

ARTICLE INFO

Received	20 March 2023
Revised	29 April 2023
Accepted	08 May 2023
Published	30 June 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

Silvia Barbero, Eliana Ferrulli

ABSTRACT

Per favorire la transizione ecologica e digitale delle PMI europee è necessario un approccio sistemico e collaborativo che sia capace di inquadrare i problemi nella complessità delle relazioni e delle interconnessioni che li caratterizzano. Questo articolo si pone l'obiettivo di indagare come l'approccio e i metodi del Design Sistemico supportino un processo di 'innovazione aperta', in ambienti industriali e interdisciplinari. Viene presentato come caso studio il progetto europeo DigiCirc, che offre uno spazio di sperimentazione delle sfide riscontrate in letteratura con i dati raccolti sul campo, sottolineando il contributo apportato dai ricercatori di Design Sistemico del Politecnico di Torino, sia in qualità di partner di progetto nel processo di 'innovazione aperta' sia con attività di supporto alle start-up e PMI coinvolte. L'articolo si rivolge in particolare agli studiosi e ai professionisti del design che si occupano di 'innovazione aperta' e di transizione ecologica e digitale all'interno di sistemi socio-tecnici e in ambienti industriali e interdisciplinari.

A systemic and collaborative approach is required to facilitate European Small and Medium-sized Enterprises' ecological and digital transition, able to frame issues within the complexity of the relationships and interconnections that characterise them. In light of this, the paper aims to investigate how the approach and methods of Systemic Design support an 'open innovation' process in industrial and interdisciplinary environments. The DigiCirc European project represents the reference case study, offering a space to test the challenges found in the literature with data collected in the field, emphasising the contribution made by the researchers in Systemic Design of the Politecnico di Torino, both as project partners in the 'open innovation' process and through activities supporting the start-ups and SMEs involved. The article is mainly geared toward scholars and design practitioners concerned with 'open innovation' and ecological and digital transition within socio-technical systems and in industrial and interdisciplinary environments.

KEYWORDS

transizione ecologica, transizione digitale, economia circolare, innovazione aperta, design sistemico

ecological transition, digital transition, circular economy, open innovation, systemic design

Silvia Barbero, PhD, is an Associate Professor in Design at the Department of Architecture and Design of the Politecnico di Torino (Italy). Her research focuses mainly on systemic design for the circularity of industrial processes to achieve greater environmental, social, and economic sustainability. She has been the President of the Systemic Design Association since 2018. She is also the Scientific Coordinator of the DigiCirc European project (H2020 – INNOSUP-01). Mob. +39 349/76.33.793 | E-mail: silvia.barbero@polito.it

Eliana Ferrulli, PhD Candidate in Management, Production and Design at the Politecnico di Torino, has a background in Systemic Design. Her research focuses on the transition and implementation of circular textile value chains through a regenerative and holistic approach provided by Systemic Design. She has participated in several European projects, including DigiCirc (H2020 – INNOSUP-01), collaborating with companies at national and international levels. Mob. +39 335/14.97.621 | E-mail: eliana.ferrulli@polito.it



La transizione ecologica e quella digitale sono sfide strettamente connesse, cruciali nell'attuale epoca di trasformazioni. Al centro del dibattito vi è il passaggio da un modello produttivo ed economico lineare basato sullo sfruttamento delle risorse a uno di tipo circolare e rigenerativo incentrato su eliminazione dei rifiuti e dell'inquinamento, mantenimento in uso di prodotti e materiali e rigenerazione dei sistemi naturali (Ellen MacArthur Foundation, 2015). A partire dal 2015 l'Unione Europea ha riconosciuto l'importanza di tale transizione, definendone le traiettorie all'interno del Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020a), un piano strategico incentrato su azioni di Economia Circolare e supportato dagli stakeholder della Quadrupla Elica (Università, Aziende, Società e Governo). In questo scenario la digitalizzazione è considerata un fattore chiave per il raggiungimento degli obiettivi di Economia Circolare (Antikainen, Uusitalo and Kivikytö-Reponen, 2018) in quanto le tecnologie digitali permettono di mettere in relazione le risorse materiali, integrare le catene di valore e facilitare il dialogo tra gli attori, favorendo processi condivisi e velocizzandone l'attuazione (Amit and Han, 2017).

Come si traduce però tutto ciò a livello aziendale? Come vengono supportate le Piccole e Medie Imprese (PMI) europee? Sono queste in grado di trasformare in opportunità di business le sfide che la transizione ecologica e digitale comporta? Per orientare correttamente queste sfide è necessario un approccio sistemico capace di capire e collocare prodotti e processi nella complessità, riconoscere l'interconnessione dei diversi aspetti e massimizzare così le potenzialità della digitalizzazione e dell'Economia Circolare (European Commission, 2020a). In questo scenario si inserisce il progetto europeo DigiCirc (H2020 – INNOSUP-01)¹, che affronta la transizione ecologica e digitale con processi di 'innovazione aperta' e una prospettiva a quadrupla elica in tre domini strategici: Circular Cities, Blue Economy e Bioeconomy.

Il progetto si è articolato in quattro macro-fasi: 1) la creazione di un ecosistema di 'innovazione aperta' trans-europeo; 2) la realizzazione di tre campagne di coinvolgimento degli stakeholder, definendo congiuntamente le principali sfide di Economia Circolare all'interno dei tre domini strategici; 3) il lancio di tre programmi di accelerazione per PMI europee, selezionate tramite tre bandi aperti; 4) la realizzazione di contenuti e strumenti olistici a supporto dell'innovazione (tematica, tecnica, commerciale, legale). Attraverso il progetto DigiCirc questo articolo si pone l'obiettivo di indagare come l'approccio del Design Sistemico supporti la transizione ecologica e digitale e contribuisca alla configurazione di un processo di 'innovazione aperta' (Chesbrough, 2003) per le PMI europee.

L'articolo utilizza una ricerca multi-metodo che integra e corrobora i dati derivanti dalla revisione della letteratura con quelli ottenuti dal caso studio DigiCirc. Nello specifico la metodologia adottata agisce in due fasi: 1) individuando in letteratura le principali sfide riscontrate dalle imprese nell'utilizzo delle tecnologie digitali per l'Economia Circolare e prendendo come riferimento in particolare il lavoro di Trevisan et alii (2023); 2) mettendo in luce come il processo di 'innovazione aperta' realizzato da DigiCirc ha indirizzato queste sfide e sottolineando come e in quali sfide ha contribuito il Design Sistemico.

Attraverso la discussione dei risultati del progetto DigiCirc questo articolo intende riconoscere il ruolo del Design Sistemico all'interno di un processo di 'innovazione aperta' per accelerare la transizione ecologica e digitale delle PMI europee. In questo scenario il Design Sistemico ha contribuito a: 1) innescare e sostenere un dialogo intersettoriale con diversi stakeholder tematici, industriali e accademici; 2) trasferire la conoscenza sia all'interno che all'esterno dell'ecosistema DigiCirc; 3) rafforzare la comprensione sistemica nelle PMI manifatturiere e di servizi. Inoltre questo lavoro si rivolge in particolare agli studiosi e ai professionisti del design che si occupano di 'innovazione aperta' e di sistemi socio-tecnici in ambienti industriali e interdisciplinari, mettendo in luce il contributo del Design Sistemico nella creazione di ecosistemi di innovazione ecologica e digitale.

L'articolo si sviluppa come segue: i primi tre paragrafi inquadrano la ricerca nel background di riferimento relativo alla 'innovazione aperta', all'uso di strumenti digitali a supporto dell'Economia Circolare e al design; il quarto paragrafo chiarisce la metodologia utilizzata, seguito da un approfondimento relativo al progetto europeo DigiCirc preso come caso studio di questo lavoro; il sesto paragrafo discute le fasi e i risultati del progetto, esplicitando il contributo dei ricercatori di Design Sistemico coinvolti; il settimo e ultimo paragrafo mette in luce le limitazioni di questo lavoro suggerendone gli sviluppi futuri (Fig. 1).

Innovazione aperta | Il concetto di 'innovazione aperta' è stato teorizzato per la prima volta da Chesbrough (2003) e definito come il flusso di risorse necessarie ad attivare un processo innovativo che oltrepassa i confini aziendali. Questo flusso può essere, o meno, regolato da meccanismi pecuniari (Chesbrough, 2006) e può avvenire dall'esterno verso l'interno, dall'interno verso l'esterno o in entrambi i versi (Gassmann and Enkel, 2004). Successivamente Keupp e Gassmann (2009) hanno ampliato il concetto di 'innovazione aperta', collegandolo al grado di permeabilità delle imprese verso l'ambiente esterno.

Vista l'attuale globalizzazione dell'industria manifatturiera e la crescente complessità delle sfide che la transizione ecologica e digitale richiede, la 'innovazione aperta' ha assunto un'importanza crescente nella ricerca accademica e nelle applicazioni industriali (Obradović, Vlačić and Dabić, 2021). Infatti secondo una recente analisi della letteratura effettuata da Wu et alii (2022) sulla 'innovazione aperta' nelle aziende manifatturiere, i temi su cui si concentra maggiormente la ricerca in questo tema riguardano la collaborazione (Gianpoulou, Barlatier and Pénin, 2019), la digitalizzazione (Zhang et alii, 2021), le strategie aperte (Vahter, Love and Roper, 2014) e la performance dell'innovazione (Kobarg, Stumpf-Wollersheim and Welpe, 2019).

Il presente contributo si concentra soprattutto sui primi due e su come essi siano strettamente collegati attraverso il Design Sistemico. Difatti, da un lato la collaborazione tra diversi stakeholders abilita la 'innovazione aperta' nelle imprese manifatturiere poiché integra le conoscenze e le risorse mancanti all'interno delle aziende (Wu et alii, 2022), dall'altro le tecnologie digitali combinano più facilmente le risorse aziendali con le esigenze e i bisogni del mercato o di altre imprese (Amit and Han,

2017; Annarelli et alii, 2021). Ecco perché un approccio sistemico è necessario per poter cogliere appieno le opportunità che la 'innovazione aperta' e gli strumenti digitali offrono all'interno dell'ecosistema dell'innovazione.

Strumenti digitali ed Economia Circolare | Con l'avvento dell'Industria 4.0, le tecnologie digitali applicate a prodotti, processi e servizi sono state identificate come abilitatori della transizione circolare (Antikainen, Uusitalo and Kivikytö-Reponen, 2018; Ranta, Aarikka-Stenroos and Väisänen, 2021). Anche l'Europa ne ha fatto uno dei tre assi portanti del Green New Deal (European Commission, 2019), poiché rende le imprese più produttive, integrate, intelligenti ed efficienti² e permette loro di prendere decisioni basate su dati concreti, tracciabili e trasparenti, consentendone la condivisione con tutti gli stakeholder lungo la catena del valore.

Pagoropoulos, Pigosso e McAlloone (2017) hanno fornito una classificazione delle tecnologie digitali, dividendole in tre categorie in base alla loro funzione: raccolta dei dati, integrazione dei dati e analisi dei dati. Esempi di tecnologie per la raccolta dati includono RFID, Internet of Things (IoT) e Cyber-Physical Systems (CPS); tra quelle per l'integrazione dei dati ci sono i Cloud e le Blockchain; infine tecnologie che analizzano i dati includono i Big Data Analytics e l'Intelligenza Artificiale (Ranta, Aarikka-Stenroos and Väisänen, 2021). Le tecnologie digitali permettono quindi di raccogliere, processare e indirizzare grandi quantità di dati, creando le condizioni necessarie affinché si mettano in pratica i cicli di interconnessione previsti dall'Economia Circolare. In questo modo si abbattano diverse barriere, fisiche e di conoscenza, rendendo più permeabili le imprese verso l'ambiente esterno (Keupp and Gassmann, 2009) e agevolando l'implementazione di processi di 'innovazione aperta' (Rachinger et alii, 2018).

Tuttavia un recente studio di Trevisan et alii (2023) ha identificato le 45 barriere che ostacolano l'impiego delle tecnologie digitali per l'Economia Circolare da parte delle imprese, effettuando un'analisi sistemica e multi-livello e classificandole nelle seguenti dimensioni: 1) di gestione della conoscenza; 2) finanziarie; 3) di gestione dei processi e governance; 4) tecnologiche; 5) relative a prodotti e materiali; 6) logistiche; 7) comportamentali; 8) relative alle policy. Quindi è possibile affermare che la digitalizzazione è un catalizzatore a livello di sistema per l'Economia Circolare poiché ne indirizza la complessità su più scale e livelli, facilitando i collegamenti. Tuttavia è necessario avere un approccio sistemico per capire e interpretare meglio prodotti e processi nella complessità e per poter massimizzare le potenzialità della digitalizzazione e dell'Economia Circolare (Eisenreich, Füller and Stuchtey, 2021).

Design Sistemico | Dall'integrazione del pensiero sistemico con la disciplina del Design è nato il Design Sistemico, che applica un approccio olistico alla progettazione di prodotti, servizi e sistemi (Jones, 2014), supportando al tempo stesso la collaborazione attiva tra diversi stakeholder (Giraldo Nohra, Pereno and Barbero, 2020). Come ha spiegato Jones (2014), la disciplina del Design si è evoluta nel tempo, allargando sempre di più il proprio dominio e ambito d'azione, passando quindi dal

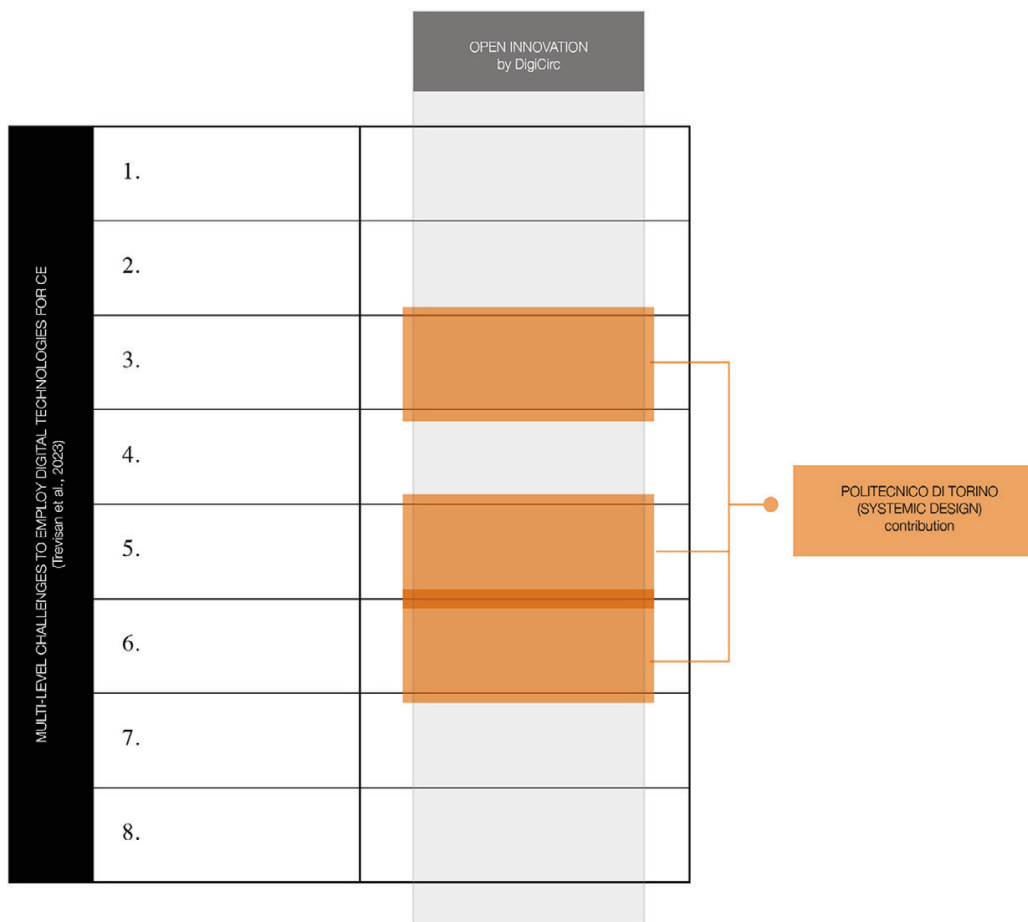
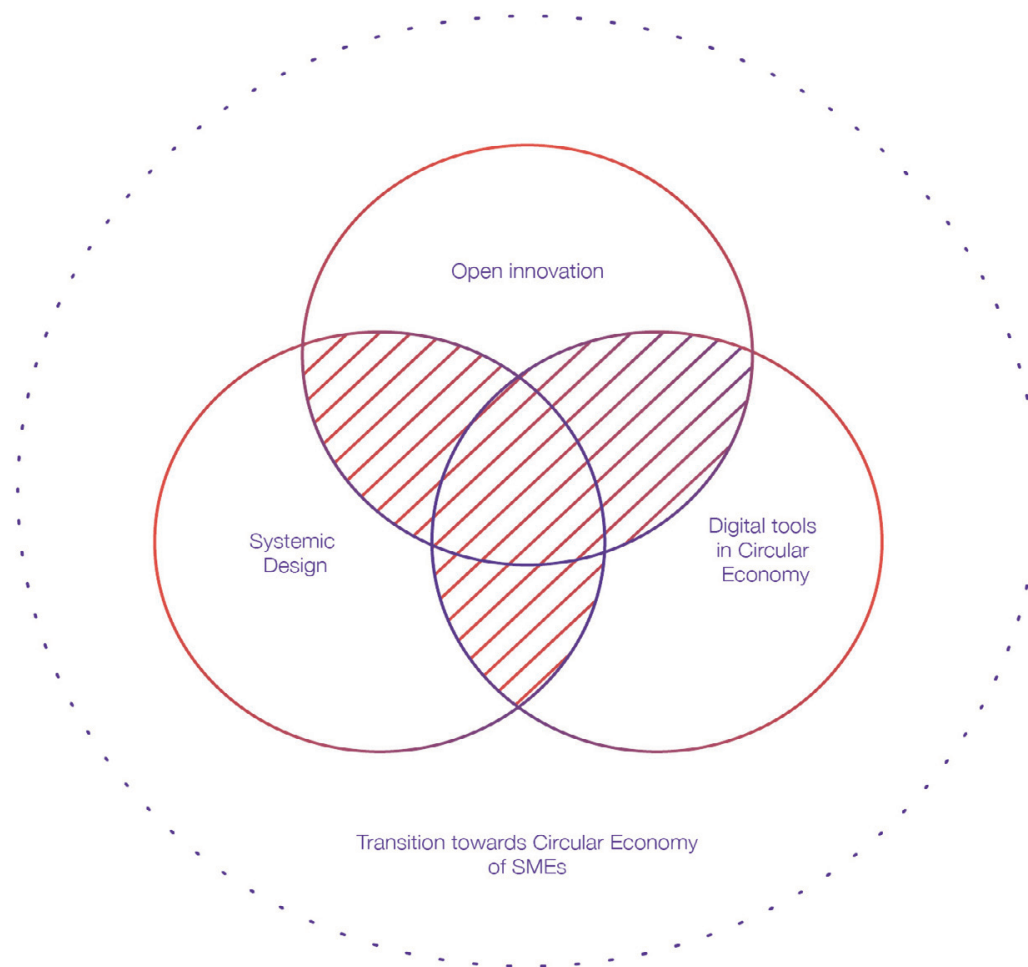


Fig. 1 | Research background (credit: the Authors, 2023).

Fig. 2 | Methodology framework (credit: the Authors, 2023).

design per la produzione di artefatti al design che si occupa di trasformazioni sociali complesse. Di conseguenza, anche i metodi del design sono evoluti integrando conoscenze tecniche di base proprie del design a metodi di co-progettazione con altri stakeholder che includono mappe, visualizzazioni e riconfigurazioni di sistemi complessi. Questo tipo di evoluzione nasce per rispondere a problemi complessi e interconnessi come il cambiamento climatico o la transizione verso l'Economia Circolare per cui è necessaria la collaborazione di diversi esperti con conoscenze e competenze diverse.

Pereno e Barbero (2020) hanno identificato in letteratura sei domini del design che si occupano di unire la ricerca e le pratiche del design con i problemi complessi: Product / Service System (PSS) Design, Systems-Oriented Design, Advanced Design, Design for Sustainability Transitions, Transition Design e il Design Sistemico. Quest'ultimo si concentra sui processi produttivi e si occupa di progettare i flussi di materia ed energia da un componente all'altro del sistema, trasformando gli output di un processo in input per un altro. L'obiettivo finale del Design Sistemico è quello di tendere a emissioni zero e di generare sistemi socio-tecnici locali resilienti; secondo Bistagnino (2009) esso si basa su cinque principi fondamentali: 1) Output / Input – gli scarti di un sistema produttivo diventano risorse per un altro; 2) Relazioni – le relazioni all'interno del sistema generano il sistema stesso; 3) Autopoiesi – un sistema autopoietico è un sistema resiliente, in grado di rigenerarsi ed evolvere nel tempo; 4) Agire Localmente – il contesto in cui si opera è fondamentale per localizzare l'innovazione sulla base delle risorse disponibili; 5) L'umanità al centro del progetto – l'essere umano, in relazione al suo contesto ambientale, sociale, culturale ed economico, è al centro del progetto.

Poiché si stima che l'80% degli impatti a livello ambientale è generato nella fase di progettazione (Thackara, 2006), è necessario cambiare il modo in cui pensiamo prodotti, processi o servizi sin dalle prime fasi di progettazione in modo tale da affrontare il problema a monte e non solo a valle. In questo senso il Design Sistemico offre metodi e strumenti utili per indirizzare la complessità, pertanto applicato ai processi aziendali offre una lente più ampia per la progettazione di nuovi prodotti, servizi e sistemi innovativi.

Metodologia | Dall'analisi della letteratura sintetizzata nei paragrafi precedenti emerge come l'attuazione di processi di 'innovazione aperta' così come l'utilizzo di strumenti digitali, possono accelerare la transizione e l'implementazione dell'Economia Circolare all'interno delle imprese. Tuttavia è necessario un approccio sistemico in modo tale da poter indirizzare la complessità dei cicli di interconnessione multi-livello e multi-scala che l'Economia Circolare richiede e poter sfruttare appieno le potenzialità sia della 'innovazione aperta' che degli strumenti digitali.

Per questo motivo il presente contributo suggerisce l'approccio e gli strumenti del Design Sistemico a supporto di un processo di 'innovazione aperta' per le PMI europee al fine di favorire la loro transizione ecologica e digitale per validare questa ipotesi viene presentato il caso studio del progetto europeo DigiCirc, sottolineando il con-

tributo apportato dai ricercatori di Design Sistemico del Politecnico di Torino, sia in qualità di partner nel processo di ‘innovazione aperta’ messo in atto da DigiCirc sia con attività di supporto alle imprese coinvolte.

Il presente contributo illustra una ricerca qualitativa multi-metodo che integra e corrobora i dati derivanti dalla revisione della letteratura con quelli ottenuti dal caso studio DigiCirc che offre uno spazio di sperimentazione delle sfide riscontrate in letteratura con i dati raccolti sul campo. Nello specifico la metodologia adottata si divide in due fasi: in primo luogo sono state individuate in letteratura le principali sfide riscontrate dalle imprese nell’utilizzo delle tecnologie digitali per l’Economia Circolare, prendendo come riferimento il lavoro di Trevisan et alii (2023); in secondo luogo l’analisi mette in luce come il processo di ‘innovazione aperta’ realizzato da DigiCirc ha indirizzato queste sfide, sottolineando come e in quali sfide i ricercatori di Design Sistemico hanno contribuito. Questa metodologia consente quindi una maggiore generalizzazione dei risultati (Hesse-Biber and Johnson, 2015) dati dalla complementarità dei metodi, dove l’uno integra l’altro, rafforzando la ricerca (Reis, Amorim and Melão, 2019; Fig. 2).

Il caso studio DigiCirc | Il progetto europeo DigiCirc (HORIZON2020 – INNOSUP-01) affronta la transizione ecologica e digitale delle PMI europee con processi di ‘innovazione aperta’ e una prospettiva a quadrupla elica, in tre domini strategici: Circular Cities, Blue Economy e Bioeconomy. L’obiettivo principale di DigiCirc è supportare le PMI europee nello sviluppo di soluzioni digitali scalabili che contribuiscano all’Economia Circolare. Il progetto ha coinvolto 11 partner provenienti da 10 Paesi europei con l’obiettivo di creare un ecosistema di ‘innovazione aperta’ trans-europeo offrendo alle imprese una gamma completa di servizi a supporto dell’innovazione.

Il progetto ha adottato un approccio sistemico per indirizzare la complessità di queste transizioni, articolandosi in quattro macro-fasi: 1) la creazione dell’ecosistema di ‘innovazione aperta’ trans-europeo; 2) la realizzazione di tre campagne di coinvolgimento di stakeholder complementari e multidisciplinari, definendo congiuntamente le principali sfide di Economia Circolare all’interno dei tre domini strategici; 3) il lancio di tre programmi di accelerazione per PMI europee, selezionate tramite tre bandi aperti; 4) la realizzazione di contenuti e strumenti olistici a supporto dell’innovazione (tematica, tecnica, commerciale, legale). L’obiettivo di queste attività è implementare un processo sistemico di ‘innovazione aperta’, per sostenere le imprese nello sviluppo di strategie go-to-market concrete e lanciare sul mercato prodotti o servizi digitali per l’Economia Circolare (Figg. 3, 4).

Fasi, risultati e discussione | Attraverso il progetto DigiCirc il contributo indaga e dimostra come l’approccio del Design Sistemico supporti la transizione ecologica e digitale e contribuisca alla configurazione di un processo di ‘innovazione aperta’ per le PMI europee. Le quattro macro-fasi del progetto illustrano come si è attuato il processo di ‘innovazione aperta’ in DigiCirc e qual è stato il contributo del Politecnico di Torino e, nello specifico, dei ricercatori di Design Sistemico coinvolti.

Fase 1 – Creazione dell’ecosistema transeu-

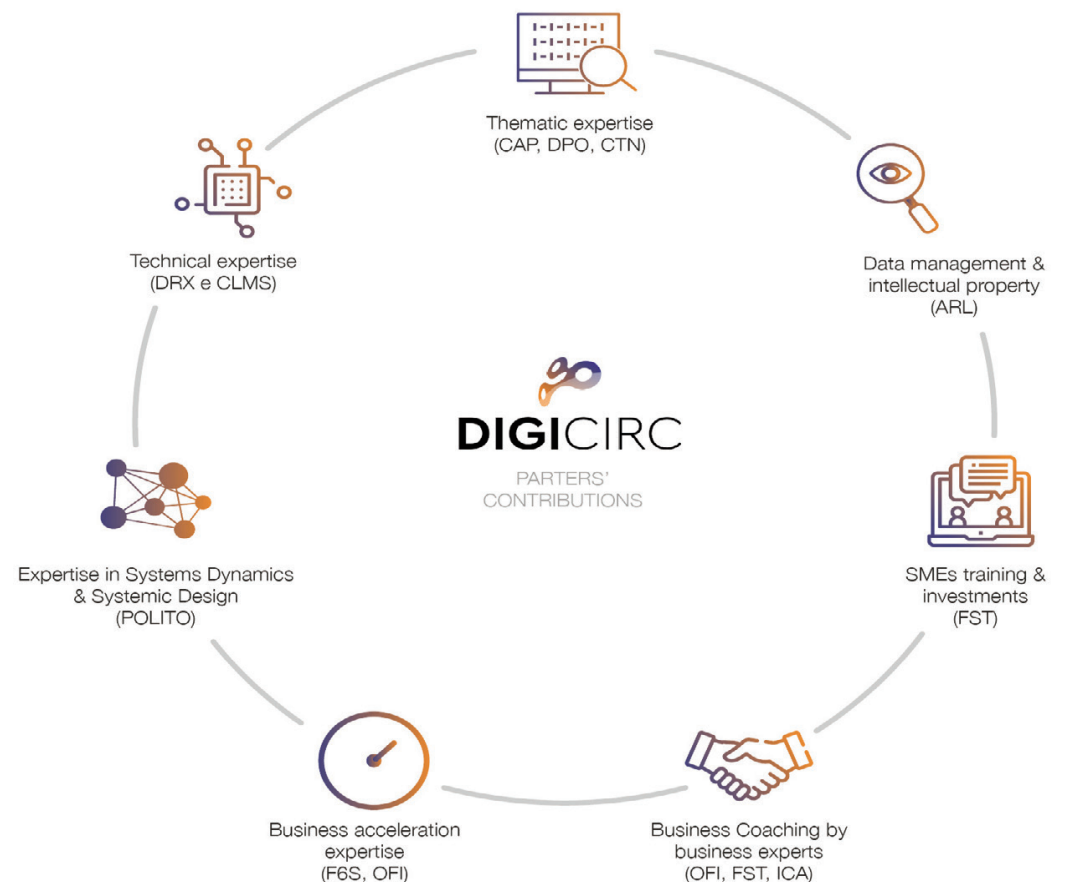


Fig. 3 | European partners involved in the DigiCirc project: Digipolis (DPO), F6S (F6S), Arthur’s legal (ARL), Cap Digital (CAP), Inspiring Culture Association (ICA), Politecnico di Torino (POLITO), Officine Innovazione (OFI), Fasttrack Action (FST), Centro Tecnologico y Naval (CTN), Draxis (DRX) and CLMS (source: digicirc.eu).

Fig. 4 | Multi-disciplinary contributions from partners within DigiCirc (credit: the Authors, 2023).

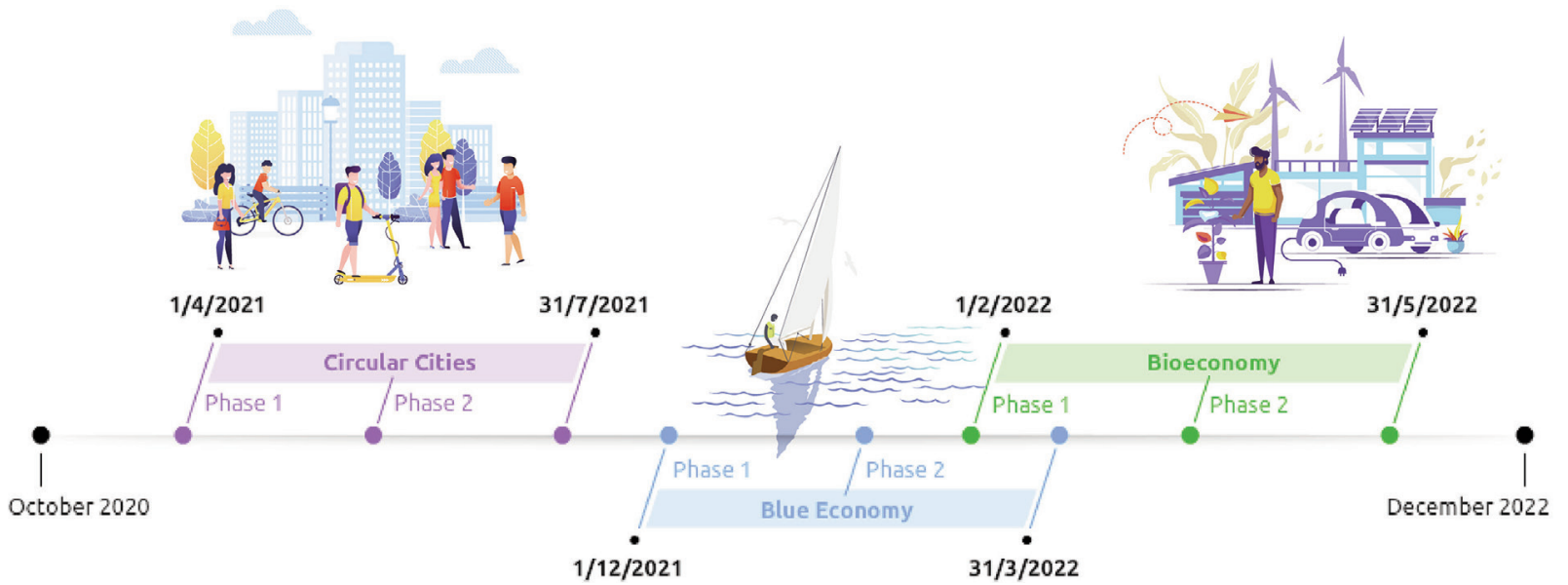


Fig. 5 | Phases of business accelerators (source: digicirc.eu).

Fig. 6 | DigiCirc Open Innovation Ecosystem (source: digicirc.eu).

Next page

Fig. 7 | Digital tools developed within DigiCirc (credit: the Authors, 2023).

ropeo DigiCirc. 11 partner provenienti da 10 Paesi europei hanno offerto alle imprese una gamma completa di servizi a supporto dell'innovazione, tra cui: competenze tematiche, tecniche e di accelerazione aziendale; competenze in materia di Systems Dynamics e Design Sistemico; supporto in materia di protezione dei dati e della proprietà intellettuale; formazione delle PMI sugli investimenti; servizi di coaching forniti da esperti aziendali. Il Politecnico di Torino è stato coinvolto per fornire le proprie competenze sul Design Sistemico e sul Systems Dynamics e nel coordinamento

della produzione e trasferimento della conoscenza prodotta.

Fase 2 – Coinvolgimento degli stakeholders e definizione delle sfide di Economia Circolare. Diversi stakeholder complementari e multidisciplinari appartenenti a cluster innovativi, Università, PMI, investitori ed Enti pubblici sono stati coinvolti per definire le principali priorità di Economia Circolare all'interno dei tre domini strategici. Queste priorità hanno guidato la definizione delle sfide specifiche all'interno dei programmi di accelerazione, per un totale di 17 sfide (4 per il bando Cir-

cular Cities, 7 per il bando Blue Economy e 6 per il bando Bioeconomy). Il Politecnico di Torino ha contribuito alla selezione dei cluster industriali e delle competenze accademiche coinvolte nella discussione sulle priorità della Economia Circolare.

Fase 3 – Lancio dei tre programmi di accelerazione, attraverso altrettanti bandi aperti, uno per ogni dominio strategico, a cui si sono candidati consorzi d'impresa con una proposta di strumento o servizio digitale per affrontare le sfide identificate. Su un totale di 139 domande pervenute, 48 consorzi che rappresentano un totale di 100 PMI provenienti da 26 Paesi, sono stati selezionati per partecipare ai programmi di accelerazione (17 per il bando Circular Cities, 15 per il bando Blue Economy, 16 per il bando Bioeconomy). Un budget totale di 2,3 milioni di euro è stato distribuito tra le PMI per sostenerle nel processo di innovazione. Il Politecnico di Torino ha supportato la diffusione dei bandi aperti attraverso e-mail dirette, campagne sui social media, newsletter rivolte a cluster, imprese o start-up del proprio network.

Fase 4 – Realizzazione di contenuti e strumenti olistici per l'innovazione. L'ecosistema DigiCirc ha sviluppato durante tutto il progetto quattro strumenti digitali per assistere le imprese nella progettazione e commercializzazione delle loro soluzioni innovative, denominati: Circular Economy Data Hub, Industrial Symbiosis Platform, Match-making tool e Infoportal. Inoltre DigiCirc ha progettato e sviluppato: 17 MOOC (Massive Online Open Courses), 18 ore di contenuti didattici digitali per ampliare conoscenze e competenze trasversali in diversi domini tematici e tecnici (il set di corsi comprendeva corsi obbligatori e facoltativi, con una valutazione finale per verificare le competenze apprese); 7 workshop (circa 8 ore per consorzio) per approfondire gli argomenti trattati nei corsi e favorire lo scambio di idee e le opportunità di networking; 6 sessioni individuali con un mentore tematico (incontri bisettimanali) per ricevere indicazioni e feedback su aspetti specifici del proprio progetto; circa 13 sessioni individuali con un business coach (incontri settimanali) per ricevere consigli personalizzati e supporto per lo sviluppo della propria attività.

Il Politecnico di Torino è stato responsabile nello sviluppare l'offerta formativa, coordinare i

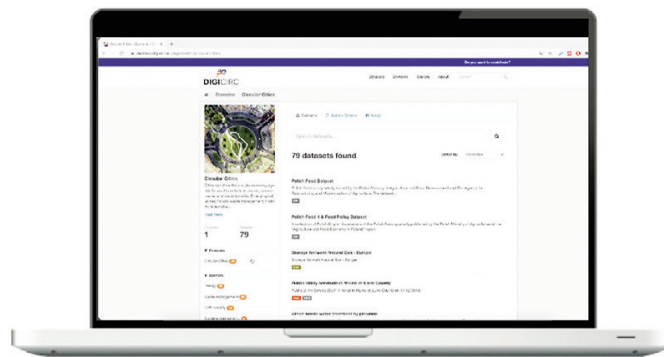
partner nella creazione dei contenuti e sviluppare internamente la piattaforma digitale che ospita i MOOC. Inoltre come titolari del corso di Design Sistemico presente tra i MOOC, il Politecnico ha condotto dei workshop insieme alle imprese, supportando i 48 consorzi nell'attuazione dell'approccio e degli strumenti del Design Sistemico nei loro processi aziendali e ha valutato gli elaborati svolti da loro all'interno del corso. Infine ha coinvolto 4 mentori tematici a supporto delle imprese (Figg. 5-7).

La Tabella 1 approfondisce gli strumenti sviluppati durante il progetto, esplicitandone la struttura, i contenuti e i limiti. Dettagliando il modo in cui si è svolto il processo di 'innovazione aperta' all'interno di DigiCirc, la Tabella 2 invece riassume il contributo originale di questo articolo: riprendendo le principali sfide riscontrate dalle imprese nell'utilizzo delle tecnologie digitali per l'Economia Circolare (Trevisan et alii, 2023), l'analisi identifica e rende esplicito in che modo il processo di 'innovazione aperta' messo in atto all'interno di DigiCirc ha affrontato queste sfide, mettendo in evidenza il contributo del Design Sistemico (Figg. 8-10).

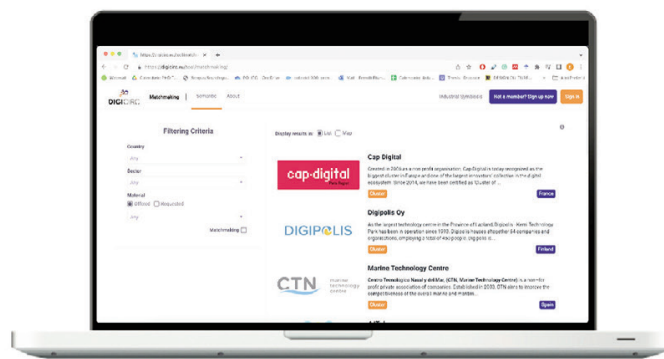
Conclusioni, limitazioni e sviluppi futuri | Come si evince dalla Tabella 2 il Design Sistemico ha contribuito al processo di 'innovazione aperta' messo in atto da DigiCirc, indirizzando 5 sfide su 8 presenti in letteratura. Dai dati raccolti attraverso il caso studio DigiCirc, il presente contributo è originale poiché dimostra come l'approccio del Design Sistemico supporti la transizione ecologica e digitale e contribuisca alla configurazione di un processo di 'innovazione aperta' per le PMI europee. Nello specifico il Design Sistemico ha supportato il processo prevalentemente nella parte di gestione della conoscenza, dei processi e dei flussi di prodotti e materiali ma anche nel superamento di una barriera tecnologica e nell'indirizzare le future policy a supporto della transizione ecologica e digitale. Più generalmente ha contribuito a: 1) innescare e sostenere un dialogo intersettoriale con diversi stakeholder tematici, industriali e accademici; 2) trasferire la conoscenza sia all'interno che all'esterno dell'ecosistema DigiCirc; 3) rafforzare la comprensione sistemica nelle PMI manifatturiere e di servizi.

Risulta invece mancante il contributo nell'indirizzare sfide finanziarie, logistiche e comportamentali; sebbene le prime risultino fuori dall'approccio e dai metodi contemplati dal Design Sistemico, sfide logistiche e comportamentali risultano sicuramente un limite di questo studio, in quanto perfettamente contemplate all'interno dei cinque principi del Design Sistemico e prese in considerazione nella prassi progettuale. Pertanto studi futuri potrebbero indagare maggiormente questi aspetti a completamento dell'attuale contributo.

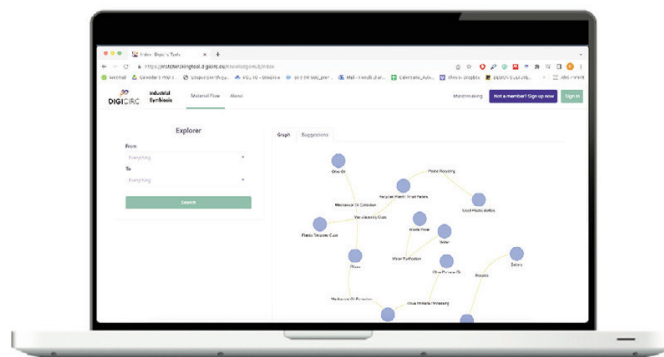
Altre limitazioni riguardano gli strumenti sviluppati durante il programma che, sebbene rispondano alla necessità di accentrare la conoscenza in specifiche piattaforme o strumenti digitali così da limitare la frammentazione delle informazioni e abilitare processi di Economia Circolare, tuttavia necessitano di un aggiornamento costante per garantirne la sostenibilità anche oltre la fine del progetto. Un'altra importante limitazione è stata determinata dall'avvento della pandemia che ha interessato gran parte dello svolgimento del progetto, limitando le occasioni di incontro in



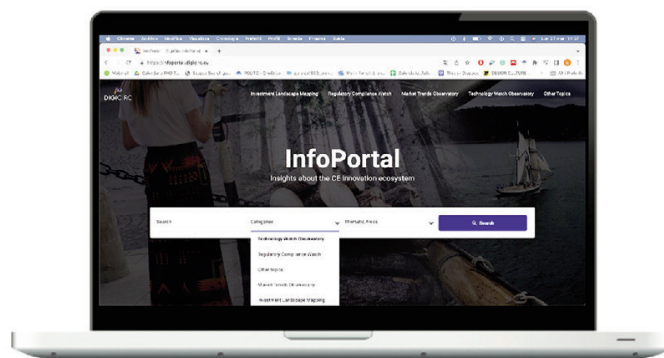

Circular economy data hub



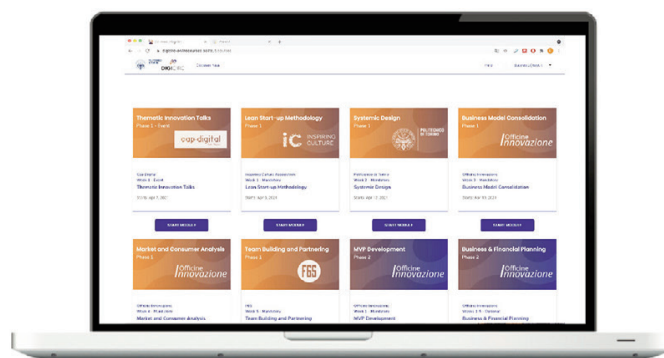

Matchmaking Tool




Industrial Symbiosis Platform




InfoPortal




MOOC platform

Tool name	Structure	Description	Limits
Circular Economy Data Hub	Web Tool Datasets	This tool can be used to find data on waste, people, energy, etc., collected in specific datasets, and sorted by sector, tag, format and licence The CE data hub is an automated data acquisition and pre-processing system, acting as a multi-source and centralized repository of information and measurements derived from many sources	The tool tends to the needs of non-technical managers but it is mainly oriented for programmers
Industrial Symbiosis platform	Web Tool Waste Streams	This tool can be used to access an interactive catalogue of real-life 'waste streams', connected in input and output, in order to find potential suppliers and partners All the registered resources and processes are stored following a state-of-the-art knowledge graph architecture, which is the key component of the Industrial Symbiosis tool.	This tool needs a constant update of waste streams available, and is currently underdeveloped It should be widely advertised and filled in order to give the chance to create effective connections among potential partners
Matchmaking tool	Web Tool Partner Description and Contacts	This tool can be used to find and connect with future business partners and potential customers, sorted by country, sector and material	This tool should be widely advertised and filled with profile and contact descriptions, to increment matchmaking possibilities
Infoportal	Web Tool Articles and Posts	This tool can be used to gain knowledge on investment opportunities, regulatory landscape, market and tech trends, sorted by categories and strategic domains	Articles and posts of this tool are currently insterted manually by DigiCirc partners An algorithym may authomatize this procedure
MOOCs platform	Web Tool Video-lessons and Assessments	This tool can be used to gain knowledge on transversal topics related to Innovation, Circular Economy, Business and Marketing, through a variety of short video-lessons, articles, reports, and short assessments	After the project's end the courses' assessment is not guaranteed and the knowledge acquired can't be evaluated and certified.

Tab. 1 | Contents, structure and limits of the tools developed within DigiCirc (credit: the Authors, 2023).

Next page

Tab. 2 | Synoptic framework of the main challenges faced by companies in the use of digital technologies for the Circular Economy and the process of 'open innovation' implemented within DigiCirc with evidence of the contribution of Systemic Design researchers of Politecnico di Torino (credit: the Authors, 2023).

presenza e quindi minando le opportunità di riunione in presenza tra partner e imprese; l'emergenza sanitaria ha richiesto, inoltre, maggiore sforzo e coordinamento nella produzione dei contenuti per la piattaforma MOOC, soprattutto nella fase di registrazione.

Nonostante ciò durante il progetto sono state condivise alcune buone pratiche che forniscono nuove prospettive per ulteriori progetti nell'ambito della transizione ecologica e digitale tra cui: il supporto alle imprese di un business coach e un mentore tematico su base settimanale e mensile, figure particolarmente apprezzate dalle imprese utili a fornire una guida rispetto a modelli di business e con una visione a lungo termine; la creazione di consorzi di imprese con competenze trans-settoriali e TRL simili, per un allineamento su bisogni e visioni; il coinvolgimento di potenziali investitori già nella fase di selezione delle PMI, così da aumentare l'aderenza delle soluzioni proposte al mercato; infine, la formazione di un team eterogeneo di partner con background e competenze diverse per indirizzare meglio la complessità e fornire alle imprese uno spettro più ampio nella progettazione di nuovi prodotti, servizi e sistemi innovativi.

Presentando il caso studio DigiCirc, questo contributo quindi dimostra come il Design Sistemico fornisca un valido apporto alla creazione di ecosistemi di innovazione digitale sostenibili e per

il superamento delle barriere che impediscono alle aziende di abbracciare appieno la transizione ecologica e digitale. I risultati presentati sono utili e rilevanti per tutti gli studiosi e i professionisti del design che si occupano di 'innovazione aperta' e di sistemi socio-tecnici in ambienti industriali e interdisciplinari, poiché offrono una base empirica per supportare l'adozione del Design Sistemico come strumento chiave per la creazione di un futuro più sostenibile e digitalizzato.

The ecological and digital transition are closely related challenges, crucial in the current era of transformation. Central to the debate is the shift from a linear production and economic model, based on resource exploitation, to a circular and regenerative one focused on eliminating waste and pollution, keeping products and materials in use, and regenerating natural systems (Ellen MacArthur Foundation, 2015). The European Union recognised the importance of this transition in 2015, defining its trajectories within the Circular Economy Action Plan (European Commission, 2020a), a strategic plan focused on Circular Economy actions and supported by the stakeholders of the Quadruple Helix (Universities, Companies, Society and Government). In this scenario, digital-

isation is considered a key factor in achieving the goals of the Circular Economy (Antikainen, Uusitalo and Kivikytö-Reponen, 2018), as digital technologies make it possible to connect material resources, integrate value chains and facilitate dialogue between actors, fostering shared processes and accelerating their implementation (Amit and Han, 2017).

However, how does is this translated to the corporate level? How are European Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) supported? Are they able to turn the challenges posed by the ecological and digital transition into business opportunities? Correctly targeting these challenges requires a systemic approach capable of understanding and placing products and processes within complexity, recognising the interconnectedness of different aspects, and thus maximising the potential of digitalisation and the Circular Economy (European Commission, 2020a). The European project DigiCirc (H2020 – INNOSUP-01)¹ is part of this scenario, addressing the ecological and digital transition with 'open innovation' processes and a quadruple helix perspective in three strategic domains: Circular Cities, Blue Economy, and Bioeconomy.

The project was structured in four macro-phases: 1) the creation of a trans-European 'open innovation' ecosystem; 2) the implementation of

**Multi-level challenges for
the use of digital technologies for CE**
(Trevisan et alii, 2023)

Open Innovation by DigiCirc

Challenges	Description	Evidences	Politecnico di Torino (Systemic Design)'s contribution
Knowledge Management	Concerning the lack of technical and environmental knowledge to guide the transition to EC	17 MOOCs 7 workshops 6 individual session with a thematic mentor	provide expertise on Systemic Design and Systems Dynamics develop training and coordinate partners in content creation transfer knowledge within and outside the DigiCirc ecosystem and beyond the end of the project conduct the Systemic Design workshop with the SMEs, for each accelerator suggest 4 thematic mentors
Financial	Concerning the lack of financial and investment resources or knowledge	13 individual sessions with a business coach 9 meetings with investors to support the launch of products / services on the market € 2.3M to support SMEs 5 MOOC courses: Business Model consolidation; MVP development; Commercial launch strategy; Access to capital; Business and financial planning	
Process Management & Governance	Concerning the lack of management support, cooperation between partners, innovation capacity and long-term planning	17 challenges for the transition to CE in the 3 domains 48 SMEs consortia with complementary expertise 3 business accelerator programs, with thematic, technical support, networking activities provided by 11 partners with cross-disciplinary and multidisciplinary expertise 1 MOOC course: Intellectual Property Support	selection and involvement of the industrial clusters and academic expertise in the discussion of CE priorities dissemination of open calls to Clusters, companies or start-ups within Politecnico di Torino's network
Technologic	Concerning the availability of digital tools, technical infrastructure and difficulties in data management	4 digital tools developed: the Circular Economy Data Hub; the Industrial Symbiosis Platform; the 'Matchmaking tool; and the Infoportal 1 MOOC platform implemented	development of the Open-EdX MOOCs platform
Products & Materials	Concerning the circular flow of products and materials	3 MOOCs courses: Systemic Design; Systems Dynamics; Resource Management 2 digital tools: Circular Economy Data Hub; the Industrial Symbiosis Platform 6 individual sessions with a thematic mentor	development of the Systemic Design course's contents and evaluation of the companies' assignments for the course
Reverse Logistic & Infrastructure	Concerning the lack of knowledge and infrastructure to implement reverse logistics	1 MOOC course on Resource Management 2 digital tools: the Industrial Symbiosis Platform; the Matchmaking tool	
Behaviours	Concerning the behaviour of all actors involved	1 digital tool: Matchmaking Tool 1 MOOC course: Market and Consumers analysis	
Policy & Regulations	Concerning the lack of economic incentives or government policies to support CE	3 meetings with the European Commission's Project Officer to review the project progress and implement corrections 1 policy brief to gather all insights from the project, which will be disseminated among entities and institutions at national and European levels 1 Circular Innovation Priority report, to identify key priorities for circular innovation in Europe 1 contribution in the European Commission's Ecodesign Regulation (Directive 2009/125/EC)	participation in meetings with the Project Officer from the European Commission (future) contribution to the Policy Brief and the Circular Innovation Priority report



Fig. 8 | DigiCirc Project Progress Meeting (credit: the Authors, 2023).

three stakeholder engagement campaigns, jointly defining the main challenges of Circular Economy within the three strategic domains; 3) the launch of three accelerator programs for European SMEs, selected through three open calls; and 4) the creation of holistic set of contents and tools to support innovation (thematic, technical, business, legal). Through the DigiCirc project, this paper aims to investigate how the Systemic Design approach supports the ecological and digital transition and contributes to the configuration of an 'open innovation' process (Chesbrough, 2003) for European SMEs.

The contribution is based on multi-method research that integrates and corroborates data from the literature review with data obtained from the DigiCirc case study. Specifically, the methodology operates in two phases: 1) by identifying, within the literature, the main challenges encountered by companies when using digital technologies for the Circular Economy, specifically referencing the work of Trevisan et alii (2023); 2) by highlighting how the 'open innovation' process carried out through DigiCirc has addressed these challenges and underlining the ways and challenges in which Systemic Design has contributed.

By discussing the results of the DigiCirc project, this article aims to recognise the role of Systemic Design within an 'open innovation' process to accelerate the green and digital transition of European SMEs. In this scenario, Systemic Design has contributed to: 1) trigger and support an intersectoral dialogue with different thematic, industrial and academic stakeholders; 2) transfer knowledge both within and outside the DigiCirc ecosystem; 3) strengthen systemic understanding in manufacturing and service SMEs. Furthermore, this work is specifically geared toward design scholars and practitioners dealing with 'open innovation' and socio-technical systems in industri-

al and interdisciplinary environments, emphasising the contribution of Systemic Design in creating ecosystems of ecological and digital innovation.

The article is structured as follows: the first three paragraphs frame the research within the reference background related to 'open innovation', to the use of digital tools in support of the Circular Economy, and to design; the fourth paragraph clarifies the methodology used, followed by an in-depth discussion related to the European project DigiCirc, taken as a case study for this work; the sixth paragraph discusses the phases and results of the project, with explicit reference to the contribution of the involved Systemic Design researchers; the seventh and final paragraph highlights the limitations and suggests future developments (Fig. 1).

Open innovation | The concept of 'open innovation' was first theorised by Chesbrough (2003) and defined as the flow of resources needed to activate an innovative process that transcends company boundaries. This flow may or may not be regulated by monetary mechanisms (Chesbrough, 2006) and can take place from the outside inwards, from the inside outwards, or both ways (Gassmann and Enkel, 2004). Subsequently, Keupp and Gassmann (2009) expanded upon the concept of 'open innovation', linking it to the degree of permeability of companies to the external environment.

Given the current globalisation of the manufacturing industry and the increasing complexity of the challenges that the ecological and digital transition requires, 'open innovation' has become increasingly important in academic research and industrial applications (Obradović, Vlačić and Dabić, 2021). In fact, according to a recent analysis of the literature carried out by Wu et alii (2022) regarding 'open innovation' in manufacturing companies, re-

search in this area is mainly focused on the themes of collaboration (Giannopoulou, Barlatier and Pénin, 2019), digitalisation (Zhang et alii, 2021), open strategies (Vahter, Love and Roper, 2014) and innovation performance (Kobarg, Stumpf-Wollersheim and Welpe, 2019).

This contribution focuses mainly on the first two and the way they are closely linked through Systemic Design. Hence, on the one hand, collaboration among different stakeholders enables 'open innovation' in manufacturing companies because it integrates missing knowledge and resources within companies (Wu et alii, 2022); on the other hand, digital technologies more easily combine company resources with the needs and requirements of the market or other companies (Amit and Han, 2017; Annarelli et alii, 2021). This is why a systemic approach is necessary to fully grasp the opportunities that 'open innovation' and digital tools offer within the innovation ecosystem.

Digital Tools and Circular Economy | With Industry 4.0, digital technologies applied to products, processes and services have been identified as enablers of the circular transition (Antikainen, Uusitalo and Kivikyto-Reponen, 2018; Ranta, Aarikka-Stenroos and Väisänen, 2021). Europe has also made it one of the three pillars of the Green New Deal (European Commission, 2019), as it makes companies more productive, integrated, intelligent and efficient², able to make data-driven, traceable, and transparent decisions, which can be shared with all stakeholders along the value chain.

Pagoropoulos, Pigosso and McAlloone (2017) provided a classification of digital technologies, dividing them into three categories according to their function: data collection, data integration and data analysis. Examples of technologies for data collection include RFID, Internet of Things (IoT) and Cyber-Physical Systems (CPS); technologies for data integration include the Cloud and Blockchain; finally, technologies that analyse data include Big Data Analytics and Artificial Intelligence (Ranta, Aarikka-Stenroos and Väisänen, 2021). Digital technologies thus make it possible to collect, process and channel large amounts of data, creating the conditions to put into practice the interconnection cycles envisioned by the Circular Economy. In this way, several physical and knowledge barriers are broken down, making companies more permeable to the external environment (Keupp and Gassmann, 2009) and facilitating the implementation of 'open innovation' processes (Rachinger et alii, 2018).

However, a recent study by Trevisan et alii (2023) identified the 45 barriers to companies' use of digital technologies for the Circular Economy by conducting a systemic, multi-level analysis, and classifying them as follows: 1) knowledge management related; 2) financial; 3) process management and governance related; 4) technological; 5) product and material related; 6) logistical; 7) behavioural; and 8) policy related. Thus, it is possible to argue that digitalisation is a system-level catalyst for the Circular Economy because it addresses its complexity on multiple scales and levels and facilitates its connections. However, a systemic approach is necessary to better understand and interpret products and processes in complexity and to be able to maximise the potential of digital-

isation and the Circular Economy (Eisenreich, Füller and Stuchtey, 2021).

Systemic Design | Systemic Design, born from the integration of systemic thinking with the discipline of Design, applies a holistic approach to the design of products, services, and systems (Jones, 2014) while supporting active collaboration among different stakeholders (Giraldo Nohra, Pereno and Barbero, 2020). As explained by Jones (2014), Design as a discipline has evolved over time, increasingly broadening its domain and scope, thus moving from design for producing artefacts to design that deals with complex social transformations. As a result, design methods have also evolved, integrating basic technical knowledge of design to co-design methods with other stakeholders, including mapping, visualisations and reconfigurations of complex systems. This type of evolution has developed in response to complex and interconnected problems, such as climate change or the transition to a Circular Economy, for which the collaboration of different experts with diverse knowledge and skills is needed.

In the literature, Pereno and Barbero (2020) identified six domains of design that combine design research and practices with complex problems: Product / Service System (PSS), Systems-Oriented Design, Advanced Design, Design for Sustainability Transitions, Transition Design and Systemic Design. The latter focuses on production processes and deals with designing matter and energy flows from one system component to another, transforming the outputs of one process into inputs for another. The ultimate goal of Systemic Design is to strive for zero emissions and to generate resilient local socio-technical systems; according to Bistagnino (2009), it is based on five fundamental principles: 1) Output / Input – the waste of one production system becomes resources for another; 2) Relationships – relationships within the system generate the system itself; 3) Autopoiesis – an autopoietic system is a resilient system, able to regenerate and evolve; 4) Local Action – the context of operation is fundamental to localise innovation based on available resources; 5) Humanity at the centre of the project – the human being, in relation to its environmental, social, cultural and economic context, is at the centre of the project.

Since it is estimated that 80% of environmental-level impacts are generated in the design phase (Thackara, 2006), it is necessary to change the way we think about products, processes, or services from the earliest stages of design to address the problem upstream and not just downstream. In this sense, Systemic Design offers useful methods and tools to manage complexity; therefore, it provides a broader perspective for designing new innovative products, services, and systems when applied to business processes.

Methodology | The analysis of the literature, as summarised in the previous paragraphs, shows how the implementation of ‘open innovation’ processes, as well as the use of digital tools, can accelerate the transition and implementation of the Circular Economy within companies. However, a systemic approach is required to address the complexity of the multi-level, multi-scale interconnection cycles that the Circular Economy requires

and to take full advantage of the potential of both ‘open innovation’ and digital tools.

For this reason, this paper recommends the approach and tools of Systemic Design in support of an ‘open innovation’ process for European SMEs to facilitate their green and digital transition. The European DigiCirc, project case study, is presented to validate this hypothesis, highlighting the contribution made by researchers in Systemic Design at the Politecnico di Torino, both as partners in the ‘open innovation’ process implement-

ed by DigiCirc and through support activities for the companies involved.

This contribution employs multi-method qualitative research that integrates and substantiates data from the literature review with data obtained from the DigiCirc case study. The case study thus provides a space for testing the challenges found in the literature with data collected in the field. Specifically, the adopted methodology is divided into two phases: first, the main challenges encountered by companies in using digital technolo-



Figg. 9 | 10 | DigiCirc project event with a plenary presentation of innovative products and services developed by companies – BioEconomy DemoDay (credit: the Authors, 2023).

gies for the Circular Economy were identified in the literature, using the work of Trevisan et alii (2023) as a reference; second, the analysis highlights how the 'open innovation' process carried out by DigiCirc addressed these challenges, emphasising the extent to which Systemic Design researchers contributed. This methodology thus allows for greater generalisation of results (Hesse-Biber and Johnson, 2015) given the complementarity of the methods, where one integrates the other, strengthening the research (Reis, Amorim and Melão, 2019; Fig. 2).

The DigiCirc case study | The European project DigiCirc (HORIZON2020 – INNOSUP-01) addresses the ecological and digital transition of European SMEs, with 'open innovation' processes and a quadruple helix perspective, in three strategic domains: Circular Cities, Blue Economy and Bioeconomy. DigiCirc's main objective is to support European SMEs in developing scalable digital solutions that contribute to the Circular Economy. The project involved 11 partners from 10 European countries to create a trans-European 'open innovation' ecosystem by offering companies a full range of services to support innovation.

The project adopted a systemic approach to address the complexity of these transitions, articulated in four macro-phases: 1) the creation of the trans-European 'open innovation' ecosystem; 2) the implementation of three complementary and multidisciplinary stakeholder engagement campaigns, jointly defining the key Circular Economy challenges within the three strategic domains; 3) the launch of three accelerator programs for European SMEs, selected through three open calls; and 4) the creation of holistic content and tools to support innovation (thematic, technical, business, legal). These activities aim to implement a systemic process of 'open innovation' to support companies in developing practical go-to-market strategies and launching digital products or services for the Circular Economy into the market (Fig. 3, 4).

Phases, results, and discussion | Through the DigiCirc project, the contribution investigates and demonstrates how the Systemic Design approach supports the ecological and digital transition and contributes to shaping an 'open innovation' process for European SMEs. The four macro-phases of the project illustrate how the 'open innovation' process was implemented within DigiCirc and the extent of the contribution of the Politecnico di Torino, and more specifically, of the Systemic Design researchers involved.

Phase 1 – Creation of the DigiCirc trans-European ecosystem. 11 partners from 10 European countries offered companies a full range of services to support innovation, including: thematic, technical and business acceleration expertise; Systems Dynamics and Systemic Design expertise; data protection and intellectual property support; SME investment training; coaching services provided by business experts. The Politecnico di Torino was involved to provide its expertise on Systemic Design and System Dynamics, and in coordinating the production and transfer of the resulting knowledge.

Phase 2 – Stakeholder involvement and definition of Circular Economy challenges. Several

complementary and multidisciplinary stakeholders from innovative clusters, universities, SMEs, investors and public bodies were involved in defining the main Circular Economy priorities within the three strategic domains. These priorities guided the definition of specific challenges within the accelerator programs for 17 challenges (4 for the Circular Cities call, 7 for the Blue Economy call, and 6 for the Bioeconomy call). The Politecnico di Torino contributed to the selection of industrial clusters and academic skills involved in the discussion on the priorities of the Circular Economy.

Phase 3 – Launch of the three acceleration programs through open calls, one for each strategic domain, to which consortia of companies applied with a proposal for a digital tool or service to face identified challenges. Out of 139 applications received, 48 consortia representing 100 SMEs from 26 countries were selected to participate in the acceleration programs (17 for the Circular Cities call, 15 for the Blue Economy call, and 16 for the Bioeconomy call). A total budget of 2.3 million euros was distributed among SMEs to support them in the innovation process. The Politecnico di Torino supported the dissemination of open calls through direct e-mails, social media campaigns, newsletters aimed at clusters, and businesses or start-ups belonging to its network.

Phase 4 – Creation of holistic set of contents and tools for innovation. Throughout the project, the DigiCirc ecosystem developed four digital tools to assist companies in designing and commercialising their innovative solutions: the Circular Economy Data Hub, the Industrial Symbiosis Platform, the Matchmaking tool and the Infoportal. In addition, DigiCirc designed and developed: 17 MOOCs (Massive Online Open Courses), 18 hours of digital learning content to expand cross-disciplinary knowledge and skills in different thematic and technical domains (the set of courses included mandatory and optional courses, with a final assessment to test acquired knowledge); 7 workshops (about 8 hours per consortium) to delve deeper into the topics covered in the courses and encourage the exchange of ideas and networking opportunities; 6 individual sessions (biweekly meetings) with a thematic mentor for guidance and feedback on specific aspects of each participant's project; about 13 individual sessions (weekly meetings) with a business coach for personalised advice and support in developing each participant's business.

The Politecnico di Torino was responsible for developing the course curriculum, coordinating partners for content creation, and internally developing the digital platform which hosts the MOOCs. Furthermore, as the organisers of the MOOC Systemic Design course, the Politecnico conducted workshops with the companies, supporting the 48 consortia in implementing the Systemic Design approach and tools in their business processes, and evaluated their coursework within the program. Finally, the Politecnico brought in 4 thematic mentors to support the companies (Fig. 5-7).

Table 1 provides a more in-depth view of the tools developed during the project, explaining their structure, content, and limitations. Having detailed how the 'open innovation' process took place within DigiCirc, Table 2, on the other hand, summarises the original contribution of this article: drawing on the main challenges encountered by

businesses in using digital technologies for the Circular Economy (Trevisan et alii, 2023), the analysis identifies and clarifies how the 'open innovation' process implemented within DigiCirc addressed these challenges, highlighting the contribution of Systemic Design (Fig. 8-10).

Conclusions, limitations, and future developments

As shown by Table 2, Systemic Design has contributed to DigiCirc's 'open innovation' process, addressing 5 out of 8 challenges in literature. Based on the data collected through the DigiCirc case study, this paper is original as it demonstrates how the Systemic Design approach supports the ecological and digital transition and contributes to shaping an 'open innovation' process for European SMEs. Specifically, Systemic Design has supported the process mainly concerning knowledge and process management, product and material flows, but also by overcoming a technological barrier and directing future policies to support the ecological and digital transition. More generally, it has contributed to: 1) initiating and sustaining a cross-sectoral dialogue with various thematic, industrial and academic stakeholders; 2) transferring knowledge within and outside the DigiCirc ecosystem; and 3) strengthening systemic understanding in manufacturing and service SMEs.

However, financial, logistical, and behavioural challenges have yet to be addressed. Although the former challenges are outside the approach and methods contemplated by Systemic Design, logistical and behavioural challenges certainly prove to be a limitation of this study, as they are perfectly contemplated within the five principles of Systemic Design and considered in design practice. Therefore, future studies could further investigate these aspects to complement the current contribution.

Other limitations concern the tools developed during the program, which, while responding to the need to centralise knowledge in specific platforms or digital tools to limit information fragmentation and enable Circular Economy processes, nevertheless require constant updating to ensure their sustainability beyond the end of the project. Another major limitation was caused by the pandemic outbreak, which affected much of the project's progress, limiting opportunities for face-to-face encounters and thus undermining opportunities for in-person meetings between partners and businesses; the global pandemic also called for more effort and coordination in the production of content for the MOOC platform, especially in the registration phase.

Nevertheless, some good practices were shared during the project, providing new perspectives for further endeavours in the area of green and digital transition, including: the support to companies of a business coach and a thematic mentor on a weekly and monthly basis, useful figures particularly appreciated by companies to provide guidance with respect to business models and long-term vision; the creation of consortia of companies with cross-sectoral competences and similar TRL, providing alignment on needs and long term visions; the involvement of potential investors already at the SME selection stage, so as to increase the market fit of proposed solutions; and finally, the formation of a heterogeneous

team of partners with different backgrounds and skills to better target complexity and provide companies with a broader spectrum in the design of new innovative products, services and systems.

The DigiCirc case study demonstrates how Systemic Design provides a valuable contribution

to creating sustainable digital innovation ecosystems and overcoming barriers that prevent companies from fully embracing the ecological and digital transition. The present findings are useful and relevant for all design scholars and practitioners dealing with ‘open innovation’ and socio-technical

systems in industrial and interdisciplinary environments, as they provide an empirical basis to support the adoption of Systemic Design as a key tool for creating a more sustainable and digitised future.

Notes

1) For more information, see the webpage: digicirc.eu [Accessed 13 March 2023].

2) For more information, see the webpage: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541 [Accessed 13 March 2023].

References

- Amit, R. and Han, X. (2017), “Value creation through novel resource configurations in a digitally enabled world”, in *Strategic Entrepreneurship Journal*, vol. 11, issue 3, pp. 228-242. [Online] Available at: doi.org/10.1002/sej.1256 [Accessed 13 March 2023].
- Annarelli, A., Battistella, C., Nonino, F., Parida, V. and Pessot, E. (2021), “Literature review on digitalization capabilities – Co-citation analysis of antecedents, conceptualization and consequences”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 166, article 120635, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120635 [Accessed 13 March 2023].
- Antikainen, M., Uusitalo, T. and Kivikytö-Reponen, P. (2018), “Digitalisation as an enabler of circular economy”, in *Procedia CIRP*, vol. 73, pp. 45-49. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027 [Accessed 13 March 2023].
- Bistagnino, L. (2009), *Systemic Design – Designing the productive and environmental sustainability*, Slow Food Editore, Cuneo, Bra.
- Chesbrough, H. W. (2006), *Open business models – How to thrive in the new innovation landscape*, Harvard Business Review Press, Boston.
- Chesbrough, H. W. (2003), *Open innovation – The new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business Review Press, Boston.
- Ellen MacArthur Foundation (2015), *Growth within – A circular economy vision for a competitive Europe*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/resource/Circular%20economy%203.pdf [Accessed 13 March 2023].
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN [Accessed 13 March 2023].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 13 March 2023].
- Eisenreich, A., Füller, J. and Stuchtey, M. (2021), “Open circular innovation – How companies can develop circular innovations in collaboration with stakeholders”, in *Sustainability*, vol. 13, issue 23, article 13456, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su132313456 [Accessed 13 March 2023].
- Gassmann, O. and Enkel, E. (2004), “Towards a theory of open innovation – Three core process archetypes”, in *R&D Management Conference (RADMA)*, Lissabon, pp. 1-18. [Online] Available at: alexandria.unisg.ch/274/ [Accessed 13 March 2023].
- Giannopoulou, E., Barlatier, P. J. and Pénin, J. (2019), “Same but different? Research and technology organizations, universities and the innovation activities of firms”, in *Research Policy*, vol. 48, issue 1, pp. 223-233. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2018.08.008 [Accessed 13 March 2023].
- Giraldo Nohra, C., Pereno, A. and Barbero, S. (2020), “Systemic design for policy-making – Towards the next circular regions”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 11, article 4494, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12114494 [Accessed 13 March 2023].
- Hesse-Biber, S. N. and Johnson, R. B. (eds), *The Oxford Handbook of Multimethod and Mixed Methods Research Inquiry*, Oxford University Press, Oxford. [Online] Available at: doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199933624.001.0001 [Accessed 13 March 2023].
- Jones, P. H. (2014), “Systemic design principles for complex social systems”, in Metcalf, G. (ed.), *Social systems and design*, Springer, Tokyo, pp. 91-128. [Online] Available at: link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-54478-4_4 [Accessed 13 March 2023].
- Keupp, M. M. and Gassmann, O. (2009), “Determinants and archetype users of open innovation”, in *R&D Management*, vol. 39, issue 4, pp. 331-341. [Online] Available at: doi.org/10.1111/j.1467-9310.2009.00563.x [Accessed 13 March 2023].
- Kobarg, S., Stumpf-Wollersheim, J. and Welpel, I. M. (2019), “More is not always better – Effects of collaboration breadth and depth on radical and incremental innovation performance at the project level”, in *Research Policy*, vol. 48, issue 1, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.014 [Accessed 13 March 2023].
- Obrovčić, T., Vlačić, B. and Dabić, M. (2021), “Open innovation in the manufacturing industry – A review and research agenda”, in *Technovation*, vol. 102, article 102221, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102221 [Accessed 13 March 2023].
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C. (2017), “The emergent role of digital technologies in the circular economy – A review”, in *Procedia CIRP*, vol. 64, pp. 19-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.047 [Accessed 13 March 2023].
- Pereno, A. and Barbero, S. (2020), “Systemic design for territorial enhancement – An overview on design tools supporting sociotechnical system innovation”, in *Strategic Design Research Journal*, vol. 13, issue 2, pp. 113-136. [Online] Available at: revistas.unisinos.br/index.php/sdrj/article/view/sdrj.2020.132.02 [Accessed 13 March 2023].
- Rachinger, M., Rauter, R., Müller, C., Vorraber, W. and Schirgi, E. (2018), “Digitalization and its influence on business model innovation”, in *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 30, issue 8, pp. 1143-1160. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0020 [Accessed 13 March 2023].
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L. and Väisänen, J. M. (2021), “Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy – Multiple case study”, in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 164, article 105155, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105155 [Accessed 13 March 2023].
- Reis, J., Amorim, M. and Melão, N. (2019), “Multichannel service failure and recovery in a O2O era – A qualitative multi-method research in the banking services industry”, in *International Journal of Production Economics*, vol. 215, pp. 24-33. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.001 [Accessed 13 March 2023].
- Thackara, J. (2006), *In the bubble – Designing in a complex world*, MIT Press, Cambridge.
- Trevisan, A. H., Lobo, A., Guzzo, D., de Vasconcelos Gomes, L. A. and Mascarenhas, J. (2023), “Barriers to employing digital technologies for a circular economy – A multi-level perspective”, in *Journal of Environmental Management*, vol. 332, article 117437, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117437 [Accessed 13 March 2023].
- Vahter, P., Love, J. H. and Roper, S. (2014), “Openness and innovation performance – Are small firms different?”, in *Industry and Innovation*, vol. 21, issues 7-8, pp. 553-573. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13662716.2015.1012825 [Accessed 13 March 2023].
- Wu, L., Sun, L., Chang, Q., Zhang, D. and Qi, P. (2022), “How do digitalization capabilities enable open innovation in manufacturing enterprises? A multiple case study based on resource integration perspective”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 184, article 122019, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122019 [Accessed 13 March 2023].
- Zhang, C., Chen, Y., Chen, H. and Chong, D. (2021), “Industry 4.0 and its implementation – A review”, in *Information Systems Frontiers | A Journal of Research and Innovation*, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10796-021-10153-5 [Accessed 13 March 2023].