



IL FUTURO DELL'ECONOMIA CIRCOLARE È IL MARE

L'industria ittica produce grandi quantità di scarto. Applicare i principi di economia circolare e del cradle-to-cradle (dalla culla alla culla) a questo settore apre grandi possibilità in termini di sviluppo di nuove catene trasversali di valori con ricadute positive in diversi campi, dall'agricoltura alla cosmetica.



La popolazione globale, in continuo aumento, consuma sempre più pesce e non ha alcuna intenzione di smettere. Uno degli ultimi documenti più completi e autorevoli che permette di capire quanto pesce produciamo è quello del 2018 stilato dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) intitolato "The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA)" [1]. Il rapporto descrive la produzione mondiale di pesce (inclusi molluschi, crostacei, etc.) dal 1950 al 2016 e ne stima l'andamento nel prossimo futuro (Fig. 1) [2]. Negli ultimi anni, l'aumento della produzione di pesce è stato principalmente legato alla crescita del settore dell'acquacoltura, in contrapposizione al rallentamento delle quantità di pescato proveniente dalla pesca in mare, ormai stabile da più di trent'anni.

Nel 2030 la quantità di pesce prodotto raggiungerà circa i 200 milioni di tonnellate, con una crescita del 18% rispetto al livello attuale, comportando la produzione di quantità ingenti di "scarto". Infatti, solo il 41% in peso dei prodotti ittici viene destinato al consumo alimentare umano, mentre il rimanente 59% è costituito da sottoprodotti che vengono per lo più rigettati in mare o smaltiti come rifiuti. Il costo di tale smaltimento può raggiungere i 400 € per tonnellata, rappresentando un problema sia per l'economia delle aziende del settore che per l'ambiente. Rapportato alla produzione mondiale di pesce prevista entro il 2030, il costo dello smaltimento per le aziende potrebbe raggiungere i 48 miliardi di euro. Gli attuali metodi di riutilizzo e valorizzazione degli scarti della lavorazione dei prodotti ittici prevedono principalmente la trasformazione della par-

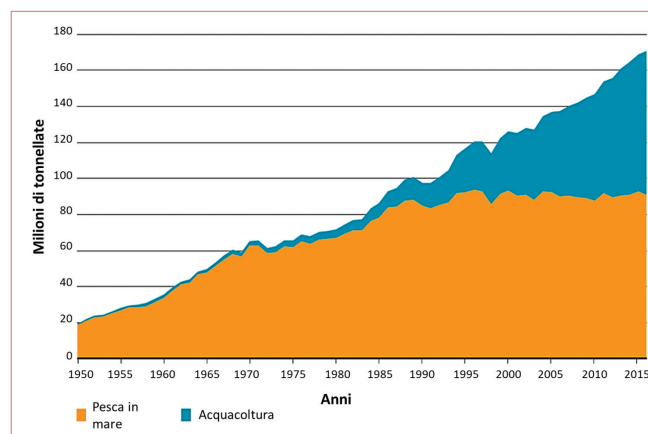
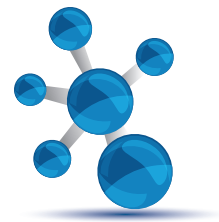


Fig. 1 - Produzione mondiale di pesce da attività di pesca in mare e da acquacoltura dal 1950 al 2016 [2]



te organica in ingredienti per i settori dell'alimentazione degli animali domestici (pet-food) e della mangimistica per gli allevamenti. Da alcuni scarti selezionati è invece possibile produrre ingredienti per la farmaceutica e la nutraceutica. Ad esempio, dal carapace dei crostacei viene estratta la chitina che, dopo parziale idrolisi, viene trasformata in chitosano, un polimero impiegato anche nell'industria alimentare, nella cosmetica ed in altri settori [3]. Tuttavia, alcuni di questi prodotti non sono al momento sufficientemente remunerativi da incentivare le aziende del settore ittico verso il recupero su larga scala degli scarti e, in molti casi, i processi di estrazione e produzione sono lunghi, complessi ed energeticamente dispendiosi. È dunque necessario ideare nuovi processi semplici in grado di riutilizzare tutte le componenti degli scarti, compresa quella inorganica, per generare prodotti ad alto valore aggiunto con nuove prospettive di mercato, di modo da aumentare il valore dell'intera filiera e diminuirne allo stesso tempo l'impatto ambientale.

All'Istituto di Scienza e Tecnologie dei Materiali Ceramici (ISTEC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Faenza sono in corso ricerche volte al recupero dei sottoprodotti inorganici della filiera ittica e alla loro conversione in materiali ad elevato valore tecnologico per applicazioni in agricoltura e in cosmetica. Questi studi nascono da un progetto del 2018 finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali e del Turismo (MIPAAFTI) chiamato "RECOVER" avente come scopo la riduzione delle eccedenze dell'industria alimentare tramite la valorizzazione della componente inorganica degli scarti ittici secondo un approccio di economia circolare.

Secondo la definizione della Ellen MacArthur Foundation [4], una delle fondazioni private più grandi al mondo attive nella promozione dell'economia circolare, con il termine economia circolare si intende un sistema economico in grado di riutilizzare sia i materiali di produzione che i sottoprodotti in cicli produttivi continui, riducendo al massimo gli sprechi. Applicare i principi dell'economia circolare significa rompere lo schema imposto dall'economia lineare (produzione-consumo-rifiuto) e superare il concetto stesso di riciclo, attraverso la riprogettazione dei prodotti e dei processi produttivi. Sulla

base di questi principi, la tecnologia che abbiamo sviluppato all'ISTEC-CNR permette di convertire scarti ittici, come lische di pesce e gusci di molluschi, costituiti rispettivamente da fosfato e carbonato di calcio, in materiali innovativi per applicazioni in campo agricolo e cosmetico.

Nuovi materiali per l'agricoltura di precisione

Nel 2011 la FAO ha introdotto il concetto di intensificazione sostenibile della produzione agricola (Sustainable Crop Production Intensification, SCPI [5]) con l'obiettivo di "aumentare la produzione agricola per unità di area, prendendo in considerazione tutti i fattori sociali, politici, economici e ambientali rilevanti". In quest'ottica, a destare molta preoccupazione è la diminuzione della disponibilità globale di fosforo, uno dei nutrienti primari delle piante, impiegato come ingrediente principale in quasi tutti i fertilizzanti. L'esteso ricorso all'estrazione di rocce fosfatiche da cui vengono prodotti i fertilizzanti, unito all'uso su larga scala dei fosfati a scopi agricoli e all'aumento della domanda di cibo da parte della popolazione mondiale, ha portato all'esaurimento di molte delle riserve naturali minerarie di fosforo presenti sul pianeta [6]. Il Global Phosphorus Research Initiative [7], che nasce dalla collaborazione di sei istituti di ricerca internazionali indipendenti, e l'International Fertilizer Association (IFA) sostengono che il picco nella produzione globale di fosforo potrebbe verificarsi entro 20-50 anni. Altri studi, invece, lo ipotizzano entro il 2033 (Fig. 2) [8]. In un tale contesto, l'uso di residui alimentari come materia prima a basso costo rappresenta una fonte

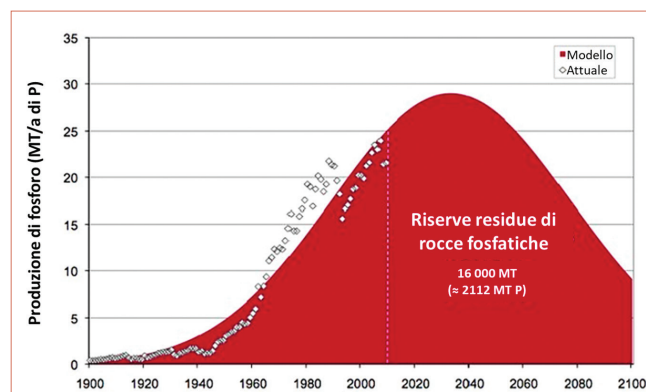


Fig. 2 - Proiezione dell'andamento della produzione di fosforo mondiale da fonti minerarie [8]

alternativa di fosforo attraente per la produzione di prodotti agricoli di valore.

All'ISTEC-CNR abbiamo sviluppato un processo per la produzione di fertilizzanti innovativi a base di fosfato di calcio estratto dalle lische di pesce scartate dall'industria ittica in grado di aumentare l'efficienza di utilizzo dei nutrienti da parte delle piante e di proteggerle dalla salinizzazione dei suoli. Il processo prevede la produzione di fosfato di calcio compreso tra i 200 e i 400 kg per tonnellata di scarto. I fertilizzanti, per i quali è stata depositata una domanda di brevetto internazionale (PCT/KR2019/006906, 07/06/2019), sono stati sviluppati in collaborazione con l'Università di Geyongsang (Corea del Sud) e sono ottenuti dalla coniugazione del fosfato di calcio con sostanze umiche naturali derivanti dalla degradazione batterica della materia organica nel suolo. La loro efficienza è stata testata in serra su piante di mais, dove hanno fatto registrare un aumento della produttività, in termini di tonnellate di biomassa per ettaro, del 40% rispetto ad uno standard commerciale di riferimento (il "perfosfato triplo", $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, titolo 46-48% in peso di P_2O_5). Inoltre, hanno dimostrato un'ottima capacità di proteggere le piante dallo stress idrico, facendo registrare un incremento della produttività fino al 300% in peso di biomassa vegetale rispetto al riferimento commerciale in suoli ad elevato contenuto salino (Fig. 3) [9].

Ulteriori test hanno dimostrato che i fertilizzanti sviluppati all'ISTEC-CNR consentono il rilascio controllato di fosforo e calcio, permettendo di ridurre la quantità e la frequenza di trattamento rispettivamente del 50% e del 70% in meno rispetto alle pratiche agricole più diffuse [10]. I fertilizzanti a rilascio



Fig. 3 - Test in serra su piante di mais cresciute in vaso in suolo salino. A sinistra, piante cresciute in presenza di "perfosfato triplo". A destra, piante cresciute in presenza del fertilizzante a base di fosfato di calcio sviluppato all'ISTEC-CNR

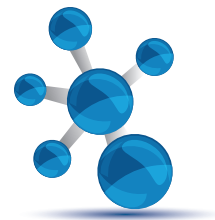
controllato sono parte di un approccio sostenibile all'agricoltura chiamato "agricoltura di precisione". Questo approccio, oltre che migliorare le rese di produzione, riduce l'eccessivo rilascio di nutrienti nell'ambiente, come, ad esempio, quello del fosforo che causa l'eutrofizzazione delle acque [11]. Inoltre, l'uso di fertilizzanti più efficienti ha un doppio impatto nella lotta ai cambiamenti climatici: (i) impedisce la deforestazione e consente una maggiore produttività primaria, (ii) aumenta il potenziale di sequestro del carbonio e limita l'impoverimento dei suoli agricoli.

Oltre ai fertilizzanti, l'economia circolare applicata al settore ittico offre nuove possibilità per produrre materiali inorganici per la foto-protezione dei vegetali. Le radiazioni UV possono generare danni diretti (ad es. stress da calore) o possono indebolire la pianta e renderla meno resistente all'azione dei patogeni. Un'eccessiva radiazione solare, inoltre, può portare alla comparsa di "bruciate" sulle parti commerciali delle piante, come ad esempio i frutti, impedendone così la vendita e determinando una perdita economica per le aziende agricole (Fig. 4). A causa dei cambiamenti climatici, nel prossimo futuro le ondate di calore saranno sempre più frequenti, per cui è importante trovare tempestivamente delle soluzioni a questo problema.

Analogamente ai carbonati di calcio di origine mineraria già impiegati in alcuni prodotti per la fo-



Fig. 4 - Mela (varietà Bella di Boskoop) con scottature solari (J. Stein/CC-BY-SA-3.0-DE)



to-protezione delle piante, all'ISTEC-CNR stiamo sviluppando dei carbonati di calcio di origine naturale recuperati dai gusci dei molluschi in grado di ridurre lo stress da calore ed evitare la comparsa di macchie/bruciature su frutta e verdura. Diversamente dai materiali estratti da cava, i carbonati di calcio di origine biogenica hanno il vantaggio di essere molto meno soggetti a contaminazioni da parte di metalli pesanti come cadmio, arsenico e piombo, che, una volta rilasciati nell'ambiente, possono accumularsi nel suolo e nei vegetali e, infine, arrivare all'uomo attraverso il cibo, mettendone a rischio la salute.

Le produzioni dei fertilizzanti innovativi e dei materiali foto-protettivi per le piante sono state validate su scala di laboratorio e prevedono processi "green" a basso impatto ambientale (senza l'uso di solventi organici) ed energetico (a bassa temperatura), quindi completamente scalabili a livello industriale. Queste caratteristiche sono fondamentali per rendere il processo produttivo potenzialmente adattabile anche dai Paesi in via di sviluppo, e, soprattutto, da quelli fortemente dipendenti dalla pesca artigianale. Convertire i sottoprodotti di origine marina in materiali commerciabili ad alto valore aggiunto potrà contribuire, in generale, allo sviluppo dell'economia circolare di tali Paesi, ma soprattutto al potenziamento economico delle comunità di pescatori il cui equilibrio economico e sociale è minacciato dalla pesca industriale e dai cambiamenti climatici. La nostra idea di utilizzare questo approccio nei Paesi in via di sviluppo si è aggiudicata la vittoria della "Green & Sustainable Chemistry Challenge" del 2018, organizzata dalla Elsevier Foundation, ed è stata premiata dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Industriale (UNIDO) durante l'EXCO 2019 di Roma come uno dei progetti di innovazione più promettenti per il settore agri-business.

Ingredienti cosmetici naturali e sostenibili

Uno dei settori in cui il concetto di economia circolare trova una delle sue applicazioni più interessanti è quello della cosmesi, dove la domanda di prodotti naturali rispettosi sia della salute dei consumatori che dell'ambiente è in continuo aumento. Molte aziende del settore cosmetico sono alla continua ricerca di ingredienti naturali innovativi con cui so-

stituire quelli sintetici presenti nei loro prodotti, per i quali non esistono attualmente alternative naturali valide. Uno dei rami della cosmetica dove la domanda di prodotti naturali e "green" è in forte crescita è quello della protezione solare.

Attualmente le creme solari vengono classificate secondo il Sun Protection Factor (SPF), un parametro calcolato sulla base della capacità della crema di schermare i raggi UVB, che sono la causa degli eritemi solari. Questa capacità è dovuta alla presenza dei filtri UV, i principi attivi delle creme solari, in grado di proteggere dalla radiazione solare. I filtri UV sono divisibili in due macro-categorie: i filtri chimici od organici sono molecole organiche che assorbono la radiazione ultravioletta (ad es. avobenzone, octyl metoxicinnamate, etc.), mentre i filtri fisici o minerali sono particelle solide inorganiche di ossido di zinco e biossido di titanio che vengono disperse all'interno delle formulazioni e sono a loro volta in grado di schermare i raggi UV. Entrambe le categorie di materiali nascondono grandi problematiche di foto-stabilità e tossicità che pongono l'attenzione sull'effetto delle creme solari sia sulla salute dell'uomo che su quella dell'ambiente [12].

Dal punto di vista ambientale, infatti, l'utilizzo di protettivi solari da parte dei consumatori comporta il rilascio dei filtri UV nelle acque marine, con conseguenti effetti tossici diretti o indiretti su una grande varietà di organismi marini come le microalghe, i coralli e alcuni tipi di pesci [13]. Ad esempio, si stima che in un giorno d'estate in una spiaggia turistica vengano rilasciati nelle acque marine circa 4 kg di biossido di titanio derivanti dalle creme solari [14].

La maggioranza dei filtri UV utilizzati nei prodotti cosmetici sono stati identificati anche dalla Food and Drug Administration (FDA) come potenzialmente pericolosi per la salute dell'uomo e dell'ambiente [15]. A breve, il loro utilizzo nei prodotti solari in commercio negli Stati Uniti e in Europa sarà fortemente limitato. Basti pensare che in alcuni Stati, tali limitazioni sono già in atto, come ad esempio nelle Hawaii o nelle isole di Palau in Micronesia, dove a partire da quest'anno (2020, ndr) l'utilizzo di creme solari è stato bandito su tutto il territorio nazionale per salvaguardare le barriere coralline già fortemente compresse dall'innalzamento della temperatura del mare (Fig. 5) [12].



Fig. 5 - Sbiancamento di alcune colonie di coralli nelle Hawaii (The Ocean Agency - Coral reef image bank)

Tipicamente, il valore di SPF di una crema solare dipende direttamente dalla quantità di filtri UV, per cui alti valori di protezioni possono essere raggiunti solo con elevate concentrazioni di queste sostanze. Molto probabilmente, nei prossimi anni sia l'FDA che l'European Chemical Agency (ECHA) abbasseranno i limiti di concentrazione dei filtri UV consentiti nei prodotti cosmetici, rendendo complicata la produzione di creme solari ad alto valore di SPF. Nel tentativo di anticipare tale problema, l'utilizzo dei *booster* di SPF, ovvero di materiali che pur non avendo capacità di schermare direttamente la radiazione UV sono in grado di aumentare il potere di assorbimento da parte dei filtri UV, rappresenta un approccio interessante nello sviluppo di prodotti solari [16]. Tali materiali non rientrano nelle liste di filtri UV approvati, ma possono comunque essere utilizzati per aumentare l'SPF delle creme solari. Tuttavia, la grande maggioranza dei *booster* di SPF è composta di molecole organiche di natura sintetica non esenti dalle problematiche di foto-stabilità

già menzionate per i filtri UV organici, e che non rispondono alla crescente richiesta di solari "green" e naturali da parte dei consumatori.

Per proporre una soluzione funzionale a queste criticità, abbiamo ideato un materiale derivante dall'estrazione della componente minerale delle lisce di pesce, in grado di agire da *booster* di SPF. Il materiale, il processo produttivo ed il suo utilizzo in prodotti solari sono protetti da una domanda di brevetto internazionale (PCT/EP2020/058694, 27/03/2020). L'ingrediente è ottenuto con rese simili a quelle del fertilizzante discusso in precedenza ed è composto da microparticelle di fosfato di calcio analoghe per composizione chimica alla componente minerale dei denti o delle ossa dei vertebrati, aventi pertanto intrinseche proprietà di biocompatibilità, biorisorbibilità e biodegradabilità [17]. L'utilizzo di questo ingrediente nelle formulazioni cosmetiche solari non può rappresentare un pericolo né per la salute dell'uomo, né per l'ecosistema marino. Per misurare la capacità delle microparticelle di fosfato di calcio di agire per gli scopi prefissati, sono stati effettuati dei test di efficacia *in vitro* secondo la linea guida ISO 24443 su una formulazione solare con e senza additivo preparata dalla Kalichem Srl (Rezzato, BS). I test hanno dimostrato che aggiungendo il 4% in peso di *booster* è possibile aumentare il valore di SPF della formulazione del 30%, passando così da una crema con protezione solare media (SPF 23) ad un prodotto con protezione solare alta (SPF 30) (Fig. 6) senza il bisogno di aumentare la concentrazione dei filtri UV.

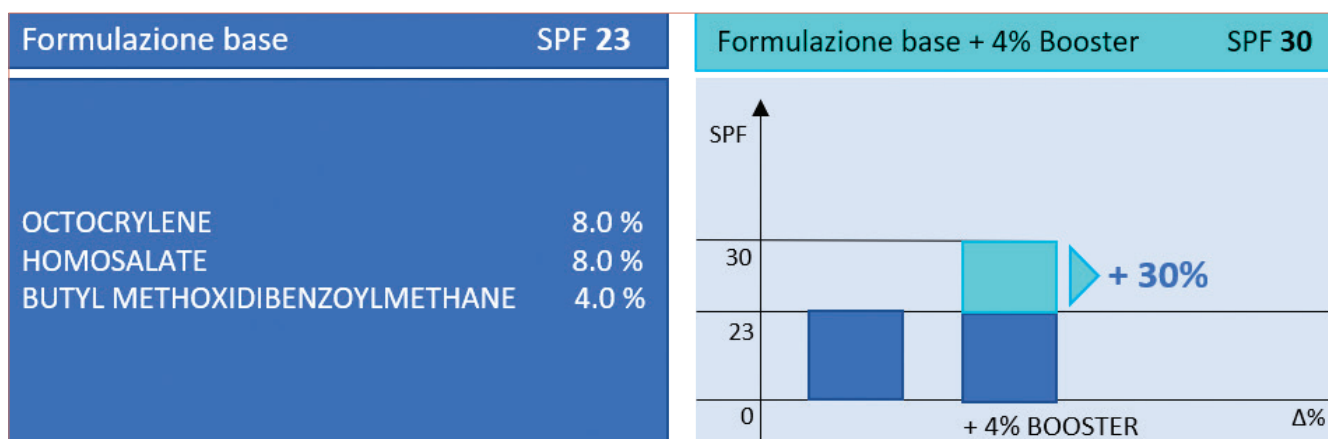
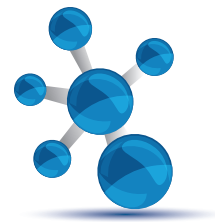


Fig. 6 - SPF valutati in accordo alla linea guida ISO 24443 di una formulazione base senza e con aggiunta del 4% di booster di fosfato di calcio sviluppato all'ISTEC-CNR



La ricchezza del mare

I nostri risultati hanno dimostrato che è possibile convertire la componente meno valorizzata dello scarto ittico, ovvero quella inorganica, in nuovi materiali naturali altamente performanti per applicazioni in campo agricolo e in campo cosmetico. Le nuove ricerche che stiamo conducendo puntano all'ulteriore valorizzazione di questi scarti per estendere la loro applicazione in altri settori, quali quello chimico, biotecnologico e farmaceutico. Da questi studi, all'I-STEC-CNR è in corso la creazione di un progetto d'impresa sotto forma di spin-off avente come *co-re-business* il recupero dei sottoprodotti dell'industria alimentare, con particolare attenzione a quelli provenienti dalla filiera ittica, e la loro conversione in materiali innovativi e performanti per la produzione di cosmetici naturali e per l'agricoltura di precisione. In conclusione, lo sviluppo e la produzione di materiali di qualità a partire da scarti rappresentano una delle sfide più rilevanti per l'economia circolare. L'importanza strategica di tali attività sia a livello nazionale che europeo è evidenziata dalla dotazione di investimenti per lo sviluppo della bioeconomia del prossimo Programma Quadro Europeo per la Ricerca e l'Innovazione 2021-2027 (Horizon Europe-FP9), pari a 10 miliardi di euro contro i 3,85 miliardi stanziati dal 2014-2020.

Per rompere definitivamente gli schemi produttivi imposti dall'economia lineare, è fondamentale utilizzare un approccio *cradle-to-cradle* (C2C), cioè applicare un modello produttivo che punti alla massimizzazione degli aspetti positivi e alla riduzione degli effetti negativi dei materiali, fino alla progettazione di prodotti naturali pensati per essere recuperati e riutilizzati continuamente, fino ad eliminare il concetto stesso di rifiuto. In questa prospettiva, la trasformazione dei sottoprodotti dell'industria alimentare, e in particolare dell'industria ittica, in materiali funzionali e innovativi, rappresenta una chiave di volta verso l'integrazione di modelli produttivi basati sul C2C nell'attuale sistema economico. Per questo, se guardiamo al futuro dell'economia circolare, all'orizzonte possiamo scorgere il mare.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.fao.org/3/I9540EN/i9540en.pdf>
[2] Food and Agriculture Organization of the

United Nations (FAO), *The State of World Fisheries and Aquaculture*, 2018.

- [3] A.G. Inanli, E.T.A. Tümerkan *et al.*, *Trends in Food Science & Technology*, 2020, **97**, 404.
[4] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>
[5] <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/en/>
[6] K. Meyer, P. Newman, *The Phosphorus Quota*, Springer, Singapore, 2020, 207.
[7] <http://phosphorusfutures.net/global-research/>
[8] D. Cordell, J.-O. Drangert *et al.*, *Global Environmental Change*, 2009, **19**(2), 292.
[9] H.Y. Yoon, J.G. Lee *et al.*, *ACS Omega*, 2020, **5**(12), 6598.
[10] L. Marchiol, M. Iafisco *et al.*, *Advances in Agronomy*, 2020, in press.
[11] E.M. Bennett, S.R. Carpenter *et al.*, *Bioscience*, 2001, **51**(3), 227.
[12] B.L. Adler, V.A. DeLeo, *Current Dermatology Reports*, 2020, **9**(1), 1.
[13] C. Lozano, J. Givens *et al.*, *Bioaccumulation and Toxicological Effects of UV-Filters on Marine Species*, in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2020, 1.
[14] D. Sánchez-Quiles, A. Tovar-Sánchez, *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(16), 9037.
[15] S. Narla, H.W. Lim, *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2020, **19**(1), 66.
[16] C.M. Galanakis, P. Tsatalas *et al.*, *Industrial Crops and Products*, 2018, **111**, 30.
[17] L. Degli Esposti, F. Carella, M. Iafisco, *Inorganic nanoparticles for theranostic use*, in *Electrofluidodynamic Technologies (EFDTs) for Biomaterials and Medical Devices*, Woodhead Publishing, Elsevier, Amsterdam, 2018, **17**, 351.

The Future of Circular Economy is the Sea

The fishing industry produces large quantities of waste. The application of circular economy and cradle-to-cradle principles to this sector opens the way to the development of new and transversal value chains with benefits for different fields, from agriculture to cosmetics.