

ARTICLE INFO

Received	09 September 2024
Revised	22 October 2024
Accepted	23 October 2024
Published	30 December 2024

LA MEDIAZIONE DEL DESIGN

L'integrazione tra agenti artificiali autonomi, produzione manifatturiera e servizi

THE MEDIATION OF DESIGN

The integration between autonomous artificial agents, manufacturing production, and services

Flaviano Celaschi, Giorgio Casoni, Elena Formia

ABSTRACT

L'articolo analizza l'emergere degli Agenti Artificiali Autonomi (AAA) e il loro impatto sulla progettazione nell'era dell'Industria 4.0. Dotati di capacità decisionali, gli AAA stanno trasformando non solo il design di prodotti e servizi, ma anche il rapporto tra produzione e consumo, portando all'introduzione di nuovi attori economici, come i 'machine customers'. Attraverso l'analisi di casi studio nel contesto industriale italiano, il testo esplora l'implementazione di queste tecnologie avanzate nei processi aziendali e invita a una riflessione sul ruolo dei designer nell'era delle macchine intelligenti, suggerendo un approccio responsabile che tenga conto delle implicazioni etiche e sociali. Infine vengono discusse le prospettive future legate all'adozione diffusa degli AAA, con un'attenzione particolare all'evoluzione dell'economia programmabile e ai suoi effetti su design e aziende.

This paper analyses the emergence of Autonomous Artificial Agents (AAA) and their impact on design in the era of Industry 4.0. Equipped with decision-making abilities, AAA is transforming the design of products and services and the relationship between production and consumption, leading to the introduction of new economic actors, such as 'machine customers'. Through case study analysis in the Italian industrial context, this paper explores the implementation of these advanced technologies in business processes and invites reflection on the role of designers in the age of intelligent machines, suggesting a responsible approach that considers the ethical and social implications. Finally, future perspectives related to the widespread adoption of AAA are discussed, focusing on the evolution of the programmable economy and its effects on design and businesses.

KEYWORDS

agenti artificiali autonomi, economia delle macchine, design, industria 4.0, intelligenza artificiale

autonomous artificial agents, machine economy, design, industry 4.0, artificial intelligence

Flaviano Celaschi, Architect and PhD, is a Full Professor of Design at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). He conducts research in Design-driven innovation and foresight (Advanced Design). He founded and directed applied research centres in Italy (POLI.Design in 1999 and C.R.I.C.C in 2018) and international Universities and companies. E-mail: flaviano.celaschi@unibo.it

Giorgio Casoni, Economist, Research Fellow, and Member of the Advanced Design Unit at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), conducts research primarily in innovation management. He is a co-Founder and CEO of Neocogita, a company that develops neurotechnology systems and services for corporate wellness management and improvement. E-mail: giorgio.casoni@unibo.it

Elena Formia, Architect and PhD, is a Full Professor of Design at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), where she collaborates with the Research Group on Advanced Design. Since 2019, she has coordinated the Bachelor's and Master's programmes in Design. Her research focuses on the history and culture of design, investigating the contribution of human and social sciences to design. E-mail: elena.formia@unibo.it



L'emergere degli Agenti Artificiali Autonomi (AAA) rappresenta un'evoluzione significativa nel panorama delle tecnologie avanzate, con implicazioni profonde su vari ambiti, tra cui quello dell'Intelligenza Artificiale (IA), della robotica e del calcolo ubiquo. Questi agenti sono ispirati alla capacità di agire autonomamente osservata nei sistemi biologici e si caratterizzano per la loro abilità di operare senza intervento umano diretto, prendendo decisioni e interagendo con l'ambiente circostante in modo dinamico e adattivo. L'introduzione degli AAA sta radicalmente trasformando il modo in cui si progettano beni e servizi, spostando l'attenzione dal semplice soddisfacimento delle esigenze umane a una visione più ampia che include, come si evince dalla letteratura sul tema, la cooperazione e l'interazione con gli spazi e con le altre macchine intelligenti che già popolano le nostre vite (Wooldridge and Jennings, 1995; Franklin and Graesser, 1996; Dattathrani and De', 2023; Schlicht, 2023).

Nel contesto dell'economia dei dati, gli AAA rappresentano quindi l'avanguardia della progettazione contemporanea, influenzando non solo il 'cosa' si progetta, ma anche il 'come' si progetta: la progettazione di un'automobile a guida autonoma ad esempio non si limita alla vettura stessa, ma richiede un'intera infrastruttura di supporto che integra dispositivi e sistemi di controllo, sia fisici che digitali. La medesima cosa si può dire di un edificio che viene accompagnato lungo il ciclo di vita da un continuum di servizi e monitoraggi (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). Questo implica che il progettista non solo deve rispondere alle esigenze umane, ma anche adattare l'ambiente (naturale e artificiale) per renderlo compatibile con le esigenze delle macchine autonome, creando uno spazio che possa essere definito 'antropocentrico', capace di accogliere sia l'uomo che le tecnologie avanzate, senza trascurare l'importanza di preservare l'ambiente naturale e le altre forme di vita.

L'evoluzione degli AAA si intreccia con la cosiddetta Quarta Rivoluzione Industriale (Schwab, 2017) e l'Industry 4.0 (Lasi et alii, 2014; Lage, 2019) che ha visto una trasformazione profonda del sistema produttivo globale: in questo nuovo contesto l'informazione e i dati assumono un ruolo centrale, con una circolarità che collega in tempo reale i processi produttivi, i comportamenti di consumo e le dinamiche di mercato (Barbero and Ferrulli, 2023). Gli AAA non solo eseguono compiti complessi in modo più efficiente, ma possono anche intervenire nei processi decisionali, influenzando l'evoluzione del mercato e la dinamica delle relazioni tra produttori e consumatori, attori chiave in un'economia sempre più orientata verso l'automazione e la programmabilità, aprendo nuove opportunità progettuali e sfide in termini di regolamentazione e gestione delle interazioni tra macchine ed esseri umani.

Il testo è strutturato con una prima parte nella quale si collega il fenomeno di nicchia degli AAA all'evoluzione dell'automazione, dall'introduzione delle prime tecnologie fino all'uso attuale di IA e calcolo ubiquo, per offrire una base per comprendere le origini del dibattito nelle pratiche progettuali. La seconda parte del testo riflette criticamente sulla definizione degli AAA calandoli all'interno di un nuovo modello di relazione tra produzione e consumo e ne analizza l'impatto sul design, esaminando come queste tecnologie stiano trasformando il ruolo del progettista, che ora deve gestire cambiamenti strutturali e considerare le implicazioni etiche e sociali, intro-

ducendo anche i 'machine customers' nell'approccio progettuale; da qui la definizione dell'apporto innovativo della ricerca, così come della metodologia adottata.

Segue un'esplorazione delle applicazioni pratiche degli AAA, con esempi specifici di come influenzano i processi di innovazione design-driven delle aziende e, quindi, le prospettive di evoluzione delle economie globali, obbligando i progettisti a considerare nuovi tipi di clienti non umani. Questa sezione presenta casi studio che dimostrano l'impatto degli AAA, evidenziando le opportunità per i designer. L'articolo si conclude con una riflessione sul futuro degli AAA, invitando i progettisti a un approccio responsabile e consapevole nella loro adozione e sviluppo, riassumendo i punti chiave discussi e suggerendo direzioni per ricerche e applicazioni future.

Continuità con il passato | In forma meccanica gli 'automata' artificiali esistono fin dall'antichità, come macchine che eseguono una serie di azioni in modo sequenziale, applicando determinate regole; alcuni passaggi fondamentali segnano la ricorrenza del tema, che è strettamente connessa alla fascinazione di progettisti / inventori (Fig. 1). Lo storico della scienza e delle tecniche Vittorio Marchis (2005) ne ha ricostruito alcuni passaggi fondamentali: le complesse teorizzazioni del De Architectura vitruviano in continuità con la tradizione greca ed ellenica (e in particolare le opere Automata e Spiritalia di Erone); l'immaginazione propria della tradizione medievale incline a figurare il grande circo delle 'meraviglie' con ambientazioni fantastiche dal gusto stravagante, tradizione poi parzialmente ripresa in epoca rinascimentale (basti pensare a figure come quella di Leonardo), a partire dalla quale viene stabilita una stretta relazione con le funzioni del corpo umano. Come sostiene infatti Nicolas P. Maffei (2001), l'idea del corpo tecnologico non è nuova: nel 1637 René Descartes sviluppa una nozione della macchina umana attraverso una comparazione dell'automata meccanico / artificiale (homunculi) e le macchine viventi della natura, tra cui solo la macchina umana ha il dono della ragione e della parola, e quindi di un'anima (Fig. 2).

L'avvento dell'informatica, l'introduzione della cibernetica e l'uso della matematica discreta a metà del XX secolo hanno trasformato le macchine astratte in solutori di problemi computazionali. I primi calcolatori hanno permesso alle macchine di fare previsioni e rispondere agli input ambientali (Fig. 3), spostandosi verso il design vero e proprio e inaugurando una fase della relazione tra macchine e umani che Manovich (2010), teorico della 'software society', descrive come 'integrata'. Gli anni '70 negli USA hanno poi visto emergere il 'design ambientale', un approccio in cui la programmazione delle macchine e le analisi quali-quantitative si intrecciano con l'operare del progettista (Fig. 4), anticipando, per certi aspetti, il successivo movimento dei 'makers', con l'uso di nuove tecnologie per personalizzare gli artefatti e l'ambiente (Pone, 2022).

Dalla fine degli anni '80, autori come Antonio Caronia (1991), Bruce Sterling (1992) e Derrick De Kerchove (1992) hanno poi esplorato la relazione tra tecnologia, corpo umano e comportamenti, sviluppando una nuova discussione sui 'cyborg'. Questi studi pionieristici, così come successive letture filosofiche (Floridi, 2014; Accoto, 2020), evidenziano come gli AAA non siano l'esito della semplice costruzione di macchine, ma di una nuova e complessa prospettiva di produzione della nostra realtà e di in-

terazione con l'ambiente circostante in cui si innesta anche la spinta innovativa del design (Manovich, 2019; Cattabriga and Joler, 2023).

Mercato attuale e contesto tecnologico | Gli AAA, evoluti da semplici programmi reattivi a sistemi complessi con memoria, capacità di apprendimento e abilità di perseguire obiettivi a lungo termine, possono ora operare indipendentemente in vari campi, dalla gestione dei social media alla scrittura creativa. Il modello della relazione tra produzione e consumo adottato per analizzare questa rivoluzione tecnologica, sociale ed economica si basa su due livelli di lettura.

Il primo livello include tre poli: produttori di energia / beni / servizi, produttori di conoscenza e consumatori (Fig. 5a); nello stato primitivo di società i membri di una 'tribù' svolgevano tutti i ruoli, ma con l'evoluzione sociale e produttiva, questi poli si sono separati, richiedendo una specializzazione maggiore e nuovi mediatori, come tecnici, economisti e intellettuali, come illustrato nella Figura 5b.

Il secondo livello rappresenta il sistema di governo e controllo; con l'avvento delle tecnologie abilitanti e dell'IA generativa (Fig. 5c) emerge una nuova trasformazione: gli AAA sostituiscono progressivamente alcune funzioni umane, migliorando l'efficienza e precisione delle interazioni tra i poli della società. Questi agenti non solo facilitano la comunicazione, ma influenzano e automatizzano sempre più i processi decisionali e produttivi; in questo nuovo paradigma gli AAA emergono come mediatori digitali e possono essere classificati in diverse tipologie funzionali (Dodig-Crnkovic and Burgin, 2024; Tab. 1):

- Agenti semplici che reagiscono istantaneamente alle percezioni senza elaborazione o memoria di eventi passati;
- Agenti con memoria che conservano uno stato interno che riflette esperienze passate, permettendo loro di adattarsi a situazioni simili future;
- Agenti basati sugli obiettivi che sono guidati da obiettivi specifici, lavorando per raggiungerli e gestendo attivamente le informazioni di stato;
- Agenti basati sull'utilità che operano secondo principi di razionalità e ottimizzazione, basati sulla teoria dell'utilità;
- Agenti fisici che includono esseri umani, animali e robot, che possono essere biologici, artificiali o ibridi;
- Agenti virtuali che si trovano in ambienti digitali o simulati, includendo software e processi cognitivi;
- Agenti strutturali che funzionano all'interno di sistemi di elaborazione dati o reti, operando in modo simile a una macchina di Turing.

A partire da questa classificazione è evidente quanto gli AAA siano una componente essenziale nella 'machine economy', un sistema economico in cui le macchine intelligenti eseguono autonomamente compiti e interagiscono tra loro con comunicazioni Machine-to-Machine (Panarello et alii, 2018; Jöhnk et alii, 2021; Hartwich et alii, 2023; Duda et alii, 2024; Nestorovic and Radicevic, 2018). Dotati di IA e tecnologie digitali avanzate questi agenti possono prendere decisioni, apprendere e adattarsi autonomamente attraverso smart contract¹ (Zou et alii, 2021; Vacca et alii, 2021), riducendo la necessità di intervento umano e aumentando l'efficienza operativa. Essi diventano così entità aziendali autonome capaci di agire indipendentemente dalle decisioni quotidiane umane (Reyes, 2021) e possono funzionare come principali attori economici, non solo come agenti (Schuetz and Venkatesh, 2020).

Transition from Traditional Design to New Technologies

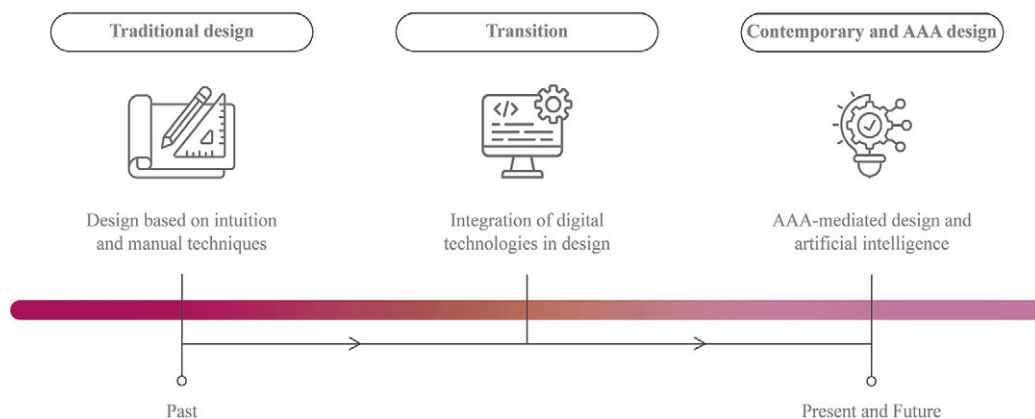


Fig. 1 | Transition from traditional design to new technologies (credit: the Authors, 2024).

L'introduzione dei 'machine customers' (Scheibenreif and Raskino, 2023), ovvero la crescente diffusione degli AAA che si sostituiscono al consumatore assumendo decisioni che generano scambi di mercato, rappresenta un'ulteriore innovazione su cui si concentra in particolare questo articolo: dopo aver automatizzato la produzione si automatizza il consumo, cambiando il tradizionale concetto di utenza umana. Questi clienti automatizzati, guidati dall'IA, sono capaci di fare acquisti e negoziare transazioni autonomamente, espandendo il mercato e presentando nuove sfide e opportunità per le aziende. Scheibenreif e Raskino (2023) estendono ulteriormente il concetto alla 'programmable economy', un sistema economico programmabile che comprende decisioni aziendali e meccanismi monetari, potenziati da asset digitali come token² e Organizzazioni Autonome Decentralizzate (Decentralized Autonomous Organizations – DAO³; Wang et alii, 2019; Hassan and De Filippi, 2021; Santana and Albareda, 2022; Van Kerckhoven and Chohan, 2024). Furlonger e Uzureau (cit. in Scheibenreif and Raskino, 2023, p. 60) stimano che questa economia possa generare fino a 163 trilioni di dollari di valore aggiunto entro il 2030 (Tab. 2).

Questi sviluppi stanno trasformando anche il campo del progetto, spingendo i designer a considerare sia le esigenze umane che quelle delle macchine autonome. Il nuovo paradigma emergente cambia radicalmente il loro ruolo, richiedendo di operare in un contesto d'integrazione tra elementi fisici e digitali (Di Dio et alii, 2022). Dovendo i progetti adattarsi sia agli esseri umani che alle macchine, considerando anche l'ambiente e altre forme di vita, la crescente complessità tecnologica impone ai designer di sviluppare competenze avanzate e critiche per affrontare le sfide dell'automazione, dimensione questa su cui si innesta l'originalità dell'articolo (Fig. 6).

Metodologia | Il presente studio adotta pertanto una metodologia ibrida che combina l'analisi dello stato dell'arte sul tema con l'esame di due casi studio applicativi, intesi come spazio di sperimentazione delle sfide raccolte in letteratura con quelle derivate dall'analisi sul campo. L'analisi contenuta nei precedenti paragrafi ha messo in evidenza l'evoluzione teorica e pratica degli AAA, esaminando contributi chiave con ricadute nel campo dell'IA, della robotica e della progettazione integrata. Questa lettura critica permette di contestualizzare le recenti innovazioni

nel quadro più ampio delle tecnologie emergenti e delle loro implicazioni socioeconomiche.

Di seguito vengono descritti due casi studio sviluppati in collaborazione con industrie italiane di primo piano, selezionati per la rilevanza e la validità dei dati. Le principali fonti derivano da collaborazioni dirette tra Università e aziende che hanno offerto un accesso privilegiato a documenti interni e interviste con i team di progettazione e management. Il periodo di riferimento (2019-2023) riflette l'adozione progressiva degli AAA nei processi aziendali; i casi si concentrano sull'integrazione di AAA nell'Industria 4.0 e nell'automazione, evidenziando sia benefici che criticità, e offrono un confronto diretto tra teoria e pratica, contribuendo a una comprensione più approfondita del loro impatto sul design contemporaneo.

Le esperienze applicative di Rolleri e Galletti

Nell'intervallo tra il 2019 e il 2023, l'Advanced Design Unit dell'Università di Bologna ha coordinato alcune attività commissionate da imprese che intendevano affidarsi alla ricerca universitaria per ampliare il ventaglio dell'innovazione di prodotto, di servizio e di processo, in un'ottica di medio termine. Accomuna i casi citati la sperimentazione pratica di progetti di innovazione trainati dal design. L'analisi di seguito mostra che le aziende italiane stanno adottando AAA, collaborando attivamente con la ricerca universitaria che agisce come ponte tra tecnologie avanzate e necessità di mercato.

Il primo caso riguarda Rolleri (Piacenza), un gruppo industriale di circa dieci unità produttive B2B, specializzato in lavorazioni metalliche e robot collaborativi e riferimento per imprese che realizzano manufatti metallici. Il gruppo ha avviato un programma di innovazione di 36 mesi per sviluppare l'azienda con nuovi progetti e integrare tecnologie avanzate al servizio dell'attuale business (Fig. 7).

Un risultato notevole di questo processo è stato lo sviluppo di una chatbot per assistere le PMI metalmeccaniche (clienti) nella redazione di preventivi, automatizzando le lavorazioni e personalizzando gli utensili necessari alla fornitura da preventivare. I dati raccolti dai preventivi, intesi come intelligenza informata, hanno permesso successivamente a Rolleri di analizzare i costi di produzione e di esplorare l'idea, in corso di sviluppo, di un marketplace automatizzato capace di bypassare il fornitore, in cui l'AAA ottimizza le decisioni di approvvigionamento e servizio cliente basandosi su variabili come distanza, di-

sponibilità / tipologia di macchine e utensili a magazzino e costi di lavorazione.

Il secondo caso riguarda un progetto per la Galletti (Bentivoglio, Bologna) produttrice di impianti per il condizionamento dell'aria che ha sviluppato, in collaborazione con l'Advanced Design Unit dell'Università di Bologna, terminali idronici (fancoil) capaci di diventare AAA rispetto alle decisioni del produttore e del cliente, adattandosi autonomamente alle condizioni interne ed esterne (Figg. 8-11).

Sostanzialmente i terminali acquisiscono una mole di dati rispetto alle attività e occupazioni indoor e alle condizioni outdoor dell'ambiente circostante allo scopo di mediare decisioni di vario tipo: dalla possibilità di chiudere la porosità dell'edificio nei confronti dell'aria esterna in caso di crescita dei parametri di inquinamento registrati dal monitoraggio Google del territorio, alla gestione del rumore esterno-interno (per favorire la permeabilità positiva e neutralizzare suoni negativi indesiderati), della temperatura e del tasso di umidità relativo, all'impiego del terminale come amplificatore e diffusore sonoro, video-registratore nei locali, agente di sicurezza contro l'intrusione. Si viene così a creare in ogni locale del sistema abitativo o di lavoro un'unica macchina indispensabile per l'abitabilità e dotata di un gradiente di tecnologia e di autonomia che può essere contrattato o lasciato libero di agire per il perfezionamento continuo delle performance ambientali (Tab. 3).

L'implementazione degli AAA è ostacolata da criticità come la compatibilità tecnologica con i sistemi informatici, che richiedono costosi aggiornamenti, e la carenza di competenze tecniche adeguate; la gestione dei dati solleva inoltre preoccupazioni su sicurezza, privacy e conformità normativa, mentre le implicazioni etiche e sociali impongono una riflessione sulla trasparenza e responsabilità delle decisioni autonome.

Conclusioni

Il mercato italiano del design per l'innovazione di prodotti e processi è pronto a integrare le tecnologie avanzate dell'economia dei dati e dell'IA e la ricerca universitaria può agire come catalizzatore, mediando tra queste tecnologie e le esigenze di mercato. L'approccio del Product Service System è efficace nell'affrontare aspetti materiali e immateriali, come conferma lo studio dei casi di Rolleri e Galletti nei quali gli AAA arricchiscono l'offerta e trasformano il design, fondendo fisico e digitale.

Tuttavia i designer devono sviluppare competenze avanzate per affrontare le sfide etiche e tecniche, agendo come mediatori tra innovazione e sostenibilità, specialmente nel fuzzy front end dell'innovazione, definito come 'advanced design problems'. Questo studio sottolinea come il mercato italiano sia maturo per integrare gli AAA di ultima generazione e l'economia dei dati con approcci design-driven, innovando i processi: gli AAA infatti migliorano i prodotti e trasformano il design, combinando elementi fisici e digitali in un ecosistema unificato (Figg. 12-14).

Il potenziale futuro degli AAA, intesi soprattutto come 'machine customers', potrebbe rivoluzionare i modelli di consumo e produzione. L'adozione di queste tecnologie è però ancora agli inizi e necessita di ulteriori ricerche per esplorarne compiutamente opportunità e sfide. Per i professionisti è cruciale adottare un approccio critico e proattivo, partecipando a living labs e progetti pilota per sperimentare e adattare le tecnologie emergenti. Le ricerche future dovrebbero indagare l'interazione tra

design, IA e sostenibilità, per definire nuovi paradigmi nello sviluppo di prodotti e servizi nell'era delle macchine intelligenti. In conclusione lo studio conferma il potenziale del Design Thinking e dell'Advanced Design nell'implementazione di AAA come esito auspicato anche in imprese di medio-piccole dimensioni e con uno stadio di consapevolezza tecnologica non ancora maturo.

The emergence of Autonomous Artificial Agents (AAA) represents a significant evolution in advanced technologies, with profound implications across various fields, including Artificial Intelligence (AI), robotics, and ubiquitous computing. These agents are inspired by the ability to act autonomously, as observed in biological systems, and are characterised by their ability to operate without direct human intervention, make decisions, and interact with their surrounding environment dynamically and adaptively. The introduction of AAA is radically transforming the way goods and services are designed, shifting the focus from merely satisfying human needs to a broader vision that includes, as evidenced by the literature on the subject, cooperation and interaction with spaces and other intelligent machines that already populate our lives (Wooldridge and Jennings, 1995; Franklin and Graesser, 1996; Dattathrani and De', 2023; Schlicht, 2023).

In the context of the data economy, AAA thus represents the forefront of contemporary design, influencing not only the 'what' of design but also the 'how': the design of an autonomous vehicle, for example, does not limit itself to the vehicle itself but requires an entire support infrastructure that integrates both physical and digital control systems. The same can be said of a building that is accompanied throughout its lifecycle by a continuum of services and monitoring (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). This implies that the designer must not only meet human needs but also adapt the environment (both natural and artificial) to make it compatible with the needs of autonomous machines, creating a space that can be described as 'Anthropocenic', capable of accommodating both humans and advanced technologies, without neglecting the importance of preserving the natural environment and other forms of life.

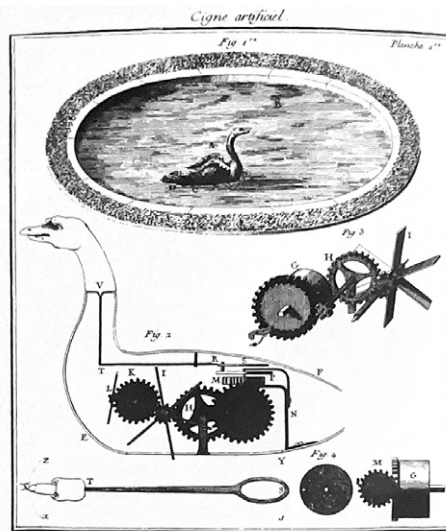
The evolution of AAA intertwines with the so-called Fourth Industrial Revolution (Schwab, 2017) and Industry 4.0 (Lasi et alii, 2014; Lage, 2019), which has seen a profound transformation of the global production system. In this new context, information and data assume a central role, with a circularity that connects production processes, consumer behaviours, and market dynamics in real time (Barbero and Ferrulli, 2023). AAA performs complex tasks more efficiently and can intervene in decision-making processes, influencing market evolution and the dynam-

ics of relationships between producers and consumers. Thus, they become key players in an economy increasingly oriented towards automation and programmability, opening new design opportunities and challenges in terms of regulation and managing interactions between machines and humans.

The text is structured with a first section that connects the niche phenomenon of AAA to the evolution of automation, from the introduction of the first technologies to the current use of AI and ubiquitous computing, providing a foundation for understanding the origins of the debate in design practices. The second part critically reflects on the definition of AAA, situating them within a new model of the relationship between production and consumption, and analyses their impact on design, examining how these technologies are transforming the role of the designer, who now must manage structural changes and consider ethical and social implications more closely, also introducing 'machine customers' into the design approach. From this arises the definition of the research's innovative contribution, as well as the methodology adopted.

This is followed by the exploration of the applications of AAA, with specific examples of how they influence companies' design-driven innovation processes and, consequently, the prospects for the evolution of global economies, forcing designers to consider new types of non-human customers. This sec-

90. Anche se diverso dal «canard» di Vaucanson, il cigno artificiale dell'*Encyclopédie* è un altro esempio di automa costruito per dimostrare come la meccanica possa in moltissimi casi emulare la natura (da Diderot e D'Alembert, *Recueil de planches*).



91. Anche tra le «machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences» non mancano gli automi, che in moltissimi casi non sono che complessi giocattoli meccanici (da Gallon, *Machines et inventions*).

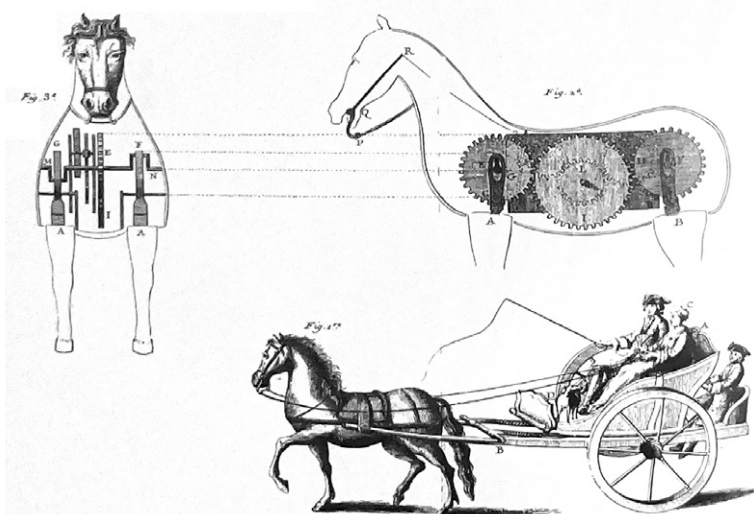


Fig. 2 | Automata and toys according to the 18th-century tradition (source: Marchis, 2005).

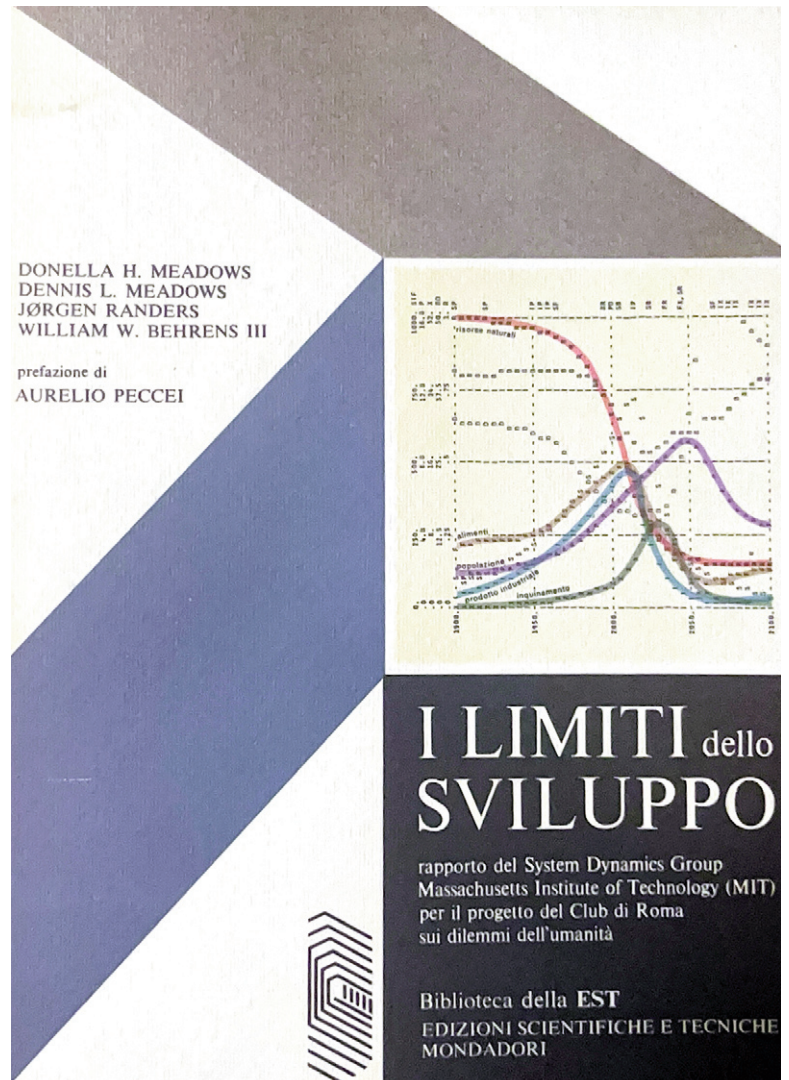


Fig. 3 | Cover of the Italian edition of 'The Limits to Growth' (source: Meadows et alii, 1972).

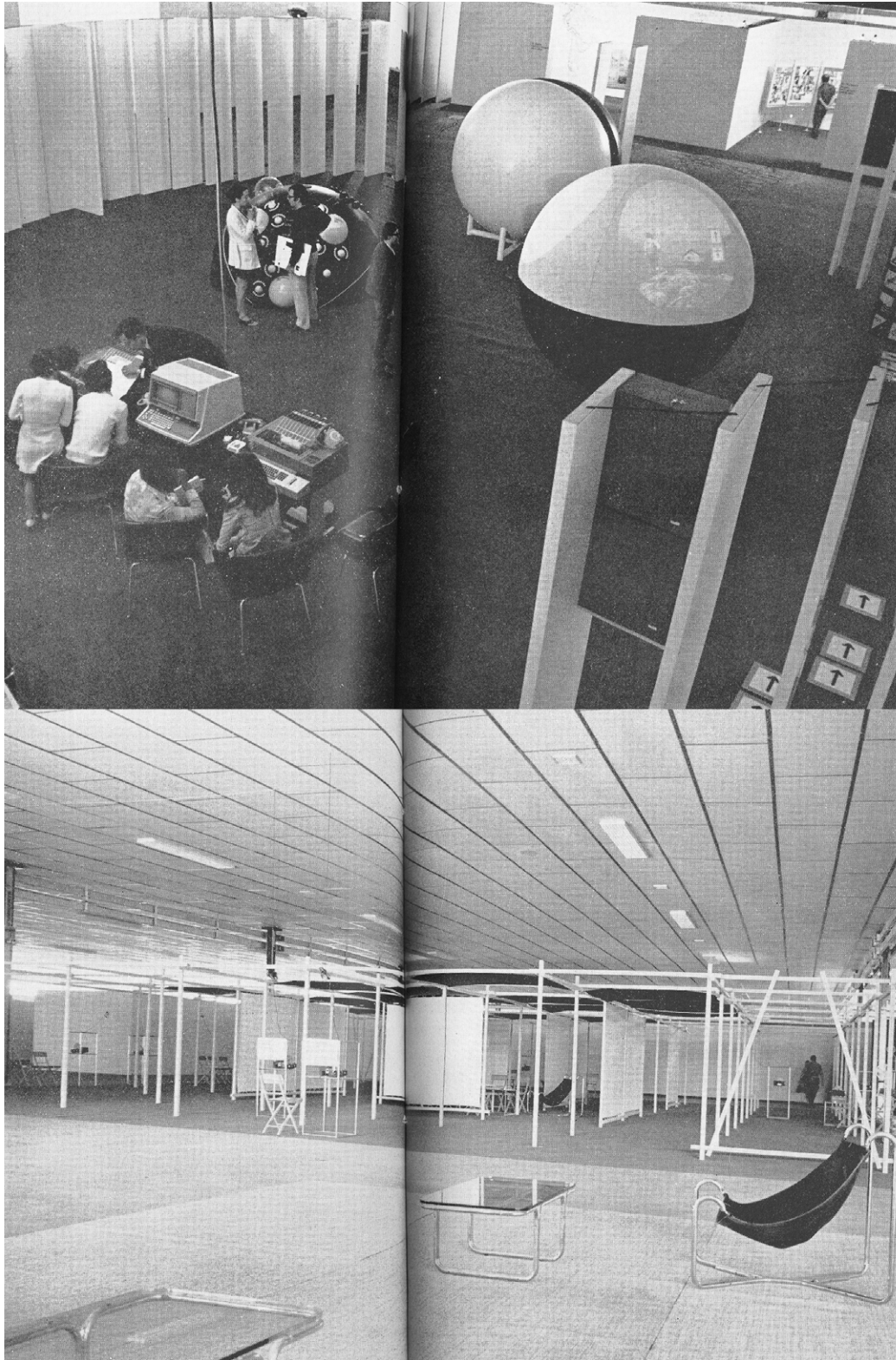


Fig. 4 | The exhibition of the group coordinated by Herbert Ohl on 'Leisure', featuring Univac's 1108 electronic computer, presented at the First International Biennial of Global Design Methodology 'The Forms of the Human Environment', Rimini, 1970 (source: *Strutture Ambientali*, no. 4-5, 1970).

Next page

Fig. 5 | The evolutionary role of mediators in human organisations (credit: the Authors, 2024).

machine by comparing mechanical / artificial automata (homunculi) with the living machines of nature, where only the human machine is endowed with reason and speech, and therefore reveals a soul (Fig. 2).

The advent of computer science, the introduction of cybernetics, and the use of discrete mathematics in the mid-20th century finally transformed abstract machines into problem-solving tools. The first computers allowed machines to make predictions and respond to environmental inputs (Fig. 3), leading to actual design and inaugurating a phase in the relationship between machines and humans that Manovich (2010), theorist of the 'software society', describes as 'integrated'. The 1970s in the USA saw the emergence of 'environmental design', an approach in which the programming of machines and qualitative-quantitative analysis intertwined with the designer's work (Fig. 4), foreshadowing, in some aspects, the later 'makers' movement, with the use of new technologies to customise artefacts and the environment (Pone, 2022).

Since the late 1980s, authors like Antonio Caronia (1991), Bruce Sterling (1992) and Derrick De Kerchove (1992) have explored the relationship between technology, the human body, and behaviour, developing a new discussion around 'cyborgs'. These pioneering studies, along with later philosophical interpretations (Floridi, 2014; Accoto, 2020), highlight how AAA is not merely the result of building machines but of a new and complex perspective on producing our reality and interacting with the surrounding environment, into which the innovative thrust of design is also embedded (Manovich, 2019; Cattabriga and Joler, 2023).

Current market and technological context | AAA (Autonomous Artificial Agents), which have evolved from simple reactive programs to complex systems with memory, learning capabilities, and the ability to pursue long-term goals, can now operate independently in various fields, from social media management to creative writing. The model of the relationship between production and consumption used to analyse this technological, social, and economic revolution is based on two levels of analysis.

The first level includes three poles: producers of energy / goods / services, producers of knowledge, and consumers (Fig. 5a). In primitive societies, the members of a 'tribe' fulfilled all roles, but with social and productive evolution, these poles separated, requiring greater specialisation and new intermediaries, such as technicians, economists, and intellectuals, as illustrated in Figure 5b.

The second level represents the system of governance and control; with the advent of enabling technologies and generative AI (Fig. 5c), a new transformation emerges: AAA progressively replace some human functions, improving the efficiency and precision of interactions between society's poles. These agents facilitate communication and increasingly in-

tion presents case studies that demonstrate the impact of AAA, highlighting opportunities for designers. The article concludes with a reflection on the future of AAA, inviting designers to adopt a responsible and aware approach in their adoption and development, summarising the key points discussed and suggesting directions for future research and applications.

Continuity with the past | In mechanical form, artificial 'automata' have existed since antiquity as machines that perform a series of actions sequentially, following specific rules. Key developments mark the recurrence of this theme, which is closely linked to the fascination of designers and inventors (Fig. 1).

The historian of science and technology Vittorio Marchis (2005) reconstructed some of these fundamental moments: the complex theories of Vitruvius' *De Architectura*, in continuity with the Greek and Hellenistic traditions (particularly the Automata and Spiritalia by Heron); the imagination inherent in the medieval tradition, inclined to depict the grand circus of 'wonders' with fantastic settings and extravagant tastes, a tradition partially revisited during the Renaissance (consider figures like Leonardo), from which a close relationship with the functions of the human body was established. As Nicolas P. Maffei (2001) argues, the idea of the technological body is not new: in 1637, René Descartes developed a notion of the human

fluence and automate decision-making and production processes. In this new paradigm, AAAs emerge as digital mediators and can be classified into various functional types (Dodig-Crnkovic and Burgin, 2024; Tab. 1):

- Simple agents, which react instantly to perceptions without processing or memory of past events;
- Agents with memory, which maintain an internal state reflecting past experiences, allowing them to adapt to similar future situations;
- Goal-based agents, which are guided by specific objectives, working to achieve them while actively managing state information;
- Utility-based agents, which operate according to principles of rationality and optimisation, based on utility theory;
- Physical agents, including humans, animals, and robots, which can be biological, artificial, or hybrid;
- Virtual agents, which exist in digital or simulated environments, including software and cognitive processes;
- Structural agents, which function within data processing systems or networks, operating similarly to a Turing machine.

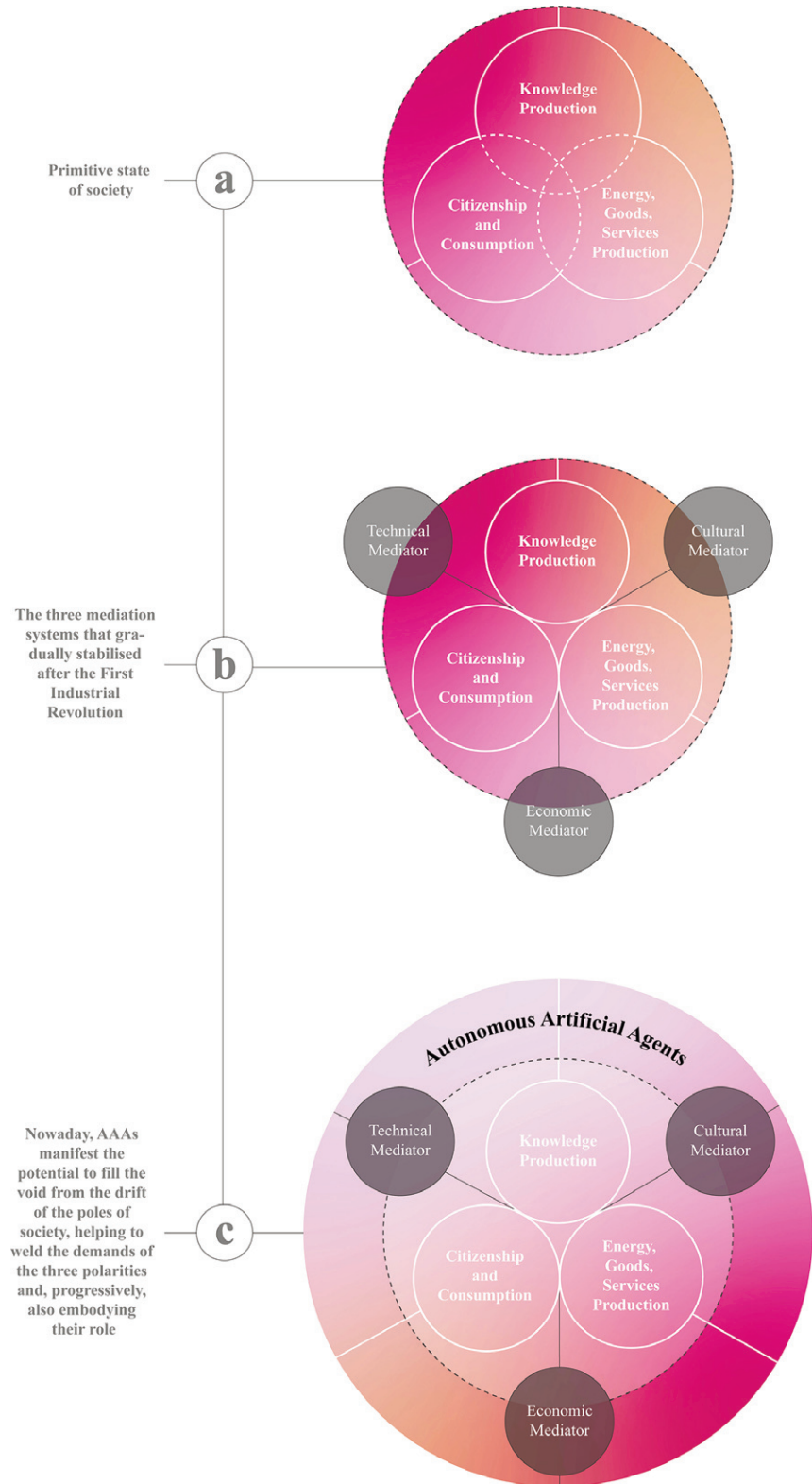
From this classification, it is clear that AAAs are an essential component of the ‘machine economy’, an economic system in which intelligent machines autonomously perform tasks and interact with each other through Machine-to-Machine communications (Panarello et alii 2018; Jöhnk et alii, 2021; Hartwich et alii, 2023; Duda et alii, 2024; Nestorovic and Radicevic, 2018). Equipped with AI and advanced digital technologies, these agents can make decisions, learn, and adapt independently through smart contracts¹ (Zou et alii, 2021; Vacca et alii, 2021), reducing human intervention and increasing operational efficiency. As such, they become autonomous business entities capable of acting independently of human day-to-day decision-making (Reyes, 2021) and can function as primary economic actors, not just agents (Schuetz and Venkatesh, 2020).

The introduction of ‘machine customers’ (Scheibenreif and Raskino, 2023) – i.e., the growing presence of AAA that replace consumers by making decisions that generate market exchanges – represents another innovation this article focuses on: after automating production, consumption is automated, changing the traditional concept of human users. These automated customers driven by AI can make purchases and negotiate transactions autonomously, expanding the market and presenting new challenges and opportunities for companies. Scheibenreif and Raskino (2023) further extend the concept to the ‘programmable economy’, a system where business decisions and monetary mechanisms are programmable, powered by digital assets such as tokens² and Decentralized Autonomous Organizations – DAO³; Wang et alii, 2019; Hassan and De Filippi, 2021; Santana and Albareda, 2022; Van Kerckhoven and Chohan, 2024). Furlonger and Uzureau (cit. in Scheibenreif and Raskino, 2023, p. 60) estimate that this economy could generate up to 163 trillion dollars in added value by 2030 (Tab. 2).

These developments are also transforming the field of design, pushing designers to consider both human needs and those of autonomous machines. The emerging paradigm radically changes their role, requiring them to operate in a context where physical and digital elements are integrated (Di Dio et alii, 2022). Since designs must adapt to both humans

and machines, while also considering the environment and other life forms, the growing technological complexity compels designers to develop advanced and critical skills to navigate the challenges of automation. This dimension is where the originality of this article lies (Fig. 6).

Methodology | This study adopts a hybrid methodology that combines a state-of-the-art analysis on the subject with the examination of two case studies, used as experimental spaces to test the challenges raised in the literature with those derived from field analysis. The analysis in the previous paragraphs highlighted the theoretical and practical evolution of



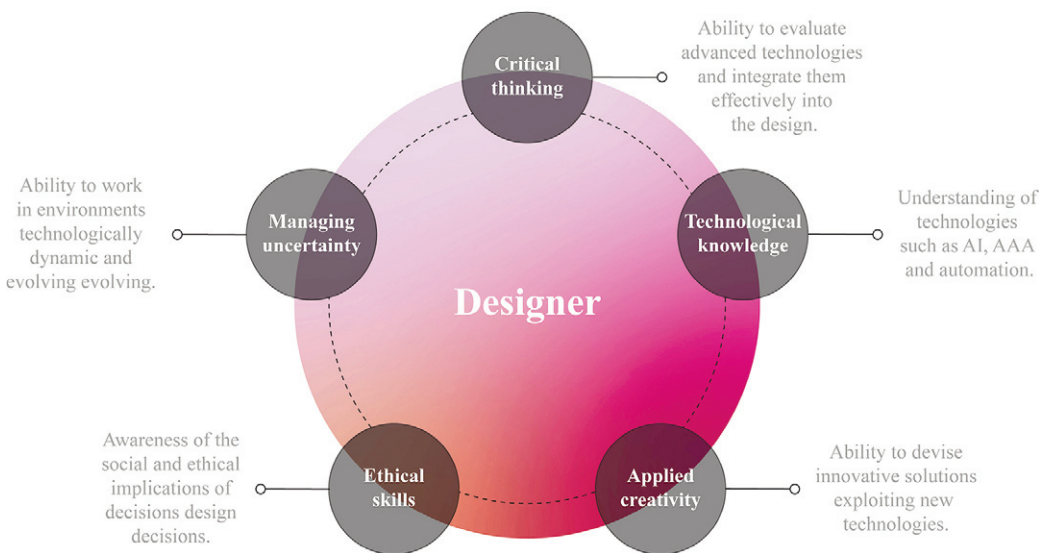
AAAs, examining key contributions with implications in AI, robotics, and integrated design. This critical reading allows for the contextualisation of recent innovations within the broader framework of emerging technologies and their socioeconomic implications.

The following sections describe two case studies developed in collaboration with leading Italian industries, selected for the relevance and validity of the data. The primary sources come from direct collaborations between universities and companies, which offered privileged access to internal documents and interviews with design and management teams. The reference period (2019-2023) reflects the progressive adoption of AAA in business processes; the

Type of AAA	Functional Description	Key Features
Simple Agents	They react instantly to perceptions without memory of past events	Immediate responses, no memory or learning
Agents with Memory	They maintain an internal state that reflects past experiences, enabling them to adapt to similar situations	Adaptation based on past experience, learning ability
Goal-Based Agents	Guided by specific goals, they work to achieve them by actively managing status information	Planning and managing resources to achieve goals
Utility-Based Agents	They operate on principles of rationality and optimisation, based on utility theory	Decision optimization, utility maximization
Physical Agents	They include humans, animals and robots, both biological and artificial or hybrid	Interaction with the physical environment, operational and adaptive skills
Virtual Agents	They operate in digital or simulated environments, including software and cognitive processes	Existence in virtual spaces, data manipulation and processes
Structural Agents	They function within data processing systems or networks, operating as Turing machines	Computational skills and operations on data networks

Opportunity / advantage	Description	Benefits for the Company
Complete Automation	Automation of repetitive and complex processes	Reducing operating costs and increasing efficiency
Process Optimisation	Continuous improvement based on real-time data analysis	Increased productivity and reduced waste
Service Customisation	Adapting products and services to customer needs through AAAs	Increased customer satisfaction and loyalty
Adaptability to Variables	Ability to adapt in real time to environmental or operational changes	Increased flexibility and market competitiveness
Improved Decision Making	Faster and more accurate decisions based on advanced algorithms	Reducing errors and increasing accuracy

Roles and Critical Skills of Designers in Industry 4.0



cases focus on the integration of AAA in Industry 4.0 and automation, highlighting both benefits and challenges, and offer a direct comparison between theory and practice, contributing to a deeper understanding of their impact on contemporary design.

The experiences of Roller and Galletti | Between 2019 and 2023, the Advanced Design Unit of the University of Bologna coordinated several activities commissioned by companies seeking to leverage university research to broaden the scope of product,

service, and process innovation, with a medium-term perspective. The cases cited share the practical experimentation of innovation projects driven by design. The analysis below shows that Italian companies are adopting AAAs and actively collaborating with academic research, which serves as a bridge between advanced technologies and market needs.

The first case involves Roller (Piacenza, IT), an industrial group comprising about ten B2B production units, specialising in metalworking and collaborative robotics, serving companies that produce metal prod-

Tab. 1 | Classification of AAA by functional types (credit: the Authors, 2024).

Tab. 2 | Opportunities and Advantages of AAA (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Critical roles and competencies of designers in Industry 4.0 (credit: the Authors, 2024).

Next page

Fig. 7 | Matrix of projects developed during experimental research with Roller Group (credit: V. De Matteo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Figg. 8-10 | Design scenarios for human-machine interaction in hydronic terminals developed for Galletti (credits: A. Calleo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Fig. 11 | Aeronic terminal project for suspended ceilings, which governs perceptual synesthesia with a single AI-powered device that autonomously collects and manages environmental responses appropriate to the usage and population within the managed space (credit: A. Calleo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Tab. 3 | Case Study Analysis: Galletti and Roller.

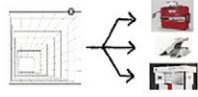
ucts. The group initiated a 36-month innovation program to develop the company with new projects and integrate advanced technologies into its current business (Fig. 7).

A notable result of this process was the development of a chatbot to assist metalworking SMEs (customers) in drafting estimates, automating processes, and customising the tools needed for the supply to be quoted. The data collected from the estimates, understood as informed intelligence, subsequently allowed Roller to analyse production costs and explore the idea, currently under development, of an automated marketplace capable of bypassing the supplier, where the AAA optimises procurement and customer service decisions based on variables such as distance, machine / tool availability, and processing costs.

The second case concerns a project for Galletti (Bentivoglio, Bologna, IT), a producer of air conditioning systems, which developed, in collaboration with the Advanced Design Unit of the University of Bologna, hydronic terminals (fan coils) capable of becoming AAA concerning the decisions of both the manufacturer and the customer, autonomously adapting to internal and external conditions (Figg. 8-11).

Essentially, the terminals collect a large amount of data regarding indoor activities and occupations, as well as outdoor environmental conditions, to mediate various decisions. From the ability to close the building's porosity to external air in case of increased pollution levels as recorded by Google's territorial monitoring, to the management of external-internal noise (to enhance positive permeability and neutralise unwanted negative sounds), temperature and relative humidity, to using the terminal as a sound ampli-

RTC#1
Gamification &
GameTech



Spazio virtuale personalizzabile ad uso dei clienti per valutare futuri acquisti. Costruzione di una community in cui gli utenti possono confrontarsi per fare domande e scambiare idee.



Applicazione per:
- raccogliere dati dai macchinari e notificare messaggi di errore. Usa rappresentazioni 3d per guidare gli operatori nella sostituzione dei **filtri** e nella **manutenzione**.
- **training robot**



Assistenza post vendita. Inserire **QR code** sulle componenti per renderle facilmente identificabili in caso di richiesta **ricambi**.



Applicazione a supporto di formazione e **training** tramite **gioco**



Semplificare l'apprendimento della programmazione di un **robot** e **training**

RTC#2
Robot a cavi e
interfaccia umano-
macchina



In-tech: piattaforma a servizio degli utenti che associa immagini di prodotti finiti a tecnologie di lavorazione e alla lamiera.



Sistema robot a cavo applicato a macchinari specifici, come CUP e Cobot



Installazione sull'impianto, di un sistema di monitoraggio con fly-cam movimentata tramite un robot a cavi



Gestione di un magazzino verticale di montaggio utenti/machine tramite robot a cavo collegato a un nastro trasportatore



RTC#1
Extended Reality &
Neuroscienze



Rolleri Tech Room - spazio virtuale personalizzabile con lista dei macchinari attrezzature. In questo spazio il cliente può simulare lavorazioni e chiedere supporto tecnico a Rolleri e alla community



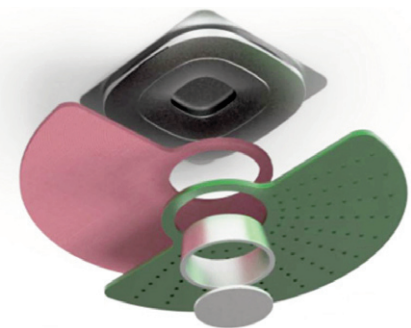
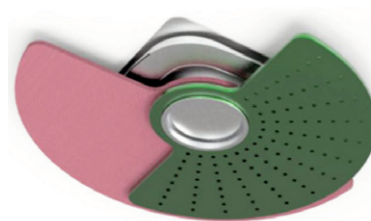
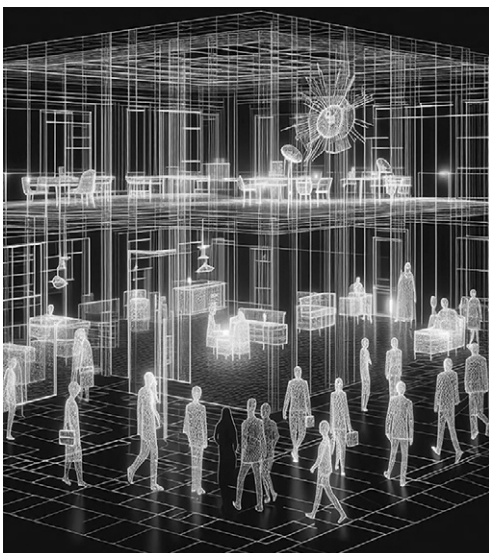
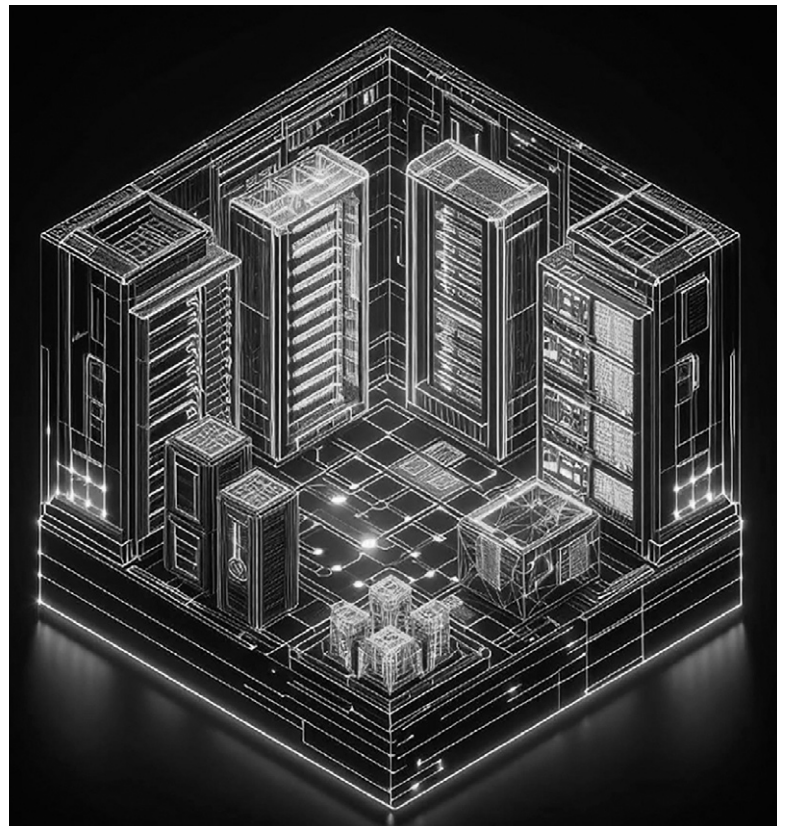
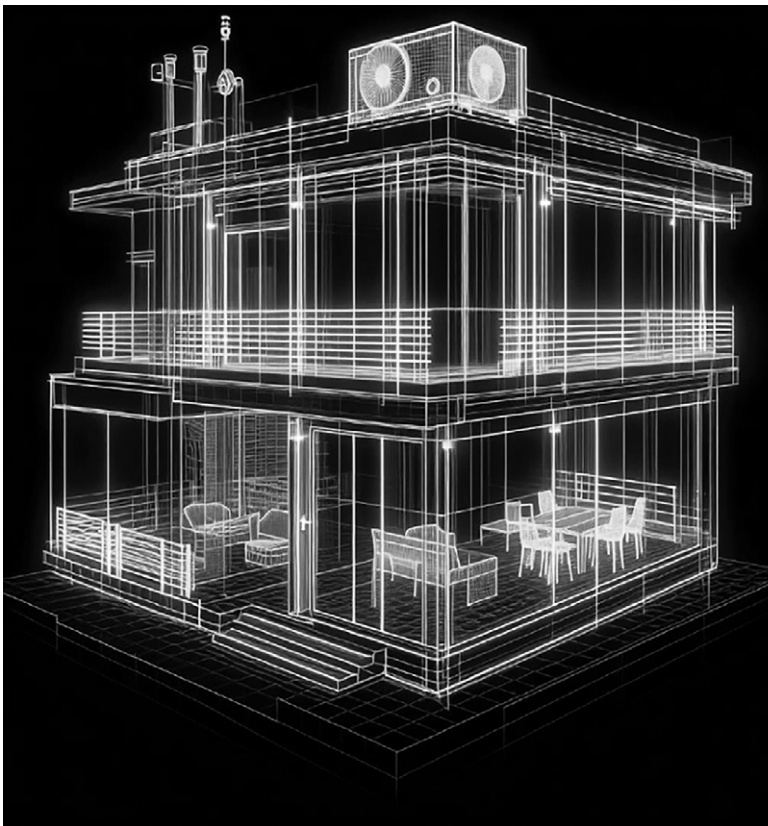
Showroom virtuale. Versione 1 presso i clienti e in fiera per la prova di macchinari in virtuale. versione 2: visitabile online



Software in Realtà Aumentata che riconosce le componenti della macchina e ne visualizza i parametri specifici



Chat bot AI per assistenza clienti



Company	Sector	Innovation Implemented	Result
Rolleri	Metalworking and collaborative robots	Development of chatbots to automate quotes	Improved efficiency in product customisation
Galletti	Air conditioning	Hydronic terminals with autonomous adaptive capacity	Improved management of environmental comfort and energy resources

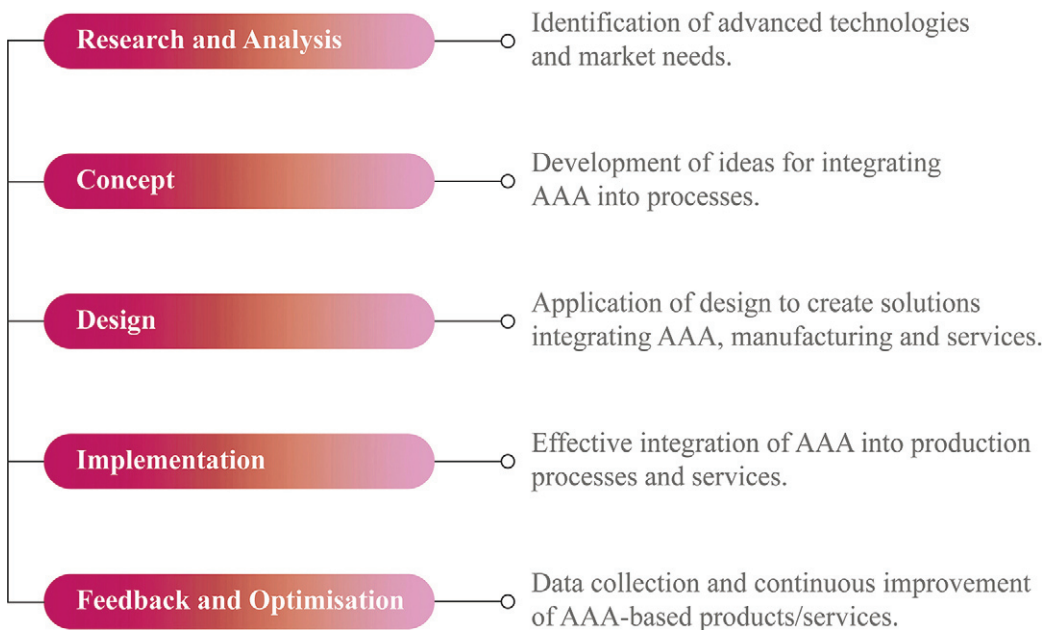


Fig. 12 | Innovation process in design with AAA (credit: the Authors, 2024).

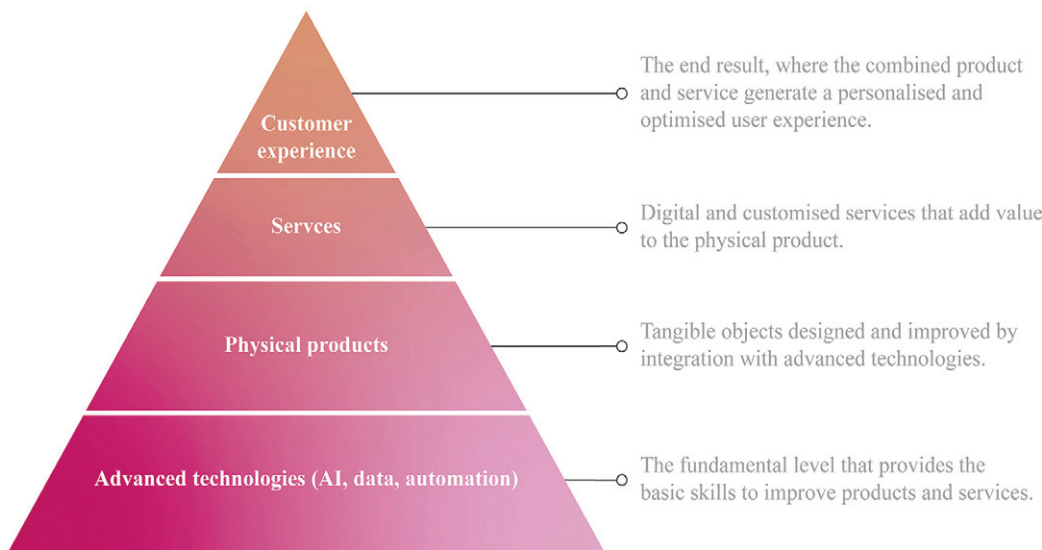


Fig. 13 | Integration of technologies in Product Service System Design (credit: the Authors, 2024).

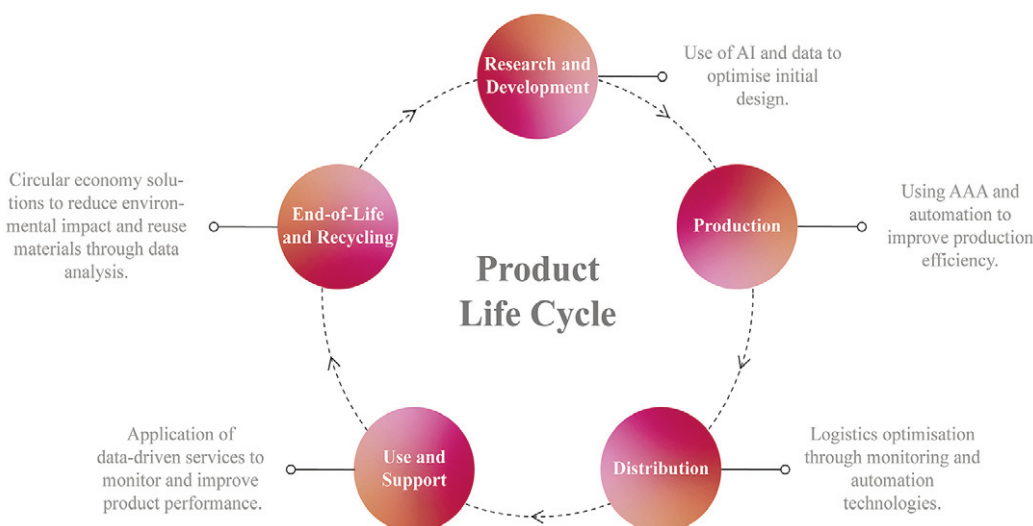


Fig. 14 | Product life cycle with advanced technologies (credit: the Authors, 2024).

fier, video recorder in rooms, or security agent against intrusion. Thus, each room within the living or working system becomes equipped with a single machine essential for habitability, with a gradient of technology and autonomy that can be negotiated or left free to act, continuously optimising environmental performance (Tab. 3).

The implementation of AAAs is hindered by challenges such as technological compatibility with IT systems, which require costly updates, and the lack of adequate technical skills; data management also raises concerns about security, privacy, and regulatory compliance, while the ethical and social implications necessitate reflection on the transparency and accountability of autonomous decisions.

Conclusions | The Italian market for design innovation in products and processes is ready to integrate advanced technologies from the data economy and AI, and university research can act as a catalyst, mediating between these technologies and market needs. The Product Service System approach effectively addresses both material and immaterial aspects, as confirmed by the case studies of Roller and Galletti, where AAAs enrich the offerings and transform design, merging the physical and digital.

However, designers must develop advanced skills to tackle ethical and technical challenges, acting as mediators between innovation and sustainability, particularly in the fuzzy front end of innovation, referred to as ‘advanced design problems’. This study highlights how the Italian market is mature for integrating next-generation AAA and the data economy with design-driven approaches, innovating processes: in fact, AAA improve products and transform design, combining physical and digital elements in a unified ecosystem (Figg. 12-14).

The future potential of AAA, especially as ‘machine customers’, could revolutionise consumption and production models. However, adopting these technologies is still in its early stages and requires further research to explore opportunities and challenges fully. It is crucial for professionals to adopt a critical and proactive approach, participating in living labs and pilot projects to experiment with and adapt to emerging technologies. Future research should investigate the interaction between design, AI, and sustainability to define new product and service development paradigms in the era of intelligent machines. In conclusion, the study confirms the potential of Design Thinking and Advanced Design in implementing AAA: this goal is desirable for small and medium-sized enterprises with an as-yet immature level of technological awareness.

Acknowledgements

This study is conducted within the framework of the Extended Partnership MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), funded by the European Union – NextGenerationEU – National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – Mission 4, Component 2, Investment 1.3 – D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004. The views and opinions expressed are solely those of the Authors and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them.

This paper results from a shared reflection by the Authors. Nevertheless, the paragraph ‘Continuity with the past’ is attributed to E. Formia, the paragraphs ‘Current market and technological context’ as well as ‘Conclusions’ to G. Casoni, and the paragraphs ‘Methodology’ and ‘The experiences of Rollerli and Galletti’ to F. Celaschi.

Notes

1) Smart contracts automate procedures and reduce the need for human intervention. They are self-executing programs that activate when specific conditions are met, facilitating operations such as payments, service agreements, and even automated management decisions within a DAO.

2) Tokens are digital tools representing values or assets in digital format on the blockchain; they can be used for various purposes, including payment for services or the purchase of goods by machine customers, as well as serving as a mechanism for transferring ownership or rights. Cryptography ensures that transactions are secure and that tokens cannot be duplicated or forged.

3) DAOs (Decentralized Autonomous Organizations) are fully automated organisations governed by programming code distributed on a blockchain. Machine customers can operate under the guidance of a DAO, executing transactions and operations based on predefined rules without human oversight. DAOs can also allow machine customers to make collective decisions, such as in resource allocation or strategic management.

References

Accoto, C. (2020), “Mani, menti, mercati”, in Bordoni, C. (ed.), *Il primato delle tecnologie – Guida per una nuova iperumanità*, Mimesis, Milano, pp. 19-30.

Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023), “Transizione Ecologica e Digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and Digital Transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 20 September 2024].

Caronia, A. (1991), *Il cyborg – Saggio sull'uomo artificiale*, Theoria, Roma.

Cattabriga, A. and Joler, V. (2023), “Decentering Design With AI”, in *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 80, pp. 10-19. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid8023a [Accessed 20 September 2024].

Dattathrani, S. and De', R. (2023), “The Concept of Agency in the Era of Artificial Intelligence – Dimensions and Degrees”, in *Information Systems Frontiers*, vol. 25, pp. 29-54. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10796-022-10336-8 [Accessed 20 September 2024].

De Kerchove, D. (1992), *Brainframes – Mente, tecnologia, mercato*, Baskerville, Bologna.

Di Dio, S., Inzerillo, B., Monterosso, F. and Russo, D. (2022), “Design e Tradizione Digitale – Nuove sfide design-driven per l'innovazione techno-sociale | Design and Digital Transition – New design-driven challenges for technological innovation”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 212-225. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12192022 [Accessed 20 September 2024].

Dodig-Crnkovic, G. and Burgin, M. (2024), “A Systematic Approach to Autonomous Agents”, in *Philosophies*,

vol. 9, issue 2, article 44, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/philosophies9020044 [Accessed 20 September 2024].

Duda, S., Stoetzer, J.-C., Guggenberger, T. and Urbach, N. (2024), “Understanding the Machine Economy – Combining Findings from Science and Practice”, in *International Journal of Innovation and Technology Management*, vol. 21, issue 4, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1142/S0219877024500342 [Accessed 20 September 2024].

Floridi, L. (2014), *The 4th Revolution – How the infosphere is reshaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.

Franklin, S. and Graesser, A. (1997), “Is It an Agent, or Just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents”, in Müller, J. P., Wooldridge, M. J. and Jennings, N. R. (eds), *Intelligent Agents III – Agent Theories, Architectures, and Languages – ECAI '96 Workshop (ATAL), Budapest, Hungary, August 12-13, 1996 – Proceedings*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1193, Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 21-35. [Online] Available at: doi.org/10.1007/BFb0013570 [Accessed 20 September 2024].

Hartwich, E., Rieger, A., Sedlmeir, J., Jurek, D. and Fridgen, G. (2023), “Machine economies”, in *Electronic Markets*, vol. 33, article 36, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12525-023-00649-0 [Accessed 20 September 2024].

Hassan, S. and De Filippi, P. (2021), “Decentralized Autonomous Organization”, in *Internet Policy Review*, vol. 10, issue 2, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.14763/2021.2.1556 [Accessed 20 September 2024].

Jöhnk, J., Albrecht, T., Arnold, L., Guggenberger, T., Lämmermann, L., Schweizer, A. and Urbach, N. (2021), “The rise of the machines – Conceptualizing the machine economy”, in Vogel, D., Ning Shen, K. and Shan Ling, P. (eds), *PACIS 2021 – Proceedings of the 25th Pacific Asia Conference on Information Systems, Dubai, UAE, July 12-14, 2021*, pp. 1-14. [Online] Available at: fim-rc.de/Paperbibliothek/Veroeffentlich/1319/wi-1319.pdf [Accessed 20 September 2024].

Lage, O. (2019), “Blockchain – From Industry 4.0 to the Machine Economy”, in Thomas, C., Fraga-Lamas, P. and Fernández-Caramés, T. M. (eds), *Computer Security Threats*, IntechOpen, London. [Online] Available at: dx.doi.org/10.5772/intechopen.88694 [Accessed 20 September 2024].

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014), “Industry 4.0”, in *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, pp. 239-242. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4 [Accessed 20 September 2024].

Maffei, N. P. (2001), “Introduction”, in *Journal of Design History*, vol. 14, issue 4, pp. 253-255. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jdh/14.4.253 [Accessed 20 September 2024].

Manovich, L. (2019), *AI Aesthetics*, Strelka Press, Moscow. [Online] Available at: manovich.net/content/04-projects/172-ai-aesthetics/manovich.ai_aesthetics_2018.pdf [Accessed 20 September 2024].

Manovich, L. (2010), *Software Culture*, Edizioni Olivares, Milano.

Marchis, V. (2005), *Storia delle macchine – Tre millenni di cultura tecnologica*, Laterza, Roma-Bari.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens, W. W. III (1972), *I Limiti Dello Sviluppo – Rapporto del System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori.

Nestorović, M. and Radicevic, D. T. (2018), “Machine Economy”, in Hammes, K., Klopota, I. and Nestorović, M. (eds), *Economic and Social Development – 30th International Scientific Conference – Book of Proceedings, Belgrade, 25-26 May 2018*, Varazdin Development and Entrepreneurship Agency, pp. 204-210. [Online] Available at: researchgate.net/publication/343452338_Machine_Econom. [Accessed 20 September 2024].

Panarello, A., Tapas, N., Merlino, G., Longo, F. and Puliafito, A. (2018), “Blockchain and IoT integration – A Systematic Survey”, in *Sensors*, vol. 18, issue 8, pp. 1-37. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s18082575 [Accessed 20 September 2024].

Pone, S. (2022), “Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l'Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 20 September 2023].

Reyes, C. L. (2021), “Autonomous Business Reality”, in *Nevada Law Journal*, vol. 21, issue 2, pp. 437-490. [Online] Available at: scholars.law.unlv.edu/nlj/vol21/iss2/2 [Accessed 20 September 2024].

Rigillo, M., Galluccio, G. and Paragliola, F. (2023), “Digitale e circolarità in edilizia – Le KETs per la gestione degli scarti nell'Unione Europea | Digital and circularity in building – KETs for waste management in the European Union”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 247-258. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13212023 [Accessed 20 September 2024].

Santana, C. and Albareda, L. (2022), “Blockchain and the emergence of Decentralized Autonomous Organizations (DAOs) – An integrative model and research agenda”, in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 182, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121806 [Accessed 20 September 2024].

Scheibenreif, D. and Raskino, M. (2023), *When Machines Become Customers – Ready or not, AI enabled non-human customers are coming to your business – How you adapt will make or break your future*, Gartner Inc., Stamford.

Schlicht, M. (2023), “The Complete Beginners Guide to Autonomous Agents – Everything you need to know”, in *Matt Schlicht's AI Newsletter*, 08/04/23. [Online] Available at: mattprd.com/p/the-complete-beginners-guide-to-autonomous-agents [Accessed 20 September 2024].

Schuetz, S. and Venkatesh, V. (2020), “Research Perspective – The rise of human machines – How cognitive computing systems challenge assumptions of user-system interaction”, in *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 21, issue 2, article 2, pp. 460-482. [Online] Available at: doi.org/10.17705/1jais.00608 [Accessed 20 September 2024].

Schwab, K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution*, Random House, New York.

Sterling, B. (1992), *The hacker crackdown – Law and disorder on the electronic frontier*, Bantam Books, New York.

Vacca, A., Di Sorbo, A., Visaggio, C. A. and Canfora, G. (2021), “A systematic literature review of blockchain and smart contract development – Techniques, tools, and open challenges”, in *Journal of Systems and Software*, vol. 174, article 110891, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jss.2020.110891 [Accessed 20 September 2024].

Van Kerckhoven, S. and Chohan, U. W. (eds) (2024), *Decentralized autonomous organizations – Innovation and vulnerability in the digital economy*, Taylor & Francis, London.

Wang, S., Ding, W., Li, J., Yuan, Y., Ouyang, L. and Wang, F.-Y. (2019), “Decentralized Autonomous Organizations – Concept, model, and applications”, in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, issue 5, pp. 870-878. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TCSS.2019.2938190 [Accessed 20 September 2024].

Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995), “Intelligent agents – Theory and practice”, in *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, issue 2, pp. 115-152. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S0269888900008122 [Accessed 20 September 2024].

Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X.-B. D., Xia, X., Feng, Y., Chen, Z. and Xu, B. (2021), “Smart contract development – Challenges and opportunities”, in *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 47, issue 10, pp. 2084-2106. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TSE.2019.2942301 [Accessed 20 September 2024].