian, O., & Wongwises, S. (2019). A review of recent advances in solar cooking technology. *Renewable Energy*, *140*, 419–435. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.03.021>
- Arenas, J. M. (2007). Design, development and testing of a portable parabolic solar kitchen. *Renewable Energy*, *32*(2), 257–266. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2006.01.013>
- Arunachala, U. C., & Kundapur, A. (2020). Cost-effective solar cookers: A global review. *Solar Energy*, *207*, 903–916. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2020.07.026>
- Atencio, S., Verkempinck, S. H. E., Reineke, K., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2022). Heat and Light Stability of Pumpkin-Based Carotenoids in a Photosensitive Food: A Carotenoid-Coloured Beverage. *Foods*, *11*(3), 485. <https://doi.org/10.3390/foods11030485>
- bank, w. (2005). *indicatori di sviluppo mondiale 2005*. (n.d.).
- Bin Abu Sofian, A. D. A., Lim, H. R., Siti Halimatul Munawaroh, H., Ma, Z., Chew, K. W., & Show, P. L. (2024). Machine learning and the renewable energy revolution: Exploring solar and wind energy solutions for a sustainable future including innovations in energy storage. In *Sustainable Development* (Vol. 32, Issue 4, pp. 3953–3978). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/sd.2885>
- Cuce, E., & Cuce, P. M. (2013). A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*, *102*, 1399–1421. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.09.002>
- Demissie, T. N., Tomassetti, S., Paciarotti, C., Muccioli, M., Di Nicola, G., & Ruivo, C. R. (2024). Experimental characterization of a foldable solar cooker with a trapezoidal cooking chamber

- and adjustable reflectors. *Energy for Sustainable Development*, 79, 101409. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2024.101409>
- Fanesi, B., Ismaiel, L., Nartea, A., Orhotohwo, O. L., Kuhalskaya, A., Pacetti, D., Lucci, P., & Falcone, P. M. (2023). Bioactives and Technological Quality of Functional Biscuits Containing Flour and Liquid Extracts from Broccoli By-Products. *Antioxidants*, 12(12), 2115. <https://doi.org/10.3390/antiox12122115>
- Franceschi, J., Rothkop, J., & Miller, G. (2014). Off-grid Solar PV Power for Humanitarian Action: From Emergency Communications to Refugee Camp Micro-grids. *Procedia Engineering*, 78, 229–235. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.07.061>
- Hwang, E., Stacewicz-Sapuntzakis, M., & Bowen, P. E. (2012). Effects of Heat Treatment on the Carotenoid and Tocopherol Composition of Tomato. *Journal of Food Science*, 77(10). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02909.x>
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092–1105. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.05.022>
- Katırcı, N., Işık, N., Güpür, Ç., Guler, H. O., Gursoy, O., & Yilmaz, Y. (2020). Differences in antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents of commercial and homemade tomato pastes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(4), 249–254. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2018.11.003>
- Massini, Roberto. (2000). *SCOPERTA DELLA DIETA MEDITERRANEA*.
- Murakami, K., Honda, M., Takemura, R., Fukaya, T., Wahyudiono, Kanda, H., & Goto, M. (2018). Effect of thermal treatment and light irradiation on the stability of lycopene with high Z-isomers content. *Food Chemistry*, 250, 253–258. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.01.062>
- Ohajianya, A. C., Abumere, O. E., Osarolube, E., & Chukwuocha, E. O. (n.d.). Construction of a Solar Panel Using Solar Oven for the Panel Lamination. In *Advances in Science and Technology* (Vol. 9, Issue 2).
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 3220–3225. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.07.005>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2012). State of the art of solar cooking: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3776–3785. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.03.026>

- Regattieri, A., Piana, F., Bortolini, M., Gamberi, M., & Ferrari, E. (2016). Innovative portable solar cooker using the packaging waste of humanitarian supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 319–326. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.12.199>
- Rosenberg-Jansen, S. (2019). Leaving no one behind. In *Energy Access and Forced Migration* (pp. 15–33). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781351006941-3>
- Sahlin, E., Savage, G. P., & Lister, C. E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(5), 635–647. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.10.003>
- Saxena, A., Varun, Pandey, S. P., & Srivastav, G. (2011a). A thermodynamic review on solar box type cookers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3301–3318. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.04.017>
- Saxena, A., Varun, Pandey, S. P., & Srivastav, G. (2011b). A thermodynamic review on solar box type cookers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3301–3318. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.04.017>
- Turner, L. (2001). *Making the Most of Sunshine—A Handbook of Solar Energy for the Common Man*.
- Waterhouse, A. L. (2003). Determination of Total Phenolics. In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471142913.fai0101s06>
- Wentzel, M., & Pouris, A. (2007). The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa. *Energy Policy*, 35(3), 1909–1919. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2006.06.002>