

ARTICLE INFO

Received	11 March 2026
Revised	19 April 2026
Accepted	24 April 2026
Published	30 June 2026

VALORIZZAZIONE DI MATERIALI RESIDUI NELLE FILIERE PRODUTTIVE AGRO-INDUSTRIALI

Transizioni circolari in Alto Adige (Italia)

VALORISATION OF RESIDUAL MATERIALS IN AGRO-INDUSTRIAL PRODUCTION CHAINS

Circular transitions in South Tyrol (Italy)

Camilo Ayala-Garcia, Noa Ruth Paul, Laura Bordini,
Mila Stepanovic, Nitzan Cohen

ABSTRACT

Nelle regioni alpine come l'Alto Adige le attività agro-industriali e agricole producono grandi quantità di sottoprodotti i cui usi attuali risultano spesso inferiori al loro potenziale come risorse materiali secondarie. La collaborazione tra design, scienza e tecnologia promuove l'innovazione sostenibile dei materiali, e tale approccio interdisciplinare costituisce il fondamento della presente ricerca. Lo studio esamina quattro sottoprodotti provenienti dai settori lattiero-caseario, birrario, della distillazione della frutta e dell'allevamento ovino della regione, combinando prospettive materiali, tecnologiche e sistemiche. I risultati preliminari individuano percorsi concreti per reintegrare tali risorse sottoutilizzate nelle filiere produttive locali, facendo emergere i vincoli normativi, infrastrutturali ed economici che attualmente ne limitano la valorizzazione.

In Alpine regions such as South Tyrol, agro-industrial and agricultural activities generate large quantities of by-products whose current uses often fall short of their potential as secondary material resources. Collaboration between design, science, and technology promotes sustainable material innovation, and this interdisciplinary approach forms the basis of the present research. The study examines four by-products from the region's dairy, brewing, fruit-distillation, and sheep-farming sectors, combining material, technological, and systemic perspectives. The preliminary findings identify concrete pathways for reintegrating these underused resources into local production chains, while also highlighting the regulatory, infrastructural, and economic constraints that currently limit their valorisation.

KEYWORDS

sottoprodotti agro-industriali, valorizzazione degli scarti, design guidato dai materiali, design sistemico, economia circolare

agro-industrial by-products, waste valorisation, material-driven design, systemic design, circular economy

Camilo Ayala-Garcia, Designer and PhD, is an Assistant Professor at the Faculty of Design and Art, Free University of Bozen-Bolzano (Italy). His current research connects emerging technologies and materialities towards transitional circularity, with a strong focus on tools that foster knowledge sharing. E-mail: camilo.ayalagarcia@unibz.it

Noa Ruth Paul, Designer and Research Fellow at the Faculty of Design and Art, Free University of Bozen-Bolzano (Italy). She is an industrial designer specialising in ecological materials and sustainable innovation. E-mail: noaruth.paul@unibz.it

Laura Bordini, Designer and Research Fellow at the Faculty of Design and Art, Free University of Bozen-Bolzano (Italy). Her areas of interest include materials, bio-design, and practices related to environmental and social sustainability. E-mail: laura.bordini@unibz.it

Mila Stepanovic, Designer and PhD, is an Assistant Professor at the Faculty of Design and Art, Free University of Bozen-Bolzano (Italy). Her research interests lie in product design, futuring practices, and technological artefacts. E-mail: mila.stepanovic@unibz.it

Nitzan Cohen is a Designer and Full Professor at the Faculty of Design and Art, Free University of Bozen-Bolzano (Italy). He founded the 'Design Friction Lab', which is currently active in the development of 'growing materials', the future of open-source production, and sustainable nanoelectronics. E-mail: nitzan.cohen@unibz.it



L'evidente crisi ambientale richiede risposte sistemiche rapide per ridurre l'impatto della produzione industrializzata (IRP, 2019; Ulluwishewa, 2014). In linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG; UN, 2015, 2022) i sistemi produttivi e agricoli devono essere ripensati per minimizzare i danni ambientali, generando al contempo valore sociale ed economico (EMF, 2025). All'interno di questa transizione il design riconosce i materiali e la loro gestione come opportunità critiche per una produzione e un consumo sostenibili (Vezzoli and Manzini, 2018): un tempo considerati secondari nel processo di progettazione assumono oggi un ruolo centrale (Karana et alii, 2015; Rognoli et alii, 2015) per abilitare la transizione ecologica.

A differenza dello sviluppo tradizionale dei materiali, orientato alle prestazioni o all'ottimizzazione per il mercato, il design esplora oggi alternative speculative e sistemiche in risposta alle sfide contemporanee. Nell'ultimo decennio gli approcci guidati dal design hanno trasformato le risorse materiali attraverso la collaborazione interdisciplinare (Barbero and Ferrulli, 2023; Rognoli and Ayala-Garcia, 2021): sempre più spesso l'innovazione dei materiali non nasce esclusivamente dalla scienza dei materiali, ma da collaborazioni tra designer, ingegneri, biologi, artigiani e agricoltori (D'Olivo and Karana, 2021), attraverso un approccio multidisciplinare che configura come un nuovo paradigma.

Le tecnologie ad accesso aperto (Hofer, Hassan and Mies, 2024; Gershenfeld, 2012), i sistemi produttivi democratizzati (Bettiol and Micelli, 2014; Tanenbaum et alii, 2013) e il rinnovato interesse per le pratiche artigianali (Jakob and Thomas, 2017; Sennett, 2008) rendono possibili modelli industriali alternativi (Geissdoerfer et alii, 2020; Anderson, 2012). Il raggiungimento della circolarità richiede in ultima analisi il riconoscimento del valore insito in tutte le risorse coinvolte nei processi industriali e agro-industriali (Manzini and Vezzoli, 2003).

L'Alto Adige è caratterizzato da consolidate tradizioni artigianali (Alexander, 2006) e da un settore agricolo e manifatturiero ben sviluppato: nel biennio 2019-2020 la superficie coltivata agro-industriale copriva 204.085 ettari e il settore manifatturiero rappresentava il 30,8% dell'economia regionale (ASTAT, 2025). Dato il volume di risorse che attraversano questi settori comprendere come i materiali e i sottoprodotti vengano processati, trasformati e scartati è essenziale per uno sviluppo regionale sostenibile.

Con una popolazione relativamente ridotta (504.643 abitanti nel 2024; ASTAT, 2025) e una struttura di governance autonoma, l'Alto Adige offre un ecosistema compatto e interconnesso, adatto alla sperimentazione sistemica. Le strette relazioni tra agricoltori, industria, istituzioni di ricerca e autorità pubbliche facilitano una mappatura approfondita dei sottoprodotti regionali, mentre la coesistenza tra un'agricoltura autosufficiente d'alta quota e uno sviluppo industriale di fondovalle (Schneider, 2022) offre ulteriori conoscenze sulle strategie diversificate di gestione delle risorse. Allo stesso tempo la forte interrelazione tra agricoltura e turismo esercita pressione sui sistemi locali di gestione dei rifiuti (Fischer, 2019), generando sfide e opportunità per l'innovazione circolare. Le iniziative di collaborazione che riuniscono agricoltori, designer e ricercatori rafforzano ulteriormente questo potenziale trasformativo (Gaddi and Mastrolonardo, 2024) e sono supportate anche dalle politiche

regionali. Il Piano d'Azione provinciale richiede esplicitamente un cambiamento nei modelli di produzione e di consumo¹ in linea con la visione dei sistemi 'piccoli, locali, aperti e connessi' (Manzini, 2015), tutte condizioni che creano un ambiente favorevole alla sperimentazione di cicli di vita alternativi dei materiali. Attualmente il riciclo rappresenta il 29% dei rifiuti totali, mentre il 44% viene incenerito e il 4% conferito in discarica (ASTAT, 2025; Fig. 1).

Sebbene i tassi di riciclo siano relativamente elevati, l'incenerimento resta prevalente e anche il riciclo comporta costi ambientali. Circa 40.000 tonnellate di rifiuti organici vengono processate ogni anno tramite compostaggio o produzione di biometano (Provincia Autonoma di Bolzano, 2024) e fino a un terzo delle risorse alimentari grezze viene perso durante la lavorazione industriale, il che rivela un significativo potenziale di valorizzazione ancora inespresso. L'agricoltura industrializzata dell'Alto Adige, le infrastrutture avanzate di trattamento dei rifiuti e l'elevata sensibilità ambientale offrono quindi condizioni ideali per indagare in che modo i sottoprodotti industriali e agro-industriali possano essere reintegrati nei sistemi produttivi circolari.

Un ulteriore fattore motivante è la Legge n. 166/2016 (Presidente della Repubblica Italiana, 2016), che promuove la riduzione degli sprechi in tutte le fasi di produzione, lavorazione e distribuzione, finalizzata a limitare gli impatti ambientali, ridurre la produzione di rifiuti ed estendere il ciclo di vita dei prodotti attraverso il riuso e il riciclo: questo quadro normativo supporta sia l'implementazione sia la potenziale scalabilità del progetto a livello regionale e nazionale.

A partire da tale contesto il presente contributo illustra i primi esiti di una ricerca in corso, finanziata dalla Provincia Autonoma di Bolzano al Consorzio MICST, finalizzata a individuare risorse regionali sottoutilizzate e integrarle nelle filiere esistenti o, in loro assenza, a sviluppare nuovi percorsi di valorizzazione (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). In risposta alla forte specializzazione agricola dell'Alto Adige la ricerca indaga scarti e sottoprodotti agroalimentari attraverso processi di tecnologia alimentare, dalla fermentazione a trattamenti avanzati dei materiali, per promuovere sistemi produttivi circolari e rigenerativi. La ricerca propone inoltre una metodologia interdisciplinare per lo sviluppo di un quadro analitico basato sul materiale, sulla tecnologia e sull'approccio sistemico, volta a supportare la valorizzazione e la trasformazione delle risorse regionali, in particolare dei residui alimentari e agricoli (Morpurgo, 2024; Bofylatos, 2022; Bak-Andersen, 2021).

Lo studio, focalizzato su quattro sottoprodotti, mostra come il framework possa essere applicato in contesti industriali reali: la lana, le trebbie esauste di birra, i noccioli di albicocca e il siero di latte sono stati individuati attraverso attività di ricerca sul campo condotte in collaborazione con industrie e stakeholder locali. Il contributo è strutturato in sezioni: dopo aver delineato i metodi di ricerca e il processo interdisciplinare che ha portato allo sviluppo del framework, l'articolo presenta i quattro sottoprodotti per illustrarne il potenziale nella generazione di nuovi materiali, prodotti e forme più ampie di valore sostenibile a livello regionale.

Metodologia e fasi | Questo studio ha adottato un approccio di ricerca esplorativo guidato dal design, finalizzato a identificare, mappare e valu-

tare il potenziale di valorizzazione dei sottoprodotti agroindustriali in Alto Adige, attraverso un quadro sistemico interdisciplinare (Klein, 1990) e radicato nel territorio (Barbero and Ferrulli, 2023). Il Consorzio MICST possiede competenze in design, food technology², fermentazione³, antropologia e gestione locale dei rifiuti⁴, che consentono un'ampia analisi delle dimensioni materiali, tecnologiche e sistemiche (Olivastri and Tagliasco, 2024) dei prodotti locali.

La ricerca è stata sviluppata in cinque fasi. Nella prima fase il sistema produttivo regionale è stato analizzato attraverso la mappatura dei sottoprodotti industriali e agroalimentari e delle principali infrastrutture di gestione dei rifiuti; sono state effettuate visite preliminari a discariche, impianti di incenerimento, sistemi di recupero energetico e centri di digestione anaerobica, in collaborazione con l'Autorità regionale competente, al fine di comprendere come la struttura di governance autonoma dell'Alto Adige influenzi la gestione, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti.

Nella seconda fase la ricerca ha combinato revisione della letteratura, casi studio (Boblin et alii, 2013) e classificazione tassonomica (Bailey, 1994) per categorizzare i sottoprodotti in base alle caratteristiche materiali, agli usi attuali e alle possibili applicazioni alternative. Questa fase ha inoltre previsto un confronto con casi di riferimento internazionali (Tab. 1) e considerato la rilevanza delle conoscenze locali possedute da agricoltori e produttori nei contesti montani (Cole and Wolf, 1999; Schneider, 2022).

Nella terza fase la ricerca è stata condotta attraverso il coinvolgimento degli stakeholder e l'indagine sul campo (Driscoll, 2011; Massari et alii, 2025). La collaborazione con la Camera di Commercio regionale ha reso disponibile un registro di aziende, cooperative e associazioni, consentendo la mappatura dei settori rilevanti e delle reti di impianti locali (Fig. 2). La selezione dei casi ha seguito una logica intenzionale privilegiando attori con elevata capacità produttiva, produzione regolare di sottoprodotti, rilevanza territoriale e accessibilità per la ricerca, relativamente alla produzione di vino, succo di mela, distillati, prodotti lattiero-caseari, produzione di carne e pascolo ovino e bovino. Su questa base sono state contattate 72 aziende tramite un protocollo e-mail standardizzato, chiedendo informazioni sull'esistenza di sottoprodotti sottoutilizzati, la quantità prodotta e le relative modalità di gestione.

Alle 25 aziende che hanno risposto alla mail (34,7%) sono stati distribuiti questionari strutturati, al fine di raccogliere dati comparabili su tipologia di sottoprodotto, quantità approssimative, continuità di produzione, modalità di trattamento o smaltimento, costo o valore economico percepito e possibile trasferimento a industrie secondarie (Fig. 3). Successivamente sono state condotte 12 visite presso le aziende e gli impianti selezionati, privilegiando i casi con elevati volumi residui, rilevanza settoriale e potenziale sperimentale (Fig. 4). Le visite hanno seguito un protocollo comune volto a documentare i processi produttivi, identificare i sottoprodotti visibili e meno visibili, chiarire le pratiche di stoccaggio e trasferimento e stabilire relazioni di fiducia con gli stakeholder: le evidenze sono state sintetizzate in diagrammi di flusso e schede comparative dei sottoprodotti (Fig. 5). Nella quarta fase sono stati selezionati i sottoprodotti della lana,

delle trebbie di birra, i noccioli di albicocca e il siero di latte per uno studio approfondito attraverso criteri di rilevanza territoriale, sottoutilizzo attuale o onere di smaltimento, potenziale materiale oppure biochimico, accessibilità per indagini sul campo e in laboratorio, rappresentatività rispetto alle filiere agro-industriali e disponibilità di aziende ed associazioni a collaborare. La sperimentazione materiale è guidata da approcci quali quelli del 'material-driven design' (Karana et alii, 2015), 'material tinkering' (Parisi, Rognoli and Sonneveld, 2017) e da metodi di selezione dei materiali basati su analisi, sintesi e similitudine (Ashby and Johnson, 2014), mentre approcci di co-design (Zamenopoulos and Alexiou, 2018) hanno supportato lo sviluppo di un prototipo semplificato. Dopo la raccolta dei dati primari e la condivisione di un documento esplicativo i risultati sono stati discussi in un incontro congiunto con i partner, al fine di definire le fasi successive della ricerca e allineare i percorsi di riutilizzo specifici per ciascuna competenza (Fig. 6).

Nella quinta fase i sottoprodotti selezionati sono stati analizzati attraverso il quadro MICST (Fig. 7), strutturato in tre macroaree interconnesse di analisi dei rifiuti industriali, studi sui sottoprodotti

agroalimentari e co-design / design per la sostenibilità; ciascun sottoprodotto è stato poi valutato attraverso le lenti del materiale, della tecnologia e della relazione sistemica: la lente materiale ha considerato proprietà fisiche, compositive, sensoriali o funzionali e le possibili applicazioni; la lente tecnologica ha esaminato i requisiti di pretrattamento, la fattibilità dei processi e i vincoli infrastrutturali; la lente sistemica ha affrontato le reti di attori, la logistica, la regolamentazione, la sostenibilità economica e le opportunità di integrazione nelle filiere locali.

I quattro casi sono stati valutati in base ai parametri di quantità e continuità di generazione degli scarti di lavorazione, destinazione attuale, livello di sottoutilizzo, vincoli normativi, lavorabilità, compatibilità con le infrastrutture e potenziale di circolarità locale. Parallelamente le filiere agroalimentari e le reti di impianti locali sono state esaminate secondo i fattori politico, economico, tecnologico, sociale, giuridico-normativo e ambientale (Mallik, 2025), al fine di identificare barriere, implicazioni e opportunità nella produzione, gestione, distribuzione e trasformazione delle risorse residue. Così strutturato il quadro analitico supporta lo sviluppo e la va-

lutazione di soluzioni sostenibili a lungo termine calibrate sul contesto e può essere replicato al di fuori dell'Alto Adige.

Lo studio ha carattere esplorativo e va letto come prototipo semplificato ma strutturato, anziché come una valutazione comparativa pienamente standardizzata, poiché l'accesso ai casi è dipeso dalla disponibilità delle aziende a collaborare e i quattro sottoprodotti selezionati non presentano lo stesso grado di maturità sperimentale. Ciononostante la procedura è riproducibile attraverso la stessa sequenza: mappatura, revisione dei casi di riferimento, selezione intenzionale dei casi, questionario, protocollo di visita sul campo, criteri di selezione dei sottoprodotti e valutazione multi-lente.

Primi esiti della ricerca su quattro prodotti | A partire dalla mappatura, dal coinvolgimento degli stakeholder e dall'analisi multilente i primi risultati della ricerca riguardano la valutazione dei quattro sottoprodotti agro-industriali selezionati. Piuttosto che offrire soluzioni definitive i risultati illustrano i percorsi di valorizzazione emergenti, i vincoli chiave e le opportunità specifiche per il contesto, attraverso le lenti materiale, tecnologia e relazione sistemica: i risultati vanno intesi come indicazioni fondate sul potenziale di integrazione delle risorse sottoutilizzate nei sistemi produttivi circolari regionali.

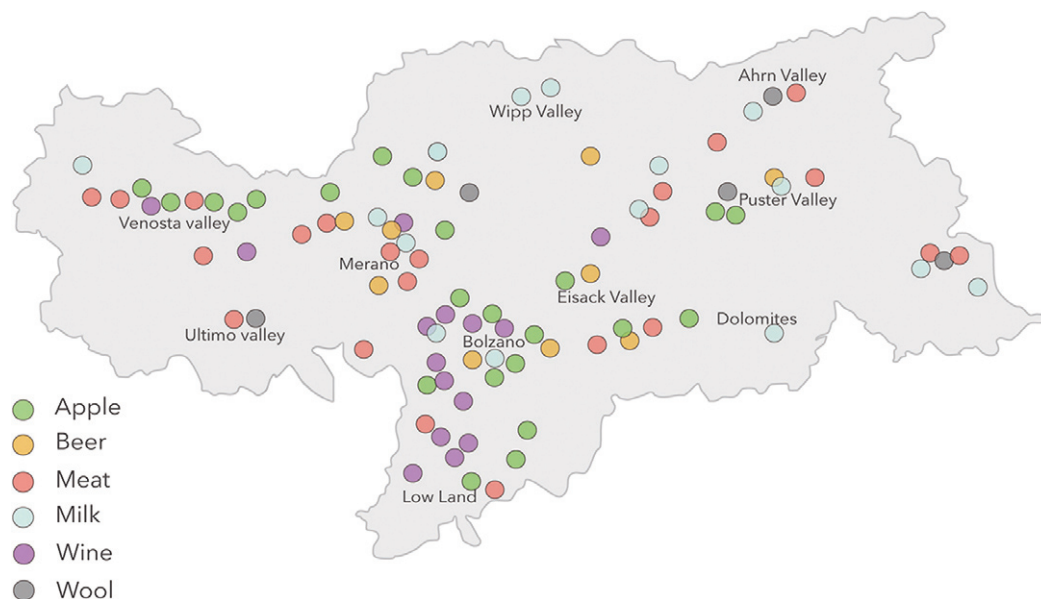
Per la lana, la ricerca ha evidenziato che ogni anno restano inutilizzate circa 90 tonnellate di prodotto sudtirolese, in quanto viene prevalentemente scartata dagli allevatori o raccolta dalle cooperative senza una destinazione predefinita, mentre solo 10 tonnellate vengono utilizzate, principalmente per prodotti artigianali tradizionali su piccola scala. Sebbene sia riconosciuta a livello internazionale come parte del Patrimonio culturale alpino, la lana locale ha applicazioni contemporanee limitate a causa delle sue fibre grossolane e robuste (Fig. 8), che ne restringono le possibilità di impiego poiché non può competere con fibre più fini come il merino (Fig. 9), che domina il mercato dell'abbigliamento.

Le richieste del mercato fanno sì che la lana locale non abbia praticamente alcun valore per gli allevatori che già affrontano difficoltà economiche. Le pecore devono essere tosate regolarmente, di norma due volte l'anno, ma l'inadeguata valorizzazione della lana porta al suo accumulo, creando un onere ambientale; inoltre la lana grezza è classifi-



Fig. 1 | Biomethane and waste-to-energy plants (credits: Design Friction Lab, 2024).

Fig. 2 | Map of local stakeholders in the agro-industrial sectors identified (credit: Design Friction Lab, 2024).



cata come sottoprodotto animale di 'categoria 3' e deve essere gestita secondo il Regolamento (EC) n. 1069/2009 (European Parliament and Council of the European Union, 2009), che prevede procedure specifiche per la lavorazione, il trasporto e lo smaltimento. Questa sfida non è esclusiva dell'Alto Adige ma si riscontra in numerose regioni europee e affrontarla richiede pertanto un approccio contestualizzato che risponda alle condizioni, alle risorse e alle capacità locali; allo stesso tempo indicazioni preziose possono essere acquisite da strategie e innovazioni già implementate in altre regioni che affrontano simili problemi (Gaddi and Mastrolonardo, 2024; Knapp, 2022).

Sul piano delle proprietà materiali e delle possibili applicazioni la collaborazione con attori locali del tessile e del design ha rivelato molteplici opportunità di rivalorizzazione. Sebbene la fibra grossolana ne limiti l'uso nell'abbigliamento la lana sudtirolese offre notevoli proprietà termiche, acustiche e strutturali, adatte a feltri, pannelli isolanti, elementi fonoassorbenti, rivestimenti interni, imbottiture per mobili e rinforzi compositi. La sua biodegradabilità, l'elevata riciclabilità e l'origine locale sono in linea con i principi del design circolare⁵, poiché la lana può sostituire materiali sintetici e, al contempo, sostenere l'artigianato regionale (Fig. 10).

Sul piano tecnologico e infrastrutturale la filiera della lana evidenzia criticità rilevanti; il settore risulta tuttora marginale rispetto ai processi di innovazione agricola, con una limitata dotazione di sistemi evoluti per l'allevamento e di infrastrutture dedicate alla tosatura. Il nodo più critico riguarda tuttavia l'assenza di impianti per il lavaggio della lana: ciò costringe i produttori a trasferire la materia grezza fuori regione, in Tirolo (Austria), mentre gli allevatori, non disponendo di sbocchi locali per una risorsa in larga parte inutilizzata, sono spesso costretti a smaltirla, con conseguente aumento dei costi e un'ulteriore svalutazione della filiera. In risposta a questa condizione MICST ipotizza l'introduzione di unità di lavaggio decentralizzate a basso consumo energetico e di sistemi modulari di lavorazione in grado di riattivare la capacità locale di pre-lavorazione, integrando strategie di risparmio idrico e di impiego di energia da fonti rinnovabili (Fig. 11).

Sul piano delle relazioni sistemiche, economiche e territoriali il valore pressoché nullo attribuito

alla lana grezza accresce ulteriormente il carico economico già gravante sugli allevatori, contribuendo nel tempo all'abbandono dell'allevamento ovino a favore di altre attività. Tale dinamica comporta una contrazione del pascolo con ricadute negative sia sulla manutenzione dei versanti alpini sia sulla biodiversità; a questa fragilità si aggiunge l'assenza di infrastrutture locali per il lavaggio della lana, che consolida la dipendenza da un impianto estero ed espone l'intera filiera al rischio di un'interruzione improvvisa qualora tale impianto cessi di operare o non accetti più questo materiale. In risposta a questa condizione, MICST ipotizza la costruzione di un modello cooperativo regionale di lavorazione, potenzialmente in grado di riattivare le filiere locali, riconoscere una remunerazione più equa agli allevatori e reintegrare la lana nelle reti produttive circolari che mettono in relazione agricoltura, industria e design (Fig. 12).

La produzione locale di birra è in larga misura concentrata in un unico impianto, nel quale la maggior parte degli ingredienti proviene dall'esterno; ciò rende particolarmente strategica l'ottimizzazione delle risorse lungo l'intero processo produttivo. Le visite sul campo e l'analisi dei processi hanno consentito di individuare diversi sottoprodotti, tra cui le trebbie di birra (BSG) emerse come particolarmente rilevanti. Principale residuo della birrificazione le BSG corrispondono alla frazione solida dell'orzo maltato che rimane dopo la fase di ammostamento. La loro composizione, ricca di fibre, proteine e carboidrati residui, ne evidenzia il potenziale di valorizzazione. Allo stato attuale le BSG sono tuttavia destinate prevalentemente a impieghi di basso valore, come mangime animale o scarto, poiché l'elevato contenuto di umidità e l'instabilità biologica ne accelerano il deterioramento. Proprio queste caratteristiche compositive e organiche però indicano possibilità di impiego più promettenti, soprattutto in rapporto alla crescente vulnerabilità delle filiere cerealicole europee.

Sul piano delle proprietà materiali e degli usi potenziali le BSG si configurano come una risorsa biologica valorizzabile sia nel settore alimentare sia in applicazioni non alimentari orientate allo sviluppo di materiali e semilavorati a base biologica. L'elevato contenuto di fibre e proteine ne suggerisce l'impiego, da un lato in miscele di farine e prodotti

da forno, dall'altro come componente per composti e altri prodotti a base biologica. Le analisi preliminari indicano che le BSG possono contribuire sia al profilo nutrizionale sia ad alcune proprietà strutturali dei prodotti ottenuti: più in generale il loro riutilizzo amplia le possibilità di reintegrazione dei residui della birrificazione in filiere produttive circolari.

Dal punto di vista tecnologico e dei processi di stabilizzazione la principale barriera alla valorizzazione delle BSG è la loro instabilità dopo la produzione. Sono necessari processi efficienti di essiccazione o stabilizzazione per estendere la stabilità di stoccaggio e preservarne le proprietà funzionali. Ciò è essenziale non solo per gli usi alimentari ma anche per le applicazioni che richiedono sicurezza e durabilità. Sebbene alcune applicazioni alimentari esistano già, i metodi di stabilizzazione energeticamente efficienti e scalabili, nonché la compatibilità con le tecnologie di trasformazione convenzionali, necessitano ancora di approfondimento.

Sul piano delle relazioni sistemiche e delle integrazioni di filiera le BSG potrebbero essere reintegrate nelle filiere alimentari regionali come materia prima secondaria, in particolare attraverso collegamenti con produttori di farina, pane e mangimi. Tale collaborazione intersettoriale potrebbe sostenere modelli produttivi circolari in cui i residui della birrificazione vengono reindirizzati verso nuove filiere, riducendo gli scarti e migliorando l'efficienza delle risorse: in questo senso collaborazioni tra birrifici, produttori di mangimi e Centri di ricerca sono cruciali per sbloccare il pieno potenziale delle BSG.

Un altro sottoprodotto indagato è costituito dai noccioli di albicocca recuperati dalla distillazione locale della frutta, in particolare per la tradizionale produzione di schnapps. Il seme interno del nocciolo contiene oli pregiati e composti aromatici, il che gli conferisce un elevato potenziale come risorsa secondaria; tuttavia la sua valorizzazione per applicazioni alimentari o cosmetiche è estremamente vincolata dalla presenza di amigdalina, un composto cianogenico tossico presente in natura che rimarrebbe nel prodotto finale, rendendolo inadatto e pericoloso per l'uso umano (Fig. 13).

Per affrontare questa limitazione lo studio ha sviluppato e testato strategie di pretrattamento mirate a ridurre o eliminare l'amigdalina prima dell'estrazione. Tra i diversi metodi di deamarizzazione

valutati in condizioni di laboratorio un approccio si è rivelato particolarmente efficace, riducendo l'amigdalina a livelli non rilevabili: questo pretrattamento ottimizzato rappresenta un passaggio critico per consentire la valorizzazione sicura dei noccioli di albicocca come fonte di olio alimentare.

Sul piano delle proprietà compositive e del potenziale di valorizzazione i noccioli di albicocca presentano diverse proprietà che li rendono interessanti in quanto contengono una proporzione significativa di lipidi con una composizione favorevole di acidi grassi, oltre a proteine e composti aromatici che contribuiscono al loro caratteristico profilo, simile a quello della mandorla. Se opportunamente trattati per rimuovere i composti tossici, questi noccioli possono costituire una preziosa fonte di olio vegetale, con potenziali applicazioni culinarie e cosmetiche. Inoltre il riutilizzo dei noccioli derivanti dalla lavorazione della frutta si allinea alle strategie di circolarità dei materiali, consentendo il reinserimento dei residui agricoli in nuove filiere anziché trattarli come rifiuti.

Dal punto di vista tecnologico il nodo cruciale riguarda la presenza di amigdalina mantenendo la qualità del materiale del nocciolo. La ricerca ha di-

mostrato che l'adattamento di processi controllati di pretrattamento può eliminare efficacemente il composto tossico prima dell'estrazione. L'identificazione di un promettente approccio di deamarizzazione evidenzia il potenziale di integrare fasi di lavorazione relativamente semplici nei protocolli di estrazione esistenti, consentendo di trasformare ciò che è attualmente considerato un residuo problematico in una materia prima potenzialmente di valore.

Sul piano delle relazioni sistemiche e delle ricadute la questione della gestione dei noccioli di albicocca ha implicazioni dirette per i produttori locali. Le distillerie che producono schnapps di albicocca generano quantità considerevoli di noccioli come sottoprodotti, attualmente in gran parte inutilizzati e privi di un chiaro percorso di valorizzazione. Poiché le vie di smaltimento convenzionali, come l'incenerimento, il compostaggio e la fermentazione, non sono adatte ai noccioli di albicocca, le distillerie li conservano in loco (Fig. 14), riconoscendone il potenziale valore ma non disponendo di una soluzione di lavorazione praticabile. Lo sviluppo di strategie sicure di valorizzazione per questi noccioli potrebbe risolvere questa sfida, aggiun-

gendo al contempo ulteriore valore a un prodotto regionale unico e al suo processo produttivo.

L'ultimo sottoprodotto analizzato è il siero del latte, principale sottoprodotto dell'industria lattiero-casearia, con circa 8-9 litri generati per chilogrammo di formaggio prodotto. Sebbene prevalentemente costituito da acqua (circa 93-94%), il siero contiene ancora componenti di valore come lattosio, sieroproteine, minerali e piccole quantità di grassi, per cui viene comunemente trasformato dalle grandi industrie lattiero-casearie in prodotti come polveri di sieroproteine, lattosio o mangimi per animali. Tuttavia questi processi richiedono energia, infrastrutture e trasporti, e non sono sempre accessibili ai caseifici più piccoli o di montagna. Inoltre il suo elevato carico organico fa sì che il siero smaltito impropriamente rappresenti un rischio ambientale significativo, in particolare attraverso l'inquinamento idrico.

Sul piano delle proprietà del sottoprodotto e delle possibilità di reimpiego l'analisi del settore lattiero-caseario regionale mostra un quadro già fortemente strutturato. Il recupero dei nutrienti e dei composti presenti nel siero richiede infatti processi tecnicamente complessi e investimenti significativi che rendono onerosa la sua reintegrazione in filiere alternative. In questo contesto l'elevato grado di ottimizzazione raggiunto dal comparto ha favorito l'attivazione di strategie gestionali efficienti: è stato implementato un ciclo a circuito chiuso, grazie alla realizzazione di un impianto regionale dedicato alla trasformazione del siero in polvere alimentare ad alto valore aggiunto, capace di assorbire l'intero quantitativo di siero industrialmente processato prodotto nella regione (Fig. 15). Entro un sistema già così organizzato la ricerca ha quindi indirizzato l'indagine verso la verifica di ulteriori margini di valorizzazione, esplorando la possibilità di individuare impieghi complementari non ancora intercettati dalle filiere esistenti.

Dal punto di vista tecnologico il fatto che la trasformazione industriale del siero sia oggi orientata quasi esclusivamente alla produzione di polvere ren-

Data Invio

gen 15, 2025 3:02 PM

Nome e Cognome:

E-mail di riferimento:

Nome dell'azienda:

wir produzieren Wein aus den angelieferten Trauben unserer Mitglieder - es sind im Schnitt der Jahre 2.000.000 kg Trauben, von denen mit einer Ausbeute von 70% jährlich ca. 1.400.000 l Wein entsteht

	Nome della fase di lavorazione specifica	Quantità lavorata massa/volume per mese	Quantità materia seconda (0)	Descrizione materia seconda(1)	Quantità Reimpiego (0)(1)	Quantità Scarto (0)	Destinazione scarto (1)	Costi di smaltimento
Fase 1	Einmischung	2.000.000 kg Trauben in den Monaten September und Oktober	Stielger üst	ca 85.000 kg			Kompostieranlage	0
Fase 2	Einmischung	2.000.000 kg Trauben in den Monaten September und Oktober	Trester	ca. 220.000 kg			Brennereien	0
Fase 3	Einmischung	2.000.000 kg Trauben in den Monaten September und Oktober	Geläger	ca. 130.000 kg			Distillerie	0
Fase 4	Filtration	105.000 kg bentonit	bentont-landet zusätzlich im Geläger	ca 105.000 kg			Distillerie	0
Fase 5								

Fig. 3 | Example of questionnaire with responses (credit: Design Friction Lab, 2025).



Fig. 4 | On-site visits to selected companies and facilities (credits: Design Friction Lab, 2025).

de particolarmente rilevante l'esplorazione di percorsi alternativi ad alto valore aggiunto, capaci di diversificare gli output della filiera. In questa direzione, e con il supporto degli esperti di fermentazione del Consorzio, l'indagine ha verificato la possibilità di impiegare il siero come substrato per processi biotecnologici in grado di trasformarne i componenti in nuovi ingredienti o prodotti utili (Fig. 16). L'ipotesi più promettente riguarda la fermentazione del siero mediante microrganismi selezionati, finalizzata allo sviluppo di una bevanda fermentata; tale opzione è stata ritenuta coerente con la composizione nutrizionale del sottoprodotto e con la sua idoneità ai processi metabolici microbici. Le analisi sperimentali attualmente in corso si concentrano sul monitoraggio delle variazioni di pH e della perdita di CO₂, parametri che consentono di tracciare e valutare nel tempo le dinamiche fermentative.

Sul piano sistemico il settore lattiero-caseario della regione rappresenta un ecosistema altamente ottimizzato, in cui, a scala industriale, i sottoprodotti sono pienamente integrati nei processi circolari. L'esistenza di un'azienda specializzata che gestisce il flusso industriale del siero dimostra un impegno industriale maturo nel chiudere i cicli materiali all'interno del settore alimentare. In questo contesto la ricerca non mira a sostituire i percorsi di valorizzazione esistenti, ma piuttosto a indagare scenari complementari che possano da un lato diver-

sificare gli output della trasformazione a scala industriale, dall'altro offrire soluzioni praticabili per i produttori su piccola scala che attualmente non dispongono di opzioni per gestire il loro siero residuo.

Contributo agli SDG, sinergie e compromessi |

L'approccio sistemico adottato da MICST per la valorizzazione dei sottoprodotti si colloca all'intersezione di diverse dimensioni dello sviluppo sostenibile, evidenziando come le strategie di riuso delle risorse non producano effetti isolati, ma attivino relazioni tra ambiti industriali, sociali e ambientali. All'interno del quadro degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) delle Nazioni Unite (UN, 2015) il progetto trova una corrispondenza più diretta con gli SDG 9, 10 e 12, che nel loro insieme restituiscono la natura multidimensionale delle azioni intraprese. In questa prospettiva gli SDG non sono intesi soltanto come obiettivi di riferimento, ma come una griglia interpretativa utile a valutare le sinergie attive e i possibili compromessi che emergono lungo le filiere analizzate.

In relazione all'SDG 9 (Imprese, innovazione e infrastrutture) il progetto contribuisce allo sviluppo di soluzioni innovative attraverso la mappatura sistematica dei sottoprodotti regionali e delle relative filiere produttive, individuando opportunità di trasformazione degli scarti in nuovi materiali, prodotti, impianti e servizi. Il coinvolgimento di industrie,

aziende e Centri di ricerca rappresenta un elemento strutturante di questo processo, favorendo la co-progettazione di soluzioni tecniche e organizzative. In tale quadro una prospettiva sistemica (Maffei et alii, 2024) guida l'individuazione delle criticità e delle barriere presenti nelle filiere agroalimentari, consentendo di mettere in relazione gli aspetti tecnologici con i vincoli normativi, le condizioni economiche e le dinamiche geopolitiche che influenzano la disponibilità e la gestione delle risorse.

In relazione all'SDG 10 (Ridurre le disuguaglianze) la ricerca evidenzia come la valorizzazione dei sottoprodotti possa contribuire a riequilibrare alcune disparità strutturali che caratterizzano i sistemi produttivi locali. In particolare emergono disuguaglianze nell'accesso alle infrastrutture di trasformazione, alle tecnologie avanzate e alle risorse finanziarie necessarie a sostenere le attività agricole e artigianali. Tali condizioni risultano evidenti ad esempio nel caso della filiera della lana per carenze di impianti locali e aumento dei costi operativi che hanno contribuito alla progressiva chiusura di aziende ovine. In questo senso l'introduzione di soluzioni decentralizzate e cooperative non assume soltanto un valore tecnico ma rappresenta anche una strategia di riequilibrio territoriale e sociale.

In relazione all'SDG 12 (Consumo e produzione responsabili) la sostenibilità e l'economia circolare costituiscono l'asse portante dell'intero pro-

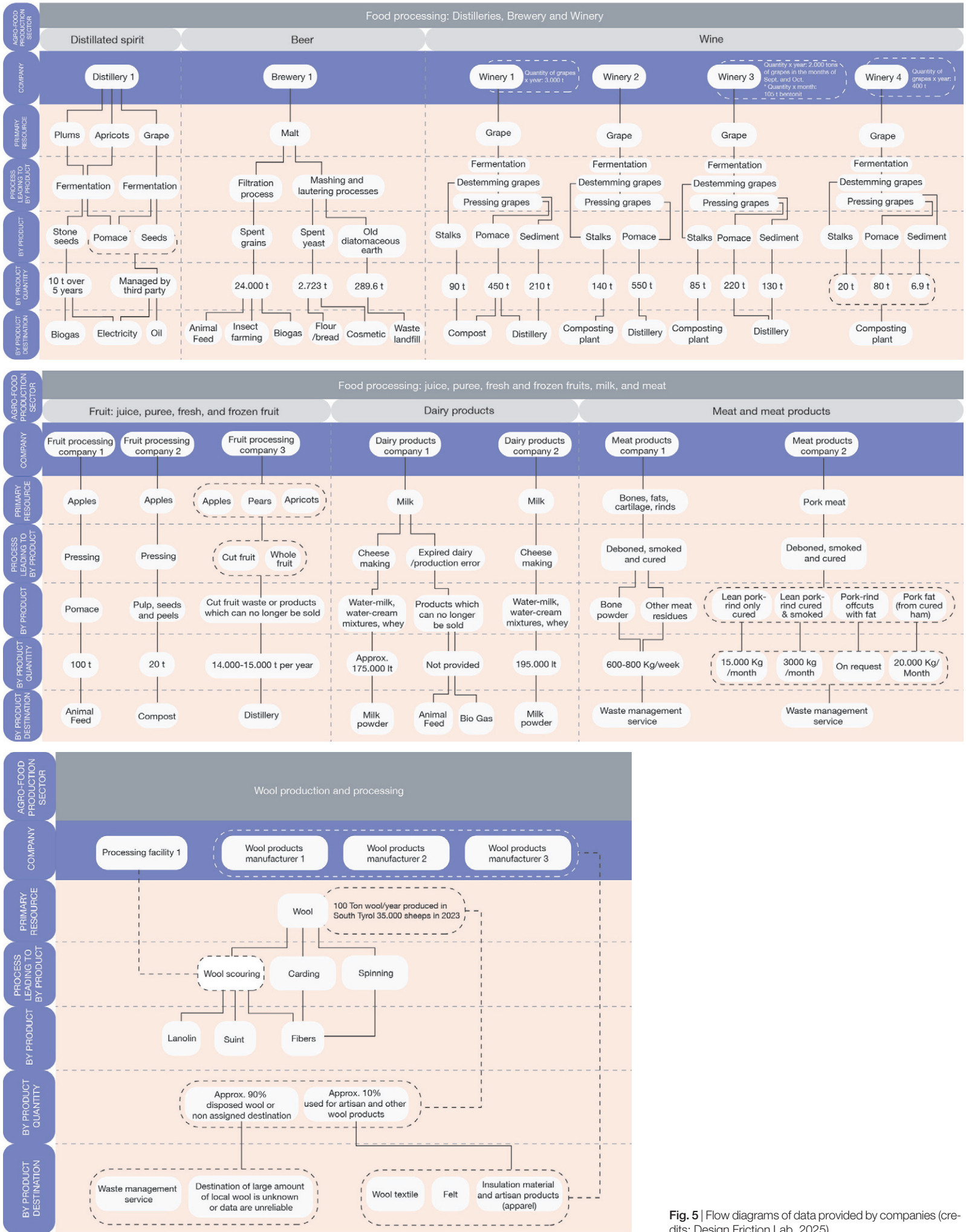


Fig. 5 | Flow diagrams of data provided by companies (credits: Design Friction Lab, 2025).

getto. Le strategie sviluppate mirano a ridurre gli sprechi, prolungare il ciclo di vita delle risorse e promuovere la trasformazione sostenibile degli scarti in nuovi materiali e prodotti. Questo orientamento consente non solo di valorizzare risorse locali spesso sottoutilizzate, ma anche di rafforzare il legame tra Patrimonio produttivo, cultura materiale e innovazione tecnologica, contribuendo alla costruzione di modelli produttivi più resilienti e adattivi.

Nel loro insieme queste azioni evidenziano come l'integrazione tra innovazione tecnologica, inclusione sociale e responsabilità ambientale generi sinergie tra gli obiettivi considerati, ma renda anche visibili alcuni compromessi, legati ad esempio agli investimenti necessari per l'implementazione di nuove infrastrutture, ai costi energetici associati ai processi di trasformazione e alla necessità di bilanciare efficienza produttiva e sostenibilità territoriale: è l'approccio sistemico adottato da MICST che consente di leggere tali compromessi non come criticità isolate, bensì come elementi strutturali da governare attraverso strategie progettuali integrate.

Discussione e conclusioni | Questo studio dimostra che la valorizzazione dei materiali residui non dipende solo dalle loro proprietà fisiche o biochimiche, ma anche dalle condizioni che ne plasmano la trasformazione, la circolazione e il riutilizzo (Morpurgo, 2024; Bofylatos, 2022; Bak-Andersen, 2021). L'analisi della lana, delle trebbie di birra, dei noccioli di albicocca e del siero dimostra che il sottoutilizzo è spesso caratterizzato da filiere frammentate, da una capacità di lavorazione limitata, da vincoli normativi e da deboli connessioni tra gli attori. Il principale risultato della ricerca è pertanto l'identificazione di concrete opportunità di valorizzazione che emergono quando le condizioni materiali, tecnologiche e sistemiche agiscono congiuntamente.

Da una prospettiva teorica e metodologica l'articolo posiziona il design come dispositivo di mediazione all'interno dei processi di transizione circolare, piuttosto che come attività a valle dello sviluppo prodotto. Il quadro MICST integra le lenti del materiale, della tecnologia e del sistema e consente di leggere simultaneamente i sottoprodotti residui come materia, processo e risorsa territoriale. In questo senso il contributo si rivela al contempo metodologico, attraverso una procedura strutturata ma adattabile per la mappatura e la valutazione dei sottoprodotti, e concettuale, inquadrando la circolarità come allineamento di materiali, attori, infrastrutture e filiere piuttosto che come mera sostituzione dei materiali.

Le implicazioni dello studio riguardano sia la ricerca che la pratica; per i ricercatori il quadro offre una metodologia replicabile ma sensibile al con-

testo per indagare i sistemi di materiali residui in altri territori circoscritti; per i tecnici e gli attori industriali evidenzia l'importanza della trasformazione intermedia, della tracciabilità e della collaborazione intersettoriale; per le Amministrazioni Pubbliche mostra che la transizione circolare richiede infrastrutture abilitanti, governance coordinata e misure di supporto mirate, non solo sensibilità ambientale o obiettivi di riciclo.

Allo stesso tempo lo studio resta esplorativo: l'accesso ai dati è dipeso dalla disponibilità delle aziende a collaborare, mentre alcuni settori si sono mostrati meno aperti di altri; inoltre i quattro sottoprodotti analizzati non presentano il medesimo livello di maturazione sperimentale. Le soluzioni fin qui delineate si collocano ancora in una fase di sviluppo e richiederanno ulteriori verifiche in condizioni industriali reali. A ciò si aggiungono l'incertezza finanziaria e la limitata diffusione di infrastrutture de-

centralizzate, che continuano a rappresentare ostacoli rilevanti all'attuazione su scala territoriale.

In questa prospettiva l'elemento maggiormente trasferibile ad altri contesti non risiede in un repertorio chiuso di soluzioni, bensì nella logica analitica del quadro proposto, fondata sulla mappatura territoriale, sul confronto con i casi di riferimento, sulla selezione intenzionale dei casi, sull'indagine sul campo e sulla valutazione multi-lente. Gli sviluppi futuri dovranno quindi concentrarsi sulla verifica dei percorsi individuati su scala più ampia, sulla valutazione della loro fattibilità tecnica, ambientale ed economica e sull'applicazione comparativa del quadro in altri contesti regionali. Sarà inoltre necessario approfondire i modelli di governance e gli strumenti di policy in grado di accompagnare il passaggio da sperimentazioni puntuali alla costruzione di filiere territoriali stabili. In ultima analisi l'articolo sostiene che la trasformazione sostenibile



Fig. 6 | Consortium meeting: presentation of the explanatory booklet of the data collected (credit: Design Friction Lab, 2025).

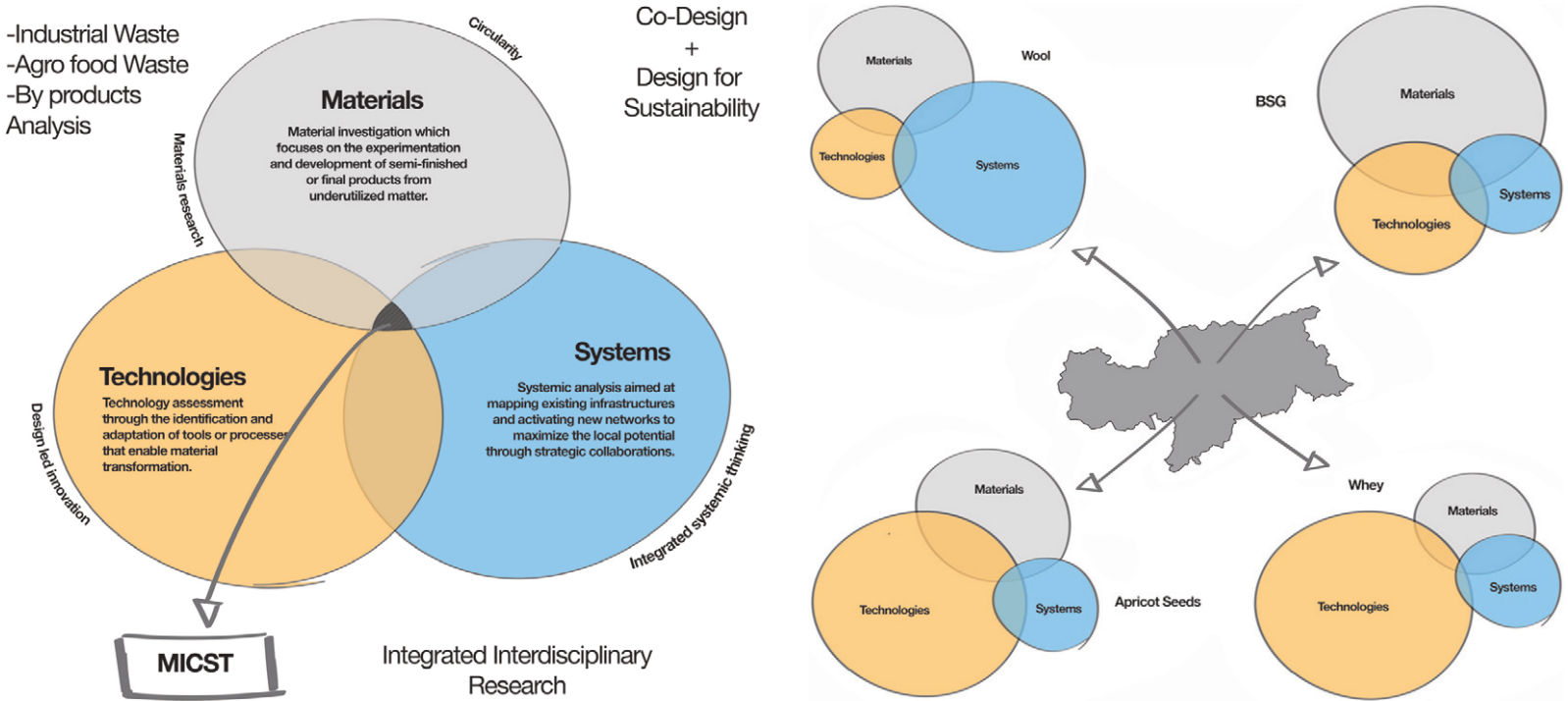


Fig. 7 | Research macro-areas and MICST approach for waste valorisation (credits: Design Friction Lab, 2026).

non può essere raggiunta attraverso la sola innovazione tecnologica; essa richiede infatti una riconfigurazione sistemica delle relazioni tra materiali, tecnologie, attori e filiere locali (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). All'interno di questo processo il design svolge un ruolo centrale come pratica di mediazione, capace di connettere discipline, risorse e infrastrutture a sostegno di sistemi circolari resilienti e radicati nel territorio.

The evident environmental crisis requires rapid systemic responses to reduce the impact of industrialised production (IRP, 2019; Ulluwishewa, 2014). In line with the Sustainable Development Goals (SDGs; UN, 2015, 2022), production and agricultural systems must be rethought in order to minimise environmental harm while generating social and economic value (EMF, 2025). Within this transition, design recognises materials and their management as critical opportunities for sustainable production and consumption (Vezzoli and Manzini, 2018): once considered secondary within the design process, they now assume a central role (Karana et alii, 2015; Rognoli et alii, 2015) in enabling ecological transition. Unlike traditional materials development, oriented towards performance or market optimisation, material design today explores speculative and systemic alternatives in response to contemporary challenges. Over the past decade, design-led approaches have transformed material resources through interdisciplinary collaboration (Barbero and Ferrulli, 2023; Rognoli and Ayala-Garcia, 2021): increasingly, material innovation no longer arises exclusively from materials science, but from collaborations among designers, engineers, biologists, craftspeople, and farmers (D'Olivo and Karana, 2021), through a multidisciplinary approach emerging as a new paradigm.

Open-access technologies (Hofer, Hassan and Mies, 2024; Gershenfeld, 2012), democratised

production systems (Bettiol and Micelli, 2014; Tanenbaum et alii, 2013), and renewed interest in craft practices (Jakob and Thomas, 2017; Sennett, 2008) make alternative industrial models possible (Geissdoerfer et alii, 2020; Anderson, 2012). Ultimately, achieving circularity requires recognising the value embedded in all resources involved in industrial and agro-industrial processes (Manzini and Vezzoli, 2003).

South Tyrol is characterised by consolidated craft traditions (Alexander, 2006) and by well-developed agricultural and manufacturing sectors: in 2019-2020, agro-industrial cultivated land covered 204,085 hectares, while manufacturing accounted for 30.8% of the regional economy (ASTAT, 2025). Given the volume of resources passing through these sectors, understanding how materials and by-products are processed, transformed, and discarded is essential for sustainable regional development.

With a relatively small population (504,643 inhabitants in 2024; ASTAT, 2025) and an autonomous governance structure, South Tyrol offers a compact and interconnected ecosystem suited to systemic experimentation. The close relationships among farmers, industry, research institutions, and public authorities facilitate an in-depth mapping of regional by-products, while the coexistence of high-altitude, self-sufficient agriculture and valley-based industrial development (Schneider, 2022) provides further insight into diversified resource-management strategies. At the same time, the strong interrelationship between agriculture and tourism places pressure on local waste-management systems (Fischer, 2019), generating both challenges and opportunities for circular innovation. Collaborative initiatives that bring together farmers, designers, and researchers further strengthen this transformative potential (Gaddi and Mastrolonardo, 2024), and are also supported by regional policies. The Provincial Action Plan explicitly calls for a change in production and consumption mod-

els¹, in line with the vision of 'small, local, open and connected' systems (Manzini, 2015), all of which create a favourable environment for experimenting with alternative material life cycles. At present, recycling accounts for 29% of total waste, while 44% is incinerated and 4% sent to landfill (ASTAT, 2025; Fig. 1).

Although recycling rates are relatively high, incineration remains prevalent, and recycling itself entails environmental costs. Approximately 40,000 tonnes of organic waste are processed each year through composting or biomethane production (Provincia Autonoma di Bolzano, 2024), and up to one third of raw food resources is lost during industrial processing, revealing significant untapped potential for valorisation. South Tyrol's industrialised agriculture, advanced waste-treatment infrastructure, and high environmental awareness therefore provide ideal conditions for investigating how industrial and agro-industrial by-products can be reintegrated into circular production systems.

A further motivating factor is the Italian Law No. 166/2016 (Presidente della Repubblica Italiana, 2016), which promotes the reduction of waste across all stages of production, processing, and distribution, with the aim of limiting environmental impacts, reducing waste generation, and extending product life cycles through reuse and recycling: this regulatory framework supports both the implementation and the potential scalability of the project at regional and national levels.

Starting from this context, the present contribution illustrates the preliminary outcomes of ongoing research, funded by the Autonomous Province of Bolzano and carried out by the MICST Consortium, aimed at identifying underused regional resources and integrating them into existing production chains or, where these are absent, developing new valorisation pathways (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). In response to South Tyrol's strong agricultural specialisation, the research investigates agri-food waste and by-prod-

ucts through food-technology processes, from fermentation to advanced material treatments, in order to promote circular and regenerative production systems. The research also proposes an interdisciplinary methodology for developing an analytical framework based on material, technology, and a systemic approach, intended to support the valorisation and transformation of regional resources, particularly food and agricultural residues (Morpurgo, 2024; Bofylatos, 2022; Bak-Andersen, 2021).

Focusing on four by-products, the study shows how the framework can be applied in real industrial contexts: wool, brewer's spent grain, apricot kernels, and whey were identified through field research activities conducted in collaboration with local industries and stakeholders. The contribution is structured into sections: after outlining the research methods and the interdisciplinary process that led to the development of the framework, the article presents the four by-products in order to illustrate their potential for generating new materials, products, and broader forms of sustainable value at the regional scale.

Methodology and phases | This study adopted an exploratory, design-led research approach aimed at identifying, mapping, and assessing the valorisation potential of agro-industrial by-products in South Tyrol through an interdisciplinary systemic framework (Klein, 1990) grounded in the territory (Barbero and Ferrulli, 2023). The MICST Consortium brings together expertise in design, food technology², fermentation³, anthropology, and local waste management⁴, enabling a broad analysis of the material, technological, and systemic dimensions (Olivastri and Tagliasco, 2024) of local products.

The research was developed in five phases. In the first phase, the regional production system was analysed by mapping industrial and agri-food by-products and the main waste-management infrastructures. Preliminary visits were carried out to landfill sites, incineration plants, energy-recovery systems, and anaerobic digestion centres, in collaboration with the competent regional authority, in order to understand how South Tyrol's au-

tonomous governance structure influences waste management, recovery, and disposal.

In the second phase, the research combined a literature review, case studies (Boblin et alii, 2013), and taxonomic classification (Bailey, 1994) to categorise by-products according to their material characteristics, current uses, and possible alternative applications. This phase also involved comparison with international reference cases (Tab. 1) and considered the relevance of local knowledge held by farmers and producers in mountain contexts (Cole and Wolf, 1999; Schneider, 2022).

In the third phase, the research was conducted through stakeholder engagement and field investigation (Driscoll, 2011; Massari et alii, 2025). Collaboration with the regional Chamber of Commerce provided access to a register of companies, cooperatives, and associations, enabling the mapping of relevant sectors and networks of local facilities (Fig. 2). Case selection followed a purposive logic, prioritising actors with high production capacity, regular by-product generation, territorial relevance, and accessibility for the research, with reference to the production of wine, apple juice, spirits, dairy products, meat production, and sheep and cattle grazing. On this basis, 72 companies were contacted through a standardised e-mail protocol, requesting information on the existence of underutilised by-products, the quantities produced, and their management practices.

Structured questionnaires were distributed to the 25 companies that replied to the e-mail (34.7%), in order to collect comparable data on by-product type, approximate quantities, continuity of generation, treatment or disposal practices, cost or perceived economic value, and possible transfer to secondary industries (Fig. 3). Subsequently, 12 visits were carried out to selected companies and facilities, prioritising cases with high residual volumes, sectoral relevance, and experimental potential (Fig. 4). The visits followed a common protocol aimed at documenting production processes, identifying visible and less visible by-products, clarifying storage and transfer practices, and establishing relationships of trust with stakeholders. The evidence was synthesised in flow diagrams and comparative by-product sheets (Fig. 5).

In the fourth phase, wool, brewer's spent grain, apricot kernels, and whey were selected for in-depth study according to criteria of territorial relevance, current underutilisation or disposal burden, material or biochemical potential, accessibility for field and laboratory investigation, representativeness in relation to agro-industrial production chains, and the willingness of companies and associations to collaborate. Material experimentation was guided by approaches such as 'material-driven design' (Karana et alii, 2015), 'material tinkering' (Parisi, Rognoli and Sonneveld, 2017), and material selection methods based on analysis, synthesis, and similarity (Ashby and Johnson, 2014), while co-design approaches (Zameopoulos and Alexiou, 2018) supported the development of a simplified prototype. After primary data collection and the sharing of an explanatory document, the results were discussed in a joint meeting with the partners to define the next phases of the research and align the reuse pathways for each area of expertise (Fig. 6).

In the fifth phase, the selected by-products were analysed through the MICST framework (Fig. 7), structured around three interrelated macro-areas: industrial waste analysis, studies on agri-food by-products, and co-design / design for sustainability. Each by-product was then assessed through the lenses of material, technology, and systemic relations: the material lens considered physical, compositional, sensory, or functional properties and possible applications; the technological lens examined pre-treatment requirements, process feasibility, and infrastructural constraints; and the systemic lens addressed actor networks, logistics, regulation, economic sustainability, and opportunities for integration into local production chains. The four cases were assessed according to parameters relating to the quantity and continuity of processing-waste generation, current destination, level of underutilisation, regulatory constraints, workability, compatibility with infrastructure, and potential for local circularity. In parallel, the agri-food production chains and networks of local facilities were examined according to political, economic, technological, social, legal-regulatory, and environmental factors (Mallik, 2025), in order to

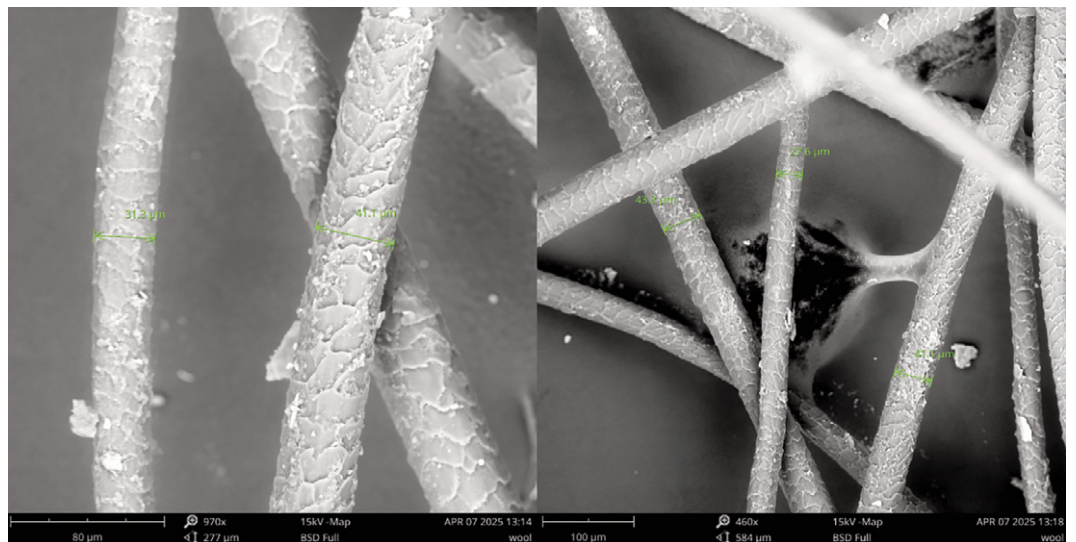


Fig. 8 | Wool collected and stored by the local association of small breeders (Verband der Kleintierzüchter); microscopic analysis of coarse locally sourced wool (credits: Design Friction Lab, Food Technology Laboratory, NOI Techpark, 2025).

identify barriers, implications, and opportunities in the production, management, distribution, and transformation of residual resources. Structured in this way, the analytical framework supports the development and assessment of long-term sustainable solutions calibrated to the context, and can be replicated beyond South Tyrol.

The study is exploratory in nature and should be read as a simplified yet structured prototype, rather than as a fully standardised comparative assessment, since access to cases depended on companies' willingness to collaborate, and the four selected by-products do not present the same degree of experimental maturity. Nevertheless, the procedure is reproducible through the same sequence: mapping, review of reference cases, purposive case selection, questionnaire, field-visit protocol, by-product selection criteria, and multi-lens assessment.

Preliminary research findings on four products

On the basis of mapping, stakeholder engagement, and multi-lens analysis, the initial research findings concern the assessment of the four selected agro-industrial by-products. Rather than offering definitive solutions, the results outline emerging valorisation pathways, key constraints, and context-specific opportunities through the material, technological, and systemic perspectives. As such, the findings should be understood as evidence-based indications of the potential for integrating underutilised resources into regional circular production systems.

For wool, the research showed that approximately 90 tonnes of South Tyrolean wool remain unused every year, since it is mainly discarded by farmers or collected by cooperatives without a predefined destination, while only 10 tonnes are currently used, primarily for small-scale traditional craft products. Although internationally recognised as part of Alpine cultural heritage, local wool has limited contemporary applications due to its coarse, robust fibres (Fig. 8), limiting its use because it cannot compete with finer fibres such as merino (Fig. 9), which dominate the apparel market.

Market demand means that local wool has virtually no value for farmers, who already face economic difficulties. Sheep must be shorn regularly, usually twice a year, yet the inadequate valorisation of wool leads to its accumulation, creating an environmental burden. In addition, raw wool is classified as a 'Category 3' animal by-product and must be managed in accordance with Regulation (EC) No. 1069/2009 (European Parliament and Council of the European Union, 2009), which sets out specific procedures for processing, transport, and disposal. This challenge is not exclusive to South Tyrol but is found in many European regions; addressing it therefore requires a contextualised approach capable of responding to local conditions, resources, and capacities. At the same time, valuable insights can be drawn from strategies and innovations already implemented in other regions facing similar issues (Gaddi and Mastrodonardo, 2024; Knapp, 2022).

In terms of material properties and possible applications, collaboration with local textile and design actors revealed multiple opportunities for revalorisation. Although its coarse fibre limits its use in apparel, South Tyrolean wool offers significant thermal, acoustic, and structural properties, mak-

ing it suitable for felt, insulation panels, sound-absorbing elements, interior linings, furniture padding, and composite reinforcements. Its biodegradability, high recyclability, and local origin align with the principles of circular design⁵, as wool can replace synthetic materials while also supporting regional craftsmanship (Fig. 10).

From a technological and infrastructural perspective, the wool production chain reveals significant criticalities. The sector remains marginal to agricultural innovation processes, with limited access to advanced breeding systems and dedicated shearing infrastructure. The most critical issue, however, concerns the absence of wool-scouring facilities. This forces producers to transfer raw material outside the region, to Tyrol (Austria), while farmers, lacking local outlets for a resource that is largely unused, are often forced to dispose of it, thereby increasing costs and further devaluing the chain. In response to this condition, MICST envisages the introduction of decentralised, low-energy scouring units and modular processing systems capable of reactivating local pre-processing capacity while integrating water-saving strategies and renewable-energy use (Fig. 11).

From the perspective of systemic, economic, and territorial relations, the almost negligible value attributed to raw wool further increases the economic burden already borne by farmers, contributing over time to the abandonment of sheep farming in favour of other activities. This dynamic reduces grazing, with negative consequences both for the maintenance of Alpine slopes and for biodiversity. This fragility is compounded by the absence of local scouring infrastructure, which consolidates dependence on a foreign facility and exposes the entire production chain to the risk of sudden disruption should that facility cease operating or no longer accept this material. In response to this condition, MICST envisages the construction of a regional cooperative processing model potentially capable of reactivating local value chains, recognising fairer remuneration for farmers, and reintegrating wool into circular production networks that connect agriculture, industry, and design (Fig. 12).

Local beer production is largely concentrated at a single facility, where most ingredients are sourced from outside the region. This makes the optimisation of resources throughout the production process particularly strategic. Field visits and process analysis made it possible to identify several by-products, among which Brewer's Spent Grain (BSG) emerged as particularly relevant. As the main residue of brewing, BSG corresponds to the solid fraction of malted barley that remains after mashing. Its composition, rich in fibre, protein, and residual carbohydrates, highlights its potential for valorisation. At present, however, BSG is mainly used for low-value applications, such as animal feed or disposal, because its high moisture content and biological instability accelerate deterioration. Yet these compositional and organic characteristics indicate more promising uses, especially given the growing vulnerability of European cereal supply chains.

In terms of material properties and potential uses, BSG can be understood as a biological resource that may be valorised both in the food sector and in non-food applications aimed at developing bio-based materials and semi-finished prod-

ucts. Its high fibre and protein content suggests its use, on the one hand, in flour blends and baked products and, on the other, as a component of composites and other bio-based products. Preliminary analyses indicate that BSG can contribute to both the nutritional profile and certain structural properties of the resulting products. More broadly, its reuse expands the possibilities for reintegrating brewing residues into circular production chains.

From the technological perspective and in relation to stabilisation processes, the main barrier to BSG valorisation is its instability after production. Efficient drying or stabilisation processes are required to extend shelf-life and preserve functional properties. This is essential not only for food uses but also for applications requiring safety and durability. Although some food applications already exist, energy-efficient and scalable stabilisation methods, as well as compatibility with conventional transformation technologies, still require further investigation.

From the perspective of systemic relations and production-chain integration, BSG could be reintegrated into regional food chains as a secondary raw material, particularly through links with flour, bread, and feed producers. This cross-sectoral collaboration could support circular production models in which brewing residues are redirected towards new chains, reducing waste and improving resource efficiency. In this sense, collaborations among breweries, feed producers, and research centres are crucial to unlocking the full potential of BSG.

Another by-product investigated consists of apricot stones recovered from local fruit distillation, particularly for the traditional production of schnapps. The inner kernel of the stone contains valuable oils and aromatic compounds, giving it considerable potential as a secondary resource. However, its valorisation for food or cosmetic applications is severely constrained by the presence of amygdalin, a naturally occurring toxic cyanogenic compound. Without targeted treatment during or after extraction, amygdalin would remain in the final product, making it unsuitable and unsafe for human use (Fig. 13). To address this limitation, the study developed and tested pre-treatment strategies aimed at reducing or eliminating amygdalin before extraction. Among the different debittering methods evaluated under laboratory conditions, one approach proved particularly effective, reducing amygdalin to undetectable levels. This optimised pre-treatment represents a critical step towards enabling the safe valorisation of apricot kernels as a source of edible oil.

In terms of compositional properties and valorisation potential, apricot kernels have several properties that make them interesting. They contain a significant proportion of lipids with a favourable fatty-acid composition, as well as proteins and aromatic compounds that contribute to their characteristic almond-like profile. If properly treated to remove toxic compounds, these kernels can provide a valuable source of plant-based oil, with potential culinary and cosmetic applications. In addition, the reuse of kernels derived from fruit processing aligns with material circularity strategies, allowing agricultural residues to be reintegrated into new value chains rather than treated as waste.

From a technological perspective, the crucial issue is how to address the presence of amygdalin

while maintaining the quality of the kernel material. The research has shown that adapting controlled pre-treatment processes can effectively eliminate the toxic compound before extraction. The identification of a promising debittering approach highlights the potential to integrate relatively simple processing steps into existing extraction protocols, enabling the transformation of what is currently considered a problematic residue into a potentially valuable raw material.

From a systemic perspective on relations and impacts, the management of apricot kernels has direct implications for local producers. Distilleries producing apricot schnapps generate considerable quantities of stones as by-products, which remain largely unused and lack a clear pathway for

valorisation. Since conventional disposal routes, such as incineration, composting, and fermentation, are not suitable for apricot stones, distilleries store them on site (Fig. 14), recognising their potential value but lacking a practicable processing solution. Developing safe valorisation strategies for these kernels could address this challenge while adding further value to a distinctive regional product and its production process.

The final by-product analysed is whey, the main by-product of the dairy industry, which yields approximately 8-9 litres for every kilogram of cheese produced. Although it consists mainly of water (approximately 93-94%), whey still contains valuable components, including lactose, whey proteins, minerals, and small amounts of fat. For this

reason, large dairy industries commonly convert whey into products such as whey protein powders, lactose, or animal feed. However, these processes require energy, infrastructure, and transport, and are not always accessible to smaller or mountain-based dairies. In addition, its high organic load means that improperly disposed whey represents a significant environmental risk, particularly through water pollution.

From the perspective of by-product properties and reuse opportunities, the analysis of the regional dairy sector reveals an already highly structured situation. Recovering nutrients and compounds from whey requires technically complex processes and significant investment, making its reintegration into alternative chains demanding. In



Fig. 9 | Imported wool processed in a scouring facility in Biella (credit: Design Friction Lab, 2025).

Fig. 10 | Meeting with a local wool-product manufacturer (credit: Design Friction Lab, 2025).



Fig. 11 | Case study of a scouring machine designed by the 'Pro Verzasca' association (credit: Design Friction Lab, 2025).

Fig. 12 | Case study of a small-scale local wool-processing facility in Slovakia (credit: Vlnarska Manufaktura).





Fig. 13 | Oil extracted from apricot kernels (credit: Food Technology Laboratory, NOI Techpark, 2025).

Fig. 14 | Apricot stones stored in a local distillery (credit: Design Friction Lab, 2025).

Fig. 15 | Locally produced whey powder (credit: Design Friction Lab, 2025).

Fig. 16 | Whey fermentation (credit: Fermentation Laboratory, Laimburg Research Centre, 2025).

No.	By-product	Case study	Promoter	Start year	Country	Lessons learned	Strengths	Weaknesses	MICST lens
1	Wool	Using wool scraps as packaging material	Woola	2020-ongoing	Estonia	This case shows how a locally available residual material can respond to a common packaging need and be translated into an everyday application; the use of local wool also suggests potential transferability to other European regions with comparable sheep-farming systems	The project develops an alternative bubble-wrap made from surplus wool, using a material sourced from Estonian farmers and exploiting its protective and cushioning properties	Its systemic impact may be limited by scalability, cost, and the risk that a material-based sustainability narrative overshadows broader infrastructural, logistical, and market conditions.	Material perspective
2	Brewer's spent grain	Repurposing brewer's spent grain for food production	Stiegl Brewery, in collaboration with Easy Vegan; CEFoodCycle Award 2024, Interreg Alpine Space	2024	Austria	The case demonstrates how brewer's spent grain can be redirected from low-value uses towards food-grade applications, reducing waste while retaining value within the local production chain	It offers a relevant example of cross-sector valorisation, combining brewery residues, food innovation, and circular economy principles within a regional value-chain logic	As an EU-funded pilot, its long-term relevance depends on the stability of partnerships, economic viability after the project phase, and effective integration into routine production	Systemic perspective
3	Apricot kernels	Repurposing apricot kernels for cosmetic and food applications	Kern Tec	2019-ongoing	Austria	The case highlights the potential to transform a difficult-to-dispose fruit-processing residue into a higher-value resource for food and cosmetic applications, provided that safety constraints are adequately managed	It enables high-value recovery through oil extraction and the development of proteins, ingredients, and other kernel-derived products.	Valorisation depends on sufficient and continuous material volumes, dedicated pre-treatment, and advanced processing technologies to ensure product safety and quality	Technological perspective

Tab. 1 | Comparison of international case studies (credit: Design Friction Lab, 2024).

this context, the high level of optimisation achieved by the sector has supported the activation of efficient management strategies. In particular, a closed-loop cycle has recently been implemented through the creation of a regional facility dedicated to transforming whey into high-value food-grade powder, capable of absorbing the entire quantity of industrially processed whey produced in the region (Fig. 15). Within such an organised system, the research therefore directed its enquiry towards identifying further margins for valorisation, exploring the possibility of complementary uses not yet captured by existing chains.

From the technological perspective, the fact that the industrial transformation of whey is currently oriented almost exclusively towards powder production makes the exploration of alternative high-value pathways particularly relevant, as these could diversify the outputs of the chain. In this direction, and with the support of the consortium's fermentation experts, the investigation assessed the possibility of using whey as a substrate for biotechnological processes capable of transforming its components into new ingredients or useful products (Fig. 16). The most promising hypothesis concerns the fermentation of whey through selected microorganisms, aimed at developing a fermented beverage. This option was considered consistent with the nutritional composition of the by-product and with its suitability for microbial metabolic processes. The experimental analyses currently under way focus on monitoring pH variations and CO₂ loss, parameters that make it possible to track and evaluate fermentation dynamics over time.

From the systemic perspective, the regional dairy sector represents a highly optimised ecosystem in which, at industrial scale, by-products are fully integrated into circular processes. The existence of a specialised company managing the industrial whey stream demonstrates a mature industrial commitment to closing material loops within the food sector. In this context, the research does not aim to replace existing valorisation pathways, but rather to investigate complementary scenarios that can, on the one hand, diversify the outputs of industrial-scale transformation and, on the other, offer practicable solutions for small-scale producers who currently lack options for managing their residual whey.

Contribution to the SDGs, synergies, and trade-offs

The systemic approach adopted by MICST for by-product valorisation is situated at the intersection of several dimensions of sustainable development, showing how resource-reuse strategies do not generate isolated effects but activate relations among industrial, social, and environmental domains. Within the framework of the United Nations SDGs (UN, 2015), the project aligns more closely with SDGs 9, 10, and 12, which together capture the multidimensional nature of the actions undertaken. From this perspective, the SDGs are not understood only as reference objectives but also as an interpretative grid for assessing activated synergies and possible trade-offs emerging along the production chains analysed.

With regard to SDG 9 (Industry, innovation and infrastructure), the project contributes to the development of innovative solutions by systemati-

cally mapping regional by-products and their related production chains, identifying opportunities to transform waste into new materials, products, facilities, and services. The involvement of industries, companies, and research centres is a structuring element of this process, encouraging the co-design of technical and organisational solutions. Within this framework, a systemic perspective (Maffei et alii, 2024) guides the identification of criticalities and barriers in agro-food chains, enabling the linkage of technological aspects to regulatory constraints, economic conditions, and geopolitical dynamics that influence the availability and management of resources.

With regard to SDG 10 (Reduced inequalities), the research shows how by-product valorisation can help rebalance some of the structural disparities that characterise local production systems. In particular, inequalities emerge in access to transformation infrastructure, advanced technologies, and the financial resources required to sustain agricultural and craft activities. These conditions are evident, for example, in the wool production chain, where the lack of local facilities and the increase in operating costs have contributed to the progressive closure of sheep farms. In this sense, the introduction of decentralised and cooperative solutions has not only technical value but also represents a strategy for territorial and social rebalancing.

With regard to SDG 12 (Responsible consumption and production), sustainability and the circular economy form the backbone of the entire project. The strategies developed aim to reduce waste, extend the life cycle of resources, and promote the sustainable transformation of waste into new ma-

terials and products. This orientation enables not only the valorisation of local resources that are often underutilised but also the strengthening of the relationship between production heritage, material culture, and technological innovation, contributing to the construction of more resilient and adaptive production models. Taken together, these actions show how the integration of technological innovation, social inclusion, and environmental responsibility generates synergies among the objectives considered, while also making visible certain trade-offs, for example, those linked to the investments required to implement new infrastructure, the energy costs associated with transformation processes, and the need to balance production efficiency with territorial sustainability. In this sense, the systemic approach adopted by MICST enables reading these trade-offs not as isolated criticalities but as structural elements to be governed through integrated design strategies.

Discussion and conclusions | This study shows that the valorisation of residual materials depends not only on their physical or biochemical properties, but also on the conditions that shape their transformation, circulation, and reuse (Morpurgo, 2024; Bofylatos, 2022; Bak-Andersen, 2021). The analysis of wool, brewer's spent grain, apricot kernels, and whey demonstrates that underutilisation is often characterised by fragmented production chains, limited processing capacity, regulatory constraints, and weak connections among actors. The main outcome of the research is therefore the identification of concrete valorisation oppor-

tunities that emerge when material, technological, and systemic conditions are considered jointly.

From a theoretical and methodological perspective, the article positions design as a mediating device within circular transition processes, rather than as an activity located downstream of product development. The MICST framework integrates the material, technological, and systemic perspectives, enabling the reading of residual by-products simultaneously as matter, process, and territorial resource. In this sense, the contribution is both methodological, through a structured yet adaptable procedure for mapping and assessing by-products, and conceptual, by framing circularity as an alignment of materials, actors, infrastructures, and production chains, rather than as mere material substitution.

The study's implications concern both research and practice. For researchers, the framework offers a replicable yet context-sensitive methodology for investigating residual material systems in other circumscribed territories. For technical experts and industrial actors, it highlights the importance of intermediate transformation, traceability, and cross-sectoral collaboration. For public administrations, it shows that circular transition requires enabling infrastructure, coordinated governance, and targeted support measures, not only environmental awareness or recycling targets.

At the same time, the study remains exploratory. Access to data depended on the willingness of companies to collaborate, while some sectors proved less open than others. In addition, the four by-products analysed do not have the same level of

experimental maturity. The solutions outlined so far are still at an early stage of development and will require further verification under real industrial conditions. Financial uncertainty and the limited diffusion of decentralised infrastructure also remain significant obstacles to implementation at the territorial scale. From this perspective, the element most transferable to other contexts is not a closed repertoire of solutions but the analytical logic of the proposed framework, based on territorial mapping, comparison with reference cases, purposive case selection, field investigation, and multi-lens assessment. Future developments should therefore focus on testing the identified pathways at a wider scale, assessing their technical, environmental, and economic feasibility, and applying the framework comparatively in other regional contexts. Further work will also be needed on governance models and policy instruments capable of accompanying the transition from punctual experiments to the construction of stable territorial production chains.

Ultimately, the article argues that sustainable transformation cannot be achieved solely through technological innovation. It requires a systemic reconfiguration of the relations among materials, technologies, actors, and local production chains (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). Within this process, design plays a central role as a mediating practice, connecting disciplines, resources, and infrastructure to support resilient circular systems rooted in place.

Acknowledgements

MICST (Material Innovation as a Catalyst for Sustainable Transition in South Tyrol) is a three-year research project (36 months) funded by the Autonomous Province of Bolzano (Italy) under the 'Research Südtirol / Alto Adige 2022' call, for a total of approximately 450,000 euros. The funds were awarded to the MICST consortium, coordinated by the Design Friction Lab of the Faculty of Design and Art at the Free University of Bozen-Bolzano, the project leader, in collaboration with the Fermentation and Distillation Group of the Laimburg Research Centre. Additional partners in the project are the Food Technology Lab (UniBZ) and the Waste Management Office of the Autonomous Province of Bolzano. The project is currently in the second of its three planned years, in the phase of developing the preliminary results presented in this contribution. The contribution is the result of a common reflection by the Authors. The roles in this publication are acknowledged as follows: C. Ayala-Garcia, writing, original draft preparation, methodology development, review, and editing; N. R. Paul, field research and review; L. Bordini, field research and review; M. Stepanovic, methodology development; N. Cohen, head of design, project coordination, writing, and review. All the Authors have read and approved the published version of this manuscript.

The Authors wish to thank the Autonomous Province of Bolzano for funding this research and for its continued interest in and support for the activities carried out to date. Special thanks go to the project partners for their valuable contributions to the different research streams: G. Ferrentino, from the Food Science and Food Technology platform, for his contribution to the research on by-product 3 (apricot kernels); L. Conterno and L. Girardi, from the Laimburg

Research Centre, for the experimentation on by-product 4 (whey); and G. Angelucci and E. Poznanski, from the Waste Management Office, for their collaboration and support. The Authors also sincerely thank all the companies and stakeholders who contributed, directly or indirectly, to the advancement of the research, particularly those who opened their facilities to enable the research group to understand their processes, analyse their by-products, and collect data.

Further information relating to this study may be requested from the corresponding author upon reasonable request.

This work was supported by the Open Access Publishing Fund of the Free University of Bozen-Bolzano.

Notes

1) For further information, see the webpage: news.provincia.bz.it/it/everyday-for-future [Accessed 13 April 2026].

2) Food Technology Platform, Free University of Bozen-Bolzano. For further information, see the webpage: unibz.it/en/faculties/agricultural-environmental-food-sciences/research/food-sciences/ [Accessed 13 April 2026].

3) Laimburg Research Centre, Autonomous Province of Bolzano. For further information, see the webpage: laimburg.it/en/research-topics/food-technology [Accessed 13 April 2026].

4) Waste Management Office, Autonomous Province of Bolzano. For further information, see the webpage: ambiente.provincia.bz.it/it/rifiuti-suolo/home [Accessed 13 April 2026].

5) For further information, see the webpage: ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-design/overview [Accessed 13 April 2026].

References

- Alexander, H. (2006), *Die industrielle Entwicklung in Südtirol im 19. und 20. Jahrhundert*, Folio Verlag, Wien.
- Anderson, C. (2012), *Makers – The New Industrial Revolution*, Crown Business, New York.
- Ashby, M. F. (2013), *Materials and the Environment – Eco-informed Material Choice*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2010-0-66554-0 [Accessed 30 March 2026].
- Ashby, M. F. and Johnson, K. (2014), *Materials and Design – The Art and Science of Material Selection in Product Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2011-0-05518-7 [Accessed 16 April 2026].
- ASTAT (2025), *Statistisches Jahrbuch für Südtirol | Annuario Statistico della Provincia di Bolzano*, Bolzano. [Online] Available at: assets-eu-01.kc-usercontent.com/b5376750-8076-01cf-17d2-d343e29778a7/dcac2513-3b29-401d-a326-8c6e3632f1d9/IB2025%20-%20web.pdf [Accessed 30 March 2026].
- Bailey, K. D. (1994), *Typologies and Taxonomies – An Introduction to Classification Techniques*, Sage Publications, Thousand Oaks.
- Bak-Andersen, M. (2021), *Reintroducing Materials for Sustainable Design – Design process and educational practice*, Routledge, London.
- Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023), "Transizione ecologica e digitale – Il design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and digital transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.agathon.2023.05.001

org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 16 April 2026].

Bettiol, M. and Micelli, S. (2014), “The hidden side of design – The relevance of artisanship”, in *Design Issues*, vol. 30, issue 1, pp. 7-18. [Online] Available at: doi.org/10.1162/DESI_a_00245 [Accessed 30 March 2026].

Boblin, S. L., Ireland, S., Kirkpatrick, H. and Robertson, K. (2013), “Using Stake’s qualitative case study approach to explore implementation of evidence-based practice”, in *Qualitative Health Research*, vol. 23, issue 9, pp. 1267-1275. [Online] Available at: doi.org/10.1177/1049732313502128 [Accessed 16 April 2026].

Booth, W. C., Colomb, G. G., Williams, J. M., Bizup, J. and FitzGerald, W. T. (2008), *The Craft of Research*, The University of Chicago Press, Chicago.

Bofylatos, S. (2022), “Upcycling Systems Design, Developing a Methodology through Design”, in *Sustainability*, vol. 14, issue 2, article 600, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14020600 [Accessed 16 April 2026].

Cole, J. W. and Wolf, E. R. (1999), *The Hidden Frontier – Ecology and Ethnicity in an Alpine Valley*, University of California Press, Berkeley.

D’Olivo, P. and Karana, E. (2021), “Materials Framing – A Case Study of Biodesign Companies’ Web Communications”, in *She Ji | The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 7, issue 3, pp. 403-434. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sheji.2021.03.002 [Accessed 30 March 2026].

Driscoll, D. L. (2011), “Introduction to primary research – Observations, surveys, and interviews”, in Lowe, C. and Zemliansky, P. (eds), *Writing spaces – Reading on writing – Vol. 2*, Parlor Press, Anderson, pp. 153-174. [Online] Available at: wacclearinghouse.org/books/writingspaces2/writing-spaces-readings-on-writing-vol-2.pdf [Accessed 30 March 2026].

EMF – Ellen MacArthur Foundation (2025), *What is the meaning of a circular economy and what are the main principles?* [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview [Accessed 30 March 2026].

European Parliament and Council of the European Union (2009), *Regulation (EC) No 1069/2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption*, document 32009R1069. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=celex%3A32009R1069 [Accessed 16 April 2026].

Fischer, C. (2019), “Agriculture and tourism sector linkages – Global relevance and local evidence for the case of South Tyrol”, in *Open Agriculture*, vol. 4, issue 1, pp. 544-553. [Online] Available at: doi.org/10.1515/opag-2019-0053 [Accessed 30 March 2026].

Gaddi, R. and Mastrolonardo, L. (2024), “Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 16 April 2026].

Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A. and Soufani, K. (2020), “Circular business models – A review”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, article 123741, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741 [Accessed 16 April 2026].

Gershenfeld, N. (2012), “How to Make Almost Anything – The Digital fabrication revolution”, in *Foreign Affairs*, vol. 91, issue 6, pp. 43-57. [Online] Available at: jstor.org/stable/41720933 [Accessed 30 March 2026].

Hofer, M., Hassan, M. and Mies, R. (2024), “The roles of makerspaces for facilitating open-source hardware development”, in Moritz, M., Redlich, T., Buxbaum-Conradi, S. and Wulfsberg, J. P. (eds), *Global collaboration, local production – Fab City als Modell für Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Entwicklung*, Springer Gabler. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-658-44114-2_17 [Accessed 16 April 2026].

IRP – International Resource Panel (2019), *Global Resources Outlook 2019 – Natural Resources for the Future* We

Want, United Nations Environment Programme, Nairobi. [Online] Available at: resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook-2019 [Accessed 30 March 2026].

Jakob, D. and Thomas, N. J. (2017), “Firing up craft capital: the renaissance of craft and craft policy in the United Kingdom”, in *International Journal of Cultural Policy*, vol. 23, issue 4, pp. 495-511. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10286632.2015.1068765 [Accessed 16 April 2026].

Karana, E., Barati, B., Rognoli, V. and Zeeuw van der Laan, A. (2015), “Material Driven Design (MDD) – A method to design for material experiences”, in *International Journal of Design*, vol. 9, issue 2, pp. 35-54. [Online] Available at: ijdesign.org/index.php/IJDesign/article/view/1965 [Accessed 30 March 2026].

Klein, J. T. (1990), *Interdisciplinarity – History, theory and practice*, Wayne State University Press, Detroit.

Knapp, L. (2022), “The ‘golden hoof’ – The regeneration of regional wools”, in *Fields | Journal of Huddersfield Student Research*, vol. 8, issue 1, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.5920/fields.983 [Accessed 16 April 2026].

Maffei, S., Bolzan, P., Bianchini, M., Zeccara, F., Barbero, S., Campagnaro, C., Di Prima, N., Filippini, A., Puglielli, M., Rosato, L., Lotti, G. and Pontillo, G. (2024), “Svelare la complessità della transizione circolare per il settore del mobile imbottito | Unveiling the complexity of circular transition for the upholstered furniture sector”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 304-313. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16252024 [Accessed 16 April 2026].

Mallik, A. (2025), “Unveiling sustainability’s shadows through PESTEL analysis”, in *Journal of Business, Ethics and Society*, vol. 5, issue 2, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.61781/5-2II2025/1bmlm [Accessed 16 April 2026].

Manzini, E. (2015), *Design, When Everybody Designs – An Introduction to Design for Social Innovation*, MIT Press, Cambridge.

Manzini, E. and Vezzoli, C. (2003), “A strategic design approach to develop sustainable product service systems – Examples taken from the ‘environmentally friendly innovation’ Italian prize”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, issue 8, pp. 851-857. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00153-1 [Accessed 30 March 2026].

Massari, S., Galli, F., Colombo, L. and Goretti, G. (2025), “Divinfood, NUCs e agrobiodiversità – Food Design Agile e Living Labs per l’innovazione sostenibile | Divinfood, NUCs and agrobiodiversity – Agile Food Design and Living Labs for sustainable innovation”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 17, pp. 398-411. [Online] Available at: doi.org/10.69143/2464-9309/17282025 [Accessed 16 April 2026].

Morpurgo, E. (2024), “Biomateriali e zone umide – Filiere per l’edilizia e il tessile dalla valorizzazione di ecosistemi locali | Biomaterials and wetlands – Supply chains for construction and textiles through the enhancement of local ecosystems”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 314-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16262024 [Accessed 16 April 2026].

Olivastrì, C. and Tagliasco, G. (2024), “Servizi per il riuso e il riparo – L’allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali | Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 324-331. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15272024 [Accessed 16 April 2026].

Parisi, S., Rognoli, V. and Sonneveld, M. (2017), “Material Tinkering – An inspirational approach for experiential learning and envisioning in product design education”, in *The Design Journal | An International Journal for All Aspects of Design*, vol. 20, issue supp. 1, pp. S1167-S1184. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2017.1353059 [Accessed 30 March 2026].

Presidente della Repubblica Italiana (2016), “Legge 19 agosto 2016, n. 166 – Disposizioni concernenti la donazione e la distribuzione di prodotti alimentari e farmaceutici a

fini di solidarietà sociale e per la limitazione degli sprechi (16G00179), in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale n. 202 del 30/08/2016. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/08/30/16G00179/sg [Accessed 30 March 2026].

Provincia Autonoma di Bolzano (2024), *Rifuti Alto Adige – 2024*. [Online] Available at: assets-eu-01.kc-usercontent.com/71daab00-137f-01d0-946b-d82e951fb8f4/865c0c62-9726-4634-baf0-4a87e9950b5b/Präsentation%20Abfall-daten%202024%20-%20Büroausgabe%20-%20Webseite%20ITA.pdf [Accessed 30 March 2026].

Rognoli, V. and Ayala-Garcia, C. (2021), “Defining the DIY-Materials approach”, in Pedgley, O., Rognoli, V. and Karana, E. (eds), *Materials Experience 2 – Expanding Territories of Materials and Design*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 227-258. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-819244-3.00010-7 [Accessed 30 March 2026].

Rognoli, V., Bianchini, M., Maffei, S. and Karana, E. (2015), “DIY Materials”, in *Materials and Design*, vol. 86, pp. 692-702. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.020 [Accessed 30 March 2026].

Santos Malaguti de Sousa, C., Queiroz Ferreira Barata, T., Dutra Profirio de Souza, C. and de Melo, F. G. (2023), “Urban Forest Management – Design-Driven Technology Pathways for the Valorization of Pruning Waste | Urban forests management – Design-driven technological routes for wood waste valuing”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 291-300. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13252023 [Accessed 16 April 2026].

Schneider, A. (2022), “Land’s Constraints and Possibilities – High-Altitude Farmers in the Eastern Alps”, in *C&AFE | Culture, Agriculture, Food and Environment – The Journal of Culture & Agriculture*, vol. 44, pp. 18-26. [Online] Available at: doi.org/10.1111/cuag.12287 [Accessed 30 March 2026].

Sennett, R. (2008), *The Craftsman*, Yale University Press, New Haven.

Tanenbaum, J. G., Williams, A. M., Desjardins, A. and Tanenbaum, K. (2013), “Democratizing technology – Pleasure, utility and expressiveness in DIY and maker practice”, in Bodker, S., Brewster, S., Baudisch, P., Beaudouin-Lafon, M. and Mackay, W. E. (eds), *CHI 2013 – Conference Proceedings – The 31st Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Paris, France, April 27-May 2, 2013*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 2603-2612. [Online] Available at: dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2470654.2481360 [Accessed 30 March 2026].

Ulluwishewa, R. (2014), “Environmental Unsustainability”, in *Spirituality and Sustainable Development*, Palgrave Macmillan, London, pp. 103-114. [Online] Available at: doi.org/10.1057/9781137382764_9 [Accessed 30 March 2026].

UN – United Nations (2022), *Calling for Sustainable Development Goals Stimulus Package, Secretary-General Warns Finance Forum Window to Prevent Climate Catastrophe ‘Is Fast Closing’*. [Online] Available at: press.un.org/en/2022/sgsm21614.doc.htm [Accessed 30 March 2026].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda2481360 [Accessed 30 March 2026].

Vezzoli, C. and Manzini, E. (2018), *Design for Environmental Sustainability*, Springer, London. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-84800-163-3 [Accessed 30 March 2026].

Zamenopoulos, T. and Alexiou, K. (2018), *Co-design as collaborative research*, Bristol University and AHRC Connected Communities Programme. [Online] Available at: oro.open.ac.uk/58301/1/Co-Design_CCFoundationSeries_PUBLISHED.pdf [Accessed 30 March 2026].