



DALLE ALGHE UN FUTURO SOSTENIBILE

Il progetto PRIN-PNRR “DreamWEEDme” mira alla valorizzazione integrale delle alghe infestanti del Mediterraneo, attraverso approcci analitici innovativi e sostenibili per l'estrazione e la purificazione di composti bioattivi ad alto valore aggiunto. I risultati attesi includono nuove formulazioni nutraceutiche e ingredienti funzionali a partire da una risorsa oggi considerata problematica dal punto di vista ambientale e ricreativo.

Le alghe marine stanno conquistando sempre più attenzione come *superfood* naturale, fonte rinnovabile di composti bioattivi e alleate nella lotta al cambiamento climatico, grazie ai numerosi servizi ecosistemici che offrono, tra cui il biorisanamento delle acque reflue, il miglioramento della biodiversità marina e la protezione delle coste [1]. In questo contesto, le alghe rappresentano una risorsa blu di straordinaria importanza, capace di contribuire in modo concreto agli obiettivi della *Blue Economy* sostenibile e della Bioeconomia Circolare. Attualmente si contano oltre 221 specie algali di interesse commerciale e il mercato globale delle alghe è valutato in circa 12,78 miliardi di dollari nel 2025, con una previsione di crescita fino a 16,20 miliardi di dollari entro il 2034. Di queste, più di 145 specie vengono già impiegate come alimenti destinati al consumo umano [2].

Nel corso di milioni di anni, le alghe marine hanno sviluppato la capacità di adattarsi alla vita marina e di produrre sostanze di varia natura utili come meccanismo di difesa dai predatori, *competitors* e altre minacce [3]. Molti di questi composti sono considerati oggi molecole bioattive capaci di esibire attività immunomodulante [4], antiossidante [5], antimicrobica [6] e antivirale [7]. Per questo motivo, e considerando la grande biodiversità delle alghe marine, questi organismi rappresentano una fonte molto importante di molecole bioattive. Il Mediterraneo, attualmente, è sempre più soggetto a fioriture algali, fenomeni associati alla proliferazione di macroal-

ghe non autoctone che possono alterare l'equilibrio ecologico, ostacolare la balneazione e incidere negativamente su economia e turismo. Questi residui organici, detti “*beach wrack*”, rappresentano oggi un costo di smaltimento notevole per gli enti locali e un disagio per pescatori e turisti [8].

Ma se le alghe infestanti fossero considerate una risorsa?

Il progetto “DreamWEEDme” (Prot. P2022PTYWP) nasce proprio da questa visione: trasformare un problema ambientale in un'opportunità di sviluppo sostenibile e valorizzazione. Coordinato dall'Università di Roma “La Sapienza”, in collaborazione con gli atenei di Ferrara, Messina e Milano, il progetto intende sfruttare le potenzialità nutrizionali e farmacologiche delle alghe marine infestanti, utilizzando strategie analitiche avanzate e tecnologie verdi.

Il cuore del progetto è quello di sviluppare una piattaforma analitica integrata per la caratterizzazione dei composti bioattivi quali polifenoli, potenti antiossidanti, lipidi, cruciali per la salute cardiovascolare e cerebrale, peptidi bioattivi a basso peso molecolare, ottenuti da approcci dedicati basati su cromatografia liquida e spettrometria di massa ad alta risoluzione combinata con un'analisi bioinformatica dei dati e la valutazione della loro sicurezza determinando il contenuto in metalli pesanti. I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli di specie algali commerciali ed edibili, per individuare peculiarità e vantaggi competitivi delle specie infestanti del Mare Adriatico (Fig. 1).

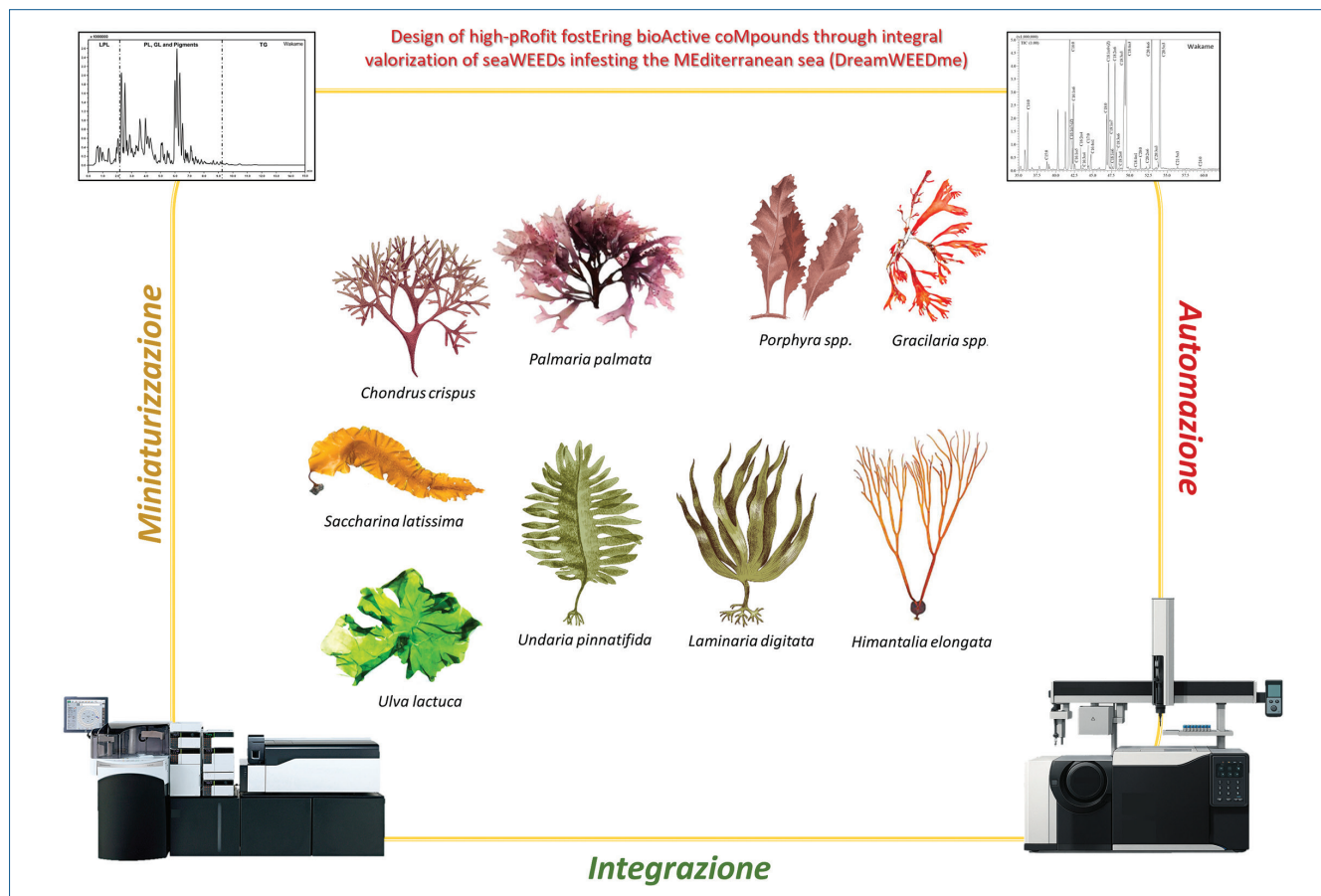


Fig. 1 - Campioni delle alghe analizzate nel progetto DreamWEEDme e schema del progetto

L'attività analitica prevede l'utilizzo di tecniche avanzate di cromatografia sia gassosa (GC) che liquida (UHPLC) accoppiate a spettrometria di massa (MS), piattaforme bioinformatiche per la determinazione di peptidi a catena corta e sistemi cromatografici preparativi per isolare composti bioattivi sia in modalità a singola colonna (batch) sia continua, quali Multicolumn Countercurrent Solvent Gradient Purification (MCSGP). Questa tecnica consente non solo di automatizzare il processo di purificazione aumentando la resa, ma anche di minimizzare il consumo di solvente richiesto rispetto alle tecniche batch.

Tra i risultati ottenuti nel progetto, attraverso lo studio di otto specie algali commestibili delle tre classi tassonomiche (brune, verdi, rosse), è stato caratterizzato il profilo lipidico dettagliato, in grado di individuare oltre 900 specie molecolari. Grazie alla reazione fotochimica di aza-Paternò-Büchi (aPB), è stato possibile localizzare i doppi legami degli acidi

di grassi, fornendo indicazioni preziose sulla qualità nutrizionale delle alghe. In Fig. 2 è riportato uno schema riassuntivo della reazione aPB.

In particolare, l'attenta analisi lipidomica delle specie infestanti ed edibili ha evidenziato che esse sono ricche di acidi grassi polinsaturi (PUFA) a elevato valore nutraceutico, come acido eicosapentaenoico

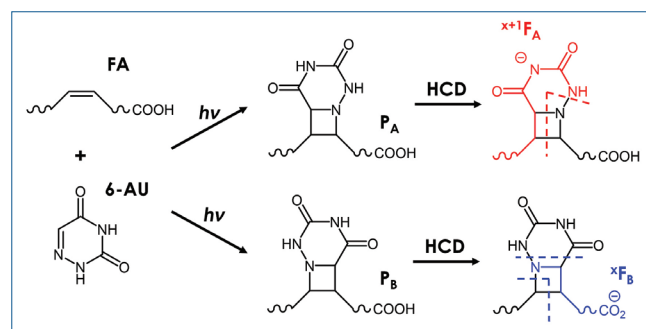


Fig. 2 - Schema di reazione della reazione di aPB e meccanismi di frammentazione

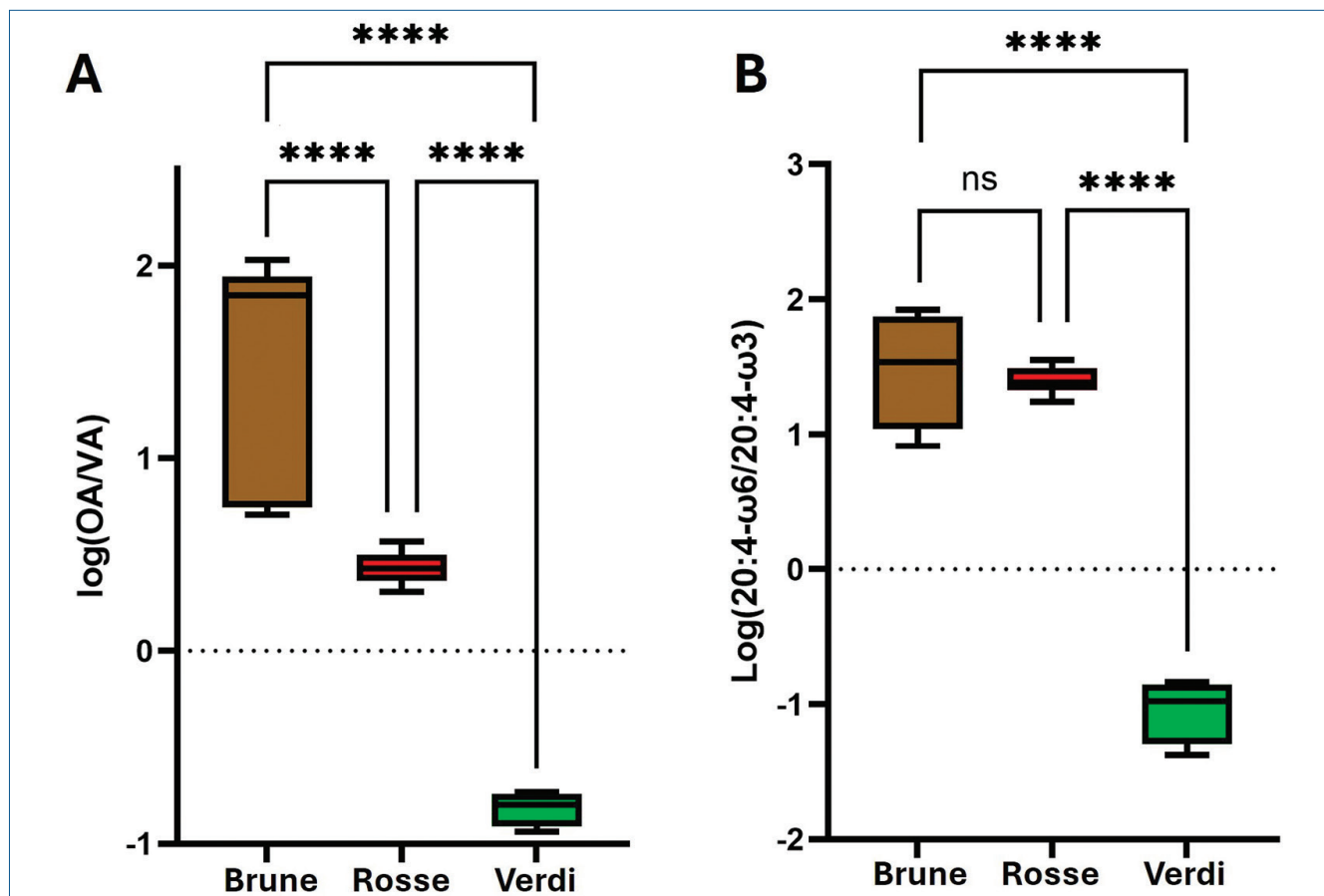


Fig. 3 - Grafici di box and whisker che mostrano i rapporti tra i regioisomeri delle specie lipidiche FA 18:1 in termini di acido oleico e vaccenico (A) e rapporto $\omega 6/\omega 3$ degli isomeri regiostrutturali dell'acido grasso 20:4 (B) nelle diverse classi di alghe analizzate dopo derivatizzazione con aPB e analisi LC-MSdi frammentazione

(EPA) e acido α -linolenico (ALA), noti per i loro effetti benefici su cuore, metabolismo e infiammazione. In alcune specie, i livelli dei PUFA superavano l'80% del contenuto totale lipidico, con rapporti PUFA/SFA (acidi grassi saturi) molto favorevoli e $\omega 6/\omega 3$ inferiori a 1, parametri ideali per la salute umana. L'uso di derivatizzazione fotochimica ha permesso di individuare regioisomeri rari, distinguendo i profili lipidici tra famiglie algali: $\omega 9$ prevalente nelle alghe brune, $\omega 7$ nelle alghe verdi (Fig. 3).

Questi risultati evidenziano il potenziale delle alghe come fonti sostenibili di "grassi buoni", candidandole a ingredienti di nuova generazione per integratori e alimenti funzionali [9]. Inoltre, in linea con le recenti tendenze della chimica analitica fondate sui principi della "chimica verde" e della sostenibilità, sono state messe a punto delle metodiche di analisi dei lipidi caratterizzate dal più alto livello di miniaturizzazione, integrazione e, infine, automazione.

Ciò è stato possibile attraverso l'impiego di stazioni preparative robotizzate dedicate accoppiate on-line ai sistemi di gas cromatografia e cromatografia liquida. Pertanto, tutte le procedure di estrazione, filtrazione, derivatizzazione, mixing, e iniezione dei lipidi venivano condotte in maniera del tutto automatizzata, incrementando la riproducibilità e la produttività degli estratti lipidici.

Sul fronte dei polifenoli, il progetto DreamWEEDme ha portato all'identificazione di molecole solfate ad alto potenziale funzionale, fino ad ora scarsamente considerate. Queste molecole, derivate dalla solfatazione di polifenoli naturali, mantengono l'attività antiossidante e presentano una migliore solubilità e biodisponibilità, rendendole promettenti per applicazioni nutraceutiche.

Una delle scoperte più incoraggianti del progetto ha riguardato i di- e tripeptidi estratti; il metodo implementato nel progetto basato su una metabolomica

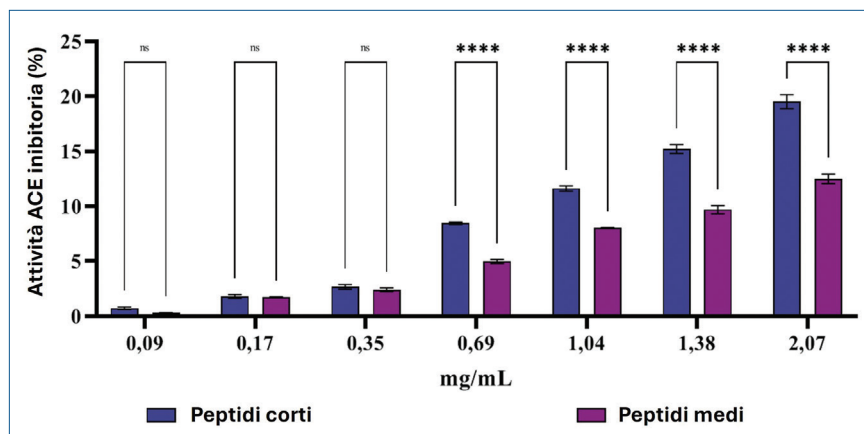


Fig. 4 - Valutazione dell'attività ACE inibitoria delle frazioni di peptidi corti e medi ricavate dalle alghe infestanti frammentazione

in *suspect screening* ha permesso di isolare la frazione di queste piccole sequenze bioattive, capaci di modulare lo stress ossidativo e supportare il metabolismo. In collaborazione con l'Università di Milano, sono state studiate l'attività antiossidante e la potenziale capacità di modulare processi metabolici chiave, candidando tali composti come nuove molecole funzionali per lo sviluppo di integratori e alimenti salutistici.

Le prove di attività biologica e di assorbimento su cellule intestinali Caco-2 hanno mostrato che queste molecole vengono rapidamente assorbite a livello intestinale non incorrendo nella degradazione ga-

strointestinale che invece avviene per peptidi a catena medio-lunga, e siano quindi in grado di esercitare effetti sistemici rilevanti, tra cui attività antiossidante, antipertensiva e modulazione di processi infiammatori. Inoltre, la loro origine algale li rende compatibili con diete vegetali e sostenibili, posizionandoli come ingredienti ideali per una nuova generazione di integratori "green" per la cura e la prevenzione della sindrome metabolica (Fig. 4).

L'approccio sviluppato nell'ambito del progetto DreamWEEDme pone

le basi per un uso integrato delle macroalghe infestanti come fonti lipidiche, peptidiche ad alto valore, in grado di essere sfruttate in integratori nutrizionali, alimenti funzionali e cosmeceutici. Inoltre, l'elevata specificità della metodologia analitica implementata permette di affrontare in modo innovativo il tema della tracciabilità e valorizzazione dei prodotti algali in ottica bioeconomica e circolare. Valorizzare ciò che oggi viene scartato è una delle sfide più importanti della chimica del futuro. Con DreamWEEDme, l'Italia si propone come protagonista di un nuovo modello di innovazione *bio-based*, in grado di coniugare tutela ambientale, sviluppo economico e salute pubblica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Jueterbock *et al.*, *Npj Ocean Sustain.*, 2025, **4**, 22, DOI: <https://doi.org/10.1038/s44183-025-00122-9>.
- [2] S. Armeli Minicante *et al.*, *Sustainability*, 2022, **14**, 5634, DOI: <https://doi.org/10.3390/su14095634>.
- [3] J.M.S. Ponte *et al.*, *Molecules*, 2022, **27**, 1787, DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27061787>.
- [4] V. Thépot *et al.*, *Aquaculture*, 2022, **546**, 737286, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737286>.
- [5] N. Nunes *et al.*, *Heliyon*, 2018, **4**, e00957, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00957>.
- [6] A.K. Mishra, *OALib*, 2018, **05**, 1, DOI: <https://doi.org/10.4236/oalib.1104258>.
- [7] E.A. Shalaby, S.M.M. Shanab, *Univers. J. Pharm. Res.*, 2021, **6**(2), 14, DOI: <https://doi.org/10.22270/ujpr.v6i2.573>.
- [8] V. Rudovica *et al.*, *Front. Mar. Sci.*, 2021, **8**, DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.723333>.
- [9] C.M. Montone *et al.*, *Anal. Bioanal. Chem.*, 2024, **416**, 6269, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00216-024-05573-6>.

A Sustainable Future from Algae

DreamWEEDme project proposes an innovative biorefinery concept for Mediterranean infesting seaweeds. Through green analytical chemistry approaches and continuous purification technologies, the project aims to transform a marine environmental challenge into an opportunity for the nutraceutical and pharmaceutical sectors.