



LO SPOKE 4 DEL PARTENARIATO ESTESO MICS

‘Materiali intelligenti e sostenibili per prodotti e processi industriali circolari e aumentati’ è questo il tema dello Spoke 4 del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), impegnato nella ricerca e nella promozione di tecnologie innovative dirompenti e rispettose della natura per un approccio “smart & green” della produzione manifatturiera Made in Italy, attraverso l’utilizzo di materiali sostenibili e l’adozione dei principi dell’economia circolare.

L’ambizione

Made in Italy è sinonimo di qualità in cui tradizione, vocazione e territorio si fondono con creatività, design ed estetica, ma anche con innovazione tecnologica e ricerca. La società e le imprese stanno però evolvendo a livello nazionale e mondiale e, per mantenere la competitività, il nostro Paese è chiamato ad una trasformazione che deve necessariamente rispondere a questioni cruciali, come i cambiamenti climatici e sociali. Lo Spoke 4 - *Materiali intelligenti e sostenibili per prodotti e processi industriali circolari e aumentati*, uno degli otto previsti dal Partenariato Esteso MICS - *Made in Italy Circolare e Sostenibile*, ha l’ambizione di fornire un contributo significativo a questa trasformazione attraverso la ricerca sui materiali intelligenti e sostenibili di interesse per questo ambito. L’obiettivo è quello di sviluppare prodotti e processi rispettosi del clima, promuovendo una tecnologia dirompente orientata alla natura per un approccio “verde” della produzione industriale, con particolare riferimento a tre macro-aree produttive in cui l’Italia eccelle, quali “Abbigliamento e sistema-persona”, “Arredo e sistema-casa” ed “Automazione e meccanica”, includendo anche altri settori in cui il nostro Paese ha una posizione di *leadership* (produzione di materiali ceramici, metalli, polimeri, ma anche di macchine per imballaggio e per la lavorazione del legno, di componenti per apparecchiature di precisione e per la sicurezza, di prodotti per il divertimento e lo sport, per citarne alcuni).

Le principali attività dello Spoke 4 prevedono la validazione in laboratorio di:

- i) materiali intelligenti e materiali nanostrutturati, oltre a ceramici e materiali ibridi, metalli e leghe, polimeri e compositi, circolari e sostenibili;
- ii) metodologie *green* per la funzionalizzazione e il trattamento superficiale di materiali e prodotti;
- iii) processi volti al riutilizzo, al riciclo e al recupero di scarti e residui di produzione o di materiali da prodotti a fine vita.

Una parte rilevante di tali attività è focalizzata sullo studio di materiali di origine biologica e sulla messa a punto di processi avanzati di produzione volti anche alla valorizzazione di scarti e rifiuti provenienti dalle industrie dell’abbigliamento e dell’arredo. Di primaria importanza è la valutazione degli impatti ambientali dei materiali riciclati, che si prevede di effettuare mediante determinazione di indici di circolarità di prodotti e processi attraverso strumenti come l’analisi del ciclo di vita (LCA).

Particolare attenzione è, inoltre, dedicata alle tecnologie circolari per il *Made in Italy* sostenibile, con focus specifici su automazione, *packaging*, manifattura additiva, *soft robotic* e prodotti aumentati per la sicurezza e lo sport.

I Progetti

Le attività di ricerca interne al partenariato MICS sono organizzate in progetti interdisciplinari, dei quali, 10 afferiscono allo Spoke 4, coordinato dall’Università di Napoli Federico II:

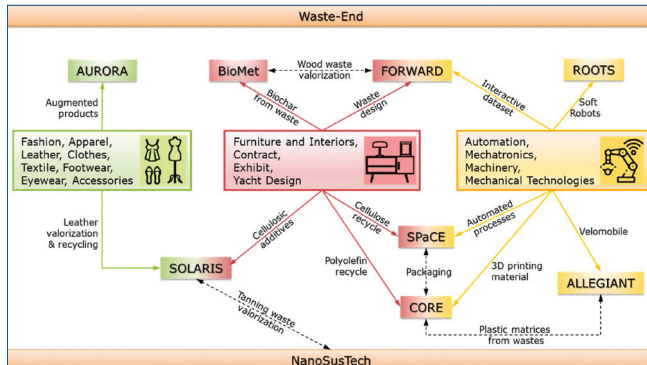
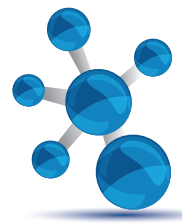


Fig. 1 - Connessioni e sinergie auspicate per le attività dello Spoke 4

- ALLEGIANT (Project Leader: Chiara Gastaldi, Politecnico di Torino);
- AURORA (Project Leader: Antonio Lanzotti, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- BioMet (Project Leader: Carlo Mapelli, Politecnico di Milano);
- CORE (Project Leader: Claudio De Rosa, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- FORWARD (Project Leader: Massimo Perriccioli e Marina Rigillo, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- NanoSusTech (Project Leader: Marco Piumetti, Politecnico di Torino);
- ROOTS (Project Leader: Antonio Lanzotti, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- SOLARIS (Project Leader: Claudia Florio, Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti);
- SPaCE (Project Leader: Giuseppe Mensitieri, Università degli Studi di Napoli Federico II);
- Waste-End (Project Leader: Maria Cristina Lavagnolo, Università degli Studi di Padova).

Come mostrato in Fig. 1, diverse sono le connessioni tra i progetti che possono favorire le auspicate sinergie tra le tre macro-aree produttive. Questo permetterebbe di massimizzare il riuso, il riciclo e il recupero degli scarti, minimizzando così il consumo di risorse primarie, con indubbi vantaggi in termini ambientali, economici e sociali, in accordo con i principi della Economia Circolare [1] e della Simbiosi Industriale [2, 3]. Nell'ambito del settore "Abbigliamento e sistema-persona", si innesta il progetto AURORA (Fig. 2), con il quale si prevede di ideare, progettare, testare e ottimizzare nuovi rivestimenti ecosostenibili per indumenti tessili, per dotarli di proprietà elettro-conduttive, idrorepellenti, antimicrobiche e traspirabilità. Inoltre, sulla base di tecniche di intelligenza artificiale, si prevede altresì la formulazione di modelli per generare dimostratori di prodotto intelligenti attraverso l'ottimizzazione delle proprietà del tessuto. L'obiettivo finale è quello di sviluppare *proof-of-concept* di prodotti aumentati e sostenibili per la sicurezza e lo sport. I prodotti aumentati includono, ma non sono limitati a, soluzioni indossabili che consentiranno di ottenere informazioni multi-parametriche per assistere i lavoratori e gli sportivi sul campo.

Il Progetto SOLARIS^a (descritto con maggiore dettaglio nel contributo a firma di Claudia Florio, presente in questo numero) è, invece, finalizzato alla realizzazione di nuove generazioni di pelli sostenibili ad alto valore aggiunto (*smart and sustainable leather*), attraverso lo sviluppo di approcci avanzati e l'utilizzo di tecnologie abilitanti per il trattamento, la gestione razionale e la trasformazione degli scarti, nell'ottica di sviluppare nuovi materiali cir-



Fig. 2 - Graphical abstract del progetto AURORA. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Bergamo e Università degli Studi di Brescia

^aPartner del progetto: Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli e Università degli Studi di Padova.

colari derivanti da scarti dell'industria conciaria e di altre filiere che utilizzano biomasse, secondo i principi della Simbiosi Industriale. Molteplici le ricadute positive di cui potrebbero beneficiare sia il settore dell'Abbigliamento che quello dell'Arredo e del sistema casa, ma anche del design e dell'allestimento d'interni in ambito automobilistico, aeronautico/aerospaziale e navale.

Il progetto FORWARD (Fig. 3) punta a migliorare la circolarità e l'innovazione digitale nelle filiere dell'Arredo e del sistema casa, in particolare nel settore del legno-arredo. L'attenzione è rivolta ai contesti produttivi del Sud Italia, dove le aziende del settore sono caratterizzate da un basso accesso all'innovazione.

Il progetto prevede 3 *work-package* operativi finalizzati a definire:

- 1) un quadro d'azione effettivo rispetto agli impatti attesi dalla ricerca;
 - 2) criteri e metodi per la produzione di materia prima/seconda derivante dagli scarti della filiera degli arredi in legno;
 - 3) un set di interventi materiali e immateriali finalizzati a facilitare l'accesso all'innovazione delle PMI del settore.
- I risultati attesi includono:
- i) un flusso dinamico di dati in grado di fornire una serie di criteri e requisiti per facilitare l'accesso delle aziende all'innovazione tecnologica alla luce di un pensiero progettuale circolare;
 - ii) strategie e strumenti per fornire soluzioni su misura adatte alle richieste di in-

novazione nei contesti mappati;

iii) un progetto pilota per migliorare il riciclo degli scarti del legno.

Partendo sempre da scarti di legno provenienti dall'industria dell'arredo, il progetto BioMet (Fig. 4)



Fig. 3 - Graphical abstract del progetto FORWARD. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Università degli Studi di Firenze e Università degli Studi di Palermo

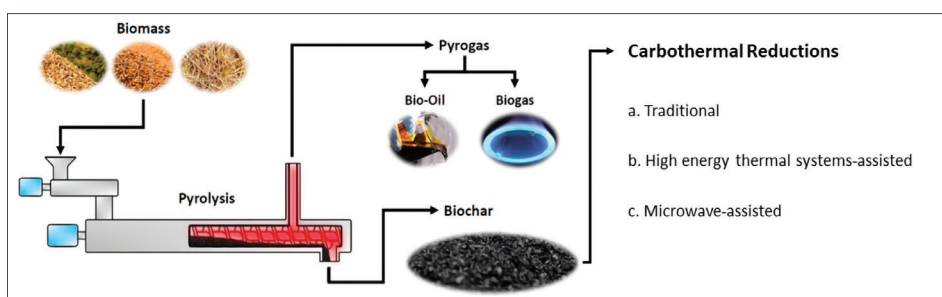


Fig. 4 - Graphical abstract del progetto BioMet. Partner del progetto: Politecnico di Milano (Leader), Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia e Università degli Studi di Padova

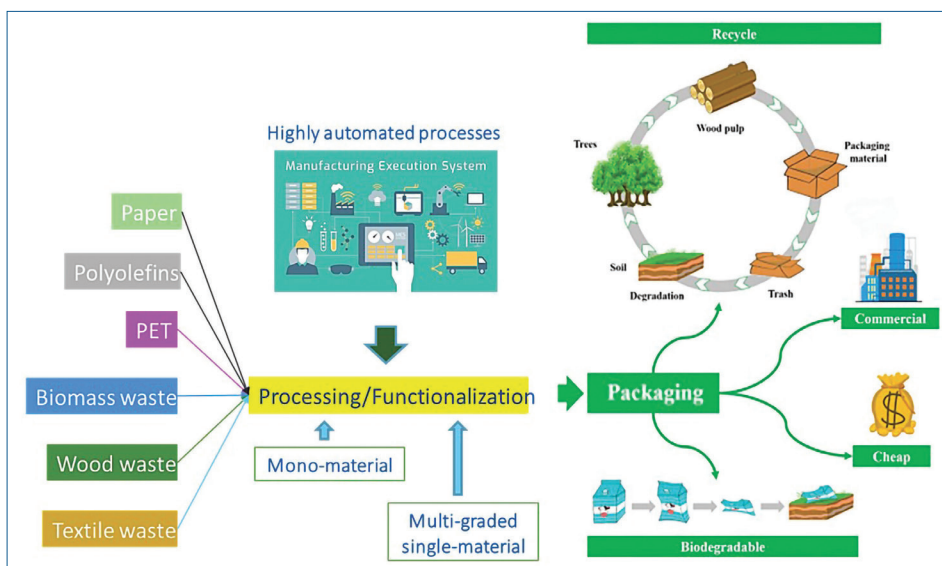


Fig. 5 - Graphical abstract del progetto SPaCE. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Consiglio Nazionale delle Ricerche, Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Sapienza Università di Roma, Università degli Studi di Palermo, Università degli Studi di Padova, Cavanna S.p.A., SCM Group e Stazione Sperimentale dell'Industria delle Pelli e delle Materie Concianti

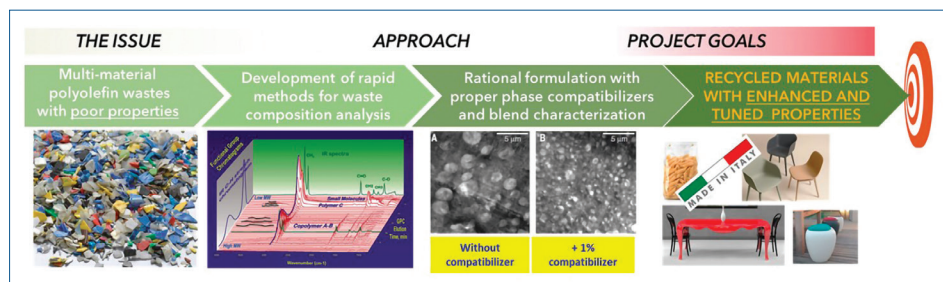


Fig. 6 - Graphical abstract del progetto CORE. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Sapienza Università di Roma e Università degli Studi di Palermo

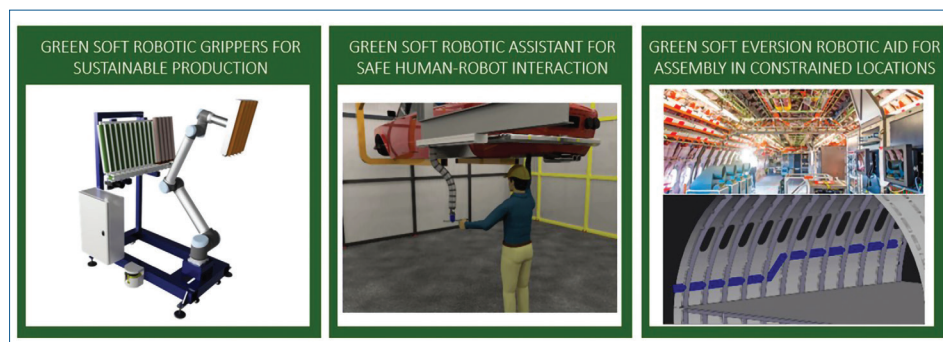


Fig. 7 - Graphical abstract del progetto ROOTS. Partner del progetto: Università degli Studi di Napoli (Leader), Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia e Camozzi Group SpA

mira, invece, a creare una catena di approvvigionamento di carbone biogenico per applicazioni metallurgiche, in sostituzione del carbone di origine fossile (grafite e coke). Attraverso un processo di pirolisi della biomassa legnosa, è possibile produrre bio-carbone ad alto valore aggiunto, da impiegare come agente per la riduzione chimica di prodotti di scarto delle industrie del ferro e dell'alluminio. Nell'ambito del progetto BioMet viene anche studiata la possibilità di sfruttare tecniche di agglomerazione per la creazione di prodotti a base di bio-carbone (es. bricchetti, pellet ecc.) che possono essere agevolmente impiegati in processi di riduzione carbotermica, sia convenzionale che non convenzionale (ad es. assistita da microonde).

Il miglioramento della sostenibilità dei materiali e della tecnologia per la produzione degli imballaggi (*packaging*) è l'obiettivo del progetto SPaCE (Fig. 5). In particolare, verranno analizzate, ed eventualmente approfondite, diverse soluzioni che prevedono:

- la selezione di materiali con elevate biodegradabilità e riciclabilità;
- la scelta di strutture mono-materiale;
- l'uso di materiali intelligenti per ridurre il consu-

mo di energia durante il processo di sigillatura/saldatura. Si intende, inoltre, perseguire la valorizzazione dei materiali a base cellulosa provenienti da scarti legnosi dell'industria dell'arredo e scarti fibrosi dell'industria tessile per la produzione di imballaggio sia flessibile che rigido. Particolare attenzione è rivolta alla ricerca di soluzioni innovative mirate al miglioramento delle proprietà barriera di materiali sostenibili per la *packaging*, come, ad esempio, quelli a base cellulosa, che possono essere ottenuti proprio da scarti della lavorazione del legno.

Una delle attività del progetto SPaCE riguarda la valutazione, attraverso l'analisi del ciclo di vita (LCA), dell'impatto ambientale dei materiali e dei processi innovativi oggetto di studio. A tale scopo, si prevede di implementare un approccio "digital twin" per modellare e monitorare i processi di imballaggio, con focus sulla simulazione delle prestazioni di una filiera del *packaging* basata sui principi dell'economia circolare.

Il progetto CORE (Fig. 6) ha, invece, l'obiettivo di migliorare e facilitare il riciclo di miscele di poliolefine (PP, PE) con il fine ultimo di ridurre la crescente domanda di materie prime e sostenere l'economia circolare.

CORE mira allo sviluppo di un'efficiente strategia di riciclo meccanico basata sull'uso di additivi specifici (compatibilizzatori di fase) in grado di controllare il comportamento di fase delle miscele polimeriche, aprendo alla possibilità di *up-cycling* di rifiuti a base di poliolefine, derivanti dai flussi post-consumo, senza la necessità di una pre-selezione. Nello specifico, saranno progettati e studiati compatibilizzanti di fase come i copolimeri a blocchi e random a base di polipropilene isotattico e polietilene (iPP-PE). Obiettivo finale è la caratterizzazione della struttura, della morfologia e delle proprietà meccaniche delle miscele

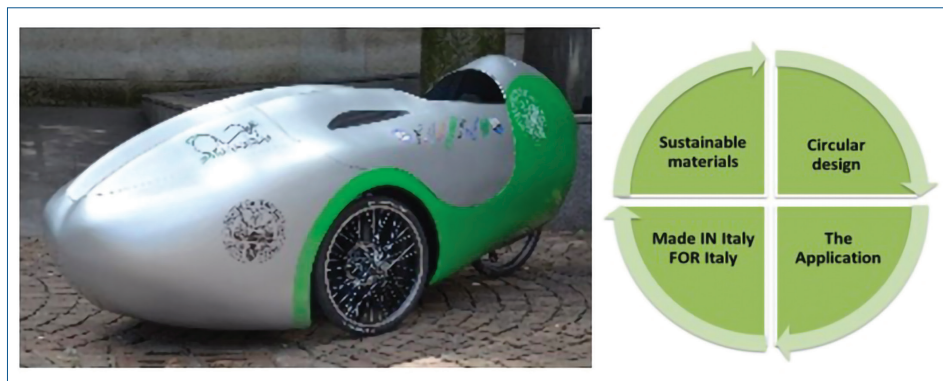


Fig. 8 - *Graphical abstract* del progetto ALLEGIANT. Partner del progetto: Politecnico di Torino (*Leader*), Università degli Studi di Bergamo, Università degli Studi di Firenze, Università degli Studi di Palermo e Università degli Studi di Padova

compatibilizzate e non, al fine di comprendere il meccanismo di adesione interfacciale ed ottimizzare la struttura molecolare degli additivi sviluppati per l'*up-cycling* delle miscele iPP/PE. Le poliolefine riciclate potranno essere utilizzate nel settore tessile e in quello dell'arredamento, ma anche come materia prima per la produzione di *packaging* sostenibile (in sinergia con il progetto SPaCE).

Il progetto ROOTS (Fig. 7) rientra a pieno titolo nella macroarea dell'Automazione ed ha come obiettivo quello di sviluppare un nuovo modo per costruire *soft robot* efficienti, sicuri e sostenibili basati sull'uso di polimeri a memoria di forma (SMP) per attuatori o sensori e polimeri *bio-based* e biodegradabili. Le attività del progetto prevedono:

- i) nuove metodologie di progettazione per sviluppare *soft robot* sostenibili (*green soft robot*);
- ii) integrazione di materiali e sensori per la riciclabilità
- iii) pneumatica sostenibile per una attuazione più efficiente;
- iv) gemello digitale per la manutenzione predittiva e la simulazione del consumo energetico in tempo reale.

Il progetto permetterà di sviluppare diversi *proof-of-concept* di *green soft robot*, da

usare in casi industriali reali, in particolare quelli riguardanti la manipolazione di oggetti delicati.

L'obiettivo del progetto ALLEGIANT (Fig. 8) è quello di progettare e prototipare in modo circolare un velomobile, un veicolo a propulsione umana che, similmente ad una bicicletta elettrica, può implementare la pedalata assistita, ma offre una maggiore versatilità. Infatti,

ti, i velomobili possono ospitare un passeggero, sono dotati di bagagliaio e possono essere utilizzati in diverse condizioni meteorologiche grazie alla presenza della carena: questo li rende candidati ideali per il turismo, lo sport e le consegne. In ottica di circolarità, il progetto mira a sviluppare materiali innovativi e facilmente riciclabili a base di fibre naturali. L'adozione del principio del "*design for disassembly*" garantisce che i componenti e i materiali possano essere agevolmente separati e recuperati. L'idea è quella di stabilire una piatta-



Fig. 9 - *Graphical abstract* del progetto NanoSusTech. Partner del progetto: Politecnico di Torino (*Leader*), Politecnico di Milano, Università degli Studi di Bologna, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli, Università degli Studi di Palermo e Università degli Studi di Padova

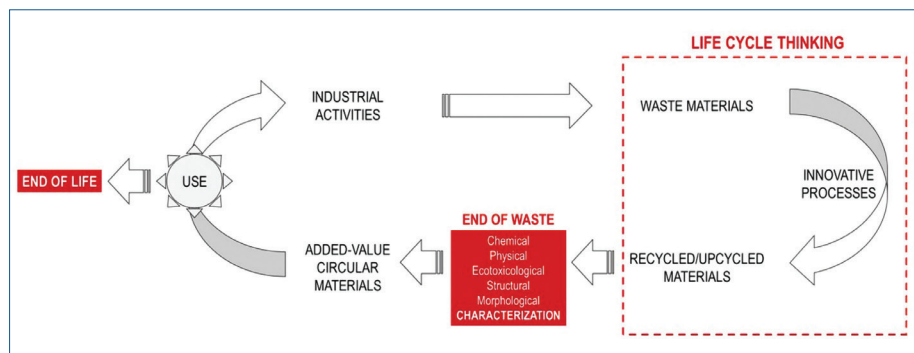


Fig. 10 - Graphical abstract del progetto Waste-End. Partner del progetto: Università degli Studi di Padova (Leader), Politecnico di Milano, Politecnico di Torino, Università degli Studi di Brescia, Università degli Studi di Napoli e Thales-Alenia Space

forma che integri gli strumenti convenzionali di sviluppo di prodotti utilizzati in ambito industriale con quelli propri del design circolare.

Per tutti i processi di lavorazione e trasformazione dei materiali oggetto di studio dei progetti sopra descritti è fondamentale la valutazione degli aspetti riguardanti la sicurezza sui luoghi di lavoro e gli impatti ambientali nonché l'adozione di misure atte a ridurre i rischi sulla salute dell'uomo.

Il progetto NanoSusTech (Fig. 9) ha come obiettivo principale proprio quello di migliorare la qualità dell'aria *indoor* nei settori industriali, in particolare quelli della produzione tessile e della lavorazione delle pelli, nonché negli ambienti confinati come uffici e stabilimenti industriali, con l'obiettivo di ridurre inquinanti chimici e biologici. Le attività del progetto prevedono l'impiego di nanoparticelle attive per la preparazione di membrane polimeriche nanostrutturate con caratteristiche sensoriali e dotate di proprietà adsorbenti e catalitiche. Tra i materiali oggetto di studio anche alcuni derivati da biomasse di scarto e rifiuti di natura biologica (*bio-waste*).

Lo studio dettagliato della "seconda vita" dei materiali riciclati, della loro efficacia rispetto ai materiali non riciclati, della loro interazione con l'ambiente e dei possibili rischi per l'uomo e gli ecosistemi, è l'obiettivo del progetto Waste-End (Fig. 10). I temi trattati sono approfonditi attraverso l'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), stimando gli impatti dei materiali lungo il loro ciclo di vita, anche da un punto di vista di costi (LCC) e ricadute sociali (S-LCA). La ricerca riguarda anche gli effetti della commercializzazione dei materiali riciclati all'interno di scenari di Simbiosi Industriale, concentrandosi sui settori industriali di interesse per MICS. Tra questi, il settore aerospaziale, in quanto una parte del progetto mira a valutare l'utilizzo, per la

stampa 3D, di materiali riciclati a partire dai rifiuti delle missioni spaziali, in perfetta armonia con la "Fabbrica nello Spazio", una delle 5 *Flagship* previste dal partenariato esteso MICS. I risultati attesi delle attività di ricerca previste dai progetti dello Spoke 4 di MICS potranno auspicabilmente promuovere l'uso di materiali sostenibili in ottica di economia circolare e favorire iniziative di Simbiosi Industriale, al

fine di mitigare gli impatti ambientali associati alle attività industriali e migliorare la competitività dei settori del Made in Italy che costituiscono la "spina dorsale" della produzione manifatturiera del nostro Paese.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda al sito web: <https://www.mics.tech/spokes/spoke-4/>



Ringraziamenti

La pubblicazione di questo contributo rientra nell'ambito delle attività di disseminazione del Partenariato Esteso MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile) finanziato dal programma Next-Generation EU (PNRR - M4 C2, Investimenti 1.3 - D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004). CUP MICS C93C220052800. D.C. ringrazia i Project Leader per la documentazione fornita.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W.R. Stahel, *Nature* 2016, **531**, 435.
- [2] M.R. Chertow, *Annual Review of Energy and Environment*, 2000, **25**, 313.
- [3] N.B. Jacobsen, *Journal of Industrial Ecology*, 2008, **10**, 239.

The Spoke 4 of the MICS Extended Partnership

'Smart and sustainable materials for circular and augmented industrial products and processes': this is the theme of Spoke 4 of the MICS (Made in Italy - Circular and Sustainable) Extended Partnership, which is committed to researching and promoting disruptive and nature-friendly innovative technologies for a "smart & green" approach to Made in Italy manufacturing, through the use of sustainable materials and the adoption of circular economy principles.