

a cura di/edited by Antonello Monsù Scolaro, <https://orcid.org/0000-0001-9714-9140>

Il paradigma “Industria 5.0”: potenzialità e barriere verso la decarbonizzazione del settore

Antonello Monsù Scolaro¹ e Davide Settembre Blundo²

¹ Professore associato presso la Università degli Studi di Sassari, <https://orcid.org/0000-0001-9714-9140>.

² Innovability Manager di Gresmalt SpA, Sassuolo

Dal 2018, a partire dal numero 16 della rivista, Alessandro Claudi de Saint Mihiel ha curato questa rubrica con grande dedizione, esplorando in profondità i temi della cultura tecnologica, declinati in termini di innovazione di processo, prodotto e progetto. Ora, raccogliendo il testimone di questa significativa esperienza, si propone una riflessione che risponda alla call di questo numero, con l'obiettivo di evidenziare lo sforzo richiesto agli operatori della filiera industriale per adeguarsi ai prossimi obiettivi di decarbonizzazione del settore, con un focus sull'industria ceramica, dai pesanti impatti ambientali correlati.

La prima rivoluzione industriale, iniziata nella seconda metà del '700, introdusse la macchina a vapore, che rivoluzionò i settori tessile e metallurgico meccanizzando la produzione. La seconda rivoluzione, avviata intorno al 1870, vide l'avvento dell'elettricità, del motore a scoppio e del petrolio come nuova fonte energetica. La terza rivoluzione, risalente agli anni '70 del Novecento, portò l'informatica, l'automazione industriale e l'IT (Information Technology), aprendo la strada all'era digitale. La quarta rivoluzione industriale, nota come Industria 4.0, si affermava ufficialmente nel 2011 durante la fiera di Hannover: con l'introduzione nei processi produttivi dell'IoT, della robotica avanzata, dei big data e dell'intelligenza artificiale, questa rivoluzione poneva l'efficienza e l'automazione al centro, ridimen-

sionando il ruolo umano per ottimizzare costi e produttività. Nel 2020, la pandemia da COVID-19 ha accelerato un cambio di paradigma. Il report “Protect, Prepare and Transform Europe: Recovery and Resilience Post-COVID-19” della Commissione Europea ha sottolineato l'importanza di sistemi produttivi resilienti e sostenibili. Nel 2022, il policy brief “Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe” definisce l'impegno dell'UE verso un modello produttivo sostenibile, basato sull'economia circolare e sul disaccoppiamento tra crescita economica e sfruttamento delle risorse. Il nuovo paradigma pone al centro i lavoratori, promuove la resilienza economica e ambientale, e sfrutta le tecnologie digitali per ridurre scarti e impatti ambientali, orientando verso la giustizia sociale e sostenibilità.

L'UE identifica sei tecnologie abilitanti per Industria 5.0: 1) interazione personalizzata uomo-macchina; 2) materiali intelligenti e tecnologie ispirate alla natura; 3) digital twin per simulare processi produttivi; 4) utilizzo consapevole dei big data; 5) intelligenza artificiale; 6) tecnologie per l'efficienza energetica. Questo approccio mira a coniugare il benessere dei lavoratori, la riduzione degli impatti ambientali e l'ottimizzazione dei prodotti. Il Piano industriale del Green Deal Europeo per un'economia a zero emissioni nette integra queste tecnologie e richiede interventi strutturali: un contesto normativo prevedibile, accesso rapido ai finanziamenti, sviluppo delle competenze e filiere resilienti. Questi obiettivi rispondono alla consapevolezza del 24% delle emissioni globali di gas serra da parte dei cicli industriali, che salgono al 34% includendo generatori di calore ed energia. In Europa, sei comparti produttivi (minerali non metallici, ferro e acciaio, chimica, petrolio, carta e metalli non ferrosi) contribuiscono al 78% delle emissioni totali di gas serra.

The “Industry 5.0” paradigm: opportunities and barriers to industrial decarbonization

Since 2018, with issue 16, Alessandro Claudi de Saint Mihiel has been responsible for the curation of this column, exploring in depth the themes of technological culture, with a focus on process, product and project innovation. Building on this substantial experience, the present reflection responds to the call of this issue, with the aim of highlighting the effort required from operators in the industrial supply chain to adapt to the upcoming decarbonization goals of the sector, with a focus on the ceramic industry, highly impactful on the environment. The first industrial revolution, which began in the second half of the 1700s, introduced the steam engine, which revolutionized the textile and metal sectors by mechanizing their produc-

tion. The second industrial revolution, which commenced around 1870, witnessed the advent of electricity, the internal combustion engine and oil as a novel energy source. The third industrial revolution, dating back to the 1970s, ushered in information technology, industrial automation and IT (Information Technology), thereby paving the way for the digital age. The fourth industrial revolution, known as Industry 4.0, was officially established in 2011 during the Hanover Fair. The advent of technologies such as the Internet of Things (IoT), advanced robotics, big data and artificial intelligence into manufacturing processes has resulted in a paradigm shift towards efficiency and automation. This has led to a reduction in the human role, with the objective being to optimize costs and productivity. The advent of the pandemic of the novel strain of severe acute respiratory syndrome (SARS-CoV-2) in

2020 precipitated a paradigm shift. The European Commission's “Protect, Prepare and Transform Europe: Recovery and Resilience Post-COVID-19” report emphasized the significance of resilient and sustainable production systems. In 2022, the policy brief “Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe” signaled the EU's commitment to a sustainable production model, based on the circular economy and the decoupling of economic growth and resource use. This new paradigm places workers at the center, promoting economic and environmental resilience, and leveraging digital technologies to reduce waste and environmental impacts while improving social justice and sustainability. The European Union has identified six enabling technologies for Industry 5.0: 1) personalized human-machine interaction; 2) Smart materials and nature-inspired technologies; 3) Digital

twin to simulate production processes; 4) Informed use of big data; 5) Artificial intelligence; and 6) Energy efficiency technologies. This approach aims to combine worker well-being, reduced environmental impacts and product optimization. The European Green Deal Industrial Plan for a net-zero economy integrates these technologies and calls for structural interventions, including a predictable regulatory environment, rapid access to finance, skills development, and resilient supply chains. This is in response to the realization that industrial processes are responsible for 24 per cent of global greenhouse gas emissions, rising to 34 per cent when including heat and power generators. In Europe, six manufacturing sectors (non-metallic minerals, iron and steel, chemicals, petroleum, paper, and non-ferrous metals) contribute 78 percent of total greenhouse gas emissions. By

Per il 2030, il Green Deal punta a ridurre le emissioni del 55% rispetto al 1990, riducendo il consumo di carbone del 70%, di petrolio del 30% e di gas del 25%, con un aumento delle energie rinnovabili al 38-40% del consumo finale lordo. Ciò richiede miglioramenti nell'approvvigionamento energetico, efficienza produttiva, riciclo e gestione del carbonio (CCUS).

L'Industria 5.0 promette di apportare benefici significativi: maggiore produttività e competitività aziendale, migliori condizioni di lavoro grazie all'automazione, ottimizzazione delle risorse e riduzione delle emissioni di CO₂. Tecnologie come l'IoT permetteranno di monitorare in tempo reale consumi ed emissioni, mentre l'intelligenza artificiale e la robotica collaborativa ottimizzeranno i processi produttivi aumentando la flessibilità. Molte aziende stanno trasformando i propri modelli di business, passando da processi lineari a sistemi circolari. Le innovazioni nei materiali, nei processi e nella logistica stanno rivoluzionando il settore, rendendolo più sostenibile e competitivo. Tuttavia, questa trasformazione richiede un cambiamento di paradigma che coinvolga l'intera filiera industriale.

Il settore della ceramica, con consumi elevati di risorse naturali (circa 20 kg/m² di materiali, 3 m³/m² di metano e 3,5 kWh/m² di elettricità), ha già compiuto progressi significativi verso una maggiore sostenibilità, ma ci sono ancora delle barriere da superare. Gresmalt Group, leader del settore e impegnato in una transizione green, rappresenta un caso esemplare. Grazie al suo impegno nell'innovazione e nella sostenibilità, Gresmalt è stata invitata a condividere le sfide e le opportunità di questa trasformazione, contribuendo al dibattito sul futuro dell'industria ceramica.

L'industria ceramica italiana è al centro di un processo di trasformazione complesso e ambizioso verso la sostenibilità e la

decarbonizzazione. In questo contesto, il paradigma dell'Industria 5.0 offre una visione promettente che integra tecnologie avanzate, economia circolare e centralità umana, ma richiede un cambiamento profondo nei modelli di business, nei processi produttivi e nella gestione delle supply chain. L'integrazione di tecnologie abilitanti come l'intelligenza artificiale (IA), i digital twin e l'automazione avanzata rappresenta un'opportunità senza precedenti per il settore ceramico. Nel caso di Gresmalt Group, queste innovazioni sono già in fase di implementazione, con risultati significativi. Grazie all'adozione di sensori IoT e di sistemi di monitoraggio avanzati, Gresmalt è riuscita a migliorare la gestione dell'energia e delle risorse, riducendo del 21,8% le emissioni Scope 1 e Scope 2 (Market-Based) nel 2023 rispetto al 2022. Il controllo in tempo reale dei consumi e delle emissioni ha permesso di ottimizzare i processi, riducendo gli sprechi e aumentando la produttività.

La transizione verso modelli di produzione circolari, supportata da tecnologie di riciclo avanzate, permette di ridurre l'uso di materie prime vergini e di promuovere l'utilizzo di materiali riciclati conformi agli standard ISO 17889-1. Nel 2023, il 20-25% delle materie prime utilizzate da Gresmalt era costituito da materiali riciclati certificati, consentendo una significativa riduzione dell'impatto ambientale. L'uso dei digital twin consente di simulare i processi produttivi in ambienti virtuali, identificando aree di miglioramento e riducendo il rischio di errori. Questo approccio ha accelerato i cicli di sviluppo di nuovi prodotti sostenibili realizzati con la tecnologia G3NIUS, che ha permesso di ridurre del 32% l'impronta di carbonio rispetto alla media del settore per prodotti con uno spessore di 7,4 mm. L'adozione di tecnologie collaborative nelle fabbriche

2030, the Green Deal aims to reduce emissions by 55 percent compared to 1990, reducing coal consumption by 70 percent, oil by 30 percent, and gas by 25 percent, with renewable energy increasing to 38-40 percent of gross final consumption. This necessitates advancements in energy supply, production efficiency, recycling, and carbon management (CCUS).

Industry 5.0 promises significant benefits: increased productivity and business competitiveness, better working conditions through automation, resource optimization and reduced CO₂ emissions. Technologies such as IoT enable real-time monitoring of consumption and emissions, while artificial intelligence and collaborative robotics optimize production processes and increase flexibility. Many companies are transforming their business models from linear processes to circular systems. Innovations in materials, processes and

logistics are revolutionizing industry, making it more sustainable and competitive. However, this transformation requires a paradigm shift that involves the entire industrial supply chain.

The ceramics industry, with its high consumption of natural resources (around 20 kg/m² of materials, 3 m³/m² of methane and 3.5 kWh/m² of electricity), has already made significant progress towards greater sustainability, but there are still barriers to overcome. The Gresmalt Group, an industry leader committed to a green transition, is a case in point. Through its commitment to innovation and sustainability, Gresmalt was invited to share the challenges and opportunities of this transformation and contribute to the debate on the future of the ceramics industry.

The Italian ceramic industry is currently undergoing a complex and ambitious transformation process towards

sustainability and decarbonization, with the Industry 5.0 paradigm offering a promising vision that integrates advanced technologies, the circular economy and human-centricity. However, this vision requires a profound change in business models, production processes and supply chain management. The integration of enabling technologies such as artificial intelligence (AI), digital twins and advanced automation represents an unprecedented opportunity for the ceramics industry. For instance, the Gresmalt Group has successfully implemented these innovations, achieving notable outcomes. By adopting IoT sensors and sophisticated monitoring systems, Gresmalt has enhanced its energy and resource management, leading to a substantial reduction in Scope 1 and Scope 2 (Market-Based) emissions, with a 21.8 percent decrease in 2023 compared to 2022. Real-time monitoring of con-

sumption and emissions has facilitated the optimisation of processes, leading to a reduction in waste and an enhancement in productivity.

The transition to circular production models, facilitated by advanced recycling technologies, has enabled a reduction in the use of virgin raw materials and a promotion of the use of recycled materials that comply with ISO 17889-1 standards. By 2023, 20-25% of the raw materials utilized by Gresmalt were certified as recycled materials, thereby enabling a substantial reduction in environmental impact. The utilization of digital twins enables the emulation of production processes within virtual environments, facilitating the identification of areas for enhancement and the mitigation of error. This approach has accelerated the development cycles of new sustainable products made with G3NIUS technology, which has reduced the carbon

ha permesso di eliminare le attività ripetitive e usuranti per gli operatori, aumentando la sicurezza e il benessere sul lavoro. Inoltre, l'installazione di un impianto fotovoltaico da 3 MWp rappresenta un passo cruciale verso l'autosufficienza energetica e la decarbonizzazione.

Nonostante queste potenzialità, permangono diverse barriere che ostacolano una transizione completa e uniforme verso l'Industria 5.0. L'adozione di tecnologie avanzate richiede investimenti significativi in termini di capitale, infrastrutture e formazione. Per un settore composto anche da PMI, come quello ceramico, questi costi rappresentano un ostacolo significativo. La transizione verso l'Industria 5.0 richiede competenze altamente specializzate. La formazione di personale tecnico in grado di gestire e ottimizzare sistemi complessi rappresenta una sfida per molte aziende, Gresmalt compresa. La mancanza di una regolamentazione armonizzata a livello europeo e nazionale per sostenere la transizione crea incertezze, in particolare riguardo all'adozione di soluzioni basate su tecnologie emergenti come il CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage). La decarbonizzazione richiede un accesso diffuso a fonti di energia rinnovabile. Tuttavia, le infrastrutture attuali, in particolare nei distretti ceramici italiani, non sono in grado di soddisfare la crescente domanda di energia pulita. La trasformazione dei modelli di business e delle pratiche consolidate richiede un cambiamento di mentalità lungo tutta la filiera produttiva. Le imprese devono affrontare resistenze interne ed esterne, derivanti da una mancanza di comprensione delle opportunità offerte dall'Industria 5.0.

Per superare queste barriere, è fondamentale un approccio collaborativo tra industria, istituzioni accademiche e responsabili

politici. Gresmalt sta promuovendo attivamente la partecipazione a progetti di ricerca e sviluppo in collaborazione con università e altre imprese per sviluppare soluzioni avanzate che migliorino la tracciabilità delle risorse e l'uso dell'energia. Inoltre, il *reshoring*, che incoraggia l'uso di materie prime locali e lo sviluppo di *supply chain* resilienti, rappresenta un'opportunità per allineare il settore ceramico agli obiettivi del Green Deal europeo. La progettazione di architetture digitali per il monitoraggio e la gestione dei dati industriali rappresenta un ulteriore passo verso una produzione intelligente e sostenibile. La transizione verso l'Industria 5.0 e la decarbonizzazione richiede un impegno sistemico e coordinato. Per Gresmalt, questo percorso non è solo una necessità per conformarsi alle normative future, ma anche un'opportunità per ridefinire il proprio ruolo di leader nella sostenibilità e nell'innovazione del settore ceramico. Attraverso investimenti mirati in tecnologie avanzate e collaborazioni strategiche, l'azienda mira a trasformare le barriere in opportunità, dimostrando che un'industria energivora può diventare un modello di sostenibilità. La sfida è ambiziosa, ma in gioco c'è il futuro stesso dell'industria ceramica in un mondo sempre più orientato verso la neutralità climatica.

footprint by 32 percent compared to the industry average for products with a thickness of 7.4 mm. The integration of collaborative technologies within industrial environments has led to the elimination of repetitive and arduous tasks for operators, thereby enhancing safety and well-being at work. Furthermore, the implementation of a 3 MWp photovoltaic system is a pivotal step in achieving energy self-sufficiency and decarbonization.

Notwithstanding this potential, there are several barriers to a complete and smooth transition to Industry 5.0. The implementation of advanced technologies necessitates substantial investments in capital, infrastructure, and training. For a sector comprising numerous SMEs, such as the ceramic industry, these costs are a considerable hindrance. The transition to Industry 5.0 demands highly specialized skills. Training technical personnel to man-

age and optimize complex systems poses a significant challenge for many companies, including Gresmalt. The absence of harmonized regulation at both the European and national levels introduce considerable uncertainty, particularly regarding the adoption of solutions reliant upon emerging technologies such as CCUS (Carbon Capture, Utilization, and Storage). Achieving decarbonization targets is predicated on the availability of renewable energy sources. However, the current infrastructure, particularly in Italy's ceramic districts, is unable to meet the growing demand for clean energy. A fundamental transformation of business models and established practices is therefore required, and this in turn will require a change in mindset throughout the supply chain. Companies encounter resistance to this transition from both within their own organizations and from external actors,

stemming from a lack of understanding of the opportunities offered by Industry 5.0.

To overcome the aforementioned barriers, a collaborative approach between industry, academic institutions, and policymakers is essential. Gresmalt is proactively engaging in research and development projects in partnership with academic institutions and other companies. These collaborative efforts aim to develop advanced solutions that enhance resource tracking and reduce energy consumption. Additionally, *reshoring*, which entails the utilization of local raw materials, and the cultivation of resilient supply chains, presents a significant opportunity to align the ceramics sector with the objectives of the European Green Deal. The development of digital architectures for the monitoring and management of industrial data represents a significant stride towards achieving smart and sustain-

able manufacturing. The transition to Industry 5.0 and decarbonization necessitates a systemic and coordinated effort. For Gresmalt, this transition is not merely a compliance requirement; it presents a pivotal opportunity to redefine its role as a frontrunner in sustainability and innovation within the ceramics sector. Through strategic investments in advanced technologies and the establishment of partnerships, the company aims to transform challenges into opportunities, thereby demonstrating the potential of an energy-intensive industry to evolve into a paradigm of sustainability. While the challenge is ambitious, the ceramics industry's future in a climate-neutral world is at stake.