



Fotobioreattori per l'accrescimento di una coltura di *Chlorella vulgaris*

Foto di Francesco Del Prete

***Rita P. Aquino**
***Francesco Del Prete**
***Tiziana Esposito**
***Teresa Mencherini**
***Francesca Sansone**

Nel vasto regno della natura, esistono organismi microscopici che svolgono un ruolo vitale nella nostra biosfera, spesso ignorati o sottovalutati: le microalghe. Questi minuscoli organismi sono una risorsa eccezionale con un enorme potenziale per migliorare la nostra vita e l'ambiente in cui viviamo. Sono organismi autotrofi che hanno la straordinaria capacità di sintetizzare sostanze organiche a partire dalle sostanze inorganiche disciolte, sfruttando l'energia solare come fonte primaria. Ma quali sono le ragioni per cui le microalghe sono così promettenti?

Uno dei principali vantaggi delle microalghe è la loro capacità di fotosintesi. Come le piante, le microalghe sfruttano l'energia solare per convertire la luce in energia chimica, produrre ossigeno e fissare anidride carbonica durante il processo. Ciò le rende una preziosa arma nella lotta al cambiamento climatico, poiché contribuiscono a ridurre le emissioni di CO₂, mitigare l'effetto serra, e a mantenere l'equilibrio ecologico. Possono

Microalghe: una risorsa preziosa per l'ambiente e la salute

Questo articolo illustra le attività di ricerca del Dipartimento di Farmacia dell'Università degli Studi di Salerno per la valorizzazione sostenibile delle microalghe, la produzione di estratti e ingredienti funzionali e la tutela del territorio. In particolare, il presente contributo si sofferma sui possibili utilizzi delle microalghe nel trattamento dei reflui e nella produzione di biomasse ad elevato contenuto di sostanze bioattive.

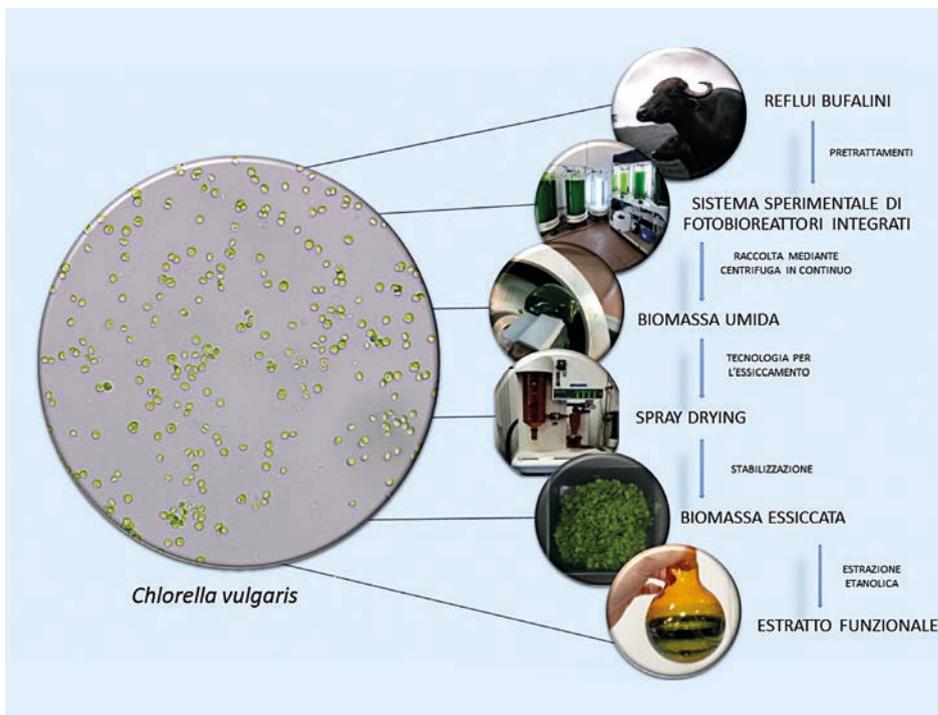


Figura 1: rappresentazione schematica del processo di fitodepurazione del refluo e produzione in fotobiorreattore della biomassa microalgale di *Chlorella vulgaris*, essiccamento ed estrazione.

aprire la strada a molteplici benefici e la loro coltivazione in un ambiente controllato, può favorire il loro sfruttamento per varie applicazioni come la fitodepurazione del territorio mediante il trattamento delle acque reflue, essendo in grado di compiere un'azione di *phytoremediation*, per ripulire e ripristinare l'ambiente, sequestrando inquinanti ed eccesso di sostanze indesiderate. Alcune specie di microalghe sono in grado di tollerare, adattarsi e sopravvivere anche in ambienti ostili con la capacità di assorbire e trasformare sostanze inquinanti come azoto, fosforo, metalli pesanti e composti organici. Questa caratteristica le rende ideali per le attività di fitodepurazione, contribuendo a ridurre il rischio di inquinamento derivante dagli scarichi su terreni agricoli o in mare [1].

Le microalghe sono anche straordinarie "fabbriche verdi" di composti bioattivi e sono da tempo riconosciute come fonte di risorse biologiche con un notevole potenziale in diversi settori, tra cui la bioenergia, i biofertilizzanti, le bioplastiche, gli alimenti per animali, l'integrazione alimentare, gli alimenti

funzionali e le industrie farmaceutica e cosmetica. All'interno di queste piccole cellule, infatti, si nasconde un tesoro di molecole dalle proprietà benefiche per la salute umana e l'ambiente.

Le microalghe sono in grado di crescere rapidamente e possono svilupparsi in vari ambienti, ma per sfruttare appieno il loro potenziale, è necessario sviluppare metodi di coltivazione efficienti che permettano di avere una coltura di qualità elevata, sempre disponibile senza nessun legame con la stagionalità, e processi di estrazione e stabilizzazione dei composti bioattivi che garantiscano la loro integrità e attività biologica.

La coltivazione di microalghe in fotobiorreattori rappresenta una soluzione innovativa per soddisfare le crescenti esigenze alimentari, energetiche e ambientali della nostra società. Questi sistemi di coltivazione controllata offrono un ambiente ottimale per lo sviluppo delle microalghe, consentendo di massimizzare la produzione di biomassa in termini di quantità e qualità, senza richiedere terreni agricoli, riducendo la competizione con la produzione di cibo e mangimi [2].

In un contesto in cui lo smaltimento eccessivo di rifiuti ha avuto un impatto negativo sulla qualità dell'acqua e sull'intero ecosistema, c'è una crescente necessità di metodi di depurazione sostenibili ed ecocompatibili. La produzione di biomasse microalgali utilizzando reflui di diverse origini e natura si configura come un processo completamente sostenibile ed ecocompatibile, in quanto prevede il riutilizzo continuo dell'acqua e l'utilizzo completo della biomassa microalgale che può rappresentare una fonte rinnovabile per la produzione di estratti funzionali e l'estrazione di biomolecole attive, offrendo un potenziale promettente per lo sviluppo di prodotti con benefici per l'ambiente e la salute. Inoltre, grazie alla possibilità di dirigere biotecnologicamente le colture cellulari, all'interno di fotobiorreattori a sistema chiuso, mediante la modifica dei parametri ambientali fondamentali, come la luce, la temperatura, il pH, la salinità e i nutrienti, è possibile produrre microalghe su larga scala per ottenere un ampio effetto di fitodepurazione e, contemporaneamente, una biomassa di elevata qualità con un alto contenuto di sostanze funzionali benefiche per la salute. Nell'ambito delle diverse tecnologie sviluppate per la coltivazione su larga scala di microalghe, che comprendono varie tipologie di impianti, è ancora necessario sviluppare tecnologie di crescita che siano efficaci ed efficienti in termini di produttività ed economicamente sostenibili. Questo è essenziale per garantire il successo e la scalabilità dei processi di coltivazione delle microalghe, consentendo un utilizzo ampio e sostenibile di queste preziose risorse biologiche. Di seguito saranno presentate le recenti attività di ricerca condotte presso il Dipartimento di

Farmacia dell'Università degli Studi di Salerno, nell'ambito di progetti finanziati dal MUR e dalla Commissione Europea che hanno esplorato la possibilità di coltivare le microalghe in fotobioreattori sperimentali progettati per essere applicati in un processo di *phytoremediation* con l'obiettivo di garantire un ciclo di vita sostenibile delle biomasse microalgali, consentendo anche il loro utilizzo, in altre filiere.

Le attività svolte si sono proposte il raggiungimento di una serie di obiettivi ambiziosi e operativi, mirati a promuovere l'innovazione nelle tecnologie green e a favorire il trasferimento tecnologico all'industria agro-alimentare e zootecnica. L'obiettivo primario è stato lo sviluppo di tecnologie eco-friendly per il trattamento dei reflui, utilizzando le microalghe come protagoniste principali.

In particolare, le attività di ricerca hanno previsto l'accrescimento della microalga *Chlorella vulgaris* in reflui derivanti da Aziende Zootecniche della piana del Sele (Campania), lo sfruttamento della biomassa microalgale per produrre estratti ad elevato contenuto di biomolecole funzionali, e la loro stabilizzazione all'interno di innovativi sistemi polimerici microparticellari, mediante la tecnologia Spray Drying, al fine di preservarne le proprietà e facilitarne l'utilizzo in prodotti salutistici (integratori alimentari e prodotti cosmetici) (figura 1).

Chlorella vulgaris

Chlorella vulgaris, della famiglia delle *Chlorellaceae*, è una specie microalgale *Chlorophyta*, comunemente note come alghe verdi, eucariotiche unicellulari. La specie è cosmopolita delle acque dolci di fiumi, laghi e lagune. Data la capacità di *Chlorella vulgaris* di adattarsi a condizioni

ambientali difficili e la sua efficacia nella fitodepurazione, è stata scelta come organismo di interesse per le attività di ricerca. La combinazione di capacità di fitodepurazione e contenuto di biomolecole funzionali all'interno di *Chlorella vulgaris* offre un'opportunità unica per ottenere una biomassa di alta qualità e allo stesso tempo contribuire alla depurazione sostenibile dell'ambiente.

Infatti, questa particolare microalga, si distingue per la sua struttura cellulare unica e la sua capacità di adattarsi e crescere anche in condizioni ambientali difficili. Una delle sue caratteristiche distintive è una parete

cellulare rigida e complessa, che svolge un ruolo fondamentale nel suo adattamento e nella sua sopravvivenza in vari ambienti. La parete è costituita da diverse strutture, tra cui cellulosa, emicellulosa, proteine, polisaccaridi, in particolare sporopollina che è in grado di conferire protezione alla cellula contro fattori ambientali avversi, come cambiamenti di temperatura, radiazioni UV e sostanze tossiche presenti nell'ambiente; questa caratteristica rende *Chlorella vulgaris* estremamente efficace nelle azioni di fitodepurazione, in quanto in grado di tollerare e assorbire una vasta gamma di inquinanti, tra cui metalli pesanti

TECNO-LIO
L'energia della Vita

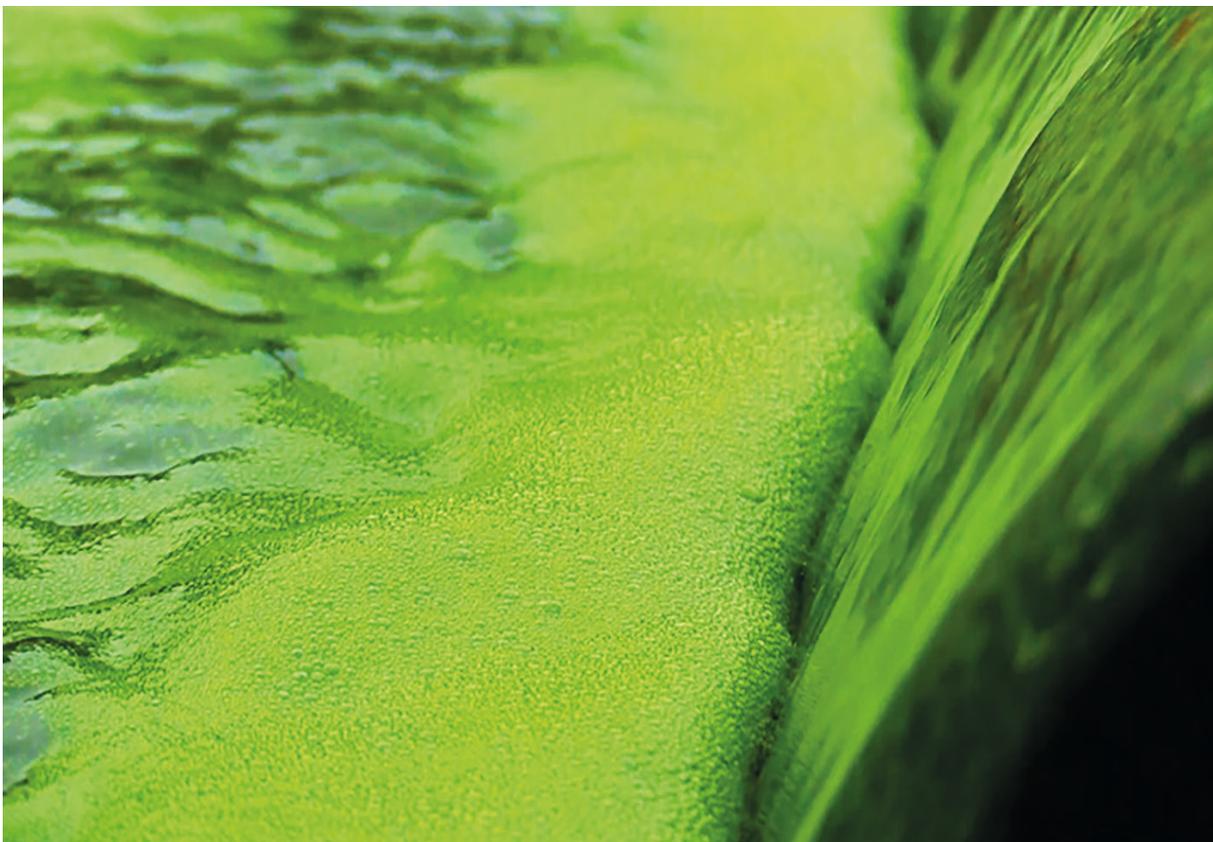
LAVORAZIONI C/TERZI
Integratori alimentari
in capsule, liquidi e liofilizzati

Si eseguono produzioni di piccoli e medi lotti

- Integratori in capsule formato 0 in barattolo o in blister
- Integratori liquidi in monodose da 10 e 15 ml
- Integratori con contagocce
- Liquidi e soluzioni in flaconi fino a 1000 ml
- Liofilizzazione in monodose con sigillatura sottovuoto
- Integratori di nostra produzione con possibilità di personalizzazione
- Lavorazione materie prime fornite dal cliente
- Confezionamento finale
- Assistenza per formulazioni personalizzate

Tecno-lio S.r.l.
Via Riviera Berica, 260 - 36100 Vicenza
Tel.0444530465 - fax.0444532275
E-mail: info@tecno-lio.it
Website: www.tecno-lio.it

Nell'immagine, un particolare di una coltura di *Chlorella vulgaris*



e composti organici [3]. In generale, *Chlorella vulgaris* rappresenta una straordinaria fonte di sostanze bioattive, tra cui i pigmenti come la clorofilla e i carotenoidi, e i composti fenolici. La presenza di una quantità significativa di clorofilla rende *Chlorella* una valida alternativa ai coloranti sintetici in diverse applicazioni nell'industria alimentare, nutraceutica e cosmetica. Oltre a conferire un colore verde vibrante ai prodotti, la clorofilla ha dimostrato potenziali benefici terapeutici, come la promozione della guarigione delle ulcere, il recupero epatico e la rigenerazione cellulare. Ma non è solo la clorofilla a fare di *Chlorella* una preziosa risorsa. Questa microalga è anche in grado di sintetizzare una varietà di carotenoidi, tra cui il β -carotene, la luteina, l'astaxantina, la cantaxantina e la violaxantina. I carotenoidi, grazie

alle loro proprietà antiossidanti, possono rafforzare il sistema immunitario e contribuire alla protezione del corpo contro lo stress ossidativo [4].

A fronte di tutti questi numerosi benefici, una parete cellulare così rigida e resistente, in grado di proteggere un serbatoio di molecole così preziose ed interessanti, rappresenta una sfida nella fase di accesso ai metaboliti bioattivi presenti nella cellula. La cellulosa, costituente principale della parete, sebbene offra protezione alla microalga in natura, rappresenta una barriera per l'assorbimento e l'utilizzo delle sue biomolecole da parte dell'organismo umano. Infatti, essendo un polisaccaride complesso, richiede l'azione di enzimi specifici per essere degradata e assimilata nel tratto digestivo umano. Questo significa che se la *Chlorella* viene ingerita nella sua forma naturale,

l'accesso alle sostanze bioattive contenute al suo interno e la loro biodisponibilità dopo l'assunzione orale sono limitate.

Per superare questa limitazione e aumentare l'accessibilità e la biodisponibilità delle sostanze bioattive, è necessario adottare processi di lavorazione, tra cui metodiche di estrazione innovative che includano una fase di rottura della parete cellulare di *Chlorella* con successiva separazione delle biomolecole bioattive desiderate.

Fitodepurazione di reflui zootecnici e produzione indoor di biomassa di *Chlorella vulgaris* in fotobioreattori

L'industria agro-alimentare è produttrice di grandi quantità di reflui ad elevato potenziale inquinante che richiedono sia interventi basati sullo sviluppo di tecnologie e processi green e su risorse naturali rinnovabili

per una depurazione ecosostenibile sia la possibilità di riutilizzo dei materiali coinvolti in modo da perseguire la riduzione dell'inquinamento ambientale e dei costi di smaltimento dei reflui. Da qui la necessità di innovazione e l'importanza della ricerca di soluzioni tecnologiche innovative, ma anche eco-compatibili ed economicamente sostenibili, per la depurazione e riduzione dell'impatto ambientale dei reflui.

Lo sviluppo di fotobioreattori sperimentali, oltre a offrire la possibilità di avere un sistema chiuso e controllato per le azioni di "phytoremediation" con l'accrescimento di *Chlorella vulgaris* in monoculture totalmente axeniche, offrono la possibilità di aumentare l'efficienza depurativa e di direzionare biotecnologicamente le colture attraverso stimoli predefiniti e standardizzati.

È noto, infatti, che gli stress chimico-fisici e ambientali, cui viene sottoposta la coltura microalgale, possono sollecitare o direzionare la produzione di specifici metaboliti, primari o secondari, che da un lato aumentano la sopravvivenza della cellula e dall'altra si accumulano come depositi di biomolecole di interesse [5]. Ad esempio, l'aumento della fotoesposizione può influenzare positivamente la crescita e la produzione di metaboliti da *Chlorella*, ma è necessario trovare un equilibrio ottimale per massimizzare i benefici senza danneggiare le cellule. L'utilizzo di sistemi di coltura controllati, come i fotobioreattori, può essere utile per ottimizzare la produzione di metaboliti desiderati.

Sulla base di tali presupposti, la prima parte delle attività di ricerca ha riguardato la produzione di biomassa di *Chlorella vulgaris* a partire da una coltura starter in piccoli volumi accresciuta in camera climatica con



Figura 2: coltura di *Chlorella vulgaris* in piccoli volumi in camera climatica e sistema sperimentale "indoor" di fotobioreattori integrati

condizioni controllate, poi inoculata in volumi crescenti, in un sistema sperimentale "indoor" di fotobioreattori integrati, organizzato in un modulo di accelerazione ed uno di produzione massiva (figura 2), progettato ad hoc per coltivare la microalga in ambiente confinato e massimizzare l'efficienza produttiva della biomassa, in modo da favorire la successiva caratterizzazione chimica e biologica di questa biomassa.

I parametri di efficacia nell'azione di fitodepurazione dei reflui sono stati monitorati mediante sensori multiparametrici in grado di rilevare, in tempo reale, i contaminanti presenti nei reflui per la valutazione dei processi di trattamento consentendo un controllo accurato ed efficiente delle operazioni di depurazione. Quindi, sono stati condotti una serie di test per valutare l'efficacia di *Chlorella vulgaris* nel trattamento dei reflui derivanti dalle attività zootecniche. I ricercatori hanno iniziato con test su piccola scala, lavorando con volumi limitati (figura 2), per poi passare gradualmente a volumi più grandi (figura 2), fino ad arrivare a un test in cui il trattamento è stato effettuato in modo continuo all'interno di fotobioreattori integrati dal volume di 150 litri ciascuno (figura 2).

AQUAMARIS

elixir

...naturale effetto detossificante

Con Tarassaco, Betulla e Gramigna
che favoriscono il drenaggio
dei liquidi corporei
e le funzioni depurative dell'organismo.



SARANDREA
FITOTERAPIA

Sarandrea,
da 100 anni
una storia
naturale.

www.sarandrea.it

COLLEPARDO (FR)
Via D'Alatri, 3/b
Tel. 0775.47012
Fax 0775.47351

Durante le varie fasi delle sperimentazioni, sono state monitorate attentamente la crescita delle microalghe e le concentrazioni di sostanze come ammonio, nitrati, nitriti e azoto organico e inorganico presenti nei campioni di refluo. I ricercatori hanno preso in considerazione diverse variabili, come la quantità iniziale di microalghe in termini di densità cellulare, l'intensità della luce, la temperatura e il pH dell'ambiente di crescita, al fine di individuare le condizioni ottimali per ottenere un trattamento efficace. Basandosi sui risultati ottenuti durante i test condotti sui piccoli volumi, sono state identificate le condizioni operative più adatte per il trattamento in continuo dei reflui in fotobioreattori. Queste condizioni includono la quantità iniziale di refluo utilizzata, il tempo di permanenza delle microalghe nei fotobioreattori e la temperatura di processo. Durante le sperimentazioni, è stato osservato che il trattamento con *Chlorella vulgaris* dei reflui zootecnici provenienti dal settore bufalino ha portato a una riduzione del 90% dell'ammonio e del 30% dell'azoto inorganico, mentre l'azoto organico è aumentato dell'80% dopo circa 400 ore di trattamento. Questi risultati dimostrano la capacità delle microalghe di trasformare l'ammonio presente nei reflui zootecnici in azoto organico, che è essenziale per il loro processo di crescita cellulare, contribuendo così alla depurazione dei reflui. Inoltre, i risultati ottenuti nel monito-

raggio dei parametri vitali delle microalghe coltivate in presenza di refluo hanno confermato la loro sopravvivenza con una buona efficienza fotosintetica, una buona vitalità e una produttività soddisfacente, confermando e valorizzando il design e la progettazione del sistema sperimentale di produzione.

Recupero ed essiccamento della biomassa

Una parte critica del sistema produttivo ai fini delle successive fasi di lavorazione o conservazione ha riguardato le attività di recupero ed essiccamento della biomassa prodotta. In generale, i processi utilizzati per il recupero delle microalghe hanno da sempre rappresentato problemi nella fase di separazione delle cellule algali dall'acqua a causa della tipica dimensione delle cellule che varia da 0,2 a 20 micrometri e richiedono grandi volumi di coltura diluita da movimentare per recuperare la biomassa. La fase di recupero si stima che incida per circa il 20-30 % sul costo totale della produzione di biomassa [6].

In generale è necessario combinare varie tecniche che richiedono uno o più fasi di separazione solido-liquido. La centrifugazione in continuo combinata con tecniche di sedimentazione assistita ha portato all'ottenimento di biomassa umida (figura 3a) con un contenuto di solido medio del 17% (umidità residua 83%) successivamente sottoposta ad essiccamento mediante tecnolo-

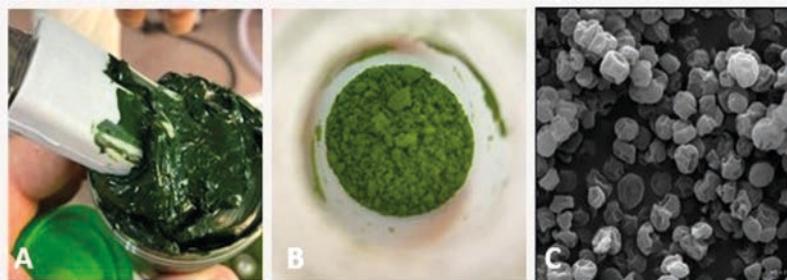
gia Spray Drying. Questa è una tecnologia di atomizzazione a spruzzo continuo, che grazie alla combinazione di temperatura e pressione, permette, in un unico step, di trasformare una matrice liquida in un prodotto secco, solido e finito con proprietà dipendenti dalle condizioni operative adottate [7]. Tale tecnologia ha permesso di ottenere una biomassa microalgale secca con un contenuto di umidità residua inferiore al 3%, rendendola maggiormente stabile e duratura nel tempo, avente caratteristiche tecnologiche in grado di influenzare positivamente l'efficienza di operazioni successive come la fase di estrazione dei componenti funzionali dalla biomassa essiccata.

La polvere fine così ottenuta (figura 3b) è risultata formata da unità cellulari essiccate micrometriche (figura 3c), ben formate e che non hanno subito degradazione né fenomeni di alterazione chimico-fisica evidenziando il successo dell'intervento di essiccamento adottato.

Produzione e caratterizzazione dell'estratto funzionale da *Chlorella vulgaris*

La crescente tendenza verso l'utilizzo di ingredienti naturali nelle formulazioni cosmetiche e nutraceutiche rende particolarmente interessante e promettente l'impiego più diffuso e sicuro di *Chlorella vulgaris* come risorsa preziosa. L'estrazione e l'utilizzo mirato delle sostanze bioattive di questa microalga consentono, come detto in precedenza, di sfruttarne appieno il potenziale per creare prodotti innovativi e di elevata qualità. Al fine di recuperare in modo efficace le molecole bioattive è necessario superare una criticità legata alla microalga *Chlorella vulgaris* che è rappresentata dalla sua parete complessa, che

Figura 3: biomassa umida concentrata (a), biomassa essiccata via spray drying (b), immagini al microscopio a scansione elettronica (SEM) delle cellule di *Chlorella vulgaris* essiccate (c)



se da un lato gli consente di sopravvivere ed accrescere velocemente anche in condizioni difficili, dall'altro diventa un limite nei processi estrattivi. Per questo motivo per i ricercatori del DIFARMA è stato fondamentale e cruciale individuare un adeguato metodo di disintegrazione, valutando diversi metodi fisici come omogenizzazione con ultraturrax, sonicazione, ultrasuoni singolarmente o in combinazione.

Per sviluppare un estratto green, è stato selezionato ed utilizzato un solvente GRAS al fine di ottenere un estratto ricco in molecole bioattive adatto allo sviluppo di prodotti sicuri, oltre che efficaci, per il consumatore finale.

Diversi parametri sono stati ottimizzati come il rapporto biomassa:solvente, tempi di estrazione e cicli di estrazione. L'estratto ottenuto è risultato ricco in carotenoidi, in particolare luteina alla quale sono attribuite diverse proprietà benefiche come antiossidante, antinfiammatoria, neuroprotezione, riduzione dell'incidenza dei disturbi coronarici, malattie degli occhi ed irritazioni cutanee [8].

Stabilizzazione dell'estratto in sistemi microparticellari multicomponente via spray drying

L'estratto da *C. vulgaris* rappresenta una fonte ricchissima di sostanze attive ma che appare poco utilizzabile nei prodotti di destinazione e nelle normali condizioni di processo a causa della instabilità dei carotenoidi in esso contenuti e della scarsa solubilità in acqua.

La stabilità di un prodotto si riferisce alla sua capacità di mantenere nel tempo le sue proprietà fisiche, chimiche e microbiologiche, anche in specifiche condizioni di conservazione. Garantire la stabilità di

un prodotto significa studiare l'effetto di vari componenti come temperatura, umidità, luce e altri fattori ambientali, sulla qualità del prodotto, intesa come garanzia di sicurezza d'uso, affidabilità ed efficacia durante tutta la vita del prodotto. Infatti, questi studi sono fondamentali anche per prevedere la durata di conservazione, selezionare il packaging adeguato e fornire istruzioni di conservazione. Nell'industria farmaceutica, gli studi di stabilità sono obbligatori e richiesti dalle autorità regolatorie per garantire che il prodotto farmaceutico rimanga sicuro ed efficace per tutta la sua durata.

Allo stesso modo, nell'industria degli integratori alimentari, gli studi di stabilità sono essenziali per garantire la sicurezza e l'efficacia del prodotto.

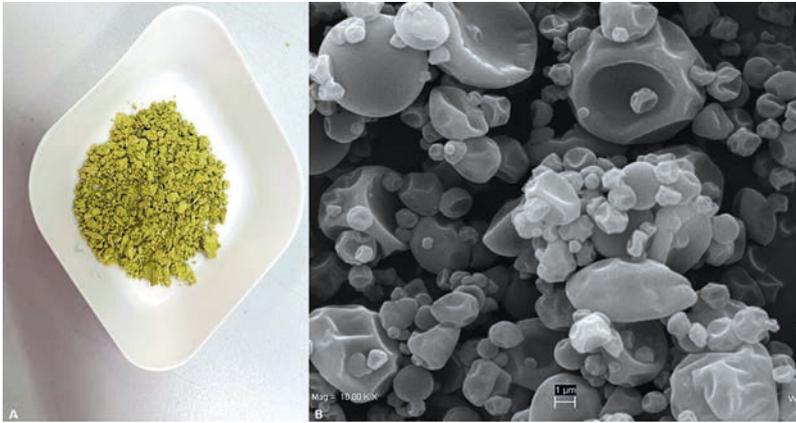
Sebbene non esistano requisiti specifici per le condizioni di conservazione e i test di stabilità degli integratori alimentari, è scientificamente corretto utilizzare le stesse condizioni dei test di stabilità farmaceutici [9]. La stabilizzazione dell'estratto di *Chlorella* prodotto, ed il mantenimento di efficacia e sicurezza nel tempo, ha rappresentato una sfida tecnologica di particolare rilievo proprio perché, tal quale, l'estratto presentava una elevata suscettibilità alla

CICLISTA QUOTIDIANO?



VIENI A SCOPRIRE **BC**
 LA RIVISTA PER TE CHE AMI E VIVI LA BICI
 COLLEGATI A WWW.RIVISTABC.COM
 E SCARICA SUBITO LA TUA COPIA OMAGGIO

Figura 4: foto della polvere microparticellare contenente l'estratto di *Chlorella vulgaris* (a), microfotografia SEM delle microparticelle costituenti la polvere (b)



degradazione e all'ossidazione. Per affrontare questa sfida, i ricercatori del DIFARMA hanno proposto l'utilizzo dello spray drying quale tecnologia particellare per la microincapsulazione dell'estratto funzionale. La tecnologia particellare, in termini di produzione di sistemi micro e nano-particellari, è spesso alla base della preparazione di diverse forme di somministrazione orale e topiche, rappresentando in alcuni casi formulazioni self-consistent per il rilascio controllato di bioattivi e/o sostanze dermoattive per la produzione di nutraceutici, alimenti funzionali e cosmeceutici. Oltre al processo di spray drying, la scelta dei materiali di rivestimento per la composizione della matrice ha rivestito un ruolo fondamentale. Il metodo proposto per incapsulare l'estratto di *Chlorella vulgaris* in particelle fini si è basato su una combinazione di processo di spray drying e di un vettore multicomponente ottimizzato composto da amidi modificati ad elevato peso molecolare, Inulina e Lecitina. L'utilizzo di questi polisaccaridi in una matrice ben bilanciata, insieme all'emulsionante Lecitina, ha migliorato la stabilità e la solubilità dell'estratto. La valutazione della stabilità a 12 mesi di conservazione del microparticolato è stata eseguita secondo linee guida ICH utilizzando

la "flow chart" decisionale per i test di stabilità e fotostabilità dei prodotti farmaceutici [10]. I risultati hanno messo in evidenza che: il processo tecnologico adottato ha permesso di ottenere polveri (figura 4a) costituite da microparticelle amorfe, ben formate (figura 4b), con elevata efficienza di incapsulazione (> 80%) e rese di processo scalabili (>70%), con elevata velocità di dissoluzione in acqua (80% in 15 minuti, rispetto all'estratto non incapsulato (20% nello stesso tempo). Il nuovo ingrediente è risultato stabile in condizioni di conservazione controllate fino a 12 mesi, preservando il contenuto di luteina, marker bioattivo dell'estratto, con una percentuale di ritenzione maggiore del 65%. La polvere microparticolata non ha mostrato modifiche fisiche significative conservando un adeguato comportamento tecnologico in termini di bagnabilità, dissoluzione in acqua, comprimibilità e scorrevolezza, tutti parametri tecnologici importanti nei processi di produzione e somministrazione di prodotti salutistici, per tutto il periodo di conservazione. La ricerca ha permesso di sviluppare un nuovo ingrediente salutistico contenente l'estratto funzionale di *Chlorella vulgaris* proveniente da biomassa microalgale ottenuta da un processo di fitodepurazione.

La formulazione tecnologica mi-

croparticellare ha migliorato la solubilità garantendo maggiore stabilità e favorendo la manipolazione degli ingredienti nelle fasi produttive e di stoccaggio.

Conclusioni

Le microalghe rappresentano una preziosa risorsa per l'ambiente e la salute umana. Le loro straordinarie capacità di fotosintesi, fitodepurazione e produzione di biomasse ricche di composti bioattivi le rendono degli organismi eccezionali con un enorme potenziale. Le attività di ricerca condotte presso il Dipartimento di Farmacia dell'Università degli Studi di Salerno hanno dimostrato l'applicabilità e l'efficacia delle microalghe, in particolare *Chlorella vulgaris*, nel trattamento dei reflui e nella produzione di biomasse di alta qualità. Attraverso l'utilizzo di fotobioreattori sperimentali, è stato possibile coltivare *Chlorella vulgaris* in un ambiente controllato, riducendo significativamente la presenza di inquinanti come l'ammonio e l'azoto inorganico del refluo, ottimizzando le condizioni di crescita e massimizzando la produzione di biomassa. Inoltre, l'estratto funzionale ottenuto da *Chlorella vulgaris* si è rivelato una preziosa fonte di molecole bioattive, come i carotenoidi e la luteina, che offrono numerosi benefici per la salute umana. Grazie all'utilizzo di tecnologie innovative, come lo spray drying e la microincapsulazione, è stato possibile stabilizzare l'estratto di *Chlorella vulgaris*, migliorandone la solubilità e la stabilità nel tempo. I risultati ottenuti rappresentano un importante passo avanti nella valorizzazione sostenibile delle microalghe, aprendo la strada allo sviluppo di prodotti con benefici per l'ambiente e la salute umana.

*** UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO,
Dipartimento di Farmacia**



Questo lavoro è stato supportato dal progetto FISR Green Mare "Green Concept in MicroAlgal-Based Health Products and PhytoRemediation" [numero di finanziamento FISR2019_04634 GreenMA-RE B44G19000120008] e dal Centro Nazionale di Ricerca Agritech ed ha ricevuto finanziamenti dall'Unione Europea Next-GenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza PNRR - Missione 4 Componente 2, Investimento 1.4 - D.D. 1032 del 17/06/2022, [numero di finanziamento CN00000022]). Il presente articolo riflette unicamente le opinioni degli autori e né l'Unione Europea né la Commissione Europea possono essere considerati responsabili di esse.

Bibliografia

- [1] H. Hu, X. Li, S. Wu, C. Yang, Sustainable livestock wastewater treatment via phytoremediation: Current status and future perspectives, *Bioresour. Technol.* 315 (2020) 123809. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123809>.
- [2] H. Ting, L. Haifeng, M. Shanshan, Y. Zhang, L. Zhidan, D. Na, Progress in microalgae cultivation photobioreactors and applications in wastewater treatment: A review, *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 10 (2017) 1–29. <https://doi.org/10.3965/ijabe.20171001.2705>.
- [3] J.A. Coronado-Reyes, J.A. Salazar-Torres, B. Juárez-Campos, J.C. González-Hernández, *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review, *Food Sci. Technol.* 42 (2022) 1–11. <https://doi.org/10.1590/fst.37320>.
- [4] M. Gong, A. Bassi, Carotenoids from microalgae: A review of recent developments, *Biotechnol. Adv.* 34 (2016) 1396–1412. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.10.005>.
- [5] G. Salbitani, F. Del Prete, S. Carfagna, G. Sansone, C.M.A. Barone, Enhancement of pigments production by nanochloropsis oculata cells in response to bicarbonate supply, *Sustain.* 13 (2021) 1–8. <https://doi.org/10.3390/su132111904>.
- [6] E. Molina Grima, E.H. Belarbi, F.G. Acien Fernández, A. Robles Medina, Y. Chisti, Recovery of microalgal biomass

and metabolites: Process options and economics, *Biotechnol. Adv.* 20 (2003) 491–515. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(02\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(02)00050-2).

[7] F. Sansone, T. Esposito, T. Mencherini, M.R. Lauro, P. Del Gaudio, P. Picerno, G. Pepe, R.P. Aquino, Particle technology applied to a lactose/NaCMC blend: Production and characterization of a novel and stable spray-dried ingredient, *Powder Technol.* 329 (2018) 304–312. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.01.043>.

[8] S. Mitra, A. Rauf, A.M. Tareq, S. Jahan, T. Bin Emran, T.G. Shahriar, K. Dharma, F.A. Alhumaydhi, A.S.M. Aljohani, M. Rebezov, M.S. Uddin, P. Jeandet, Z.A. Shah, M.A. Shariati, K.R. Rengasamy,

Potential health benefits of carotenoid lutein: An updated review, *Food Chem. Toxicol.* 154 (2021) 112328. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112328>.

[9] R.P. Aquino, G. Auriemma, G.M. Conte, T. Esposito, E. Sommella, P. Campiglia, F. Sansone, Development of chitosan/mannitol microparticles as delivery system for the oral administration of a Spirulina bioactive peptide extract, *Molecules.* 25 (2020) 1–20. <https://doi.org/10.3390/molecules25092086>.

[10] Agency European Medicines, ICH Topic Q 1 A (R2) Stability Testing of new Drug Substances and Products, 2006. <https://www.ema.europa.eu/en/ich-q1a-r2-stability-testing-new-drug-substances-drug-products>.

Loghi a supporto del finanziamento



Essencia

NATURAL FRAGRANCE, SWISS DESIGN



**100%
FRAGRANZE
NATURALI**



**OLI
ESSENZIALI
DI ALTA GAMMA**



**PROFUMI
CREATI
SU MISURA**

Creazione di miscele e di fragranze innovative

Essencia – distribuito in Italia da Carlo Sessa SpA,
Via Venezia 39, 20099 Sesto San Giovanni (Mi)
+39 02 240 20 51 - info@carlolessa.it - www.carlolessa.it



CARLO SESSA
PHARMA - FOOD & COSMECEUTICAL INGREDIENTS