

2023

Embu, Kenya

Sottoprodotti della produzione del caffè



ipsia 

Lara Cigognini

Servizio civile IPSIA

14/12/2023

Sommario

Abstract:	2
Introduzione	1
1. Pianta:.....	1
2. Coffea arabica:.....	2
3. Anatomia bacca di caffè	2
4. Processo di produzione del caffè.....	3
5. Prodotti di scarto della produzione:.....	5
6. Applicazioni dei prodotti secondari:.....	5
6.1 Alimentare:	5
6.1.1. Bevande:.....	5
Cascara.....	5
Succhi.....	5
6.1.2. Alimenti:	6
Farina:	6
Marmellata:	7
Gelatina	8
Coffee honey:	8
Purea:.....	8
Yogurt:	8
Cereali:.....	9
Cioccolato:	9
6.2. Cosmetici:	9
6.3 Uso agro-zootecnico:.....	10
6.4 Energia:.....	11
6.4.1 Biocombustibili solidi.....	11
6.4.2 produzione di biocarburanti:.....	11
Bioetanolo:	11
Biodiesel:	13
6.4.3 produzione di biogas:	14
6.4.4. Vantaggi e svantaggi dei biocombustibili:	15
Vantaggi.....	15
Svantaggi	17

Conclusione:	17
Bibliografia:.....	18

Abstract:

L'industria del caffè produce una quantità significativa di residui durante il processo di produzione, tra cui silverskin, parchment, polpa di caffè, bucce di caffè, e acque reflue. Purtroppo, questi sottoprodotti vengono spesso trattati come rifiuti invece di essere utilizzati al massimo delle loro potenzialità. Questo smaltimento improprio dei residui di caffè ha portato a una grave contaminazione del suolo e dell'acqua nell'ambiente circostante.

Una valutazione condotta nella contea di Kiambu ha rivelato diversi fattori che limitano l'uso della buccia e della polpa di caffè a fini energetici e agricoli. Uno dei principali problemi identificati è la mancanza di consapevolezza, sia a livello di cooperativa che di nucleo familiare, del potenziale valore degli scarti della lavorazione del caffè. A livello di azienda agricola, l'87% degli intervistati non era a conoscenza di sistemi energetici alternativi per la cottura e il riscaldamento domestico che potessero usare tali residui. Inoltre, il 56% delle famiglie intervistate non era a conoscenza degli effetti nocivi che gli scarti di lavorazione del caffè possono avere sul terreno nel corso del tempo. Inoltre, il 20% del campione ha espresso perplessità sull'uso del compost ottenuto dai residui di lavorazione caffè, ritenendo che sia dannoso per la produzione vegetale. Molti agricoltori esitano a utilizzare la buccia e la polpa di caffè come compost per paura di una diminuzione della produzione agricola rispetto all'uso di fertilizzanti chimici.¹

Di conseguenza, è fondamentale sviluppare strategie che non solo permettano la valorizzazione del prodotto principale, ma che promuovano anche il riciclo di questi sottoprodotti per creare nuovi prodotti con applicazioni in vari settori biotecnologici, come l'industria alimentare, energetica e cosmetica.

Introduzione

Con una media annua di 5.9 milioni di tonnellate di caffè commercializzato, il caffè si classifica tra le bevande più commercializzate al mondo, se non la prima. I maggiori consumatori sono gli Stati Uniti e l'Europa. Le principali varietà sono l'Arabica e la Robusta. L'arabica, nota per il suo aroma superiore, ha prezzi più alti sul mercato grazie alla sua eccezionale qualità. L'Italia, in qualità di importatore di rilievo, importa oltre 300.000 tonnellate di caffè all'anno. Da sempre, in Italia si predilige la Robusta. Tuttavia, negli ultimi anni si è assistito a un notevole spostamento verso la varietà Arabica, che oggi rappresenta il 52% del totale delle importazioni di caffè del paese.

1. Pianta:

Appartenente alla famiglia delle Rubiaceae e al genere *Coffea*, questa pianta comprende una gamma diversificata di circa 70 specie. Tra queste specie, *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, comunemente nota come robusta, hanno ottenuto un ampio riconoscimento e sono ampiamente coltivate in tutto il mondo. La pianta del caffè ha una forma conica, caratterizzata da rami flessibili e foglie verdi lucide. Verso la fine della stagione delle piogge, i rami si caricano di fiori bianchi che, nel giro di pochi giorni, si trasformano in drupe verdi chiamate ciliegie o bacche. Man mano che questi frutti maturano, sviluppano una ricca colorazione rossa o gialla, a seconda della varietà specifica della pianta. Il processo di fioritura avviene più volte durante l'anno ed è influenzato dall'andamento delle precipitazioni. Di conseguenza, una piantagione di caffè può presentare contemporaneamente bacche a diversi stadi di maturazione. ²



Fig.1: Piante di caffè

2. Coffea arabica:

Il caffè Arabica è la specie di caffè predominante coltivata in tutto il mondo, detiene attualmente una quota significativa del 56% della produzione mondiale di caffè. Inoltre, costituisce la stragrande maggioranza degli acquisti di caffè verde, pari al 91,2%.

La Coffea arabica, una pianta originaria delle regioni sud-occidentali dell'Etiopia, Oromo e Nilotica, o potenzialmente dell'Arabia, è stata coltivata in queste aree e successivamente si è diffusa nelle regioni tropicali di tutto il mondo. Questa particolare pianta prospera nei paesi caratterizzati da un clima caldo e umido, con temperature che oscillano tra i 18 e i 22 gradi Celsius. Idealmente, la temperatura non dovrebbe superare i 20 gradi, poiché il caffè arabica è molto sensibile al gelo e al caldo estremo. Attualmente è coltivato in circa 90 Paesi, con le aree di coltivazione principali comprese tra il Tropico del Cancro e il Tropico del Capricorno.

Nelle regioni subtropicali, le piante di Arabica vengono coltivate in campi aperti, mentre nelle aree tropicali richiedono ombra e protezione dalle correnti d'aria. Per soddisfare questi requisiti, vengono spesso piantate accanto a piante più alte e più voluminose, come il banano, l'avocado e la macadamia, che garantiscono un'ampia ombra. Le piante di Arabica prosperano in terreni ricchi di minerali, in particolare quelli di origine vulcanica, in cui l'altitudine media va dai 900 ai 2.000 metri e le precipitazioni annuali variano tra i 1.200 e i 2.000 millimetri.³

3. Anatomia bacca di caffè

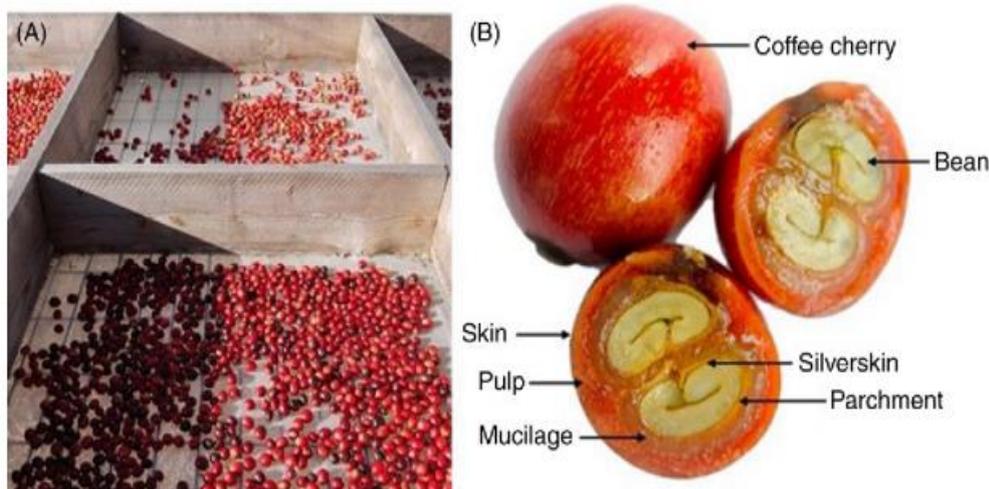


Fig.1: Drupe di Caffè mature e dettaglio della loro anatomia

Il frutto del caffè è composto da cinque strati protettivi che devono essere rimossi per esporre il chicco interno.

Questi strati, disposti dal più esterno al più interno, comprendono la buccia (epicarpo o esocarpo), che è uno strato monocellulare ricoperto da una sostanza cerosa. Il colore della buccia varia a seconda della

varietà di caffè: il Ruiru 11 presenta una vibrante tonalità rossa quando è completamente maturo, mentre le varietà SL mostrano una distinta colorazione rosso scuro o viola a maturazione. Sotto la buccia si trova la polpa (mesocarpo), che comprende una polpa succulenta e, nei frutti maturi, uno strato pectinaceo di mucillagine. Dopo la polpa si trova il parchment (endocarpo/parchment), un sottile rivestimento polisaccaridico. Successivamente, si incontra la buccia argentea (silverskin), che funge da sottile tegumento che avvolge direttamente il seme. Infine, all'interno di questi strati protettivi si trovano due semi di forma ellittica.

4. Processo di produzione del caffè

I frutti del caffè arabica maturano in circa 7-8 mesi e vengono lavorati perlopiù con il procedimento a umido. Una buona qualità di caffè si può ottenere solo quando tutti i frutti (o quasi) vengono raccolti al perfetto stadio di maturazione. Tuttavia, ciò comporta un costo aggiuntivo al processo per cui, durante un raccolto normale, i frutti perfettamente maturi (che dovrebbero costituire la maggioranza) sono spesso raccolti con frutti troppo maturi o, al contrario, con frutti non ancora maturi. In un sistema ad umido più intensivo, vi è una prima selezione delle drupe e le drupe di caffè mature vengono indirizzate a una vasca di flottazione, dopodiché un macchinario (depolpatrice) rimuove la polpa dai chicchi di caffè verdi. Il chicco di caffè ricoperto ancora da uno strato di mucillagine viene lasciato in vasche a fermentare dalle 12 alle 36 ore. La fermentazione viene effettuata utilizzando microrganismi o enzimi esistenti. La comunità microbica durante la fermentazione è composta da batteri lattici, batteri acido acetici, enterobatteri e lieviti. Durante la fermentazione aumenta il numero di batteri lattici come *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Lactobacillus vaccintercus*, *Lactobacillus brevis* e *Lactobacillus plantarum*. I chicchi vengono posti sui letti ad asciugare fino a raggiungere un contenuto di umidità pari o inferiore al 12% p/p. Il parchment e la silverskin vengono poi rimossi durante la macinazione.⁴

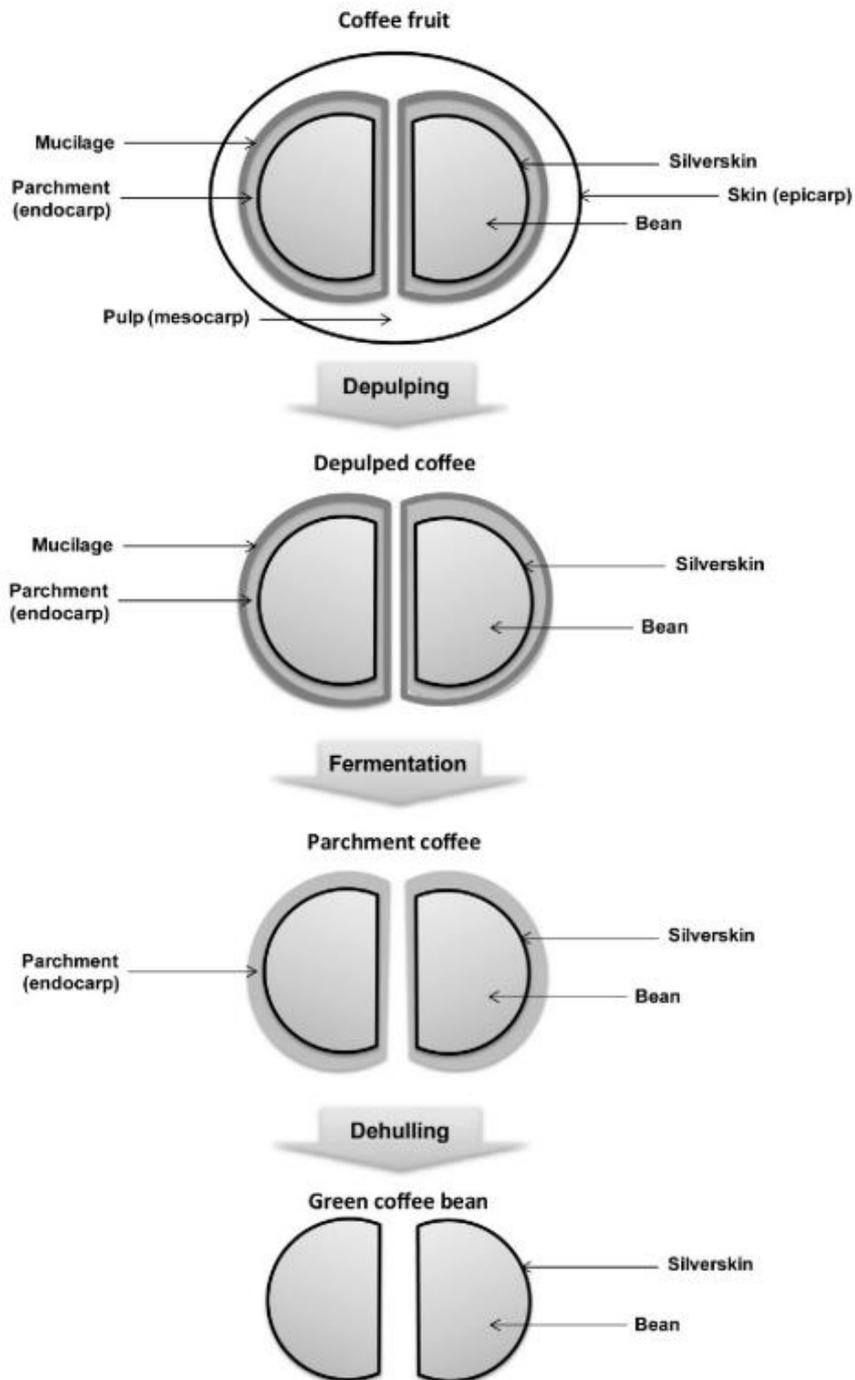


Fig. 3: Rappresentazione schematica del processo di trasformazione del caffè verde

5. Prodotti di scarto della produzione:

La quantità di sottoprodotti del caffè è estremamente elevata, principalmente costituiti da chicchi non maturi di caffè, bucce di caffè, silverskin e parchment.

Gran parte della drupa del caffè è costituita dalla polpa della ciliegia, che tipicamente contiene anche la buccia. Rappresenta circa il 29% della sostanza secca. La polpa della drupa contiene il 4% -12% di proteine, l'1% -2% di lipidi, il 6% -10% di minerali e il 45% -89% dei carboidrati totali ⁵. Il problema da risolvere è la conservazione del prodotto per l'utilizzo, poiché dalla sua raccolta fino alla sua manipolazione e stabilizzazione non possono trascorrere più di 10 ore. Dopo tale tempo, la polpa risulta troppo deteriorata dal normale processo di decomposizione, il problema logistico della movimentazione diventa un punto critico che rende difficile il trattamento efficace di tali sottoprodotti del caffè e il loro reale utilizzo.

La pergama del caffè (parchment) è un materiale lignocellulosico suggerito come bicomponente con attività antiossidante. Recentemente è stato scoperto il potenziale di questo sottoprodotto come fibra alimentare.

La pellicola argentea del caffè forma un sottile tegumento, che avvolge i due chicchi di caffè. Si accumula in grandi quantità come sottoprodotto del processo di tostatura. La silverskin del caffè è composta in gran parte da fibre alimentari (60% -80%). Le componenti fibrose sono cellulosa, emicellulosa e lignina. I principali monosaccaridi contenuti nell'emicellulosa della silverskin del caffè sono xilosio, galattosio, arabinosio e mannosio. Il che conferisce al caffè il potenziale per essere utilizzato come materia prima nello sviluppo di alimenti funzionali.⁵

6. Applicazioni dei prodotti secondari:

6.1 Alimentare:

6.1.1. Bevande:

Cascara

Cascara è una bevanda prodotta dalle bucce essiccate di delle drupe del caffè, è consumata tramite infusione in acqua calda o fredda. Il termine "tè cascara", si riferisce alla parola spagnola per buccia di caffè. La Cascara ha un sapore fruttato, mentre altri la descrivono simile a una tisana alla rosa canina, ibisco, mango o ciliegia. Il tè cascara viene consumato da solo o con spezie, come la cannella. Heeger et al. descrivono che per la produzione di un litro di tè cascara servono 65,6 g di polpa di ciliegia di caffè essiccata e un litro di acqua calda a 90 °C, con un'infusione di 6,5 minuti. La bevanda si miscela poi con 5,7 ml di succo di limone e 71 g di zucchero e pastorizzata dopo l'imbottigliamento. Si ottiene quindi una bevanda molto simile al tè freddo. In origine era noto come Qishr, una bevanda ottenuta dalle parti fermentate risultanti dalla produzione del caffè, utilizzata durante le cerimonie religiose. Oggi il qishr è conosciuto come infuso, preparato con scorze speziate di caffè, zenzero e cannella. Nello Yemen viene spesso usato come bevanda al posto del caffè, perché più economica. ⁴

Succhi

Šelosoda è un frullato di caffè frizzante. È simile al cascara tea, ma ha un sapore molto diverso. Ha un sapore naturale che richiama il miele dolce e il gusto di arancia e spesso si presenta

aggiungendo limone e succo di arancia per migliorare il sapore. La componente frizzante gli conferisce proprietà rinfrescanti ed è nota per rendere bene in combinazione con alcuni alcolici. Questo sottoprodotto del caffè proviene dalla fattoria di caffè Las Lajones a Panama, e viene prodotto nel sud della Germania.⁷

Bai Brands utilizza quello che chiama estratto di superfrutto come ingrediente nelle sue bevande. Il termine “superfrutto” si riferisce alla parte esterna della ciliegia del caffè, nota come buccia di caffè, che contiene antiossidanti e caffeina⁸

Il succo di Hawaiian Coffeeberry è una bevanda contenente le parti esterne della ciliegia del caffè. Questa bevanda contiene la maggior parte dei nutrienti della pianta del caffè e dei polifenoli presenti nel frutto del caffè, che sono acido clorogenico, acido chinico e acido ferulico⁹. Ma l'alto contenuto di fibre alimentari nelle bucce di caffè costituisce un problema per lo sviluppo di bevande. Con una densità maggiore le fibre generano di frequente una bevanda non omogenea con uno strato fibroso sul fondo.

6.1.2. Alimenti:

Farina:

La cascara può aggiungere particolare valore nutrizionale al prodotto da forno con il suo contenuto relativamente elevato di fibre alimentari del 21% (dove la farina di frumento 00 presenta 1-2%) e la vitamina C che contiene. Si discute però se l'inibizione della α -amilasi correlata alle fibre riduca la produzione di glucosio dall'amido e quindi diminuisca anche la digeribilità dell'amido. Nonostante ciò, la farina di Cascara, con le sue proprietà antiossidanti e la sua capacità di ritardare l'assorbimento del glucosio e dei lipidi, potrebbe avere un impatto positivo sulla salute¹⁰.

La farina di polpa di caffè ha inoltre un contenuto di ferro degno di nota sebbene si tratti di ferro trivalente non eme, ovvero la forma meno assimilabile. La cospicua presenza di vitamina C contenuta, permette però di migliorare la biodisponibilità del ferro in questa forma.

Infine, si può dire che anche se i principi bioattivi, sostanze eccitanti quali la caffeina, potrebbero limitare l'applicazione, ci sono possibilità di ridurre queste sostanze: ad esempio tramite l'uso della farina di cascara decaffeinata nella produzione di pane. In alternativa, ci sono metodi più economici per influenzare il contenuto di caffeina come lo scotto¹⁰. L'uso della polpa del caffè come farina è possibile fino a una certa quantità. Nella loro recensione, Iriondo-DeHond et al. hanno affermato che nel pane senza glutine il 3-4,5% può essere sostituito da fibra alimentare di cascara senza un'influenza negativa sulla procedura di cottura e sul risultato sensoriale. Inoltre, il pane ottenuto presenta una maggiore elasticità e il colore della cascara conferisce al pane l'aspetto del pane integrale. Secondo l'esperimento di cottura di Serag El-Din et al. sul pane balady, il pane nazionale egiziano simile nello stile alla focaccia, è possibile aggiungere farina di cascara alla ricetta originale. La ricetta tradizionale consiste in 100 g di farina di frumento, 0,5 g di lievito, 1,5 g di sale da cucina e circa 80 g di acqua. Nella serie sperimentale, il 5%, il 10%, il 15% e il 20% della farina di frumento sono stati sostituiti

rispettivamente con polvere cascara. Oltre all'analisi sensoriale da parte di 15 partecipanti, è stato studiato l'impatto del pane sui livelli lipidici nel sangue dei ratti iperlipidemici.

La valutazione sensoriale mostra che con una sostituzione del 5-10% della farina di frumento, si può cuocere una focaccia che è ancora molto paragonabile all'originale. Con il 15% di polvere di buccia di ciliegie di caffè, il pane balady è ancora valutato buono nel complesso. Con il 20%, c'è stato un forte calo nella valutazione positiva di aspetto, sapore e gusto.

Poiché alcuni paesi africani dipendono dal commercio di cereali con la Russia e l'Ucraina, la possibilità di sostituire fino al 15% della farina di grano in una ricetta di focaccia così facile con poco sforzo tecnico offre possibilità interessanti. Tuttavia, il processo di produzione della farina e il costo del suo utilizzo come sostituto della farina richiedono ulteriori indagini e potrebbero variare notevolmente a seconda del paese di origine e di destinazione. D'altra parte, non comporta costi aggiuntivi per la coltivazione, la cernita e la raccolta. Anche la trasformazione composta da selezione, essiccazione e macinatura non presenta particolari costi e conoscenze tecniche.¹¹

Come fibra alimentare per la formulazione di prodotti da forno è possibile anche usare la silverskin, in particolare nel pane e nei biscotti. I risultati hanno mostrato la fattibilità dell'utilizzo come ingrediente alimentare per ridurre la densità calorica e aumentare il contenuto di fibre alimentari del pane. La silverskin è stata, infatti, utilizzata nella formulazione di una nuova tipologia di biscotti. Le formulazioni dei biscotti sono state progettate utilizzando la stevia come dolcificante e la silverskin come colorante naturale e fonte di fibre alimentari. L'utilizzo della silverskin ne ha migliorati alcuni gli attributi di qualità dei biscotti, come umidità, consistenza, spessore e colore.⁴

Marmellata:

Un'altra possibilità di utilizzare la polpa della drupa del caffè potrebbe essere la produzione di marmellata. Finora, nessuna fonte può essere trovata in letteratura. La definizione ufficiale di marmellata di cui all'allegato I della direttiva 2001/113/CE del Consiglio è la seguente: "marmellata" è una miscela, portata ad un'adeguata consistenza gelificata, di zuccheri, polpa e/o purea di uno o più tipi di frutta e acqua. ... La quantità di polpa e/o purea utilizzata per la fabbricazione di 1000 g di prodotto finito non deve essere inferiore a: 350 g come regola generale".

Secondo questa definizione, è stata sviluppata un'ipotetica ricetta conforme ai requisiti dell'UE per le marmellate e calcolato il contenuto di sostanze bioattive per la valutazione del rischio. Per fare 1000 g di marmellata, sono necessari 350 g di polpa di ciliegia fresca di caffè. Il materiale fresco possiede un contenuto di umidità di circa l'80%. 1 kg di marmellata può contenere quindi circa 399 mg di caffeina. Un barattolo di marmellata disponibile in commercio contiene solitamente 450 g. Ciò corrisponde ad una quantità totale di circa 180 mg di caffeina. Una porzione media di marmellata è di 20 g, che corrisponde a circa 1 cucchiaino e quindi contiene circa 8 mg di caffeina per tale risulta compatibile con il consumo giornaliero.¹²

Gelatina

"La gelatina è una miscela opportunamente gelificata di zuccheri e succo e/o estratti acquosi di uno o più tipi di frutta. La quantità di succhi e/o estratti acquosi utilizzata per la fabbricazione di 1000 g di prodotto finito non deve essere inferiore a quella prevista per la fabbricazione delle marmellate. Queste quantità sono calcolate previa deduzione del peso dell'acqua utilizzata per la preparazione degli estratti acquosi".

La gelatina è fatta di succo, a cui vengono aggiunti zucchero, pectina e un acidificante per consentire la gelificazione. Pertanto, il contenuto di caffeina corrisponde ai valori calcolati per le marmellate. La difficoltà consiste nel fatto che la polpa fresca di caffè deve essere lavorata direttamente dopo la raccolta, poiché i processi di fermentazione iniziano rapidamente. I sapori dominanti sono fruttati, ricordano la prugna e il fico, e dolci, simili al miele, al caramello o allo zucchero di canna.

La procedura non richiede attrezzature particolari e costose e le ricette sono comprensibili e facili da implementare. I coltivatori di caffè devono avere però accesso all'acqua pulita, una fonte di riscaldamento, e limoni come acidificanti e zucchero per la conservazione. Le ciliegie di caffè devono essere riscaldate e pressate subito dopo la spolpatura. La cascara esausta può essere somministrata ai ruminanti perché l'ebollizione estrae i fattori anti-nutrizionali.¹¹

Coffee honey:

Il concentrato di mucillagini è chiamato miele di caffè (per il suo alto contenuto di zuccheri).

La mucillagine del caffè contiene elevate quantità di carboidrati, zuccheri riducenti e non riducenti e pectina (del Castillo et al., 2017). Il processo utilizza enzimi pectolitici per facilitare il rilascio delle mucillagini e degradazione delle pectine. Questo trattamento enzimatico aumenta la stabilità delle mucillagini e il contenuto di composti fenolici.

Successivamente avviene la disidratazione sotto vuoto a 65°C, creando un prodotto con minima perdita di nutrienti, elevata digeribilità e appetibilità.

Il miele di caffè ha una durata di conservazione di almeno sei mesi a una temperatura compresa tra 18 e 30°C.¹³

Purea:

Per la purea, sono stati aggiunti 150 g di acqua, 2,5 g di acido citrico e 47,5 g di saccarosio a 100 g di polpa di ciliegia fresca di caffè. Il che ha prodotto 300 g di purea. Anche in questo caso, ipotizzando una differenza del 70% nel contenuto di umidità tra polpa di ciliegia di caffè fresca e secca, 100 g di polpa fresca corrispondono a 30 g di materiale essiccato.

Di conseguenza, secondo i valori sopra determinati, 300 g di purea trasformata contengono circa 120 mg di caffeina. La purea è per lo più descritta come dolce, con un retrogusto acido, amaro e astringente.¹¹

Yogurt:

Lo yogurt in questione mira a migliorare la salute gastrointestinale e fornire in contemporanea un nuovo sapore con una buona accettazione sensoriale. La nuova formulazione di yogurt

contiene estratto di caffè-cascara (10 mg/ml) e inulina al 3% che è ben tollerata e accettata sensorialmente.

Il novel food in questione (si intendono per novel food tutti quei prodotti e sostanze alimentari privi di storia di consumo “significativo” al 15 maggio 1997 in UE, e che, quindi, devono sottostare ad un'autorizzazione, per valutarne la loro sicurezza, prima della loro immissione in commercio.) consente l'uso dell'indicazione nutrizionale "fonte di fibra alimentare". Lo yogurt può essere incluso nella dieta quotidiana per contribuire all'assunzione di fibra alimentare. Include ingredienti che sono coinvolti nel controllo dell'appetito, quali caffè-cascara e inulina.

Il caffè-cascara ha mostrato proprietà di inibizione della α -glucosidasi, che possono influenzare la regolazione del metabolismo dei carboidrati e migliorare i segnali di sazietà intestinale. D'altra parte, l'inulina è un carboidrato non digeribile, una fibra alimentare, con anch'essa un potenziale ruolo nel controllo dell'appetito. Questo effetto è stato collegato alla fermentazione dell'inulina da parte dei batteri presenti nel colon, con produzione di acidi grassi a catena corta che sono coinvolti nella regolazione degli ormoni intestinali implicati nel controllo della sazietà e dell'appetito. L'inulina è stata ampiamente utilizzata nei prodotti lattiero-caseari come agente texturizzante per migliorare la sensazione palatabile del prodotto, poiché l'interazione con la matrice lattiero-casearia crea una consistenza cremosa paragonabile a quella del grasso. Inoltre, l'aggiunta di inulina ha diminuito la sineresi degli yogurt, ovvero il rilascio di siero dalla matrice del gel che è considerato un difetto tecnologico negli yogurt. Altre motivazioni per l'utilizzo di inulina nell'industria lattiero-casearia sono focalizzate sull'aiutare i consumatori a raggiungere l'assunzione giornaliera di fibre alimentari raccomandata dagli organismi di regolamentazione (25 g di fibra alimentare al giorno).¹⁴

Cereali:

Earnest Eats ha una linea di cereali energizzati che contiene antiossidanti e caffeina naturale ricavata dalla ciliegia del caffè¹⁵.

Ciocolato:

Jcoco, una linea di cioccolato realizzata dalla Seattle Chocolate Company ha per prima realizzato un nuovo prodotto contenente farina di cascara. La barretta di cioccolato presenta note affumicate, agrumate e di frutta tostata. La farina di cascara esalta il profilo aromatico e il valore nutrizionale della nuova barretta. La presenza della bacca di caffè essiccate offre un gusto morbido con una consistenza leggermente granulosa¹⁶.

6.2. Cosmetici:

L'uso di ingredienti naturali a scopo cosmetico ha attirato un'attenzione significativa, grazie alla loro potenziale sicurezza, alle molteplici potenziali azioni biologiche e al rapporto costo-efficacia (Marto et al., 2016). Oltre alla bioattività, i prodotti naturali sono, in generale, considerati non dannosi per l'uomo, non costosi, adatti per essere utilizzati in una vasta gamma di applicazioni e, la maggior parte del tempo, ottenuti da fonti riutilizzabili.

I sottoprodotti del caffè sono sorti come potenziali candidati per sostituire le sostanze chimiche sintetiche come principi attivi nella cura della pelle e formulazioni cosmetiche, poiché sono una ricca fonte di antiossidanti e polifenoli, quale per esempio la caffeina.

Ad esempio, i composti fenolici sono candidati eccellenti per la prevenzione degli effetti nocivi delle radiazioni ultraviolette (UV) sulla pelle. Più specificamente, i flavonoidi hanno un potenziale di fotoprotezione grazie alla loro capacità di assorbimento UV, alla loro capacità di agire come antiossidanti, come agente antinfiammatorio e immunomodulatore. La ricerca sull'uso dei sottoprodotti del caffè come ingredienti cosmetici ha generato diversi documenti sulle strategie di utilizzo dei sottoprodotti alimentari per migliorare le attività dei composti naturali sulla pelle e sui possibili meccanismi riguardanti il processo. Diversi composti bioattivi possono essere ottenuti da by-products del caffè, ma pochi di loro sono stati studiati e incorporati in formulazioni cosmetiche. La silverskin e le bucce di caffè grazie alla presenza di acido clorogenico, acido caffeico e polisaccaridi acidi dimostrano proprietà antiaging. Ma può essere usata anche in formulazioni per la protezione dai danni causati raggi UV in quanto presenta interessanti concentrazioni di composti fenolici, flavonoidi, melanoidine, acido chinico e ferulico. A tale scopo è possibile usare anche bacche difettose.⁴

Presentano inoltre proprietà antimicrobiche (dovuto alla presenza di melanoidine) e di emolliente. Gli emollienti sono idratanti per la pelle. Essi possono contenere una varietà di composti (ad esempio, lipidi) che hanno molteplici azioni come barriera contro l'evaporazione dell'acqua presente nel derma e miglioramento della funzione di barriera cutanea. Questi prodotti possono essere presentati in diverse formulazioni, come creme, lozioni, prodotti da bagno e unguenti.

Il potassio è il principale minerale presente nella silverskin e nelle bucce, seguito da calcio e magnesio. I composti minerali combinati con gli acidi grassi sono correlati con lo stato di idratazione, compattezza e pH dello strato cutaneo.

6.3 Uso agro-zootecnico:

La polpa del caffè è stata suggerita come mangime per animali, quali suini, ma presenta componenti bioattive antinutrizionali. Ha preso quindi il sopravvento il suo utilizzo come fertilizzante ottenuto per compostaggio o per vermicompostaggio.

Il compostaggio è diventato una delle tecnologie più conosciute e accettate per il riciclaggio dei rifiuti agricoli ed è un processo aerobico, nel corso del quale i microrganismi presenti nell'ambiente come batteri, funghi e invertebrati degradano la sostanza organica, traendo così energia per le loro attività metaboliche, liberando prodotti finali come acqua (inizialmente sotto forma di percolato e poi di vapore acqueo), anidride carbonica, sali minerali e infine sostanza organica stabilizzata detta humus. La scelta dei materiali per la preparazione della miscela e le modalità di miscelazione sono fondamentali al fine di ottenere una massa omogenea, che permetta la penetrazione dell'aria in modo da non favorire l'avvio di reazioni degradative di tipo anaerobico, e un giusto rapporto carbonio/azoto. Nella fase termofila iniziale, con temperature che raggiungono i 60 °C, gli zuccheri e altre sostanze facilmente accessibili sono degradate per via aerobica. In questa fase si ha l'eliminazione degli agenti patogeni, la riduzione dei semi delle piante infestanti e un calo della carica microbica. Esaurita la frazione organica più fermentescibile la decomposizione continua con processi più lenti a spese di molecole più complesse. A questo punto il processo entra nella fase di maturazione in cui la temperatura cala al di sotto dei 45°C. Il compost così prodotto dall'industria del caffè ha un rapporto C: N di 14,3 e un'ottima resa come fertilizzante organico.¹⁷

Il vermicompost ottenuto per vermicoltura con la polpa del caffè non è altro che l'allevamento di lombrichi su tale substrato. Il prodotto ottenuto è un importante fertilizzante organico.

6.4 Energia:

6.4.1 Biocombustibili solidi

La bassa densità apparente delle bucce di caffè ne limita l'uso diretto per la combustione nel mercato locale. In effetti, il costo del trasporto e dello stoccaggio delle bucce di caffè e dei fondi di caffè esauriti è troppo elevato per realizzare profitti in caso di esportazione. Quindi, la possibilità economicamente migliore per valorizzare questi sottoprodotti è quella di effettuare la densificazione dopo l'essiccazione quando necessario (umidità superiore al 15% in peso prima della densificazione). Diverse tecnologie possono essere utilizzate per ottenere combustibili ad alta densità dalle bucce di caffè come la pellettizzazione o la bricchettatura.

In via sperimentale si è provato l'ottenimento di pellet dalla pergamena e dalla pellicola argentea.

La "bricchetta" è un'altra forma di combustibile che può essere prodotta dai sottoprodotti del caffè, che è più destinata al mercato domestico.

I materiali carbonizzati sono stati macinati in particelle fini e mescolati con un legante nel rapporto di 3:1, cioè ogni tre kg di materiale carbonizzato macinato è stato mescolato con un kg di legante. I leganti combustibili sono preparati con resine naturali o sintetiche, letame animale o fanghi di depurazione trattati e disidratati. La miscela è trasformata in "briquettes" utilizzando un estrusore. Infine, i "briquettes" sono poste su un supporto adatto per l'essiccazione al sole.

I "briquettes" di buccia di caffè sono stati sviluppati principalmente nei paesi del Sud America (Brasile, Costa Rica) ⁴.

Ma entrambi nonostante il basso prezzo della materia prima, non presentano grandi prestazioni dovuto al contenuto di minerali e componente chimica che compromettono la combustione.

6.4.2 produzione di biocarburanti:

Bioetanolo:



Il bioetanolo di prima generazione viene solitamente prodotto da colture alimentari, come mais e canna da zucchero, attraverso fasi di pretrattamento, idrolisi e fermentazione. Tuttavia, l'uso eccessivo di queste materie prime desta preoccupazioni economiche sulla concorrenza tra la produzione di carburante e di colture alimentari. Pertanto, nella seconda generazione per ridurre il costo del processo di conversione della

biomassa in bioetanolo, sono necessarie fonti di biomassa lignocellulosica non alimentare, economiche e abbondanti, come i residui della lavorazione agroalimentare.

I residui della lavorazione del caffè rappresentano un potenziale promettente come materie prime sostenibili e a basso costo per la produzione di bioetanolo. Tuttavia, un maggiore grado di complessità, legato alle caratteristiche e alla variabilità della composizione dei residui di lavorazione del caffè, rappresenta un fattore limitante. La presenza di lignina limita la conversione della cellulosa e emicellulosa in forme più semplici ed è necessaria la sua riduzione.

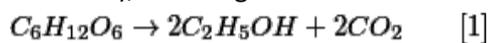
Gli step che la biomassa deve seguire sono quindi un iniziale pretrattamento, idrolisi dei polisaccaridi di cellulosa ed emicellulosa, la fermentazione alcolica e una successiva purificazione.

Per il pretrattamento sono stati proposti vari pretrattamenti tra cui l'idrolisi acida, vapore ad alta pressione e il trattamento con alcali (NaOH). Il pretrattamento ha lo scopo di rimuovere la lignina e aumentare la velocità di produzione e la resa totale di zuccheri fermentabili durante la fase di idrolisi. (Choi et al., 2012)

La saccharificazione o idrolisi scompone i polimeri di cellulosa ed emicellulosa per aumentare il contenuto di zucchero nella biomassa lignocellulosica. Menezes et al., 2014 hanno selezionato l'enzima commerciale Celluclast 1.5 L (Novozymes, Brasile) per l'idrolisi della polpa del caffè a 50°C per 72 ore. Hanno riscontrato che una conversione del glucosio variava tra 9,62 e 27,02 g/L a seconda della concentrazione della sostanza alcalina durante la fase di pretrattamento.¹⁸

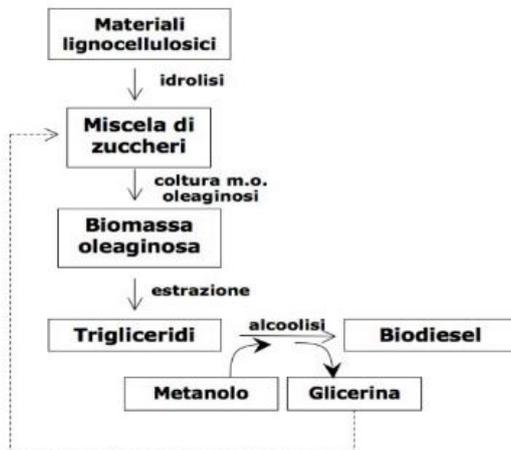
Batteri, funghi e lieviti vengono generalmente utilizzati durante la fase di fermentazione delle biomasse. Il lievito specifico *Saccharomyces cerevisiae*, noto anche come lievito di birra, è stato comunemente utilizzato per fermentare il glucosio derivato dai residui della lavorazione del caffè in bioetanolo. La produzione di bioetanolo di II generazione si realizza coltivando i lieviti in condizioni anaerobiche nelle miscele di zuccheri ottenute dall'idrolisi dei materiali lignocellulosici.

Queste miscele contengono sia zuccheri esosi (glucosio, mannosio, galattosio) che pentosi (xilosio e arabinosio), che vengono convertiti in etanolo secondo le reazioni seguenti:



Gli zuccheri pentosi vengono metabolizzati da pochi microrganismi (*Escherichia coli*, *Thermoanaerobacter mathranii*, *Zymomonas Mobilis*), che sono poco efficienti nella metabolizzazione degli esosi. Di conseguenza, è consigliabile utilizzare colture miste e non una coltura di *Saccharomyces cerevisiae* pura.

Biodiesel:



Il biodiesel è un combustibile liquido alternativo che ha guadagnato popolarità in tutto il mondo per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili nel settore dei trasporti e per aumentare l'utilizzo di energia rinnovabile. Negli ultimi dieci anni, la produzione di biodiesel da oli vegetali è stata sempre favorita dalla loro natura ecofriendly, così come dalla loro facilità di movimentazione e stoccaggio. Tuttavia, il costo di produzione del biodiesel è attualmente superiore a quello dei combustibili fossili, il che limita la loro diffusione a varie applicazioni. La causa principale è attribuita al costo delle materie prime per il biodiesel, che incoraggia l'esplorazione di materie prime economiche e adatte.

Si ottiene dal processo di transesterificazione dell'olio ottenuto per estrazione dal caffè esausto. In alternativa è possibile usare gli zuccheri ottenuti dall'idrolisi dei materiali lignocellulosici per la coltivazione di microrganismi oleaginosi (batteri, lieviti o microalghe) capaci di accumulare una frazione di lipidi (quasi tutti trigliceridi) pari a oltre il 20% della biomassa, che vengono utilizzati per produrre i cosiddetti single-cell oils (SCO). Gli SCO, ottenibili con efficienza maggiore rispetto a quella delle piante oleaginose, hanno composizione simile a quella degli oli vegetali, e possono essere usati per produrre biodiesel di II generazione mediante alcolisi. I lieviti oleaginosi hanno esigenze colturali semplici. Producono lipidi in condizioni aerobiche in terreni di coltura con un alto rapporto C/N (>60).¹⁷

La trans-esterificazione, una reazione chimica catalizzata che coinvolge oli e alcol per dare esteri alchilici di acidi grassi (biodiesel) e 1,2,3- propantriolo (Glicerolo). La reazione coinvolge trigliceridi costituiti da tre lunghe catene di acidi grassi che reagiscono con il metanolo per dare come prodotto esteri metilici di acidi grassi (FAME) e come co-prodotto glicerolo. Gli oli vegetali sono esteri dell'1,2,3-propantriolo contenenti una lunga catena di acidi grassi costituita da 10-22 atomi di carbonio; essi vengono riscaldati in presenza di un alcol, in genere il metanolo (composto tossico), in una soluzione alcalina.

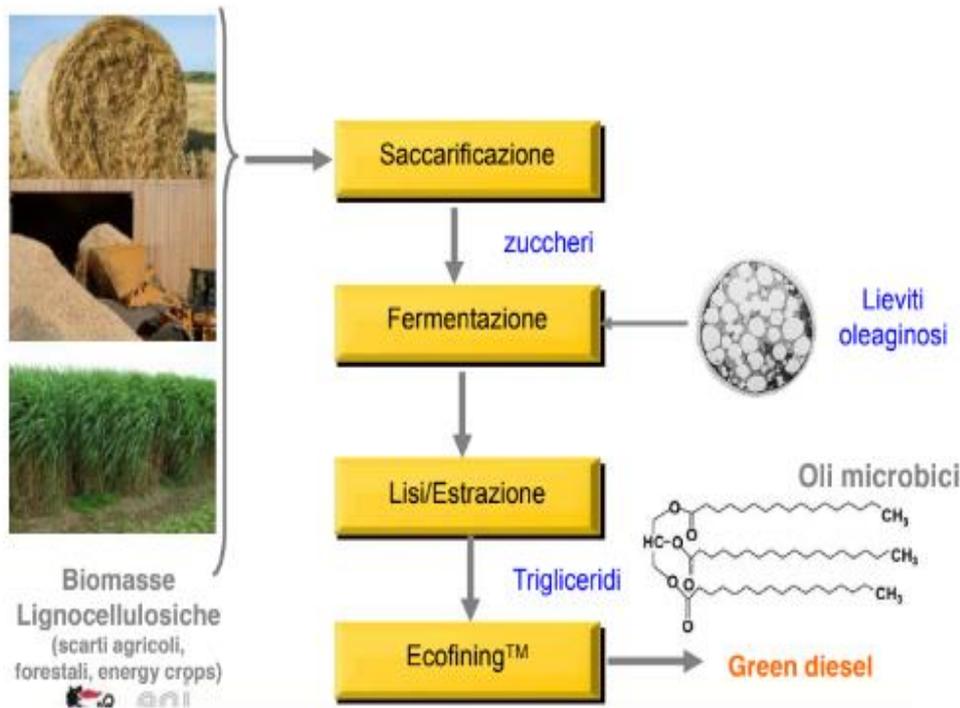


Fig. 4: Impianto pilota, Istituto Eni Donegani Novara

6.4.3 produzione di biogas:

Sebbene sia comune in alcuni paesi come Brasile, Costa Rica e Vietnam, il biogas ricavato dalla polpa di caffè non è molto diffuso in Kenya a causa dei dispendiosi costi di installazione, stimati in oltre 600 dollari per unità.¹ La polpa del caffè può essere usata come materia prima per la produzione di biogas grazie all'alto contenuto in cellulosa e emicellulosa. Ma l'alto contenuto in lignina, poco digeribile e la caffeina e tannini inibiscono la crescita e quindi l'azione della coltura microbica.

È necessario un pretrattamento con perossido di idrogeno alcalino (AHP) seguito dal pretrattamento con liquido ruminale per rimuovere tali composti e migliorare la digeribilità del substrato. I metodi di pretrattamento presentano vantaggi e svantaggi e il loro uso eccessivo può ridurre la resa in metano. Inoltre, la digestione anaerobica può essere influenzata da vari parametri operativi come la temperatura, il pH iniziale, il rapporto inoculo/substrato, il rapporto carbonio/azoto (C/N), gli oligoelementi e la dimensione delle particelle della materia prima.

Il rapporto carbonio/azoto della buccia del caffè è 93,49 e una quantità elevata di rapporto carbonio/azoto diminuisce la resa in metano. Esiste la potenzialità di aumentare la resa di biogas da biomassa lignocellulosica ad alto rapporto C/N attraverso la co-digestione con biomassa a basso rapporto C/N, bilanciando, quindi, il rapporto carbonio-azoto con rifiuti animali.¹⁸

Nello specifico lo studio condotto da T Widjaja et al. è stato condotto a 37 °C con un reattore anaerobico semicontinuo con HRT 20, 25, 30 per 35 giorni e con un volume di 1,5 L. In questo studio, il pretrattamento con AHP ha portato al 75% di rimozione della lignina, al 57,76% di rimozione della caffeina e a una

diminuzione del tannino fino allo 0,54%. La massima resa di metano ottenuta in questo studio è stata di 0,24 L CH₄ g VS⁻¹.¹⁹

Il biogas è una miscela di metano e biossido di carbonio 50/70% usato come tale come combustibile. È ottenuto da digestione anaerobica, in quanto il processo di digestione anaerobica (AD) è una delle opzioni raccomandate per la valorizzazione energetica dei rifiuti ad alto contenuto di umidità come cibo, residui organici. Il processo consiste in tre fasi:

Si ottengono monomeri zuccheri dalla cellulosa e dall’emicellulosa grazie alle cellulasi dei microorganismi, quindi si avvia una fermentazione acida, che produce acidi, anidride carbonica e idrogeno, seguita da una fase metanigena, nella quale i batteri archea catturano la CO₂ e la convertono in metano. Il processo di produzione di biogas genera anche un altro prodotto, il digestato, ricco in azoto ammoniacale, che può essere utilizzato come fertilizzante.



Fig.5: Waste-to-energy: Biogas potential of waste from coffee production and consumption

6.4.4. Vantaggi e svantaggi dei biocombustibili:

Vantaggi

- Sono fonti rinnovabili: la loro produzione e utilizzo generano basse emissioni di gas. Sono carbon-neutral in quanto la quantità di anidride carbonica che emettono durante la combustione è uguale a quella assorbita durante la fotosintesi.



- minor rilascio di inquinanti atmosferici:

Sebbene il calcolo corretto dei benefici ambientali, in termini di riduzione delle emissioni inquinanti, derivanti dall'utilizzo del biodiesel sia particolarmente complesso e dipenda da diversi fattori (tipo di motori, condizioni di utilizzo, composizione qualitativa dei carburanti, ecc.), ci sono molti vantaggi rispetto al diesel derivato dal petrolio elencati di seguito:

Proprietà	Bio-olio da liquefazione	Heavy fuel oil
Contenuto H ₂ O %	0,16	0,1
Densità kg/l:	0,94	0,9
Viscosità (50°C) cp:	180	185
Composizione %:		
C	74-76	83-86
H	8	11
O	16	1
N	3-4	>1
S	>0,1	>4
Potere calorifico (MJ/kg)	32-35	40

Tab. 1: Comparazione proprietà e emissioni dei biocarburanti e dei carburanti tradizionali

1. Riduzione delle emissioni di particolato: Il biodiesel ha una minore quantità di particolato rispetto al diesel tradizionale, contribuendo a migliorare la qualità dell'aria e a ridurre l'impatto sulla salute umana.
2. Minore emissione di ossidi di azoto: L'utilizzo di biodiesel può ridurre le emissioni di ossidi di azoto, che sono responsabili dell'inquinamento atmosferico.
3. Bassa emissione di composti organici volatili: Il biodiesel ha una minore quantità di composti organici volatili rispetto al diesel tradizionale, contribuendo a migliorare la qualità dell'aria.
4. Minore emissione di zolfo: Il biodiesel ha un contenuto di zolfo molto basso o addirittura nullo, a differenza del diesel derivato dal petrolio che può contenere elevate quantità di questo inquinante.
5. Riduzione dell'impatto sull'effetto serra: L'utilizzo del biodiesel contribuisce a ridurre l'emissione di gas serra, come il biossido di carbonio, che sono responsabili del cambiamento climatico.
6. Non contiene benzene o altri componenti cancerogeni, quali idrocarburi policiclici aromatici (PAH), che sono componenti estremamente dannosi per l'uomo, con effetti citotossici, cancerogeni, mutagenici e respiratori cronici
7. Possiede un alto potere lubrificante e diminuisce l'usura del motore.
8. Presenta un elevato punto d'inflammabilità (>1100°C), per cui non è classificato come materiale pericoloso ed è facile e sicuro da utilizzare.
9. Non contiene metalli pesanti quali cadmio, piombo e vanadio

- possono sostituire combustibili importanti come il petrolio se provengono da coltivazioni presenti nello stesso territorio in cui sono utilizzati

- Costituiscono un potenziale concorrente per i combustibili fossili

Svantaggi

- La conversione della biomassa in biocombustibili richiede una spesa energetica rilevante.
- Il disboscamento delle foreste per liberare nuovo terreno coltivabile, con produzione di biossido di carbonio durante la combustione degli alberi.
- L'utilizzo di terreni destinati all'agricoltura per la conversione alla coltivazione di biomasse, spesso queste biomasse appartengono anche al settore alimentare, per cui la diffusione dei biocarburanti potrebbe incidere pesantemente sul mercato alimentare. Per evitare una tale pericolosa competizione si stanno sviluppando altri processi, detti di seconda generazione incentrati sull'uso degli scarti, e di terza generazione.
- Utilizzo di prodotti chimici concentrati che se rilasciati nell'ambiente circostante possono creare notevoli danni ambientali
- Utilizzo di composti pericolosi per l'uomo come il metanolo

Conclusione:

Il potenziale di tali prodotti secondari della lavorazione del caffè rimane in gran parte poco sfruttato. Questi sottoprodotti possono essere efficacemente riutilizzati in una varietà di cibi e bevande, riducendo così in modo significativo la produzione di rifiuti e promuovendo pratiche sostenibili nella lavorazione del caffè. Inoltre, questi materiali di scarto sono ricchi di composti bioattivi, tra cui antiossidanti, caffeina e acidi grassi, che offrono ottime opportunità per esplorarne nuove applicazioni. Una di queste aree di interesse è il campo dei cosmetici, dove, dopo rigorosi test di sicurezza e stabilità, questi composti bioattivi possono potenzialmente offrire preziosi benefici e funzionalità alla pelle. Inoltre, questa ricerca ha messo in evidenza l'alto potenziale dell'utilizzo dei sottoprodotti del caffè come fonte di energia a basso impatto ambientale, contribuendo ulteriormente all'impegno generale per la sostenibilità. Queste diverse applicazioni dei residui del caffè non solo contribuiscono a ridurre l'inquinamento ambientale e a fare un passo avanti verso una maggiore sostenibilità, ma aprono anche nuove strade per l'espansione del commercio per i coltivatori di caffè.

Bibliografia:

¹ <http://ir-library.ku.ac.ke/handle/123456789/6589>

² Master of Food, il gusto di saperne ancora di più: Caffè il compendio generale- Slow Food Italia

³ <https://antropocene.it/2020/10/08/coffee-arabica/>

⁴ Handbook of Coffee Processing By-Products Sustainable Applications by Charis M. Galanakis Research & Innovation Department Galanakis Laboratories Chania, Greece

⁵ [Verónica Alejandra Bonilla-Hermosa; Whasley Ferreira Duarte; Rosane Freitas Schwan; Utilization of coffee by-products obtained from semi-washed process for production of value-added compounds. Bioresource Technology 2014, 166, 142-150, 10.1016/j.biortech.2014.05.031](#)

⁶ <https://encyclopedia.pub/entry/933>

⁷ <https://sprudge.com/selosoda-a-sparkling-coffee-cherry-fizz-from-berlin-88254.html>

⁸ <http://www.drinkbai.com/>

⁹ <https://www.konared.com/>

¹⁰ [Forum di biologia e scienze della vita | Testo completo gratuito | Indagine comparativa sul caffè Cascara da metodi secchi e umidi: proprietà chimiche e funzionali \(mdpi.com\)](#)

¹¹ [Molecules | Free Full-Text | Risk Assessment of Coffee Cherry \(Cascara\) Fruit Products for Flour Replacement and Other Alternative Food Uses \(mdpi.com\)](#)

¹² <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/23/8435>

¹³ <https://patents.google.com/patent/US9635877B2/en>

¹⁴ [Nutrients | Free Full-Text | Sensory Acceptance, Appetite Control and Gastrointestinal Tolerance of Yogurts Containing Coffee-Cascara Extract and Inulin \(mdpi.com\)](#)

¹⁵ <http://www.earnesteats.com/product/a-m-trail-mix-energized-hot-cereal/>

¹⁶ <http://www.jcoco-chocolate.com/arabicacherry>

¹⁷ <https://tesi.univpm.it/bitstream/20.500.12075/5469/1/CARATTERIZZAZIONE%20DI%20SUOLO%20AGRARIO%20AMMENDATO%20CON%20DIFFERENTI%20COMPOSTS.pdf>

¹⁸ <https://doi.org/10.1007/s40243-022-00209-0>

¹⁹ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/673/1/012003/pdf>

Altri materiali usati durante la scrittura della ricerca:

[Molecules | Free Full-Text | Effect of Coffee Cascara Dietary Fiber on the Physicochemical, Nutritional and Sensory Properties of a Gluten-Free Bread Formulation \(mdpi.com\)](#)

Project co-funded by



Caffè Corretto – Right coffee: Development of sustainable, inclusive and innovative coffee value chain.
AID 012590/07/9

CELIM Headquarter in Kenya: JRS EAR compound,
Gitanga Road, Nairobi | kenya@celim.it



[Foods | Free Full-Text | Assessment of Healthy and Harmful Maillard Reaction Products in a Novel Coffee Cascara Beverage: Melanoidins and Acrylamide \(mdpi.com\)](#)

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-1068-8_1

https://www.researchgate.net/publication/222538545_Biotechnological_potential_of_coffee_pulp_and_coffee_husk_for_bioprocesses

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122399003716>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344912000894>

https://pages.uoregon.edu/chendon/coffee_literature/2018%20Res.%20Conserv.,%20Recycle,%20Chemistry%20of%20value%20added%20products%20--%20a%20review%20with%20a%20biofuel%20focus.pdf

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095175000310>

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15428052.2023.2199683>

<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2022.7085>

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15428052.2023.2199683?journalCode=wcsc20>