

# Impianto pilota per la torrefazione del caffè ad irraggiamento Solare.

di Daniele Tommei

Roma Gennaio 2018

## Prefazione

In questo documento verranno analizzati gli aspetti più interessanti derivati dall'esperienza della progettazione e costruzione di un impianto pilota per un innovativo sistema di torrefazione del caffè.

L'interesse dell'autore per lo sviluppo di questa tecnica è nato dalla fusione delle sue pregresse conoscenze nel settore dell'energia solare con il suo più recente incontro con il mondo della torrefazione del caffè.

Dopo oltre un anno di studi, progettazione e prototipazione, è stato costruito, ed è attualmente in utilizzo da alcuni mesi, il primo impianto pilota per la verifica della fattibilità industriale di questa nuova tecnica.

L'impianto è stato installato nel mezzo di un roseto in una tenuta privata nella periferia di Roma.

## Proprietà intellettuale

Nel seguente documento alcuni aspetti descritti relativi alla tecnica di torrefazione sono coperti da deposito di domanda di brevetto industriale. Altri aspetti sono invece già coperti da brevetti provenienti dalla precedente esperienza maturata nel corso degli ultimi anni dall'autore nel settore dell'utilizzo dell'energia solare.

## Introduzione

La tecnica della torrefazione del caffè per irraggiamento solare nasce dalla ricerca, quasi ossessiva, di sostituire con l'energia solare lo sfruttamento di risorse naturali non rinnovabili, e di ridurre l'inquinamento ambientale conseguente.

La tostatura del caffè è una pratica che risale al XV secolo e che nel corso del tempo si è evoluta passando dalle padelle perforate alle odierne torrefattrici computerizzate.

L'idea alla base di questa tecnica è di indurre la combustione del chicco di caffè crudo, anziché dal contatto con aria rovente, come attualmente in uso, dal diretto irraggiamento solare, e più precisamente, non con il calore del sole, ma con la radiazione elettromagnetica dei suoi raggi.

Questo metodica innovativa ha inaspettatamente influito anche sulle caratteristiche organolettiche del caffè così tostato, tanto da indurci ad indagare sui processi fisici coinvolti mettendo a confronto questa tecnica ad irraggiamento solare con la classica tecnica basata sull'aria calda.

Il documento è suddiviso nei seguenti argomenti:

- Il mercato del caffè
- Ecosostenibilità
- Biologicità
- La tecnica della tostatura classica
- Stato dell'arte: le due principali tecniche odierne di torrefazione
- La tostatura per irraggiamento solare :
  - gli aspetti positivi della fisica del processo
  - gli aspetti critici della fisica del processo
- La tecnica di irraggiamento a concentrazione
- Il risparmio energetico
- L'efficienza energetica
- La produttività
- Le caratteristiche organolettiche
- Considerazioni economiche
- Conclusioni
- Ringraziamenti

## Il mercato del caffè

L'intento di questo documento è esclusivamente quello di analizzare alcuni degli aspetti tecnici relativi ai processi di torrefazione del caffè.

Tralasciamo quindi volutamente commenti e riflessioni sui risvolti di immagine commerciale che possono derivare dall'utilizzo di un approccio così radicalmente naturale come quello che deriva dall'uso del sole come principale fonte di energia per la trasformazione del prodotto.

Per cui ci limitiamo ad osservare che:

- In Italia si importano e si lavorano approssimativamente, per consumo interno ed esportazione, circa 500.000 tonnellate di caffè all'anno.
- Il fatturato complessivo del mercato è attualmente in crescita.
- Gli attori del mercato sono tra loro in forte competizione.

## Eco-Sostenibilità

La riduzione dei consumi di questa tecnica, associata anche alla più elevata efficienza energetica del sistema, deriva dalla completa eliminazione del riscaldamento tramite combustione del gas, che è sostituito dal riscaldamento tramite irraggiamento solare.

Ovviamente non bruciando il gas necessario per ottenere il calore necessario, ma utilizzando il calore indotto dal sole, questo sistema è decisamente più ecosostenibile di qualsiasi altro classico metodo di torrefazione fino ad oggi utilizzato. Basti pensare che tostando 1000 kg. di caffè con il sole, non si devono bruciare 216 metri cubi di metano evitando così la produzione di oltre 400 Kg. di CO<sub>2</sub>

## Biologicità

I principi dell'attività di trasformazione dei prodotti, secondo il metodo biologico, sono fissati dall'art. 6 del regolamento CE n. 834/2007 da cui:

- trasformare in maniera accurata gli alimenti, preferibilmente avvalendosi di metodi biologici, meccanici e fisici

E' fuori discussione quindi il fatto che, sostituire la fase di tostatura del caffè mediante combustione di gas, con quella ad irraggiamento solare, sia un sensibile miglioramento di una fase della trasformazione che nella filiera biologica possa contribuire molto alla certificazione della stessa.

## La tecnica della tostatura classica

Per comprendere meglio le differenze di processo implicate nella nuova tecnica di tostatura con il sole rispetto alle tecniche oggi utilizzate, è necessaria una breve disamina sullo stato dell'arte di quest'ultime.

Da wikipedia:

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

La definizione data da wikipedia è abbastanza chiara ma necessita, nel caso specifico della tostatura del caffè, dell'accenno a due aspetti insidiosi e negativi che sono inevitabili in questo processo. La gassificazione e l'autocombustione.

Per gassificazione ci riferiamo alla rapida trasformazione di oli e zuccheri in gas e la loro conseguente espulsione dal chicco in tostatura. Questo processo inizia quando la temperatura del grano di caffè supera i 100°C con l'evaporazione dell'acqua ed aumenta, coinvolgendo altre sostanze in combustione, con l'aumento della temperatura fino al raggiungimento dei 200-220°C necessari alla tostatura.

La dilatazione temporale di questo processo incrementerà la perdita per espulsione come gas delle varie e complesse componenti del chicco in torrefazione, motivo per cui questa fase di tostatura deve essere completata in un tempo il più ridotto possibile.

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

Dopo queste precisazioni passiamo di seguito a descrivere, sempre brevemente, le due odierne principali tecniche di torrefazione.

Stato dell'arte: le due principali tecniche odierne di torrefazione.

Sempre da wikipedia:

" Nella torrefazione del caffè i grani vengono sottoposti a temperature di 200-220 °C mentre vengono agitati. I metodi di torrefazione sono essenzialmente due: "a letto fluido", nel quale i chicchi di crudo vengono investiti con getti d'aria calda a temperature tra i 300°C ed i 400°C per pochi minuti, rimanendo in sospensione nella camera di tostatura (da qui il nome del processo); ed "a tamburo rotante", in cui si utilizza un tamburo metallico al cui interno sono presenti coclee o alette per rivoltare continuamente il prodotto ed uniformarne la tostatura, in cui un bruciatore a gas convoglia l'aria calda necessaria al processo, per un tempo di circa 15-20 minuti secondo il tipo di caffè, la capacità della tostatrice ed il gusto del torrefattore. Mentre nel primo sistema il caffè viene tostato molto più esternamente che all'interno, comportando anomalie gustative e di preparazione, il secondo metodo migliora nettamente, uniformando la tostatura, la resa aromatica del caffè. È sufficiente aprire un chicco a metà agendo sul solco chiaro ed osservare l'interno per rendersi conto della bontà o meno del processo di torrefazione subito. "

Come riportato da wikipedia, nei due sistemi tradizionali di tostatura il calore viene trasmesso al grano di caffè per convezione dell'aria, molto forzata nel caso del "letto fluido" e più moderata nel caso del "tamburo rotante".

Semplificando, la tostatura con "letto fluido" equivale alla cottura degli alimenti nel forno di casa con modalità termoventilata, mentre la tostatura a "tamburo rotante" equivale alla cottura degli alimenti nel forno di casa con modalità normale: con la termoventilazione la cottura sarà più intensa e più rapida, ma cuocerà gli alimenti ancora più all'esterno che all'interno di quanto non avvenga con la normale cottura in forno.

In entrambi i casi comunque, il calore viene ceduto dall'aria riscaldata a 300°C / 400°C all'intero grano di caffè tramite il contatto con lo strato esterno del chicco stesso.



Anche se nelle moderne torrefazioni la temperatura ed il flusso dell'aria vengono controllati da sistemi automatizzati che permettono di determinare in modo preciso il profilo di tostatura, cioè la curva di temperatura del grano di caffè durante tutto il processo, inevitabilmente con le due tecniche appena descritte, ogni singolo chicco di caffè risulterà tostato di sempre più all'esterno che all'interno, ovvero il chicco sarà sempre tostato troppo all'esterno e poco all'interno.



D'altra parte aumentare il tempo di tostatura, seppure a temperatura più bassa, per migliorare l'uniformità, comporterebbe una prolungata evaporazione e combustione degli zuccheri e degli oli interni al chicco con conseguente riduzione delle caratteristiche organolettiche di un buon caffè.

Quindi sintetizzando possiamo così riassumere:

tostatura veloce = chicco non omogeneo

tostatura lenta = perdita delle caratteristiche

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

La tostatura per irraggiamento a luce solare.

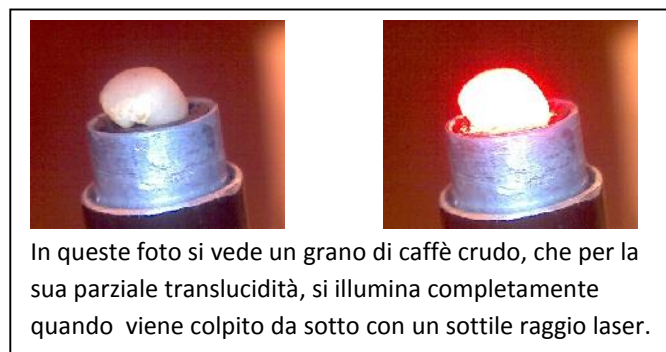
### 1) Gli aspetti positivi della fisica del processo

La peculiarità della torrefazione mediante irraggiamento a luce solare consiste in una migliore uniformità del grado di tostatura tra la parte esterna e la parte interna del chicco ed una maggiore conservazione delle sue proprietà naturali con conseguente esaltazione delle sue caratteristiche organolettiche.

Questo perché la tostatura solare permette di ottenere chicchi tostati uniformemente in tempi ridotti rispetto alle tecniche tradizionali prima descritte, eliminando anche la necessità di una convezione forzata dell'aria.

Il metodo di torrefazione per irraggiamento a luce solare, descritto in questo documento, si basa essenzialmente sul riscaldamento dei grani di caffè attraverso l'energia elettromagnetica della luce emanata dal sole.

L'idea alla base di questa nuova tecnica nasce dall'osservazione del chicco di caffè ancora crudo. Infatti quello che è stato notato, e che ha dato il via allo studio di questo metodo innovativo di torrefazione, è che il grano di caffè crudo non è completamente opaco.



Il chicco di caffè crudo, è di colore verde chiaro e parzialmente traslucido, ovvero non completamente opaco alla luce e quando illuminato dall'esterno la luce penetra all'interno del chicco dal quale viene assorbita e convertita in calore a diverse profondità in funzione della lunghezza d'onda.

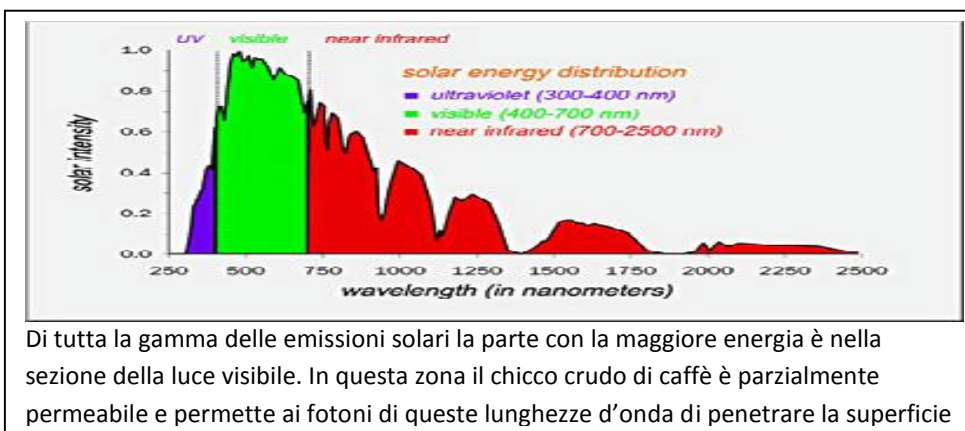


Durante il processo di tostatura, la combustione e le diverse reazioni chimiche che avvengono nel caffè ne muteranno il colore e la traslucidità che, con il progredire della tostatura, farà cambierà il grado di assorbimento della luce alle diverse profondità.

La luce del sole ha una caratteristica speciale che non è praticamente riproducibile da nessun tipo di dispositivo generatore di luce artificiale: ha uno spettro di colori molto ampio. Questo vuol dire che contiene tutte le diverse lunghezze d'onda, dalla gamma degli ultravioletti a quella degli infrarossi.

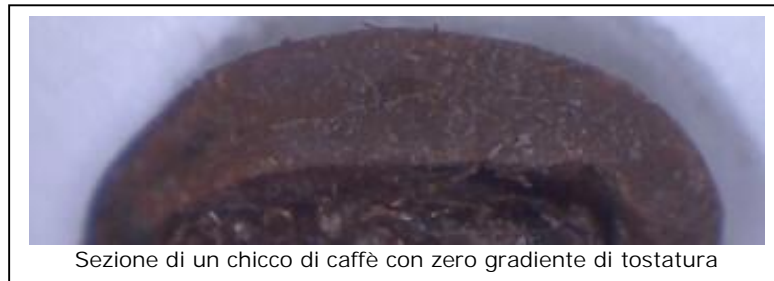
Questo aspetto fa sì che il calore è "generato" all'interno del grano di caffè contemporaneamente a diverse profondità e non soltanto propagato dall'esterno verso l'interno come invece accade con il tradizionale riscaldamento a contatto con l'aria calda.

I fotoni che penetrano la superficie del grano di caffè, cedono energia durante il loro percorso in modo diverso in funzione sia della loro frequenza e sia del colore del chicco, e che a sua volta cambia con il grado di tostatura.





Inoltre in questa tecnica, la funzione dell'aria è addirittura opposta a quella tradizionale. Infatti, l'aria che avvolge il chicco, non essendo riscaldata dai raggi solari in virtù della sua trasparenza, sarà sempre più fredda del chicco stesso, contrastando in tal modo l'aumento della temperatura sulla superficie del grano di caffè e contribuendo alla riduzione del gradiente di temperatura tra l'esterno e l'interno del chicco stesso.



Un altro effetto visibile della torrefazione per irraggiamento a luce solare è la rapida bruciatura della pellicola interna, effetto che ne aiuta il distacco e la successiva eliminazione. L'energia luminosa che raggiunge il chicco fa infatti salire molto rapidamente la temperatura della leggera pellicola.



## 2) Gli aspetti critici della fisica del processo

L'aspetto più delicato della fisica di questo processo è dato dalla estrema direzionalità della luce.

Per tostare correttamente il caffè, durante tutta la fase di cottura, ogni chicco deve essere direttamente illuminato dai diversi angoli ciclicamente e allo stesso tempo senza rimanere troppo esposto all'intensa luce dalla stessa angolazione per troppo tempo.

Infatti la temperatura, di un chicco di caffè esposto a questa intensità di luce, può salire di quasi  $10^{\circ}\text{C}$  al secondo(\*).

Al contrario del classico processo di riscaldamento con l'aria calda, che penetra e circola in ogni spazio libero tra i chicchi durante la tostatura, la luce colpirà soltanto i grani di caffè antistanti che incontra, e che naturalmente coprono e fanno ombra ai chicchi retrostanti.

E' da sottolineare che l'energia per la tostatura, in questa tecnica, non può raggiungere il caffè in nessun altro modo: se un chicco non è irraggiato direttamente può rimanere quasi completamente crudo anche se immerso insieme al resto del caffè perfettamente tostato.

---

(\*) Per esempio, un grano di caffè di crivello 18 che a metà tostatura pesa 170 mg., ha una sezione massima di circa  $90\text{ mm}^2$  di superficie. Tenendo conto che il calore specifico del caffè è di circa  $1.4\text{ (J/g}^{\circ}\text{C)}$ , questo grano, assorbendo un'energia di 2.25 Watt quando illuminato con una radiazione luminosa solare di intensità pari a 2.5 Mega-Lux, si può riscaldare con una velocità di  $9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  al secondo.

## Le caratteristiche organolettiche

La tostatura rapida e uniforme che l'irraggiamento solare agevola, è senza dubbio uno dei punti a favore di questa tecnica di torrefazione.

Ma non è l'unico: infatti l'altro aspetto importante insito in questa innovativa tecnica è l'assenza della convezione forzata dell'aria sul chicco di caffè.

Nei sistemi tradizionali di torrefazione sia a letto fluido che a tamburo rotante, l'aria è fatta circolare forzatamente tra i chicchi di caffè in quanto unico vettore del calore tra il bruciatore a gas, che genera l'energia termica, ed il caffè, che la deve assorbire.

Una volta che la molecola di aria ad alta temperatura (300-400°C) è stata a contatto diretto con il chicco di caffè, si raffredda nel cedere il suo calore al chicco stesso e deve essere sostituita da una nuova molecola di aria calda. Per questo motivo l'aria viene sempre mantenuta in circolazione, esattamente come accade con un asciugacapelli. Questa circolazione forzata però trascina via con sé anche i prodotti aerei della trasformazione fisica che avviene nel chicco.

Nella tostatura per irraggiamento, al contrario, il chicco è sempre circondato dai suoi stessi vapori prodotti dalla trasformazione degli oli e degli zuccheri. Trasformazione che è conseguenza della reazione chimica indotta dal calore generato all'interno del chicco stesso dalla radiazione luminosa.

Per fare un paragone è un po' come la differenza di cottura tra la carne lessa e la carne arrosto. Nella carne lessa buona parte delle sostanze prodotte dalla cottura finirà nell'acqua calda (che si trasformerà in brodo), mentre nell'arrosto la quasi totalità del prodotto di cottura resterà al suo interno.

Come quindi possiamo aspettarci, questa differente tecnica di torrefazione produce dei differenti risultati organolettici.

L'analisi chimica obiettiva di questi risultati è piuttosto complessa, così come lo è quella sul caffè tostato tradizionalmente, questo a causa delle centinaia di reazioni chimiche diverse che avvengono nel processo di tostatura. D'altro canto un giudizio basato su un'analisi soggettiva sarebbe chiaramente di parte.

Comunque, per ciò che vale e a solo titolo di curiosità dei test degustativi, basati su comparazioni in doppio cieco, sono stati eseguiti da un piccolo gruppo di volontari. Lo stesso caffè crudo mono origine (Santos - Brasile) è stato tostato sia da torrefazioni classiche che da questo impianto innovativo e, nel 100% dei confronti, la valutazione della tostatura solare è stata sempre considerata superiore a quella tradizionale in riferimento ai parametri di: aroma, acidità, retrogusto, corpo e cremosità.

Naturalmente è possibile effettuare nuovi test di degustazione tostando i caffè di diversa origine e qualità sull'impianto pilota.

## La tecnica di irraggiamento a concentrazione

L'energia solare, così come ci arriva, non ha la sufficiente intensità per essere utilizzata direttamente per la torrefazione del caffè.

Per ottenere il riscaldamento del caffè crudo con l'aumento di temperatura nel tempo necessario ad una corretta torrefazione, la luce solare deve essere concentrata.

L'intensità della luce solare per una tostatura completata in un tempo compreso tra i 5 e i 20 minuti deve avere un valore da 2 a 8 Megalux ovvero da venticinque a cento volte circa l'intensità del sole in una giornata con il cielo limpido.

Per ottenere questa intensità luminosa il sole viene riflesso da diversi specchi, ognuno dei quali con una dimensione della superficie simile a quella del contenitore da riscaldare, che puntano tutti sullo stesso obiettivo. In questo modo l'intensità della luce ottenuta sarà uguale alla somma di tutti i fasci di luce inviati dai riflettori utilizzati.

Per mantenere il fascio luminoso così prodotto un punto fisso durante tutto il giorno vengono utilizzati degli apparecchi chiamati eliostati a concentrazione, i quali sono strumenti motorizzati che cambiano automaticamente l'inclinazione degli specchi in funzione del cambiamento della posizione del sole.



Questi eliostati che raccolgono l'energia solare sono collocati all'aperto per poter captare al meglio il sole da ogni angolo e indirizzare la luce riflessa concentrandola verso una camera di torrefazione che contiene il caffè da tostare.



Il ricevitore contenitore del caffè può essere disposto sia all'aperto di fronte agli eliostati o all'interno di un edificio provvisto di un apertura a vetro per il passaggio della luce riflessa proveniente dagli specchi.

Poiché i raggi del sole che arrivano sulla terra viaggiano quasi paralleli, la distanza tra gli eliostati che raccolgono il sole ed il ricevitore con il caffè da tostare può essere di diverse decine di metri senza alcuna perdita di energia.



Dal punto di vista energetico per ogni kg. di caffè crudo è necessario almeno un chilowatt di energia radiante. Infatti, per far evaporare i 200 gr. di acqua mediamente contenuti in un kg., il caffè crudo assorbe 520 kilojoule che, con una energia di irraggiamento di 1 Kw corrispondono a circa 9 minuti (520 secondi).

Questa evaporazione dell'acqua corrisponde circa alla perdita di peso che si ha nel caffè tostato rispetto a quello crudo.

Terminata la fase di evaporazione, la restante metà dell'energia fornita dal sole è utilizzata per portare la temperatura del chicco da poco sopra i 100°C ai 200-220°C necessari a terminare il processo di torrefazione.

Per assicurare questa energia necessaria alla torrefazione, per ogni kg. di caffè crudo servono circa 2 mq. di specchi di collettore solare. Quindi per es. per tostare 30 kg. servono 60 mq. di superficie esposta al sole che indirizzerà il fascio concentrandolo sul contenitore del caffè da tostare.



In questa foto il caffè è contenuto in un cestello rotante di acciaio inox che permette il passaggio di oltre l'80% della luce incidente.

E' da notare che, poiché la superficie lucida dell'acciaio inox riflette la luce, la temperatura del cestello sarà sempre più bassa della temperatura dei grani di caffè in esso contenuti e non contribuirà quindi alla tostatura tramite il contatto diretto.

Un aspetto che deve essere preso in considerazione con questa tecnica di tostatura è che il trasferimento di energia verso il chicco in torrefazione è direzionale. La luce che investe il grano di caffè lo fa principalmente da una direzione preferenziale, al contrario del sistema di tostatura ad aria calda che invece circonda completamente il chicco. Per questo motivo il sistema di contenimento e miscelazione del caffè deve essere progettato con molta cura per permettere ad ogni singolo grano di essere esposto alla luce con un ciclo breve e per una discreta frazione del tempo totale di esposizione.



Il caffè per essere irraggiato dalla luce solare può anche essere contenuto in un cilindro di vetro borosilicato che permette il passaggio di oltre 90% della luce.

In questa immagine i grani di caffè vengono mantenuti in sospensione e continuamente miscelati da un flusso di aria dal basso verso l'alto.

Sia il cilindro di vetro che l'aria in circolazione, in virtù della loro trasparenza non sono riscaldati dalla intensa luce incidente che invece viene assorbita dai chicchi di caffè. Quindi anche in questo caso sia l'aria che il contenitore non contribuiscono alla tostatura con il contatto diretto con i grani di caffè.

## Il risparmio energetico

Anche se non è tra i principali aspetti positivi di questa tecnica, il risparmio energetico derivante dall'eliminazione della fonte principale di energia termica necessaria ai bruciatori a gas, sostituita da una risorsa illimitata e gratuita come quella solare, determina una, se pur minima, comunque apprezzabile riduzione dei costi di produzione.

Considerando che la fase di tostatura tradizionale di un kg. di caffè richiede orientativamente 6 MJ (il metano ha 37 MJ per mc), ci vogliono 162 mc di metano per tostare un tonnellata di caffè.

Anche considerando un costo industriale del metano di 0.20 €/mc sono circa 32 € di risparmio ogni 1000 Kg. di caffè.

## L'efficienza energetica

L'irraggiamento solare riscalda principalmente i soli grani di caffè, e non l'aria da cui sono circondati. Teoricamente la tostatura per irraggiamento potrebbe avvenire tranquillamente anche in aria fredda, e anche se nella realtà la temperatura dell'aria a contatto dei chicchi sale, l'energia ceduta dai chicchi all'aria è comunque minima, tant'è vero che, se per tostare il caffè crudo in maniera tradizionale è necessario scaldare l'aria a 300-400°C con una potenza di almeno 5 Kw per kg., nel caso della tostatura per irraggiamento solare è sufficiente una potenza di un solo Kw. per kg. , questo perché la temperatura massima all'interno del contenitore è proprio quella del caffè e che arriverà a 200-220°C solo al termine della tostatura.

L'utilizzo di più basse temperature, con la conseguente riduzione delle problematiche connesse all'isolamento termico e alla necessità di un sistema di recupero dell'energia termica, rendono questa tecnica decisamente molto più efficiente dei sistemi tradizionali di torrefazione.

Un'altra caratteristica positiva dell'irraggiamento diretto è la totale assenza di inerzia termica del contenitore. La tostatura infatti comincia istantaneamente a freddo appena il caffè viene illuminato dalla luce solare, senza nessuna necessità di preriscaldare alcunché nella macchina. Anche questo contribuisce all'elevata efficienza energetica complessiva di questo sistema.



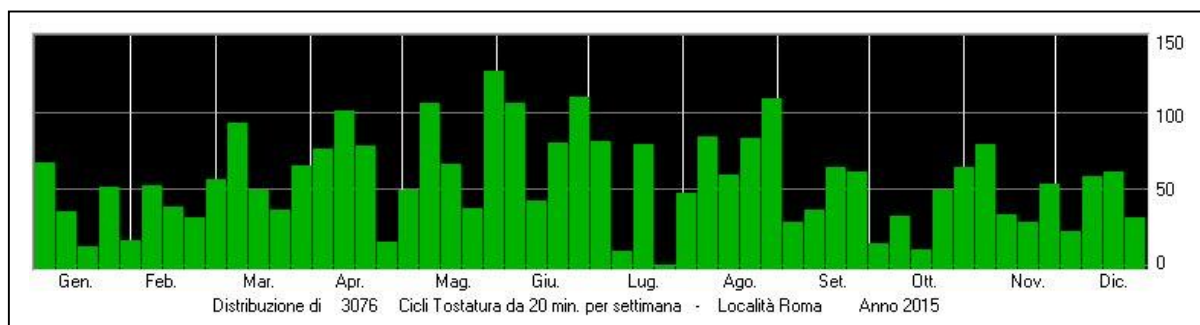
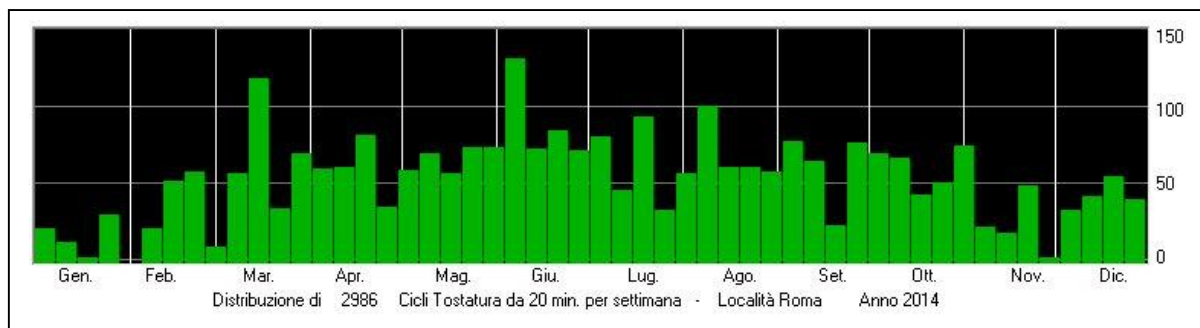
## La produttività

Pur considerando tutti i lati positivi legati all'utilizzo dell'energia solare nel procedimento di tostatura del caffè, è da considerare bene un aspetto critico che invece richiede una speciale organizzazione, cioè quello legato alla discontinuità della disponibilità dell'energia solare stessa.

Per la sua particolarità, il sistema di torrefazione a concentrazione richiede un'illuminazione solare abbastanza costante durante tutta la fase di tostatura. Questo aspetto purtroppo limita l'utilizzo di questa tecnica alle sole giornate in cui sia prevedibile, con una buona attendibilità, un cielo sereno in cui il sole non venga coperto dalle nuvole con troppa frequenza.

E' infatti molto importante che, una volta iniziato il processo di tostatura, questa non venga interrotta nei 5-20 minuti successivi. Il processo di innalzamento della temperatura del caffè in torrefazione deve essere mantenuto sotto controllo e rispettare le tolleranze massime ammesse dal suo profilo di tostatura.

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





Per esempio i due grafici, sopra riportati, ci mostrano il numero di cicli di tostatura che si sarebbero potuti effettuare negli anni 2014 e 2015 nella zona di Roma. Le barre verdi indicano, per ogni settimana dell'anno, i periodi di almeno 20 minuti consecutivi di piena insolazione, e cioè senza alcuna interruzione da nuvole di passaggio.

Naturalmente in funzione del luogo, la formazione e il movimento delle nuvole seguirà regole diverse, così come anche il numero di ore di insolazione cambiano in funzione della latitudine del luogo stesso. In ogni caso quello che possiamo notare, osservando i due grafici relativi alla zona di Roma, è che la distribuzione probabilistica di avere un cielo sereno per almeno 20 minuti, è relativamente costante nell'arco dell'intero anno solare.

Un dato importante che si evince dai grafici, è il numero totale di cicli possibili ogni anno, che nei due casi mostrati, è di circa 3000. Per fare un paragone con una macchina per torrefazione classica che lavora otto ore al giorno a pieno ritmo, una torrefazione solare installata nella zona di Roma lavorerebbe l'equivalente di circa tre ore al giorno.

Fortunatamente questo aspetto critico può essere contenuto dalla capacità del caffè, sia crudo che tostato, di essere stoccato per lunghi periodi nei silos. Una attenta pianificazione stagionale in funzione del luogo in cui viene installato l'impianto, permetterà di ottenere una buona produttività.

Ricordiamo infine che, diversamente da come possa sembrare, l'intensità della radiazione solare in inverno non è molto diversa da quella che si ha in estate. La differenza è solo nella diversa inclinazione con cui la radiazione raggiunge il suolo e del numero di ore giornaliere in cui è fruibile. Questo solo per sottolineare che, a parte la diversa produttività oraria tra i mesi dell'anno, non ci sono sostanziali differenze nella qualità risultato finale.

## Considerazioni economiche

Un impianto industriale di torrefazione ad irraggiamento solare differisce da un impianto di torrefazione classico solo per la macchina di tostatura.

Questa sola differenza, per la particolare natura del processo solare, comporterà però una diversa impostazione di tutto l'impianto.

Sarà infatti necessaria la disponibilità di una superficie esterna aperta e priva di ostacoli e collocata a nord rispetto all'edificio dell'impianto. Questa superficie dedicata al campo solare dovrà essere di dimensioni orientativamente di 12 mq. per ogni Kg. di caffè che si vuole processare ad ogni ciclo di tostatura.

Per fare un esempio concreto, ipotizziamo un impianto di tostatura da 100 kg. per ciclo. In questo caso sarà necessario un campo esterno all'impianto di almeno 1200 mq. per es. 30x40 metri. L'edificio che contiene l'impianto dovrà inoltre essere dotato di un'apertura per l'entrata della luce nella direzione del campo solare adiacente. Il numero di cicli di torrefazione ed i periodi per attuarli, saranno funzione della tipologia delle condizioni meteorologiche del luogo dove è installato, e che quindi dovrà essere scelto con cura.

Tornando al nostro esempio, se ipotizziamo che questo impianto venga realizzato nella zona di Roma, anche solo un utilizzo di 2/3 dei 3000 cicli stimati, si potrebbero effettuare 2000 cicli di tostatura all'anno. Questo corrisponderebbe a 160 tonnellate di caffè tostato tenendo conto anche della perdita di peso rispetto al caffè crudo.

La torrefazione con il sole, se da una parte ne limita la produzione annua, dall'altra ne valorizza sia la qualità e che l'immagine commerciale, permettendo al prodotto finale di essere collocato in una fascia alta di prezzo di vendita. Per es. con un prezzo di 20 Euro al Kg. le 160 ton. prodotte durante l'anno producono un fatturato di oltre 3 Mln. di Euro.

Il valore aggiunto al caffè da questo speciale processo di tostatura dovrebbe compensare ampiamente i maggiori costi di impianto e permettere quindi un rapido ammortamento dello stesso.

Per chiudere queste considerazioni economiche aggiungiamo una indicazione orientativa sul costo della "macchina tostatrice solare". Semplificando possiamo dividere la macchina per tostatura solare in due parti: quella esterna all'edificio, che raccoglie l'energia solare, e quella interna all'edificio, che riceve l'energia termica dall'esterno e la distribuisce uniformemente sui grani di caffè durante la tostatura.

Relativamente all'esempio sopra descritto, il costo del sistema eliostatico a concentrazione solare (la parte esterna e cioè il campo solare), è di circa 1000 Euro per metro quadrato di superficie riflettente, che va moltiplicato per i 300 mq. necessari in questo impianto mentre il costo della "la parte interna" della macchina è poco significativo, essendo solo una piccola frazione del costo del campo solare. Questi costi ci danno un ordine di grandezza della misura dell'investimento che risulta quindi non particolarmente oneroso. Anche per ciò che riguarda la manutenzione possiamo dire che l'impegno per questa tipologia di apparecchiature non discosta da quella di una ordinaria manutenzione di tipo industriale.

## Conclusioni

Un impianto industriale di torrefazione ad irraggiamento solare non è ancora mai stato realizzato. L'esperienza effettuata dall'autore e dai suoi collaboratori sul campo pilota di torrefazione installato quest'anno ha prodotto risultati superiori alle aspettative, cosa che ha incoraggiato a proseguire il percorso intrapreso alla ricerca di una collaborazione per la successiva fase di industrializzazione.

---

Per prenotare una visita dell'impianto pilota, per richiedere ulteriori informazioni è possibile scrivere a [info@dalsole.it](mailto:info@dalsole.it)

Per immagini e filmati è possibile inoltre visitare il sito web [www.dalsole.it](http://www.dalsole.it)

## Ringraziamenti

Nella speranza che questo processo innovativo possa presto divenire un nuovo riferimento per la torrefazione di qualità, l'autore ringrazia tutti coloro che lo hanno sostenuto, collaborato e che hanno creduto in questo obiettivo.

Uno speciale, doveroso e sentito ringraziamento va inoltre agli architetti Maresa Del Bufalo e Luca Del Bufalo che hanno messo a disposizione un meraviglioso sito per l'impianto pilota, collocato nel mezzo di uno dei più bei roseti al mondo.

