



a.s. 2023/2024

“END OF WASTE” DEL MESOCARPO DELLA NOCE DI COCCO



*Ricerca realizzata da Pieretti Alessio,
Garofoli Amanda e Lenti Emma
corso Biotecnologie Ambientali Istituto
Istruzione Superiore “G. Galilei” di Jesi (AN)
Coordinatori del progetto:
prof. Loroni Massimiliano
prof.ssa Antonelli Milva*

INDICE

	Pag.
- Introduzione	2
- Palma da cocco - cocos nucifera	2
- L'idea progettuale	2
- Caratteristiche ed usi attuali del mesocarpo	3
- Prove sperimentali sul mesocarpo	3
- I tannini: proprietà ed utilizzo	4
- Estrazione dei tannini dal mesocarpo del cocco: identificazione e quantificazione	5
- Utilizzo della fibra di cocco dopo estrazione dei tannini	7
- Studio e progettazione di un impianto industriale per l'estrazione dei tannini e la produzione di fibra di cocco arricchita di cationi calcio e magnesio per il comparto agricolo	8
-	
- Valutazione impatto CO ₂ delle fibre di cocco tramite LCA	10
- Conclusioni	11
- Bibliografia/Sitografia	11
- Allegati:	
- scheda analisi 1 (verifica adsorbimento metalli pesanti)	12
- scheda analisi 2 (utilizzo fibra di cocco per addolcimento acqua)	13
- scheda analisi 3 (estrazione e quantificazione dei tannini)	14
- scheda analisi 4 (quantificazione della capacità di adsorbimento di Ca ⁺⁺ e/o Mg ⁺⁺ nei terreni arricchiti con fibra di cocco trattata)	17
- scheda analisi 5 (quantificazione della capacità di adsorbire Ca ⁺⁺ e/o Mg ⁺⁺ della fibra di cocco trattata)	18

INTRODUZIONE

La lavorazione degli alimenti genera elevate quantità di residui che, nella maggior parte dei casi, vengono eliminati direttamente come prodotti di scarto. Oggi c'è una crescente richiesta di un'industria alimentare sostenibile che riduca gli effetti di contaminazione dei propri scarti e ne aumenti il valore trasformandoli in utili prodotti secondari o in materie prime per altre industrie.

Il cocco, scientificamente noto come *Cocos nucifera*, rappresenta una pianta tropicale rinomata per la sua eccezionale versatilità e i molteplici benefici che offre all'umanità. Originaria delle regioni tropicali dell'Asia e dell'Oceano Pacifico, questa pianta ha una lunga e ricca storia d'uso che spazia dall'alimentazione alla costruzione, dall'industria cosmetica all'agricoltura.

PALMA DA COCCO - COCOS NUCIFERA

La produzione di cocco è diffusa in molte regioni tropicali, con una notevole concentrazione di coltivazioni in paesi come l'Indonesia, le Filippine, l'India e lo Sri Lanka. Questi paesi costituiscono una parte significativa della produzione mondiale di cocco apportando all'incirca 61 milioni di tonnellate (dato aggiornato al 2020 dalla *Food and Agriculture Organization*, FAO, delle nazioni unite). Tuttavia, questa pianta è presente in quasi tutte le località tropicali del globo ed è comune trovarla sulle spiagge.



Struttura del frutto della *Cocos nucifera*

Dal frutto della noce di cocco oggi si ricava principalmente l'endosperma (4), che è una risorsa naturale ricca, costituita da acqua, grassi, carboidrati e fibre, oltre a contenere vitamine, minerali e antiossidanti. Questa polpa bianca oleosa commestibile da cui si ricava la farina di cocco, rappresenta però solo una minima parte (circa 10%) della noce. Il mesocarpo (2), composto da fibre, costituisce gran parte dell'intero frutto (circa 80%), è il principale sottoprodotto delle industrie del cocco ed è spesso trascurato a tal punto da essere bruciato o disperso nell'ambiente, nonostante il suo grande potenziale.

L'IDEA PROGETTUALE

Ad Alessio si deve l'idea di studiare ed approfondire il riutilizzo sostenibile degli scarti di produzione delle noci di cocco, infatti durante un viaggio studio in Costa Rica, situata in America Centrale, si è accorto di una pratica abituale dei nativi, ovvero incenerire le noci dopo il consumo dei turisti. A loro volta, Emma e Amanda, durante un progetto Erasmus all'isola della Réunion, situata nell'oceano Indiano, hanno osservato una gestione poco attenta delle noci di cocco, che spesso venivano disperse nell'ambiente in discarica a cielo aperto. Durante una lezione di Chimica Ambientale, discutendo di sviluppo sostenibile e degli obiettivi posti dall'UE, è emerso il problema della gestione poco attenta degli scarti delle noci di cocco nel mondo. Si è quindi deciso di effettuare una ricerca bibliografica per approfondire la struttura della noce e la situazione della ricerca

scientifica mondiale riguardo il cocco ed i suoi utilizzi in campo industriale. L'obiettivo di questo lavoro è stato quindi quello di individuare un possibile utilizzo della fibra di cocco (oltre quanto già noto) con lo scopo di ottenere sottoprodotti riutilizzabili in altri settori e minimizzare gli scarti da inviare a smaltimento trasformando il rifiuto in una risorsa, in linea con le direttive europee riguardo il concetto di Lyfe Cycle Assesment e la gerarchia della gestione dei rifiuti (direttiva 2008/98/CE del 19 novembre 2008).

In pratica individuare un processo *End of Waste*, ovvero la *Cessazione della qualifica di rifiuto*, da applicare allo "scarto" della lavorazione della noce di cocco.

CARATTERISTICHE ED USI ATTUALI DEL MESOCARPO

Il mesocarpo è costituito interamente da fibre naturali con ottime proprietà, tra le quali:

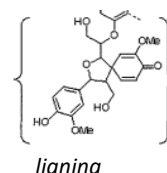
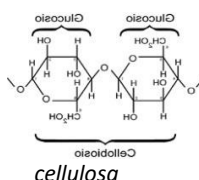
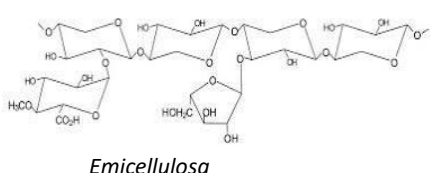
- **Resistenza e durabilità:** le fibre di cocco sono resistenti e durevoli, adatte quindi ad essere utilizzate per prodotti che richiedono robustezza, come ad esempio tappeti e corde;
- **Biodegradabilità:** le fibre di cocco sono di origine naturale e di conseguenza biodegradabili, non apportano danni agli organismi vegetali e animali;
- **Assorbimento di umidità:** le fibre di cocco hanno la capacità di assorbire l'umidità contribuendo a mantenere gli ambienti più asciutti e freschi;
- **Resistenza agli agenti biologici:** le fibre di cocco sono naturalmente resistenti agli attacchi di funghi, batteri e insetti, grazie a composti come i tannini contenuti nelle fibre del mesocarpo;
- **Isolamento acustico e termico:** grazie alla loro struttura fibrosa, le fibre di cocco sono adatte per comporre materiali isolanti;
- **Leggerezza:** nonostante la loro resistenza, le fibre di cocco risultano leggere, hanno una densità che si aggira tra 0,05-0,12 g/cm³;
- **Flessibilità:** le fibre di cocco risultano flessibili e possono essere intrecciate o tessute.

Il mesocarpo è costituito da composti come: lignina, cellulosa, emicellulosa, pectina e acqua in diverse concentrazioni da frutto a frutto. Nelle fibre di cocco in media troviamo:

No	Components	Coir	Fiber	Wood
1	Lignin (%)	29.23	45.84	25-30
2	Cellulose (%)	21.07	43.44	40-50
3	Hemicellulose (%)	8.50	0.25	20-30
4	Pectin (%)	14.25	3.00	
5	Water (%)	26.00	5.25	

"Physical and mechanical properties of binderless medium density fiberboard (MDF) from coconut fiber"

Alcuni studi scientifici hanno evidenziato come la struttura chimica polare delle unità monomeriche che costituiscono l'emicellulosa, la cellulosa e la lignina impartiscono alla fibra di cocco la capacità di adsorbire metalli pesanti in soluzione, in particolare si è riscontrata un'elevata capacità di adsorbimento verso i cationi bivalenti.



Si stanno sperimentando soluzioni per trattare reflui inquinati da metalli come piombo (Pb), cadmio (Cd) ed altri metalli pesanti.

PROVE SPERIMENTALI SUL MESOCARPO

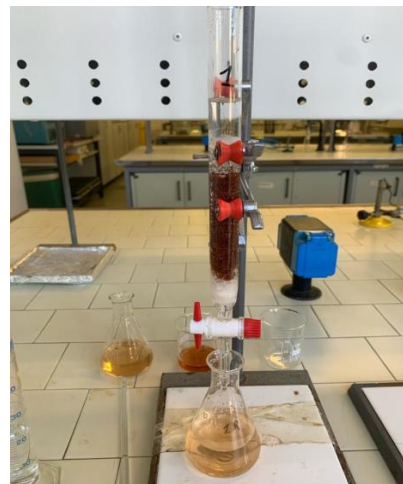
Per la verifica dei dati di lettura sono iniziate le prime prove di laboratorio sperimentando e verificando quanto e come tali cationi si legano con le fibre. Nello specifico, si sono analizzate tramite spettrofotometria di assorbimento atomico con fornello di grafite soluzioni di piombo

bivalente poste a contatto con fibra di cocco (trattata con acqua ultra pura ed essiccata). I risultati strumentali hanno confermato una elevata capacità di adsorbimento (scheda analisi 1 in allegato). La capacità di legare cationi bivalenti può essere utilizzata per abbassare la concentrazione di Ca^{2+} e Mg^{2+} nelle acque, diminuendo quindi la durezza. Si è pensato quindi di realizzare un filtro per l'addolcimento delle acque composto da fibre di cocco triturate e pressate. Le prove di laboratorio (scheda analisi 2 in allegato) realizzate facendo percolare acqua di rubinetto su colonna impaccata con fibra di cocco triturata ha riscontrato una capacità di riduzione della durezza di circa 10/15 °F con un rapporto acqua/fibra di 100l/Kg.

L'utilizzo della fibra di cocco per ridurre la durezza dell'acqua ha evidenziato però la cessione di sostanze che impartiscono all'acqua un colore tendente all'arancione/marrone che rende questo utilizzo non applicabile per addolcire l'acqua per uso domestico.

Ricercando in letteratura scientifica si è ipotizzato la cessione in acqua di composti di cui molti frutti sono ricchi e cioè i tannini, una classe di composti polifenolici. Da qui si sono approfonditi tali composti e si sono determinati qualitativamente e quantitativamente i tannini estraibili dalle fibre di cocco.

Per ultimo si è ipotizzata una possibile industrializzazione del processo di estrazione dei tannini dalla fibra di cocco ed anche un successivo arricchimento con calcio e magnesio della fibra di risulta dal processo per la produzione di un substrato arricchito di macronutrienti da utilizzare in campo agricolo in sostituzione della torba.



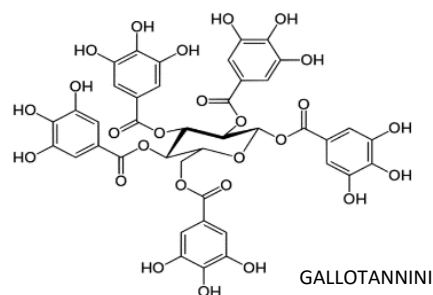
I TANNINI: CARATTERISTICHE ED UTILIZZI

I tannini sono una classe di composti polifenolici che si trovano in diverse piante, inclusi molti tipi di frutta, noci, semi, foglie e cortecce di alberi. Hanno diverse funzioni nelle piante, tra cui la difesa contro parassiti, funghi, batteri e insetti, quindi prevengono le malattie correlate.

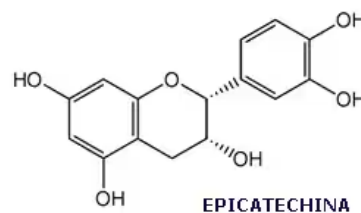
I più comuni sono di certo i tannini contenuti nell'uva, di cui il vino è ricco. Questi sono noti per le loro proprietà astringenti, che possono essere percepite come una sensazione di secchezza in bocca, dando il classico sapore al vino.

Esistono due tipologie principali di tannini:

- **Tannini idrolizzabili** (o tannini ellagici e gallotannini): sono costituiti da un poliolo, generalmente D-glucosio, i cui gruppi idrossilici sono parzialmente o totalmente esterificati con acido gallico. Sono più comuni nelle foglie e nella corteccia degli alberi. A differenza dei tannini condensati, i tannini idrolizzabili possono essere scomposti dagli enzimi e dagli acidi presenti nell'ambiente rilasciando acidi gallico o ellagici.



- **Tannini condensati** o catechinici sono polimeri di molecole più complesse, C6-C3-C6, e la loro unità monomerica è la catechina, che ha la stessa formula C6-C3-C6 dei flavonoidi. Si trovano spesso nelle bucce di frutta, vinacce di uva, semi, e altri tessuti vegetali. Sono noti per la loro capacità di far precipitare le proteine, causando la coagulazione di quelle presenti negli alimenti o nei tessuti biologici. Questa capacità è alla base delle proprietà astringenti dei tannini.



Oggi i tannini sono studiati e ricercati dalla branca della “Green Chemistry” per le loro ottime qualità e proprietà. Sono usati in particolare in:

- **Industria conciaria:** vengono impiegati per conciare pelli e cuoi, trasformandoli in materiali resistenti, duraturi.
- **Industria alimentare e bevande:** si trovano in bevande come il vino, il tè, il caffè e alcuni frutti, contribuiscono ai loro sapori e alla loro struttura. Inoltre, vengono talvolta utilizzati come additivi alimentari o per la chiarificazione delle bevande.
- **Industria farmaceutica:** sono studiati per le loro potenziali proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e antibatteriche. Alcuni estratti di tannini vengono utilizzati in prodotti farmaceutici o integratori alimentari.
- **Produzione di inchiostri e coloranti:** sono stati storicamente utilizzati nella produzione di inchiostri e coloranti grazie alla loro capacità di reagire con i metalli formando composti colorati, in particolare con il rame ed il ferro.
- **Industria tessile:** vengono utilizzati nella tintura e nella lavorazione tessile per migliorare la resistenza del tessuto e conferire proprietà anti-odorigene.
- **Produzione di adesivi:** sono impiegati nella produzione di adesivi e resine, contribuendo alla loro aderenza e resistenza.
- **Trattamento delle acque:** vengono utilizzati in alcune applicazioni di trattamento delle acque per rimuovere metalli pesanti anfoteri facendoli precipitare come idrossidi insolubili.
- **Agricoltura:** possono essere utilizzati come agenti antiparassitari o come additivi per migliorare la qualità del suolo.

ESTRAZIONE DEI TANNINI DAL MESOCARPO DEL COCCO: IDENTIFICAZIONE E QUANTIFICAZIONE

Vista la struttura chimica dei tannini e la loro affinità con solventi polari si sono allestiti due estrattori Soxhlet, uno a refluxo con H₂O e l'altro in etanolo 96%_{v/v} con circa 8 grammi di fibra di cocco nei ditali.

Dopo l'estrazione, ogni soluzione contenente tannini, si porta a volume in matraccio da 1 litro.



Ottenuti gli estratti di tannini dalle fibre di cocco si è applicata la metodica Bate-Smith per la determinazione quantitativa. Questo è un metodo spettrofotometrico UV-Visibile che si basa sull'ossidazione specifica dei flavan-3,4-dioli (presenti nei tannini) in presenza di un ambiente acido e con alcol etilico ad alte temperature, per formare proantocianidine, le quali assorbono ad una lunghezza d'onda di 550 nm (scheda analisi 3 in allegato).

La risposta positiva alla metodica di Bate-Smith ha confermato la presenza di tannini ed ha permesso di quantificare la concentrazione dei due estratti dimostrando una maggiore affinità dei tannini all'acqua con un rapporto di estrazione acqua/alcool etilico di circa 2:1.

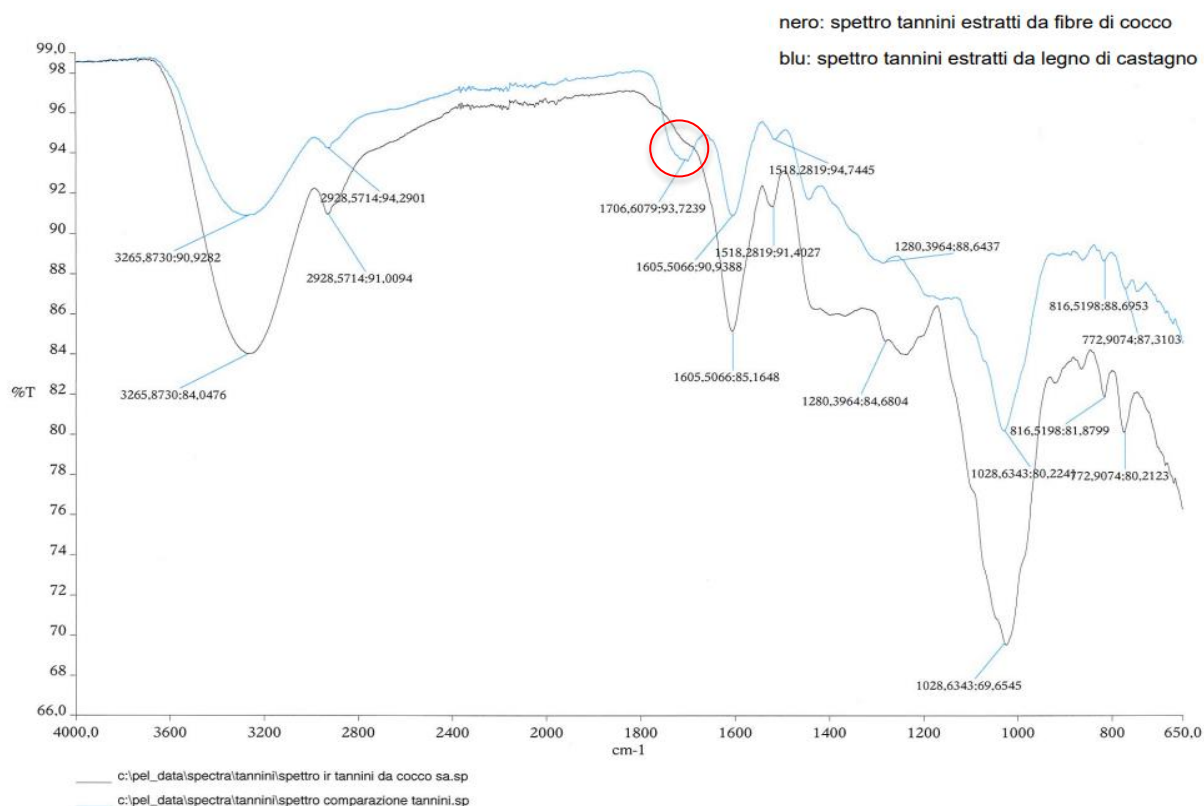
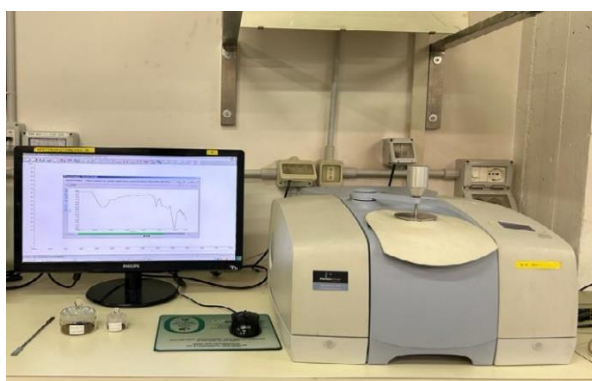
Determinazione qualitativa dei tannini delle fibre di cocco in Spettroscopia IR

Verificata la maggiore efficienza di estrazione dei tannini in acqua, è stata successivamente effettuata un'estrazione per infusione a circa 80 °C e fatto evaporare l'estratto fino a secchezza così da ottenere tannini allo stato solido da poter caratterizzare mediante spettroscopia IR.

A tale scopo sono stati pesati 10,00 g di fibra di cocco (precedentemente tritata, lavata con acqua ultra pura e essiccata) e messi in infusione a 80°C per circa 3 ore in un becher con 250ml di H₂O distillata. Una volta terminata l'estrazione dei tannini, la soluzione viene prima concentrata per evaporazione e successivamente portata a secco in stufa ad 80 °C.

L'estrazione in acqua per infusione ha evidenziato la possibilità di ottenere una quantità di tannini pari a circa l'11% p/p della fibra di cocco utilizzata.

La stessa procedura è stata eseguita su un concentrato di tannini estratti da legno di castagno (prodotto commerciale) e i due estratti seccati in stufa fino a peso costante sono stati analizzati in spettroscopia IR utilizzando uno spettrofotometro FT-IR dotato di ATR della marca Perkin Elmer mod. Spectrum 100.



I due spettri sono in parte sovrapponibili, ad eccezione di un picco a 1706 cm⁻¹ che compare nello spettro dei tannini di castagno, ma che non è presente nello spettro IR dei tannini estratti da fibre di cocco. Tale picco di assorbimento è attribuibile al gruppo estere presente nei tannini idrolizzabili e non in quelli condensati. Questo ci permette di stabilire che i tannini estratti dalle fibre di cocco sono prevalentemente di tipologia condensati.

UTILIZZO DELLA FIBRA DI COCCO DOPO ESTRAZIONE DEI TANNINI

La fibra di cocco dopo l'estrazione dei tannini risulta priva di salinità e pronta per essere utilizzata ad esempio in ambito agricolo ed in particolare nel settore del vivaismo come valida alternativa all'utilizzo della torba avendo caratteristiche fisico-chimiche molto simili. Può essere utilizzata pura o in miscela, grazie alle ottime capacità di ritenzione idrica, riducendo la quantità di acqua necessaria all'irrigazione e mantenendo nel contempo un substrato umido, drenante e poroso.

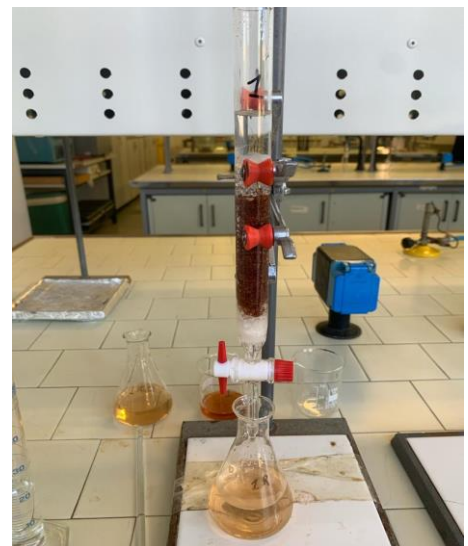
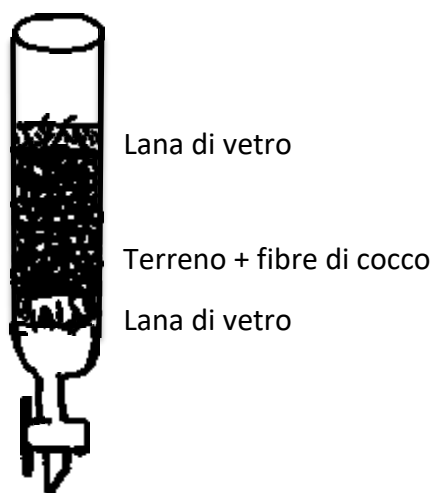
I vantaggi dell'utilizzo di fibra di cocco come substrato di crescita delle piante si riscontrano nella stabilità del pH (generalmente compreso tra 5.4 e 7.0), nella elevata capacità di scambio cationico e nel peso specifico ridotto.

Dopo l'estrazione dei tannini si è cercato di verificare se le fibre di cocco mantenevano ancora la capacità di legare, attraverso interazioni secondarie, i cationi bivalenti, in particolare Ca^{2+} e Mg^{2+} , con l'idea di produrre una fibra di cocco arricchita di tali ioni.

Un substrato arricchito di macroelementi quali calcio e magnesio potrebbe essere utilizzato per la correzione della composizione di terreni carenti di tali cationi.

Per verificare la capacità di assorbimento di Ca^{2+} e Mg^{2+} si è fatto percolare H_2O di rubinetto nelle fibre di cocco dopo estrazione dei tannini ed anche in miscugli di terreno e fibre di cocco nel rapporto di 9:1 e 8:2 per determinarne la durezza prima e dopo la percolazione, in modo da verificare gli equivalenti di calcio e magnesio assorbiti.

Di seguito sono riportate delle foto e uno schema del sistema utilizzato per simulare la percolazione dell'acqua nel terreno (scheda analisi 4 in allegato):



La capacità di assorbire ioni Calcio è stata determinata anche per via strumentale in assorbimento atomico con atomizzatore a fiamma (scheda analisi 5 in allegato).



I risultati sperimentali dimostrano che la fibra di cocco dopo estrazione dei tannini ha la capacità di assorbire quasi il 90% di ioni calcio di una soluzione.

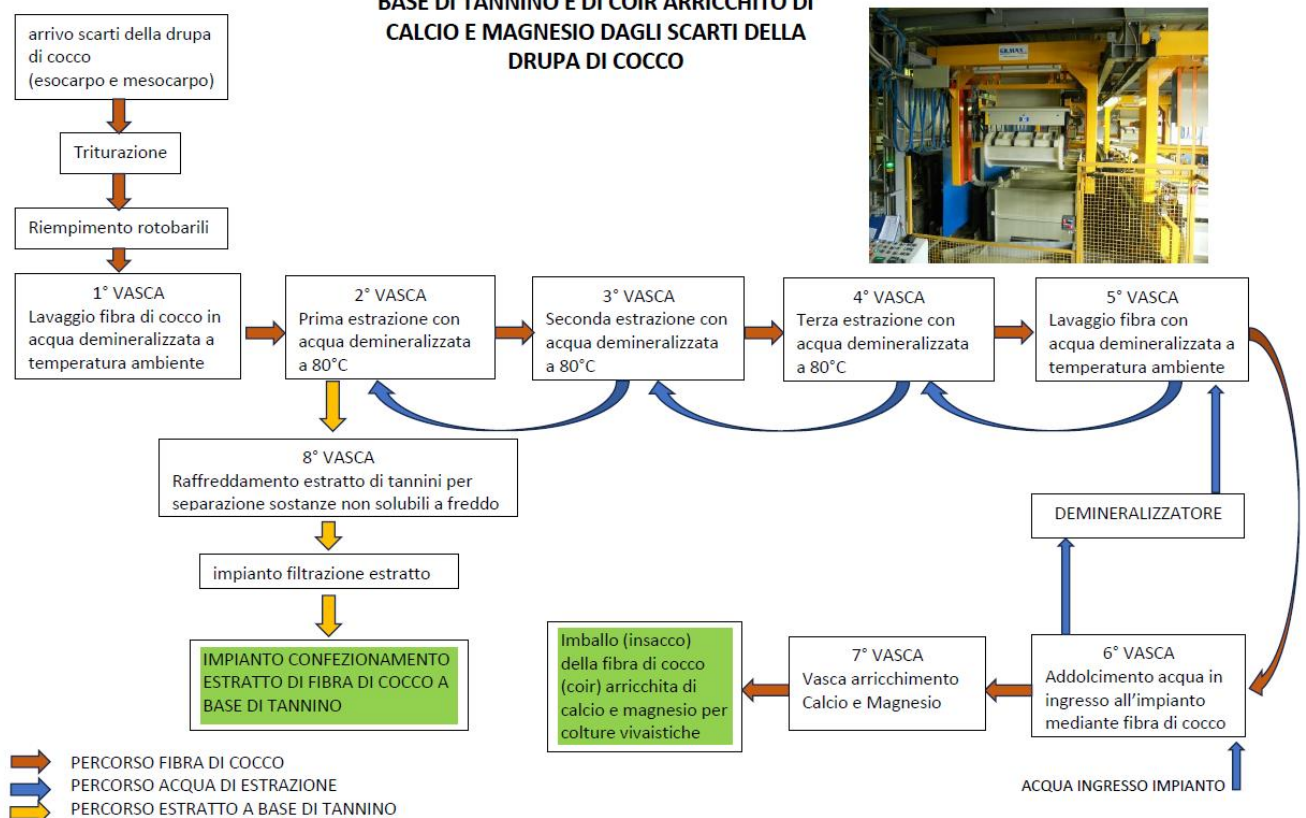
STUDIO E PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO INDUSTRIALE PER L'ESTRAZIONE DEI TANNINI E LA PRODUZIONE DI FIBRA DI COCCO ARRICCHITA DI CATIONI CALCIO E MAGNESIO PER IL COMPARTO AGRICOLO

L'ultima fase del progetto è stata dedicata allo studio e progettazione di un prototipo di processo industriale in grado di realizzare su grande scala le attività svolte in laboratorio, un impianto di valorizzazione del mesocarpo del cocco (rifiuto spesso smaltito per combustione senza nessun recupero neanche energetico) che permette l'estrazione di tannini e la produzione di fibre di cocco arricchite di nutrienti quali cationi di Ca^{2+} e Mg^{2+} .



INDUSTRIALIZZAZIONE DEL PROCESSO

IMPIANTO PER LA PRODUZIONE DI ESTRATTO A BASE DI TANNINO E DI COIR ARRICCHITO DI CALCIO E MAGNESIO DAGLI SCARTI DELLA DRUPA DI COCCO



Il processo inizia sfibrando e macinando i mesocarpi del cocco per aumentare il più possibile la superficie di contatto. Le fibre ottenute vengono inserite in un rotobarile fino al totale riempimento. Il rotobarile è un cestello d'acciaio con fori di diametro 1-2 cm. Tale cestello riempito con le fibre viene trasportato tramite un carro ponte in 7 vasche.

VASCA 1: contiene H₂O demineralizzata a temperatura ambiente (20°C). L'obiettivo è quello di eseguire un primo lavaggio delle fibre di cocco per portare in soluzione eventuali sali e ripulirle prima del trattamento di estrazione dei tannini. Il tempo di permanenza è di 10 minuti. Le acque di questa vasca, una volta esauste, vanno trattate come unico “rifiuto” di questo processo. Non contengono inquinanti, ma essendo acque derivanti da un processo industriale va verificata la loro innocuità.

VASCA 2: contiene H₂O demineralizzata ad 80°C. L'obiettivo è quello di eseguire una prima estrazione a caldo dei tannini dalle fibre di cocco triturate. Il tempo di permanenza è di 60 minuti. Le acque di questa vasca, essendo le prime ad aver estratto i tannini dalle fibre, sono le più ricche e concentrate di tannini e verranno trasferite in seguito nella vasca 7, dalla quale, tramite filtrazione, si otterrà il concentrato di tannini.

VASCA 3: contiene H₂O demineralizzata ad 80°C. L'obiettivo è quello di eseguire la seconda estrazione a caldo dei tannini dalle fibre di cocco triturate. Il tempo di permanenza è di 60 minuti.

VASCA 4: contiene H₂O demineralizzata ad 80°C. L'obiettivo è quello di eseguire la terza estrazione a caldo dei tannini dalle fibre di cocco triturate. Il tempo di permanenza è di 60 minuti.

VASCA 5: contiene H₂O demineralizzata a temperatura ambiente (20°C). L'obiettivo è quello di eseguire l'ultimo lavaggio delle fibre di cocco prive di tannini. Il tempo di permanenza è di 10 minuti. Le acque di questa vasca verranno poi usate per riempire la vasca 4.

Il volume di acqua nelle tre vasche di estrazione (che per evaporazione diminuisce) viene mantenuto costante con un processo a cascata che inserisce acqua solo nella 3° vasca di estrazione (vasca n.4 dell'impinto) e permette quindi di ottenere un concentrato di tannini nella prima vasca di estrazione (vasca n.2 dell'impianto)

VASCA 6: addolcisce l'acqua in entrata all'impianto tramite le fibre di cocco prive di tannini derivanti dalle vasche precedenti. Le acque addolcite verranno in seguito demineralizzate tramite resine a scambio ionico e reimmesse nell'impianto in vasca 5.

VASCA 7: contiene una soluzione acquosa di cationi Calcio e Magnesio necessaria per ottenere la concentrazione di macronutrienti richiesta. Da questa vasca otterremo quindi 1 dei 2 prodotti dell'impianto, cioè le fibre di cocco triturate prive di tannini e ricche di cationi calcio e magnesio da utilizzare in agricoltura. Queste vengono poi essiccate a temperatura ambiente e impaccettate in sacchi o pressate.

VASCA 8: situata in prossimità della vasca 2, permette il raffreddamento della soluzione ricca di tannini derivante dal processo di estrazione. Il raffreddamento permette la separazione di eventuali sostanze non solubili a freddo e quindi la loro sospensione all'interno della soluzione. Questa viene poi filtrata con dei filtri a sacco e imbottigliata in vari formati per essere successivamente spedita ai vari acquirenti nei molteplici settori industriali ed agricoli nei quali i tannini trovano largo impiego.

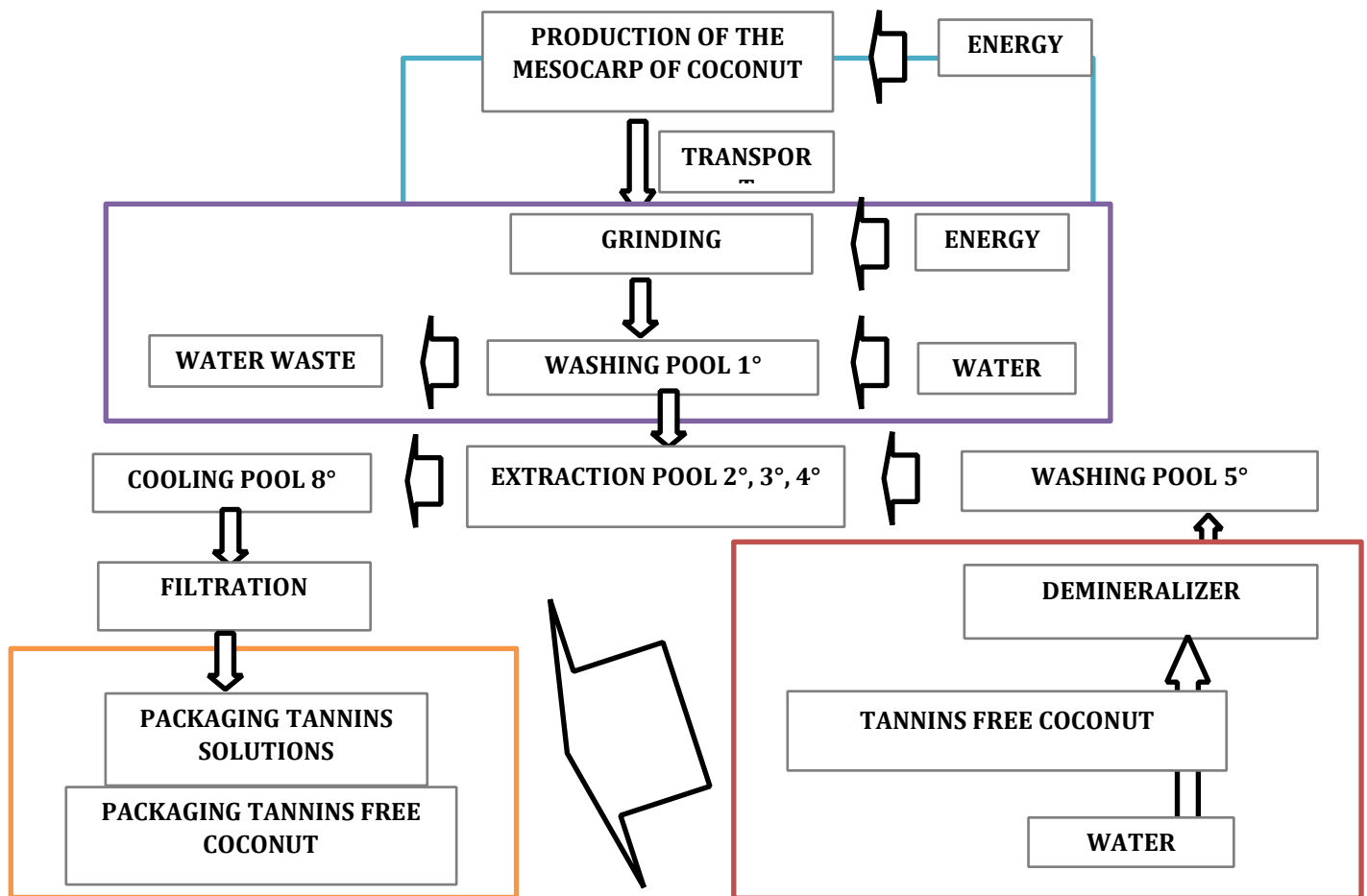
Potenzialità impianto:

Nell'ipotesi di rotobarili cilindrici di diametro e lunghezza di 1 metro, considerando un peso specifico della fibra di cocco di 0.3 Kg/dm³, nelle 8 ore lavorative si estraggono completamente 6 sequenze di rotobarili per una massa di fibra di cocco pari a circa 1400 Kg che equivalgono a 150Kg di Tannini e 1250 Kg di fibra arricchita di macronutrienti.

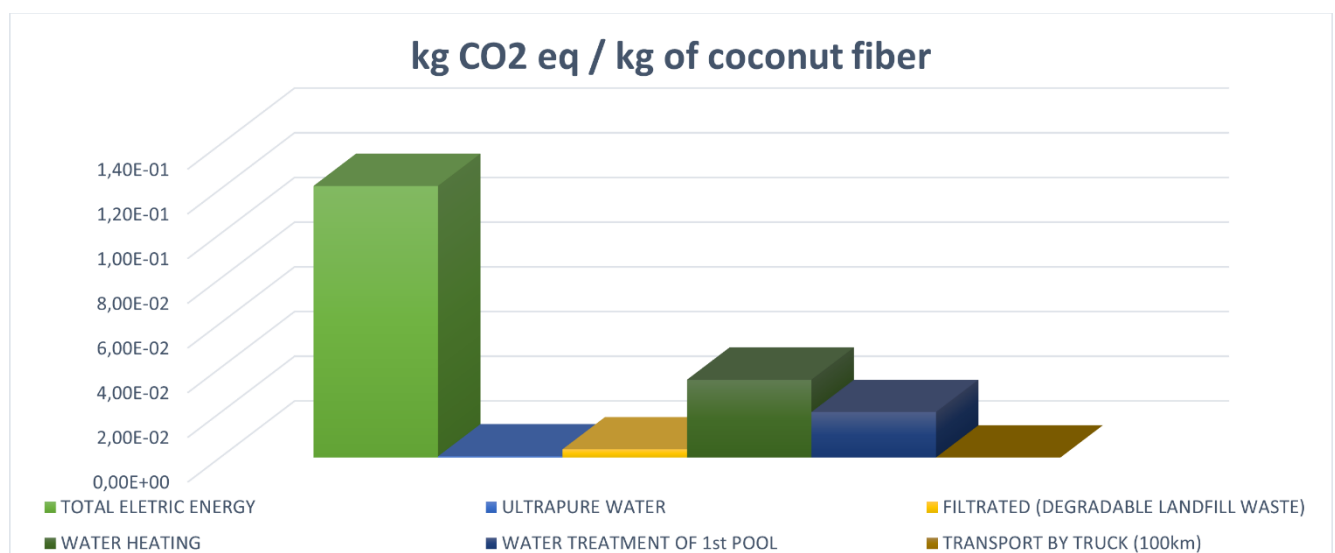
VALUTAZIONE IMPATTO DELL'IMPIANTO TRAMITE LCA

Il Life Cycle Assessment (LCA) è un procedimento approssimativo ma oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività industriale. Viene effettuato attraverso l'identificazione dell'energia utilizzata, dei materiali usati e dei rifiuti dispersi in ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del prodotto o attività, comprendendo l'estrazione ed il trasporto di materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso e lo smaltimento.

Si tratta della raccolta e valutazione degli input, degli output e dei potenziali impatti ambientali di un sistema attraverso il suo ciclo di vita. In particolare, lo abbiamo applicato al processo industriale ideato:



	QUANTITY		kg CO2 eq/1400kg	kg CO2 eq/kg
TOTAL ELETRIC ENERGY	300,00 kW/h =1080,00 MJ	1,58E-01 kg CO2 eq/MJ	1,70E+02	1,22E-01
ULTRAPURE WATER	1100 kg	6,80E-04 kg CO2 eq/kg	7,48E-01	5,34E-04
FILTRATED (DEGRADABLE LANDFILL WASTE)	10 kg	5,13E-01 kg CO2 eq/kg	5,13E+00	3,67E-03
WATER HEATING	85,90 kW/h=309,24 MJ	1,58E-01 kg CO2 eq/MJ	4,87E+01	3,48E-02
WATER TREATMENT OF 1st POOL	1000 kg	2,85E-02 kg CO2 eq/kg	2,85E+01	2,04E-02
TRANSPORT BY TRUCK (100km)	100 km	4,40E-05 kg CO2 eq/kg-km	4,40E-03	3,14E-06
CONVERSION FACTOR 1MJ=0,27778 kW/h			TOTAL kgCO2	253,189
				0,181



CONCLUSIONI

Il progetto, nato dall’osservazione di pratiche di smaltimento di rifiuti a dir poco “anomale”, eliminazione degli scarti di cocco per incenerimento o per dispersione nell’ambiente, vuole dimostrare come sia possibile e doveroso individuare un processo *End of Waste* per tante tipologie di rifiuti che altrimenti avrebbero un peso ambientale importante in termini di inquinamento.

Per *end of waste* si deve intendere il processo che, concretamente, permette ad un rifiuto di tornare a svolgere un ruolo utile come prodotto in accordo con la Direttiva quadro in materia di rifiuti (direttiva 2008/98/CE) che pone al primo posto della scala di priorità delle modalità di gestione dei rifiuti la **prevenzione** e, immediatamente di seguito, la **preparazione per il riutilizzo** (art. 4).

Il concetto di cessazione della qualifica di rifiuto si inserisce perfettamente in queste prospettive: è sicuramente in linea con l’obiettivo di prevenzione e riutilizzo il processo di recupero che permette ad un rifiuto di tornare ad essere un prodotto.

Il lavoro di ricerca iniziato con la verifica sperimentale delle informazioni raccolte in letteratura ha avuto un percorso non sempre lineare con variazioni di obiettivi a seguito dei risultati sperimentali e delle loro interpretazioni ma l’importante è aver individuato un processo di *End of Waste*.

Approfondire questi settori di ricerca è l’unico modo di traghettare gli attuali processi economici produttivi da lineari a circolari e sostenibili.

Il processo individuato in questo lavoro permette di passare da un’economia lineare dell’industria del cocco, dove il mesocarpo viene scartato come rifiuto e persino bruciato, ad un’economia circolare con quasi “0” scarti, dove il mesocarpo viene valorizzato estraendo i tannini ed in seguito utilizzando le fibre come concime naturale.

Tali fibre, oltre che essere biodegradabili e quindi fonte di carbonio organico, sono anche fonte di macronutrienti essenziali per le piante (Ca^{2+} e Mg^{2+}).

L’estratto acquoso di tannini è interessante per le proprietà di questi ultimi che vengono utilizzati in molteplici settori tra i quali spicca quello dell’agricoltura, che ne vede l’utilizzo come fungicidi e antiparassitari. Essendo composti naturali i tannini sono considerati BIO e come tali possono essere utilizzati dalle aziende agricole biologiche.

Per ultimo, ma non per importanza, il vantaggio “ambientale” del processo di trasformazione del mesocarpo del cocco; l’applicazione del Life Cycle Assessment (LCA) ha quantificato un impatto ambientale del processo di recupero di circa 0.2 Kg equivalenti di CO_2 per ogni Kg di mesocarpo trattato mentre lo smaltimento per incenerimento produce mediamente 1.48 Kg equivalenti di CO_2 per ogni Kg di mesocarpo bruciato.

BIBLIOGRAFIA

- Bate-Smith E. C. 1975, “Phytochemistry of proanthocyanidins”, *Phytochemistry*, 14: 1107-1113
- Principi di Biochimica di LEHNINGER – ZANICHELLI
- Reazioni Organiche D.Pocar – casa editrice AMBROSIANA Milano
- Enciclopedia della Chimica – ISEDI – 4° 26-99, 5° 38-151, 5° 39-87
- Chimica Organica – reattività e struttura - casa editrice USES
- Direttiva 2008/98/CE del 19 novembre 2008
- Testo Unico Ambientale D.Lgs. 152/2006

SITOGRAFIA

- <https://iforest.sisef.org/pdf/?id=ifor2342-010>
- <https://www.tdx.cat/handle/10803/145382#page=139>
- <https://www.redalyc.org/journal/849/84966670008/html/#gt2>
- https://www.gjesm.net/article_701603_4d40822e77d08abf51e5874adac39179.pdf

SCHEDA ANALISI 1: ASSORBIMENTO DI METALLI PESANTI BIVALENTI DA PARTE DELLE FIBRE DI COCCO

OBIETTIVO: determinare la capacità di adsorbimento di ioni Pb^{++} per unità di massa di fibre di cocco derivanti dal mesocarpo.

MATERIALE: provettoni da centrifuga, pipette tarate

STRUMENTI: Varian SpectrAA 220 Atomic Absorption Spectrometer con GTA 110 ed autocampionatore, Centrifuga

SOSTANZE: Fibre di cocco lavate con acqua ultra pura ed essiccate, sol. standard di nitrato di piombo a concentrazione 1000 $\mu g/ml$ di Pb^{++} , acqua ultra pura (UPW).

Procedimento:

1. Preparare per diluizione 250 ml di soluzione standard 45 $\mu g/l$ di Pb^{++} utilizzando acqua ultra pura.
2. Pesare con bilancia analitica 1,000 g di fibre di cocco (preventivamente lavate con acqua ultrapura ed essiccate in stufa) e porle all'interno di un provettone da centrifuga ed aggiungere 50 ml della soluzione standard a conc. 45 $\mu g/l$ di Pb^{++} ;
3. Dopo un tempo di adsorbimento di circa 1 ora centrifugare a 5000 giri/min. per 5 minuti e raccogliere la fase liquida in una beuta;
4. Ripetere per altre due volte i punti 2 e 3 sino ad ottenere tre soluzioni di risulta del processo di adsorbimento ioni Pb e fibra di cocco;
5. Programmare lo spettrofotometro e l'autocampionatore per la costruzione della retta di lavoro su tre punti a concentrazione degli standard pari a 15-30-45 $\mu g/l$ di Pb^{++} ;
6. Eseguire l'analisi ed elaborare i risultati ottenuti

impostazioni di analisi:

metallo: Pb
Lunghezza d'onda: 283.3
Amp. Fenditura: 0.5 nm
Corrente lampada: 10.0 mA
Modalità di misura: Peak Height
Repliche: 2 STD e 2 campione
Conc. madre: 45 $\mu g/l$
Standard: 15-30-45 $\mu g/l$

RISULTATI SPERIMENTALI

Di seguito i risultati dei mg/l di ioni Pb^{2+} rimasti in soluzione e assorbiti dopo la percolazione in 1,000 grammo di fibre di cocco essiccate.

CAMPIONE	Conc. $\mu g/l$ Pb^{2+} dopo adsorbimento	Conc. $\mu g/l$ Pb^{2+} prima adsorbimento	$\mu g/l$ Pb^{2+} adsorbiti
1° campione	9.34	45	35.66
2° campione	9.56	45	35.44
3° campione	9.38	45	35.62
Valore medio $\pm$ ds			35.6 $\pm$ 0.1

Calcolo mg Pb^{2+} /Kg cocco secco = $35.6/1000 \times 50/1000 \times 1000/1 = 1.78$ mg Pb^{2+} /Kg cocco s.

OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

i risultati sperimentali confermano la capacità delle fibre di cocco di adsorbire ioni metallici confermando quanto riportato in letteratura scientifica.

SCHEDA ANALISI 2: ASSORBIMENTO CATIONI BIVALENTI (Ca^{2+} e Mg^{2+}) DA PARTE DELLE FIBRE DI COCCO (CAPACITA' DI ADDOLCIMENTO DELL'ACQUA)

OBIETTIVO: determinare la capacità di adsorbimento di cationi Ca^{2+} e Mg^{2+} delle fibre di cocco.

MATERIALE: colonnina cromatografica, spatola di metallo, cilindro graduato da 100 ml, buretta da 50 ml, 3 beute da 250ml, pipetta tarata da 20 ml.

STRUMENTI: bilancia analitica.

SOSTANZE: fibre di cocco lavate con acqua ultra pura ed essiccate, H_2O del rubinetto, EDTA (acido etilendiamminotetracetico, sale disodico), NET (Nero eriocromo T) e soluzione tampone a pH10 (soluzioni IDRIMETER C.ERBA 1 ml sol.EDTA equivalente ad 1 °F su 100 ml di acqua titolata).

PROCEDIMENTO:

1. Pesare 1,000 g di fibre di cocco;
2. Impaccare la colonnina con le fibre di cocco (si pone inizialmente un piccolo strato di lana di vetro sul fondo, in modo da non ostruire la membrana filtrante della colonnina viene poi inserita la fibra di cocco e si pone un ulteriore strato di lana di vetro in modo da compattare bene la colonna)
3. Far scorrere nella colonnina H_2O del rubinetto e raccogliere 3 frazioni da 100 ml in 3 beute diverse;
4. Prelevare 100 ml di H_2O del rubinetto in una beuta
5. Per la determinazione della durezza (°F) aggiungere nella beuta 20 ml di soluzione tampone e una punta di spatola di NET e titolare con EDTA fino a viraggio.
6. Ripetere il punto 5 per tutti i campioni di acqua

RISULTATI SPERIMENTALI:

	1° passaggio di H_2O [ml EDTA]	2° passaggio di H_2O ; [ml EDTA]	3° passaggio di H_2O ; [ml EDTA]
1g fibre di cocco naturali	14,6	18,8	20.6

Durezza H_2O rubinetto	27,0 °F
--	---------

1 ml EDTA= 1°F= 1 mg CaCO_3 in 100 ml di acqua

riduzione della durezza dell'acqua (addolcimento)= durezza H_2O rubinetto – durezza H_2O dopo passaggio in colonnina

	Riduzione durezza (°F) 1° passaggio di H_2O	Riduzione durezza (°F) 2° passaggio di H_2O	Riduzione durezza (°F) 3° passaggio di H_2O
1g fibre di cocco naturali	12,4	8,2	6,4

OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

Eseguendo questa prova è stata verificata la capacità delle fibre di cocco di ridurre la durezza dell'acqua e quindi di addolcirla. Inoltre è stato osservato che questa capacità è maggiore al primo passaggio d'acqua, diminuendo poi negli altri passaggi per via della saturazione delle fibre di cocco.

SCHEDA ANALISI 3: ESTRAZIONE DEI TANNINI DAL MESOCARPO DEL COCCO, INDIVIDUAZIONE DEL MIGLIOR SOLVENTE E QUANTIFICAZIONE.

OBIETTIVO 1: Estrazione tannini in acqua e in etanolo tramite estrattore Soxhelet

MATERIALI: 2 matracci da 1 l, 2 matracci da 50 ml, 4 provette con tappo, pipetta graduata da 5 ml, pipetta graduata da 20 ml, piastra riscaldante, 2 becher.

STRUMENTI: bilancia analitica, Spettrometro UV-Visibile Perkin Elmer mod. lambda 25, estrattori Soxhelet.

SOSTANZE: H₂O ultra pura, etanolo 96%, fibra di cocco lavata (con acqua ultra pura) ed essiccata

PROCEDIMENTO:

1. Allestire un estrattore Soxhelet, uno a reflusso con H₂O, con 8 grammi di fibra di cocco nel ditale dell'estrattore;
2. Allestire un estrattore Soxhelet, uno a reflusso in etanolo 96%, con 8 grammi di fibra di cocco nel ditale dell'estrattore;
3. Dopo circa 1 ore trasferire gli estratti in matraccio da 1 litro e portare a volume con i rispettivi solventi;



OBIETTIVO 2: quantificazione dei tannini negli estratti mediante il metodo di BATE-SMITH

METODO BATE – SMITH

Il metodo è basato su una proprietà che hanno i 3,4 – flavandioli monomeri e condensati di ossidarsi in mezzo acido ed alcolico ad alta temperatura (100 °C) per formare delle proantocianidine colorate. La differenza di assorbenza, letta allo spettrofotometro (λ 550 nm), tra il campione tal quale e quello ossidato, riferita ad una curva di calibrazione preparata a partire da un leucocianidolo (massa molecolare = 684 Da), fornisce la concentrazione dei tannini. Tale metodo permette di valutare i flavandioli impegnati nelle catene dei polimeri, ma per contro non tutti i monomeri sono considerati con questo dosaggio.

REAGENTI

- Soluzione di acido cloridrico HCl 12 N
- n-butanolo
- solfato di ferro (III) Fe₂(SO₄)₃.

PROCEDIMENTO:

A 2 ml di estratto di tannini, previamente diluiti in rapporto 1:50, sono stati aggiunti 6 ml di una miscela di reagenti costituita da 100 ml di HCl 12N, 100 ml di n-butanolo e 30 mg di solfato di ferro. Di questi, 4ml sono stati riscaldati a bagnomaria a 100°C ed i restanti 4 ml lasciati al buio a temperatura ambiente. Dopo 30 minuti è stata effettuata la lettura allo spettrofotometro (Spettrofotometro UV-Visibile – Perkin Elmer – mod. lambda 25) a 550 nm di entrambi i campioni

CALCOLI:

La differenza tra l'assorbanza della provetta B e l'assorbanza della provetta A riferita alla curva standard di calibrazione (corrispondente al fattore di correzione 0,1736) fornisce la concentrazione in tannini.



$$\text{TANNINI TOTALI (g/l)} = [\text{ASSORBANZA B} - \text{ASSORBANZA A}] \times 0,1736 \times 50 \text{ (diluizioni)}$$

RISULTATI SPERIMENTALI:

CAMPIONE	assorbanza	Concentrazione tannini g/l	% tannini (*)
estratto tannini H ₂ O a freddo	0,0079	0,222	2,78
estratto tannini H ₂ O a caldo	0,0335		
estratto tannini etanolo a freddo	0,0087	0,107	1,27
estratto tannini etanolo a caldo	0,0210		

$$(*) \% \text{ tannini} = \frac{C_{g/l} \cdot 100}{g \text{ fibre di cocco}}$$

OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

Con lo svolgimento di questa prova è stato verificato che è possibile estrarre i tannini sia in acqua che in etanolo. È stato osservato però che la percentuale di tannini estratti in acqua è maggiore con un rapporto di estrazione acqua-etanolo di circa 2:1.

OBIETTIVO 3: estrazione e quantificazione dei tannini riproducendo un processo di estrazione a tre stadi mediante infusione in acqua ad 80 °C.

MATERIALI: piastra riscaldante, 5 becher da 500 ml, 2 infusori in metallo, 2 matracci da 200 ml.

STRUMENTI: bilancia analitica, Spettrometro UV-Visibile Perkin Elmer mod. lambda 25.

SOSTANZE: H₂O ultra pura, fibre di cocco lavate (con acqua ultra pura) ed essiccate.

PROCEDIMENTO:

1. Sminuzzare le fibre di cocco;
2. Effettuare due pesate di fibre di cocco di circa 5 grammi ciascuna;
3. Inserire le fibre in due infusori in metallo;
4. Far passare il primo infusore contenente le fibre di cocco in un becher (1° vasca: prelavaggio) contenente H₂O demineralizzata a temperatura di 15/20°C per 10 minuti;
5. Inserire l'infusore in un altro becher (2° vasca: 1° estrazione) contenente H₂O demineralizzata ad una temperatura di 80/90°C per 1 ora;

6. Spostarlo nel becher successivo (3° vasca: 2° estrazione) contenente H₂O demineralizzata ad una temperatura di 80/90°C per 1 ora;
7. Spostarlo nel becher successivo (4° vasca: 3° estrazione) contenente H₂O demineralizzata ad una temperatura di 80/90°C per 1 ora;
8. Infine far passare le fibre di cocco in un becher (5° vasca: lavaggio) per il lavaggio finale in H₂O demineralizzata ad una temperatura di 15/20°C per 10 minuti.
9. Ripetere lo stesso procedimento con il secondo infusore contenente fibre di cocco in modo tale di avere una sequenza in continuo a simulare un processo industriale con utilizzo di rotobarili movimentati da carroponti;



10. versare in un matraccio da 200 ml la soluzione estratta dalla 1° vasca di estrazione e versare in un altro matraccio da 200 ml gli estratti della 2° e 3° vasca di estrazione;
11. Seguire il met. di Bate-Smith per la quantificazione dei tannini come descritto nell'OBIETTIVO 2.

RISULTATI SPERIMENTALI:

	Massa fibre di cocco [g]	Massa totale fibre di cocco [g]
1° infusore	5,730	11,188
2° infusore	5,458	

RISULTATI APPLICAZIONE METODO BATE-SMITH

Campione	assorbanza	concentrazion e tannini [g/l]	massa tannini estratti	percentual e tannini
estratto tannini H ₂ O 1° vasca a freddo	0,0570	4,384	0,877 g	11,1 %
estratto tannini H ₂ O 1° vasca a caldo	0,5621			
estratto tannini H ₂ O 2°+3° vasca a freddo	0,0319	1,818	0,364 g	
estratto tannini H ₂ O 2°+3° vasca a caldo	0,2414			

OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

Dopo aver ottimizzato le condizioni di estrazione (tre stadi in acqua ad 80 °C) sono state determinate la concentrazione, la massa e la percentuale di tannini estraibili per infusione ad 80 °C.

Questa prova è servita inoltre per verificare l'efficienza e l'attuabilità di questo metodo di estrazione in un eventuale processo industriale con un sistema ad infusione mediante rotobarili.

SCHEDA ANALISI 4: ASSORBIMENTO CATIONI BIVALENTI (Ca^{2+} e Mg^{2+}) DA PARTE DELLE FIBRE DI COCCO E TERRENO

OBIETTIVO: verificare l'azione delle fibre di cocco sulla capacità di assorbire macronutrienti (Ca^{2+} e Mg^{2+}) di un terreno

MATERIALE: colonnina cromatografica, cilindro graduato da 100 ml, buretta da 50 ml, beute da 250 ml, pipetta tarata da 20 ml.

STRUMENTI: bilancia analitica.

SOSTANZE: fibre di cocco dopo la fase di estrazione dei tannini, terreno setacciato (fraz. fine <2mm) ed essiccato, H_2O del rubinetto, EDTA (acido etilendiamminotetracetico, sale disodico), NET (Nero eriocromo T) e soluzione tampone a pH10 (soluzioni IDRIMETER C.ERBA 1 ml sol.EDTA equivalente ad 1 °F su 100 ml di acqua titolata).

PROCEDIMENTO:

1. Impaccare tre colonnine con i seguenti substrati:
 - 10,00 g terreno fine (colonnina 1);
 - 9,00g di terreno fine e 1,00g di fibra di cocco triturrata (colonnina 2);
 - 8,00g di terreno fine e 2,00g di fibra di cocco triturrata (colonnina 3);
 - 2,00g di fibra di cocco dopo estrazione dei tannini (colonnina 4)
2. Far scorrere nella colonnina H_2O del rubinetto e raccogliere 4 frazioni da 100 ml in 4 beute diverse;
3. Prelevare 100 ml di H_2O del rubinetto in una beuta
4. Per la determinazione della durezza (°F) aggiungere nella beuta 20 ml di soluzione tampone e una punta di spatola di NET e titolare con EDTA fino a viraggio;
5. Ripetere il punto 4 per tutti i campioni di acqua (4 campioni + campione acqua rubinetto)

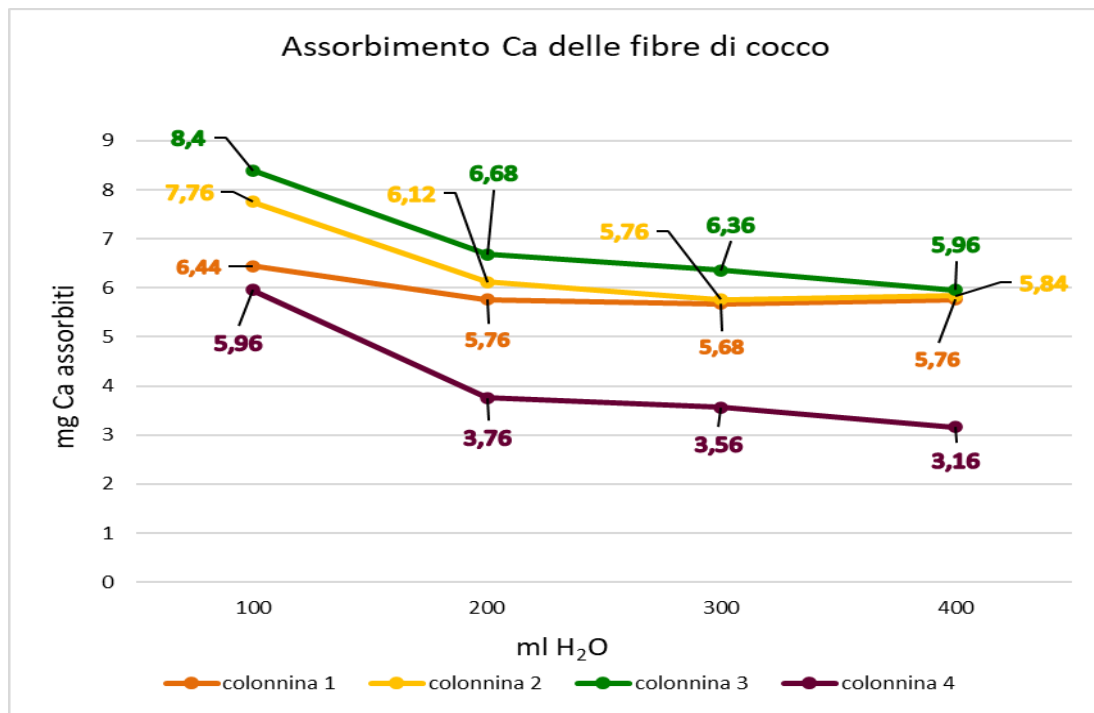
RISULTATI SPERIMENTALI:

	1° passaggio di H_2O ;[°F]	2° passaggio di H_2O ;[°F]	3° passaggio di H_2O ;[°F]	4° passaggio di H_2O ;[°F]
Colonnina 1	11,7	13,4	13,6	13,4
Colonnina 2	8,4	12,5	13,4	13,2
Colonnina 3	6,8	11,1	11,9	12,9
Colonnina 4	12,9	18,4	18,9	19,9

H_2O rubinetto	27,8 °F
--------------------------------	---------

Nella tabella seguente si esprime la quantità di cationi assorbiti come mg di Calcio

	mg Ca assorbiti dopo 1° passaggio di H_2O	mg Ca assorbiti dopo 2° passaggio di H_2O	mg Ca assorbiti dopo 3° passaggio di H_2O	mg Ca assorbiti dopo 4° passaggio di H_2O
Colonnina 1	6,44	5,76	5,68	5,76
Colonnina 2	7,76	6,12	5,76	5,84
Colonnina 3	8,40	6,68	6,36	5,96
Colonnina 4	5,96	3,76	3,56	3,16



OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

Con le prove effettuate si è arrivati alla conclusione che il terreno con l'aggiunta della fibra di cocco ha maggiore capacità di assorbimento di macronutrienti (es. Ca^{2+} e Mg^{2+}) e che la resa maggiore si ha dopo il primo passaggio di acqua, con il raggiungimento di un assorbimento costante nei passaggi successivi.

Osservando il grafico l'assorbimento delle fibre di cocco prive di tannini sembrerebbe minore, questo è dovuto al fatto che per le altre colonnine è presente anche il contributo di adsorbimento da parte del terreno (10 grammi totali) mentre nell'ultima colonnina sono stati utilizzati solo due grammi di fibre senza tannini.

SCHEDA ANALISI 5: ASSORBIMENTO DI CATIONI BIVALENTI (Ca^{2+}) DA PARTE DI FIBRE DI COCCO PRIVE DI TANNINI

OBIETTIVO: determinare la quantità di cationi Ca^{2+} adsorbiti da parte delle fibre di cocco prive di tannini

MATERIALE: navicella usa e getta, 7 matracci da 100ml, 2 becker da 100ml, filtro rapido, imbuto di vetro.

STRUMENTI: Spettrofotometro di assorbimento atomico Perkin Elmer 2280, bilancia analitica, bagno ad ultrasuoni

SOSTANZE: fibre di cocco dopo estrazione dei tannini, CaCO_3 , acqua ultrapura

PROCEDIMENTO:

1. Preparare una soluzione 1000 mg/l di Ca (pesare 250mg di CaCO_3 , in bilancia analitica con l'ausilio della navicella usa e getta, solubilizzare in acqua ultrapura acidificando con HCl 1M e portare a 250 ml di volume);
2. Preparare una soluzione diluita a 100 mg/l di Ca^{2+} in matraccio da 250ml;
3. Preparare per diluizione 5 soluzioni standard a conc. 1mg Ca^{2+} /l, 3mg Ca^{2+} /l, 5mg Ca^{2+} /l, 10mg Ca^{2+} /l, 15mg Ca^{2+} /l in matracci da 100ml;

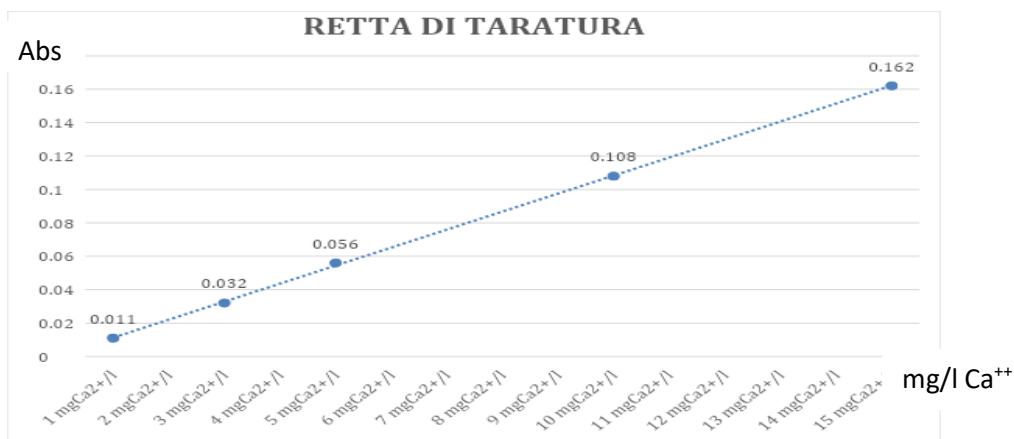
4. Pesare 0,500 g di fibre di cocco prive di tannini ed inserirle in un becher da 100ml;
5. Prelevare 50 ml della soluzione 15mg Ca²⁺/l ed inserirla nel becher assieme a 0,500 g di fibre di cocco prive di tannini;
6. Agitare in bagno ad ultrasuoni la soluzione per 30 minuti
7. Ripetere le fasi da 4 a 6 su tre campioni
8. Determinare l'assorbanza delle soluzioni standard e dei tre campioni ad una lunghezza d'onda di 422,7 nm, fenditura 0.7 mm e atomizzazione a fiamma acetilene/aria;
9. Calcolare tramite la funzione della retta di lavoro la concentrazione di Ca²⁺ rimasta in soluzione dopo il trattamento delle fibre di cocco;
10. Elaborare i risultati;

DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

Di seguito i risultati delle assorbanze dei vari standard allo strumento per la costruzione della retta di taratura:

STANDARD	Concentrazione (mgCa ²⁺ /l)	Assorbanza rilevata allo strumento(A)
1° STD	1	0,011
2° STD	3	0,032
3° STD	5	0,056
4° STD	10	0,108
5° STD	15	0,162
Campione 1		0.018
Campione 2		0.020
Campione 3		0.018

Di seguito la retta di lavoro:



Da tale retta estraiamo la sua funzione (tramite il software Excel) che risulta essere:

$$y = 0,0108x + 0,0005$$

CAMPIONE	Conc. mg/l Ca ²⁺ dopo adsorbimento	Conc. mg/l Ca ²⁺ prima adsorbimento	% Ca ²⁺ adsorbiti
1° campione	1.62	15	89.2
2° campione	1.81	15	87.9
3° campione	1.62	15	89.2
Valore medio ± ds			88.8 ± 0.8

OSSERVAZIONI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI:

i risultati sperimentali evidenziano l'elevata capacità delle fibre di cocco (dopo estrazione dei tannini) di adsorbire cationi calcio.