Foto di Christoph Zurnieden

Fiore di Eruca vesicaria, comunemente chiamata rucola.

Sostenibilità agro-alimentare e riciclo degli scarti vegetali per l'estrazione di composti bioattivi

Il sistema di produzione alimentare ha il potenziale per soddisfare le esigenze nutrizionali della popolazione mondiale nel rispetto dei criteri di sostenibilità ambientale, oggi più che mai direttamente collegata alla preservazione dell'agro-biodiversità e al riciclo degli scarti di produzione. In gruppo BioRESTART dell'Università di Pavia ha messo a punto un sistema innovativo e sostenibile di estrazione di composti bioattivi da materiale di scarto vegetale derivante dalla filiera agro-alimentare.

*** Enrico Doria**
*** Daniela Buonocore**

Sostenibilità del sistema agroalimentare e lotta allo spreco

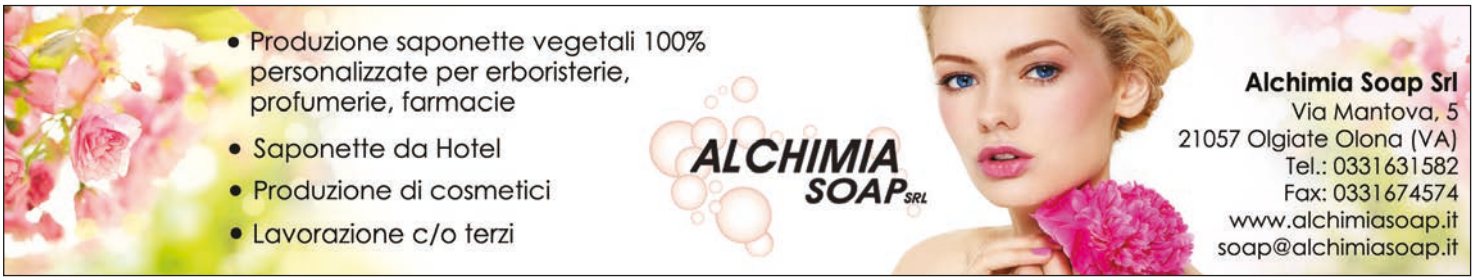
Il concetto di sostenibilità alimentare implica non soltanto concepire la propria dieta in maniera funzionale e bilanciata per il nostro organismo, ma anche scegliere e selezionare specifici alimenti nel pieno rispetto dell'ambiente e della natura che ci circonda, riducendo sprechi, preservando la biodiversità e l'ecosistema nel suo complesso e al contempo tenendo in considerazione aspetti etici della produzione alimentare. Come sottolineato dalla FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura), la sostenibilità alimentare non può prescindere dal caposaldo "multidimensionale" di sicurezza alimentare: "assicurare a tutte le persone e in ogni momento una quantità di cibo sufficiente, sicuro e nutriente per soddisfare le loro esigenze dietetiche e le preferenze alimentari per una vita attiva e sana". Realizzare un sistema alimentare sostenibile significa, quindi, considerare gli impatti politici, economici, ambientali, sociali e tecnologici in ogni fase della filiera produttiva, ovvero dalla coltivazione fino alle fasi di smaltimento e post-smalti-

mento degli scarti alimentari. Quindi la sostenibilità in ambito alimentare abbraccia diverse aree ed è strettamente vincolata al concetto di una agricoltura sostenibile e alla sicurezza alimentare; di fronte alla crescita della popolazione mondiale e ai cambiamenti climatici l'agricoltura sostenibile offre una risposta nel rispetto delle risorse naturali e della biodiversità. Essa promuove un sistema integrato di coltivazione con un'applicazione locale che sia in grado di soddisfare il bisogno alimentare della popolazione attraverso l'uso di risorse rinnovabili e rispettose degli ecosistemi. Il sistema di produzione alimentare comprende tutti gli elementi (ambiente, persone, processi, infrastrutture, istituzioni, ecc.) e le attività inerenti ai processi di produzione, lavorazione, distribuzione, preparazione e consumo di cibo, includendo anche gli aspetti socioeconomici e ambientali. L'attuale sistema di produzione alimentare non è più sostenibile e dunque necessita di un cambiamento radicale che guidi l'intensificazione delle pratiche agricole verso la sostenibilità e l'innovazione che permettano di ridurre sostanzialmente l'utilizzo di fertilizzanti a base di fosforo e azoto, di ridurre il consumo di acqua e aumentare la biodiversità nei sistemi agricoli. La biodiversità all'interno dei sistemi agricoli è proprio uno dei punti fondamentali per la sfida globale verso la sostenibilità alimentare e la sicurezza alimentare (IAASTD, 2008; Royal Society, 2009). Se da una parte la bio-fortificazione di prodotti agricoli con macro- e micro-nutrienti essenziali per il corretto sviluppo dell'organismo ha contribuito pesantemente a colmare le carenze nutrizionali in popolazioni di diverse aree geografiche sofferenti, dall'altra parte però, spesso, questi prodotti non sono economicamente disponibili per la porzione più povera della popolazione. Allora l'utilizzo di cultivar locali, troppe volte trascurate e poco valorizzate, ma al contempo caratterizzate spesso da proprietà agronomiche e/o nutrizionali vantaggiose rispetto a quelle "tradizionali", solitamente importate, può certamente contribuire in maniera determinante allo sviluppo sostenibile e al raggiungimento dei suoi capisaldi: sicurezza alimentare, sostenibilità ambientale, biodiversità, salute, prosperità economica (Kahane et al, 2013; Thrupp et al, 1998).

D'altro canto, un ruolo importante nella sostenibilità ambientale e alimentare è svolto dal consumatore: è importante che siano adottati alcuni comportamenti che giocano un ruolo fondamentale nel preservare la salubrità dell'ambiente, come consumare meno cibo, sprecarne di meno, prediligere alimenti più sostenibili (come quelli di origine vegetale) e preferire le filiere corte. Lo spreco alimentare ha un impatto importante sulla qualità e sicurezza alimentare e nutrizionale, sulle risorse naturali e sulla protezione ambientale, sulla sostenibilità dei sistemi alimentari e sullo sviluppo economico (Galanakis, 2015). La riduzione degli sprechi alimentari è dunque considerata dalle Nazioni Unite (Agenda 2030 dell'ONU per lo Sviluppo Sostenibile (ODD - ONU Italia (unric.org)) e da molte istituzioni internazionali come una delle principali vie da percorrere verso la tutela dell'ambiente e per il benessere dell'umanità. Inoltre, lo spreco alimentare è una delle cause principali della perdita di biodiversità, della dispersione dei gas serra nell'atmosfera, dell'inquinamento dell'acqua, del suolo e di altre risorse (Rapporto ISPRA, www.isprambiente.gov.it). I principali fattori globali, responsabili della grande quantità di spreco alimentare, sono stati individuati nel:

- l'aumento della popolazione mondiale e l'urbanizzazione,
- la grande disponibilità di fonti energetiche fossili,
- la diffusione economica e culturale dei sistemi agroindustriali di massa,
- la trasformazione degli stili di vita (alimentari)
- l'assegnazione di un valore economico e socio-culturale relativamente basso al cibo (Clapp et al, 2002; Gille et al, 2012; FAO, 2011).

La transizione verso un sistema alimentare globale sostenibile che racchiuda nella stessa struttura una dieta salutare e la sostenibilità ambientale, coinvolge la riduzione delle quantità di cibo perse o sprecate lungo la filiera agro-alimentare, dal-



la produzione al consumo. Le innovazioni tecnologiche applicate al sistema produttivo alimentare rappresentano un fondamentale supporto per garantire una cospicua riduzione dello spreco alimentare, in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile globale. Numerose evidenze mostrano che l'aumento dello spreco alimentare è direttamente proporzionale all'aumento dei livelli di sviluppo economico (Dorward 2012; Hall et al, 2009); la maggior parte dello spreco alimentare nei paesi a basso e medio reddito si concentra soprattutto nella parte iniziale della filiera produttiva e può essere dovuto ad una scarsa capacità di pianificazione e gestione delle fasi e dei tempi di raccolta, così come ad un'approssimativa o negligente manipolazione dei prodotti (Willet et al, 2019). A tutto questo si deve anche aggiungere la mancanza di mezzi ed infrastrutture adeguate, sia per la raccolta che per lo stoccaggio dei prodotti raccolti; le coltivazioni lasciate nei campi, i prodotti agricoli non raccolti per tempo o non adeguatamente conservati possono andare incontro a deperimento o contaminazioni. Ecco perché investimenti importanti in infrastrutture dedicate al post-raccolto sono fondamentali per ridurre drasticamente le quantità di cibo perso (FAO, 2015). Al contrario, nei paesi più sviluppati, i consumatori finali sono i maggiori responsabili dell'accumulo di rifiuti alimentari. È difficile quantificare esattamente il cibo perso e sprecato nel mondo ogni anno ma, secondo stime recenti della FAO, annualmente vengono perse o sprecate 1.300.000.000 tonnellate di cibo e solo in Europa vengono sprecate circa 90 milioni di tonnellate di cibo, il 53% del quale è costituito da spreco domestico. Il tema dello spreco alimentare è molto articolato e complesso poiché con questo termine non si intende solo lo spreco domestico, ma anche quello che avviene nel corso di tutta la filiera di produzione alimentare. Per dare un'idea dell'impatto che lo spreco alimentare ha sull'ambiente, la stessa FAO ha stimato che almeno 170 Mt di CO_2 eq. vengono emesse a causa dello spreco alimentare (1,9 t CO_2 eq./t di cibo sprecato), pari a 35% delle emissioni annuali di gas serra. In Europa ogni anno vengono sprecati e persi 280-300 kg pro capite di cibo solo per quanto riguarda il settore ortofrutticolo (Gustavsson et al, 2011; FAO, IFAD e WFP. 2014; Hall et al, 2009). Secondo il rapporto della FAO (FAO, 2014), in tutto il mondo, lungo l'intera filiera alimentare, il 45% degli scarti e dei sottoprodotti derivati dalla lavorazione e trasformazione industriale è rappresentato da frutta e verdura. La maggior parte di questi scarti viene smaltita in discariche o fiumi, creando diversi problemi ambientali e alimentando costi di gestione dei rifiuti per le aziende. (Misi and Forster, 2002).

Il recupero dei rifiuti alimentari migliora la sostenibilità del sistema alimentare

Un sistema alimentare riunisce diversi aspetti (ambiente, persone, input, processi, infrastrutture, istituzioni, ecc.) e attività legate alla produzione, trasformazione, distribuzione, preparazione e consumo di cibo, insieme alle ripercussioni socioeconomiche e ambientali (HLPE, 2014). Come accennato in precedenza, lo spreco alimentare ha un impatto importante sulla sicurezza alimentare e sulla protezione dell'ambiente; per questi motivi, la gestione delle perdite e degli sprechi alimentari, con i loro co- e sottoprodotti, ha già attirato l'attenzione degli scienziati e dell'industria alimentare negli ultimi decenni (Galanakis 2015). Di recente, infatti, sono stati pubblicati numerosi rapporti scientifici, relativi allo spreco alimentare e ai metodi di trattamento degli scarti, che includono, in particolare, strategie mirate alla riduzione della produzione di rifiuti, alla valorizzazione dei co- e sottoprodotti e al miglioramento della gestione dei rifiuti e dei sottoprodotti industriali, considerati quindi come un'opportunità. Questa maggiore attenzione è dovuta principalmente ad una crescente sensibilità rivolta alle tematiche ambientali, alla consapevolezza degli alti costi di smaltimento dei rifiuti che stanno limitando i profitti dell'industria alimentare e al crescente interesse verso i benefici derivanti da componenti potenzialmente commerciabili presenti negli scarti e sottoprodotti alimentari (Laufenberg et al., 2003). Per tutte queste ragioni, a differenza del tradizionale modello economico lineare, fondato sul tipico assioma "estrarre, produrre, utilizzare e gettare", viene promosso un modello di economia circolare basato su uno schema di produzione e consumo che implica condivisione, riutilizzo, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti. In questo modo è possibile generare ulteriore valore aggiunto e contribuire a ridurre i rifiuti al minimo (Bourguignon, 2016). Il passaggio da un'economia lineare a un'economia circolare nel settore agroalimentare richiede modelli di business innovativi e nuove forme di organizzazione e strategie di marketing (Donner, 2020). L'industria agroalimentare produce una grande quantità di rifiuti e residui lungo tutta la filiera, contenenti ancora una quantità significativa di preziosi composti bioattivi, come polifenoli (acidi fenolici, flavonoidi, proantocianidine, antociani, glicosidi), carotenoidi,

saponine, tannini, alcaloidi, steroli, steroidi, triterpeni, peptidi e carboidrati (Llorach et al., 2002; Moure et al., 2001; Zhang et al., 2017), che, come ampiamente dimostrato, possiedono diverse attività biologiche, comprese le proprietà antiossidanti, antibatteriche, antimicotiche, antivirali, antimicrobiche, antidiabetiche, antitumorali, antidiarroiche, antiipertensive, antimutagene, antinfiammatorie, anticolesterolo e protettive del sistema cardiocircolatorio (Balasundram et al., 2006; Nguyen et al, 2017; Santana-Méridas et al. al., 2012). Gli scarti e i residui di lavorazione di frutta e verdura, in particolare, rappresentano una percentuale elevata, in termini di biomassa, rispetto alla porzione commestibile. Aumentando la resa dei composti target adottando le strategie di recupero di molecole attive da scarti agro-alimentari più appropriate, si potrebbe massimizzare il valore economico che ne deriva. Inoltre, il recupero di composti ad alto valore aggiunto potrebbe portare allo sviluppo di prodotti e/o materiali innovativi (Galanakis, 2015) sottolineando l'importanza dell'innovazione basata sulla scienza e tecnologia per migliorare la sostenibilità del sistema alimentare (Defra, 2006). C'è un altro aspetto importante da considerare: il recupero degli scarti alimentari e dei suoi preziosi composti bioattivi potrebbe anche aiutare a promuovere le economie rurali e urbane, contribuendo a creare nuove opportunità di lavoro (Galanakis, 2015). Infine, la riduzione degli sprechi alimentari, recuperando i composti ad attività biologica presenti nei rifiuti, rappresenta un'importante soluzione per aumentare la sostenibilità del sistema di produzione alimentare, contribuendo anche alla riduzione dei costi di gestione dei rifiuti che possono rappresentare un serio problema, soprattutto per i piccoli produttori.

Sostenibilità dei processi di estrazione

I sottoprodotti e gli scarti alimentari contengono diverse molecole e fito-complessi con un rilevante valore biologico ed economico; gli scarti residui di frutta e verdura, in particolare, contengono una quantità significativa di composti biologicamente attivi come polifenoli, glucosinolati, fibre alimentari, oli essenziali, pigmenti, acidi organici, ecc. (Kumar et al, 2017; Baiano 2014). Questi composti possono essere estratti, purificati e caratterizzati utilizzando tecnologie emergenti, consentendo di sviluppare nuove applicazioni commerciali in ambito alimentare e non alimentare (farmaceutico, biomedico, cosmetico, ecc.) (Galanakis et al., 2012). Anche nel processo di recupero di composti da scarti alimentari vegetali, la riduzione dell'energia e l'ottimizzazione delle materie prime possono contribuire a ridurre significativamente i costi e allo stesso tempo aumentare la sostenibilità ambientale del sistema alimentare. Un uso efficiente dei materiali impiegati nel processo di recupero dei rifiuti alimentari ha due significati; in primo luogo, è necessario utilizzare soltanto quel tipo di materiale che altrimenti sarebbe stato gettato via e, in secondo luogo, utilizzare / elaborare quel materiale in modo più efficiente possibile, utilizzando tecnologie e metodi estrattivi funzionali alla tipologia di composti da estrarre. Inoltre, i rifiuti alimentari sono suscettibili di contaminazione microbica e richiedono sia un'adeguata conservazione che un processamento rapido. Lo sviluppo di un sistema di recupero, economicamente sostenibile e sicuro, di composti bioattivi da scarti agroalimentari deve quindi tenere conto di diversi parametri quali l'abbondanza e la distribuzione dei sottoprodotti, la messa a punto di metodologie che forniscono la più alta resa di recupero di diversi composti, l'utilizzo di solventi "green", la conservazione delle proprietà biologiche dei composti selezionati fino al prodotto finale, l'uso di tecnologie avanzate che minimizzino i costi di produzione, il processo di purificazione di composti fitochimici dal materiale di scarto che garantisca rese elevate e massima qualità (Nguyen et al, 2017; Varzakas et al, 2016; Van Lanen e Shen 2006; Wang e Weller, 2006).

La sfida più grande della ricerca è ora l'identificazione e la messa a punto delle migliori condizioni di "estrazione", ovvero condizioni che migliorano il rilascio dei composti bioattivi dalla matrice vegetale in cui sono racchiusi. Il processo di recupero dei composti bioattivi dagli scarti di frutta e verdura comprende diverse fasi importanti: preparazione dei campioni, processo di estrazione, produzione dell'estratto in polvere, isolamento e purificazione dei composti attivi mediante cromatografia (Pham, 2017). Ognuna di queste diverse fasi prevede l'utilizzo di diverse tecnologie, finalizzate al recupero di specifiche molecole con differenti caratteristiche fisico-chimiche; è tuttavia importante che, nel rispetto di criteri di sostenibilità, ciascuno di questi processi abbia un ridotto impatto ambientale sia in termini di energia che di utilizzo di solventi. Per quanto riguarda i metodi di estrazione, i metodi convenzionali, comunemente presenti in letteratura, sono molto numerosi e lunghi da elencare ma i principali utilizzati sono l'estrazione liquido-liquido o solido-liquido, basate principalmente sull'utilizzo di solventi organici. Oggigiorno, nel rispetto dei principi della "Circular

Foto di S. Del Moro

I sottoprodotti e gli scarti alimentari contengono diverse molecole e fito-complessi con un rilevante valore biologico ed economico; gli scarti residui di frutta e verdura, in particolare, contengono una quantità significativa di composti biologicamente attivi come i polifenoli.

Economy", vengono utilizzati sistemi di estrazione alternativi e innovativi, a seconda delle caratteristiche dei composti target da estrarre; le principali tecniche emergenti, considerate innovative, rapide, a costo ridotto e pulite, sono le seguenti:

- Estrazione assistita da ultrasuoni (UAE)
- Campo elettrico pulsato (PEF)
- Estrazione assistita da microonde (MAE)
- Estrazione liquidi in pressione (PLE)
- Estrazione di liquidi supercritici (SFE)
- Estrazione assistita da enzimi (EAE)

Tra queste, l'estrazione assistita da enzimi è forse la più sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico tra quelle sopra elencate. Il meccanismo principale alla base dell'EAE coinvolge gli enzimi che degradano la parete cellulare (glucanasi e la pectinasi), che dunque rendono i composti intracellulari più facilmente estraibili.

Foto di Forest and Kim Starr

Fiore di Spinacia oleracea. I sottoprodotti e gli scarti alimentari contengono diverse molecole e fito-complessi con un rilevante valore biologico ed economico.

Recupero di composti bioattivi da scarti di verdure: progetto BioRESTART dell'Università di Pavia

Un sistema di estrazione, alternativo ai tradizionali metodi estrattivi a base di solventi organici tossici e inquinanti, è stato messo a punto dal gruppo BIORESTART e verrà descritto di seguito.

Alcuni scarti vegetali, ottenuti dall'industria di confezionamento di frutta e verdura, sono stati utilizzati come fonte di estrazione di polifenoli. Poiché molti polifenoli formano complessi con le strutture delle pareti cellulari delle piante (proteine e carboidrati), spesso recalcitranti alla degradazione, il trattamento di materiali vegetali con miscele enzimatiche contenenti cellulasi, emicellulasi e pectinasi, favorisce la degradazione idrolitica dei polimeri della parete cellula-

Cichorium intybus. La cicoria selvatica, Cichorium intybus, appartiene alla grande famiglia botanica delle Asteracea

Foto di Alvin Kho

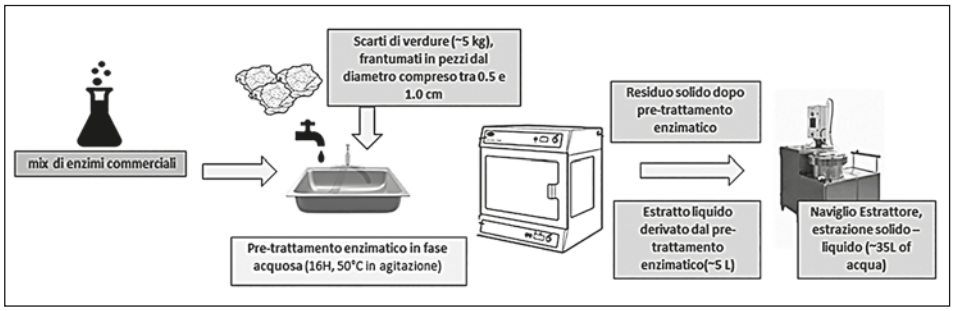
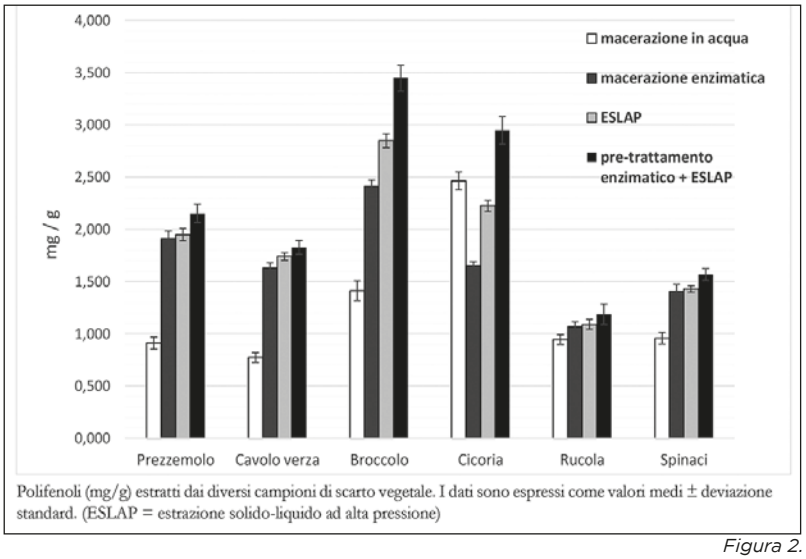
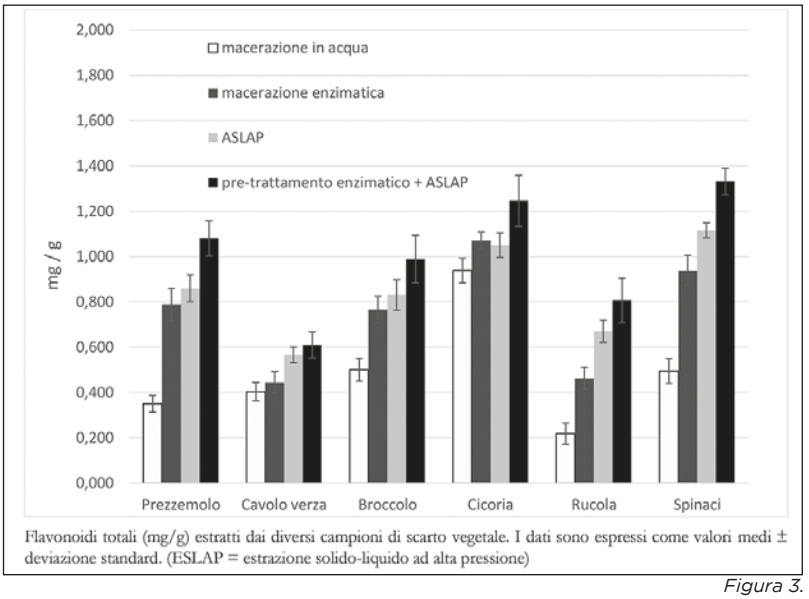


Figura 1.



Polifenoli (mg/g) estratti dai diversi campioni di scarto vegetale. I dati sono espressi come valori medi ± deviazione standard. (ESLAP = estrazione solido-liquido ad alta pressione)

Figura 2.



Flavonoidi totali (mg/g) estratti dai diversi campioni di scarto vegetale. I dati sono espressi come valori medi ± deviazione standard. (ESLAP = estrazione solido-liquido ad alta pressione)

Figura 3.

re, quindi favorendo il rilascio di metaboliti secondari (Khandare et al., 2011; Puri et al., 2012). I polisaccaridi della parete cellulare, infatti, sono noti per interagire con vari polifenoli, modificandone la bioaccessibilità e la biodisponibilità. Il trattamento EAE degli scarti alimentari è poi completato da un'estrazione solido-liquido (acqua) ad alta pressione (ESLAP), un sistema basato sulla generazione di un gradiente di pressione negativo tra l'esterno e l'interno della matrice solida, seguito da un repentino ripristino delle condizioni iniziali di equilibrio. Questo gradiente di pressione porta all'estrazione forzata di composti dalla matrice solida nella fase acquosa.

Gli scarti vegetali, presi in esame per il nostro lavoro sperimentale ed elencati di seguito, sono stati raccolti da aziende agricole e industrie di trasformazione alimentare (consorzio AOP Unolombardia), con sede in Lombardia (Italia):

prezzemolo (*Petroselinum crispum (Mill.*);
broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica var.*);
cavolo verza (*Brassica oleracea* L. var. sabauda)
spinaci (*Spinacia oleracea* L.);
porro (*Allium ampeloprasum* L.);
rucola (*Eruca vesicaria* L.);
cicoria (*Cichorium intybus* L.)

Risultati ottenuti

La Figura 1 riporta uno schema semplificato del procedimento estrattivo messo a punto dal gruppo di ricerca. Il contenuto totale di polifenoli e di flavonoidi sono mostrati rispettivamente in Figura 2 e Figura 3. I dati sono presentati come mg/g di peso fresco (FW), media 3 deviazione standard (DS, n = 3). È possibile osservare come il pretrattamento enzimatico seguito dall'estrazione ESLAP abbia permesso di recuperare una maggiore concentrazione di polifenoli in tutto il materiale di scarto vegetale e soprattutto dai residui di broccoli e cicoria (Fig. 2).

In queste due tipologie di materiale la quantità di polifenoli estratti si è dimostrata nettamente superiore a quella osservata utilizzando solo il sistema estrattivo ad alta pressione (ESLAP) o la sola macerazione enzimatica. Quando è stata testata la concentrazione totale di flavonoidi, in tutto il materiale esaminato si è potuto osservare un notevole aumento di composti ottenuti dall'estrazione ESLAP combinata al pretrattamento enzimatico (Fig. 3).

La differenza osservata nell'efficacia del pretrattamento nell'estrazione dei composti fenolici da materiale di scarto vegetale è principalmente dovuta alle caratteristiche biochimiche e alla composizione della parete cellulare di ciascun materiale.
Utilizzando l'analisi HPLC, sono stati identificati molti composti fenolici dopo il sistema di estrazione completo (pretrattamento enzimatico + ESLAP.) (Tabella 1).
I dati ottenuti in questo lavoro sono difficili da confrontare con quelli trovati in letteratura per diversi motivi. Ci sono enormi differenze nella quantificazione dei polifenoli delle verdure a seconda della raccolta stagionale (Hertog et al 2007; Arabbi et al. 2004), delle diverse cultivar prese in esame (Heimler et al. 2007; Koh et al. 2009), dalle condizioni climatiche (temperatura, abbondanza di piogge, stress ambientali) in cui ogni verdura cresce (Podsedek 2007), il sito di coltivazione (D'Acunzo et al. 2016), i ritmi circadiani endogeni (Soengas et al. 2018), il trattamento del suolo e il controllo dei parassiti (Valverde et al., 2015). Inoltre, l'uso del solvente è una variabile che influisce notevolmente sull'efficienza di estrazione. In tutti i lavori scientifici riguardanti l'estrazione di polifenoli dalla stessa matrice vegetale, sono stati utilizzati diversi solventi come alcoli (metanolo, etanolo), acetone, dietil-etere ed etil-acetato, spesso miscelati con diverse proporzioni di acqua.

Tabella 1.

POLIFENOLI	Broccolo (mg/kg)	Cavolo verza (mg/kg)	Cicoria (mg/kg)	Rucola (mg/kg)	Spinaci (mg/kg)	Prezzemolo (mg/kg)
Acido clorogenico	70 ± 0,5	320 ± 15	150 ± 11	100 ± 13	80 ± 7	10 ± 0,9
Catechine	90 ± 3	130 ± 8	380 ± 10	20 ± 2	9 ± 0,9	70 ± 5,5
Acido caffeico	40 ± 5	-	170 ± 6	-	6 ± 0,5	3 ± 0,6
Acido Cumarico	-	5 ± 0,5	-	-	5 ± 0,3	16 ± 4
Vitexina	3 ± 0,4	-	-	-	-	30 ± 7,5
Orientina	190 ± 8	16 ± 2	-	-	160 ± 15	22 ± 5
Rutina	12 ± 0,9	9 ± 0,8	-	-	-	50 ± 5
Quercetina	-	-	8 ± 0,6	-	-	13 ± 0,8
Acido Cinnamico	-	3	-	-	-	1 ± 0,3
Luteolina	-	-	6 ± 0,5	-	-	8 ± 0,5
Kaempferolo	-	-	7 ± 0,3	7 ± 0,5	5 ± 0,4	-

Conclusioni

Il recupero dei sottoprodotti alimentari è un modo per riutilizzare gli scarti della filiera agroalimentare, recuperandone i preziosi composti, rispettando i requisiti di un'economia circolare e aumentando la sostenibilità del sistema produttivo alimentare. La messa a punto di sistemi di estrazione innovativi e sostenibili di prodotti naturali è attualmente un tema di ricerca molto attuale che coinvolge diverse aree. L'obiettivo è ridurre o eliminare l'uso di solventi di estrazione pericolosi e garantire un estratto/prodotto sicuro e di alta qualità, al fine di proteggere sia l'ambiente che i consumatori. Di conseguenza, un recupero sostenibile ed eco-compatibile dei composti bioattivi dai sottoprodotti di frutta e verdura per l'applicazione nelle industrie alimentari, mediche, cosmetiche, farmaceutiche o agrochimiche è fondamentale per aumentare il loro valore aggiunto e ridurre il rischio di inquinamento per l'ambiente. Poiché la sfida più grande della ricerca è l'identificazione delle migliori condizioni di "estrazione", al fine di

migliorare il rilascio di composti bioattivi dalla matrice di scarto vegetale riducendo l'uso di solventi e rispettando i principi di sostenibilità dell'intero processo estrattivo, il processo di pre-trattamento enzimatico abbinato all'estrazione ESLAP che il gruppo BIORESTART ha messo a punto, rappresenta una strategia sostenibile che consente di ottenere una buona quantità di polifenoli, in particolare. Grazie all'utilizzo dell'acqua come solvente di estrazione, i composti fenolici rappresentano i principali fitochimici estratti e analizzati dai sottoprodotti vegetali selezionati.

UNIVERSITÀ DI PAVIA, Dip. Biologia e Biotecnologie

Bibliografia

Arabbi PR; Genovese MI, Lajolo FM. Flavonoids in vegetable foods commonly consumed in Brazil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52 (5), 1124-1131.

Baiano A. Recovery of biomolecules from food wastes - A review. Molecules, 2014, 19(9), 14821–14842. https://doi.org/10.3390/molecules190914821

Balasundram N; Sundram K, Samman S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry, 2006, 99, 191–203.

Bourguignon D. Closing the loop - new circular economy package. European Parliamentary Research 2016, Service, 1-9.

Clapp J. Distancing of Waste: Overconsumption in a Global Economy, TIPEC Working paper 01/10, Trent International Political Economy Centre 2002

D'Acunzo F; Giannino D, Longo V, Ciardi M. et al. Influence of cultivation sites on sterol, nitrate, total phenolic contents and antioxidant activity in endive and stem chicory edible products. Int J Food Sci Nutr. 2017, 68(1), 52-64. doi: 10.1080/09637486.2016.1221386.

Defra (2006) Food industry sustainability strategy.

Available at: http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb11649- fiss2006-060411.pdf

Donner M; Gohier R, de Vries H. A new circular business model typology for creating value from agro-waste. Science of the Total Environment, 2020, 716, 137065. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137065

Dorward LJ. Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? A comment, Food Policy, 2012, 37, 463–466

FAO, 2011. Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Van Otterdijk R., Meybeck A., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO, 2014. Definitional framework of food loss. Available from: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/save-food/PDF/FLW_Definition_and_Scope_2014.pdf.

Food and Agriculture Organisations of the UN. Food loss and waste reductio: agro-industries brief. Rome. Food and Agriculture Organization of the UN, 2015

FAO, IFAD, and WFP. 2014. The state of food insecurity in the world 2014. Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. FAO, Rome. Available from: http://www.fao.org/3/a-i4030e.pdf.

Galanakis CM; Fountoulis G, Gekas V. Nanofiltration of brackish groundwater by using a polypiperazine membrane. Desalination, 2012, 286, 277–284

Galanakis CM. (2015) Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques. In Food Waste Recovery: Processing Technologies and Industrial Techniques. https://doi.org/10.1016/C2013-0-16046-1

Gille Z. From risk to waste: global food waste regimes, Sociological Review 2012, 60 (S2). DOI: 10.1111/1467-954X.12036

Gustavsson J; Cederberg C, Sonesson U, van Otterdijk R, Meybeck A. Global food losses and food wastes: extent, causes and prevention, food and agriculture organization of the United Nations. (Rome) ISBN 2011

Hall KD; Guo J, Dore M, Chow CC. The progressive increase of food waste in America and its environmental impact, PLoS ONE, 2009, 4, e7940

Heimler D; Isolani L, Vignolini P, Tombelli S, Romani A. Polyphenol content and antioxidative activity in some species of freshly consumed salads. J Agric Food Chem. 2007, 55(5), 1724-9

Hertog MGL; Hollman PCH, Katan M B. Content of potentially anticarcinogenic of flavonoids of 28 vegetables and 9 fruits commonly consumed in The Netherlands. J. Agric. Food Chem. 2007,40, 2379-2383.

HLPE, 2014. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome 2014. Available from:

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_Reports/HLPE-Report-8_EN.pdf

IAASTD (2008) International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development. Global Report. http://ww.agassessment.org. Accessed 6 Aug 2011

Khandare V; Walia S, Singh M, Kaur C. Black carrot (Daucus carota ssp. sativus) juice: Processing effects on antioxidant composition and color. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89(4), 482–486

Kahane R; Hodgkin T, Jaenicke H, Hoogendoorn C. et al. Agrobiodiversity for food security, health and income. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(4), 671–693. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0147-8

Koh E; Wimalasiri KMS, Chassy AW, Mitchell AE. Content of ascorbic acid, quercetin, kaempferol and total phenolics in commercial broccoli. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22, 637–643

Kumar K; Yadav A N, Kumar V, Vyas P, Dhaliwal H S. Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. Bioresources and Bioprocessing 2017, 4(1), 18. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6

Laufenberg G; Kunz B, Nystroem M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementation. Bioresour Technol 2003, 87(2): 167–198

Llorach R; Espín JC, Tomás-Barberán FA, Ferreres F. Artichoke (Cynara scolymus L.) byproducts as a potential source of health-promoting antioxidant phenolics. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2002, 50, 3458–3464.

Misi SN; Forster CF. Semi-continuous anaerobic co-digestion of agro-wastes. Environ. Technol. 2002, 23, 445–451

Moure A; Jose M, Cruz JM, Daniel Franco D. et al. Natural antioxidants from residual sources. Food Chemistry, 2001, 72, 145–171.

Nguyen VT. (2017) Potential, Uses and Future Perspectives of Agricultural Wastes. In "Recovering Bioactive Compounds from Agricultural Wastes". 1–32.

Pham HNT. (2017) Recovering Bioactive Compounds from Fruit and Vegetable Wastes., chapter 4, 81–99. https://doi.org/10.1002/9781119168850.ch4

Podsedek A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. LWT-Food Sci. Technol. 2007, 40 (1), 1–11.

Puri M; Sharma D, Barrow CJ. Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. Trends Biotechnol. 2012, 30(1), 37–44

Royal Society (2009) Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society, London, UK, 72 p

http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf

Santana-Méridas O; González-Coloma A, Sánchez-Vioque R. Agricultural residues as a source of bioactive natural products. Phytochemistry Reviews, 2012, 11, 447–466.

Soengas P; Cartea ME, Velasco P, Francisco M. Endogenous Circadian Rhythms in Polyphenolic Composition Induce Changes in Antioxidant Properties in Brassica Cultivars. J Agric Food Chem. 2018, 66(24), 5984-599

L.A. Thrupp (1998) Cultivating diversity. Agrobiodiversity and food security. World Resources Institute, Washington DC, 80 p. http://pdf.wri.org/cultivatingdiversity_bw.pdf. Accessed 13 Jul 2012

Valverde J; Reilly K, Villacreces S, Gaffney M. et al. Variation in bioactive content in broccoli (Brassica oleracea var. italica) grown under conventional and organic production systems. J Sci Food Agric. 2015, 95(6), 1163-71

Van Lanen SG & Shen B. (2006) Microbial genomics for the improvement of natural product discovery. Current Opinion in Microbiology 9, 252–260

Varzakas T; Zakynthinos G, Verpoort F. Plant Food Residues as a Source of Nutraceuticals and Functional Foods. Foods, 2016, 5(4), 88. https://doi.org/10.3390/foods5040088.

Wang L J &Weller C L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17, 300–312.

Willet W; Rockström W, Loken J, Springmann B. et al. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. The Lancet 2019, 393, 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788.