

Article

Understanding industry 4.0: a literature review

Béla-Gergely RÁCZ¹

Citation: Rác B. -G. (2024). Understanding industry 4.0: a literature review. *Management Intercultural*, XXVI (52), 25-30.

Received: 26 December 2023

Revised: 22 March 2024

Published: 24 March 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Published by SEA Open Research.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Industry 4.0, characterized by the integration of cyber-physical systems, advanced automation, and data-driven decision-making, marks a significant shift in manufacturing. This literature review synthesizes existing research to comprehensively explore Industry 4.0, encompassing its historical context, principles, technological enablers, challenges, applications, future directions, and implications. This literature review employed a systematic approach to gather and analyze relevant research articles on Industry 4.0.

Keywords: industry 4.0; IoT; artificial intelligence;

JEL Classification: M11

¹ Faculty of Economics and Business Administration, Babeş-Bolyai University of Cluj-Napoca

INTRODUCRE

Industria 4.0 prevestește cea de-a patra revoluție industrială, în care tehnologiile digitale converg cu procesele de producție tradiționale (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013; Lemstra & Mesquita 2023; Khang et al., 2024). Conceptul a apărut în Germania, subliniind integrarea armonioasă a sistemelor fizico-cibernetice (CPS) pentru a optimiza procesele de producție. Acest capitol prezintă conceptele și obiectivele fundamentale ale Industriei 4.0, anticipând direcțiile de cercetare viitoare.

METODOLOGIA ANALIZEI

Prezenta trecere în revistă a literaturii a adoptat o abordare sistematică pentru a aduna și analiza articolele de cercetare relevante privind Industria 4.0. Metodologia a vizat mai multe etape cheie, printre care definirea criteriilor de căutare, selectarea bazelor de date, efectuarea de căutări, examinarea de articole și sintetizarea constatărilor. Criteriile de căutare au fost stabilite pentru a asigura includerea unei literaturi cuprinzătoare și relevante privind Industria 4.0. Au fost identificate cuvinte-cheie și expresii legate de Industria 4.0, cum ar fi „Industry 4.0”, „producție inteligentă”, „sisteme fizico-cibernetice” și „transformare digitală”. În plus, au fost incluși termeni specifici facilitatorilor tehnologici și domeniilor de aplicare, cum ar fi „IoT”, „analiza datelor mari”, „inteligenta artificială”, „robotică”, „industria auto”, „industria aerospațială”, „industria electronică” și „industria medicală”, pentru a reflecta perspective diverse. Numeroase baze de date academice, printre care Web of Science și Scopus, au fost selectate pentru a asigura reprezentarea cuprinzătoare a literaturii revizuite inter pares în disciplinele relevante. Aceste baze de date oferă acces la o gamă largă de articole academice, lucrări de conferință și rapoarte de cercetare legate de Industria 4.0 și de tehnologiile asociate acesteia.

Au fost efectuate căutări folosind cuvinte-cheie și expresii predefinite în fiecare bază de date selectată. S-au utilizat operatori tip AND, OR pentru a combina termenii de căutare și pentru a rafina rezultatele căutării. Căutările au fost efectuate în mod iterativ pentru a identifica articolele relevante scrise în limba engleză. Strategia de căutare a urmărit să identifice atât lucrările seminale, cât și evoluțiile recente în domeniul Industriei 4.0.

Rezultatele căutării au fost scanate în baza titlului, abstractului și a cuvintelor-cheie în vederea stabilirii relevanței acestora în ceea ce privește subiectul

Industriei 4.0. Articolele care au îndeplinit cerințele criteriilor de includere au fost selectate pentru o analiză suplimentară, fiind excluse înregistrările irelevante sau duplicate. Procesul de selecție a avut ca scop identificarea de articole de cercetare, lucrări de sinteză și studii de cazuri de înaltă calitate care au oferit informații valoroase cu privire la diferite aspecte ale Industriei 4.0.

Articolele selectate au fost analizate cu rigurozitate, iar principalele constatări, teme și tendințe au fost identificate și sintetizate. Literatura de specialitate a fost organizată în funcție de categorii tematice, incluzând contextul istoric, principii, facilitatori tehnologici, provocări, aplicări, direcții viitoare și implicații ale Industriei 4.0. Au fost efectuate analize comparative și evaluări critice ale diferitelor perspective pentru a oferi o înțelegere cuprinzătoare a subiectului.

Articolele selectate au fost analizate cu rigurozitate, iar principalele constatări, teme și tendințe au fost identificate și sintetizate. Literatura de specialitate a fost organizată în funcție de categorii tematice, incluzând contextul istoric, principii, facilitatori tehnologici, provocări, aplicări, direcții viitoare și implicații ale Industriei 4.0. Au fost efectuate analize comparative și evaluări critice ale diferitelor perspective pentru a oferi o înțelegere cuprinzătoare a subiectului.

Analiza literaturii de specialitate a identificat în total 985 de articole relevante pentru subiectul Industriei 4.0. Aceste articole au înglobat o mare varietate de discipline, printre care ingineria, informatica, managementul afacerilor și economia, reflectând natura interdisciplinară a cercetării în domeniul industriei 4.0. Sinteza constatărilor a evidențiat teme comune, tendințe emergente și perspective critice care contribuie la aprofundarea cunoștințelor și la înțelegerea Industriei 4.0 și a implicațiilor acesteia. Ca și în cazul acestei scurte analize a literaturii de specialitate, obiectivul meu a fost de a oferi o sinteză cuprinzătoare a constatărilor recente în acest domeniu, am folosit cele mai relevante 50 de articole din domeniul afacerilor și al managementului.

CONTEXTUL ISTORIC

Evoluția istorică care a condus la Industria 4.0 datează de la revoluțiile industriale precedente, de la mecanizare (Industria 1.0) la producția în masă (Industria 2.0) și automatizare (Industria 3.0) (Schwab, 2017). Fiecare fază a introdus tehnologii transformatoare, conturând peisajele de producție. Industria 4.0 reprezintă o convergență a tehnologiilor digitale cu sistemele fizice, ghidată de principii precum interoperabilitatea, transparența,

descentralizarea și autonomia (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013). Aceste principii constituie fundamentul pentru crearea unor ecosisteme de producție adaptive și interconectate. Totodată, principiile Industriei 4.0 nu se limitează doar la integrarea tehnologică, ci presupun și o abordare holistică a producției. Interoperabilitatea asigură o comunicare fluidă între diferitele componente ale sistemelor fizico-cibernetice, permițând integrarea proceselor de-a lungul întregului lanț valoric (Lee, Bagheri & Kao, 2015; Rácz & Borza, 2016; Szász et al., 2021). Transparența implică disponibilitatea unor date complete de-a lungul întregului proces de producție, facilitând procesul decizional în cunoștință de cauză. Descentralizarea abilitază componentele individuale să ia decizii autonome pe baza datelor în timp real, reducând dependența de controlul centralizat. Autonomia permite sistemelor fizico-cibernetice să se autooptimizeze și să se autoadapteze la condițiile schimbătoare, sporind eficiența și flexibilitatea (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013; Szász, Csíki, & Rácz, 2021).

FACILITATORI TEHNOLOGICI AI INDUSTRIEI 4.0

Progresele tehnologice impulsionează punerea în aplicare a inițiativelor Industriei 4.0, facilitând procese de producție mai inteligente și mai eficiente (Lee, Bagheri & Kao, 2015; Khang et al., 2024). Internetul obiectelor (Internet of Things în engleză - IoT) joacă un rol central prin conectarea dispozitivelor fizice, permițând monitorizarea și controlul în timp real al mediilor de producție (Zhu et al., 2016). Dispozitivele IoT, dotate cu senzori și actuatori, culeg date din diverse surse, oferind informații despre performanța mașinilor, condițiile de mediu și calitatea produselor. Aceste date sunt apoi transmise către sisteme centralizate sau distribuite pentru analiză și luare de decizii.

De asemenea, analiza datelor mari pune în valoare volumele mari de date generate de dispozitivele IoT pentru a extrage informații utile, a optimiza operațiunile și a îmbunătăți eficiența (Liao et al., 2017; Demeter et al., 2020). Prin aplicarea unor tehnici avansate de analiză, ca de exemplu învățarea automată și modelarea predictivă, producătorii pot identifica tipare, pot prezice defecțiunile echipamentelor și pot optimiza programele de producție. Inteligența artificială (AI) și algoritmi de învățare automată captează și rețin informații din producție, îmbunătățind productivitatea și flexibilitatea (Chen et al., 2019). Acești algoritmi învață în mod constant

din date, permițând mașinilor să ia decizii autonome și să se adapteze în timp real la condițiile schimbătoare.

În plus, robotica și automatizarea joacă un rol fundamental în Industria 4.0, amplificând capacitățile de producție și permițând noi moduri de producție (Chen et al., 2019; Lemstra & Mesquita 2023). Sistemele robotice, dotate cu senzori și algoritmi de control avansați, efectuează sarcini cu precizie și repetabilitate, reducând greșelile și îmbunătățind productivitatea. Automatizarea eficientizează și mai mult procesele de producție prin eliminarea intervențiilor manuale, reducerea duratei ciclurilor și creșterea randamentului. Roboții colaboratori, sau coboții (cobots în engleză), lucrează alături de operatorii umani, sporind siguranța și eficiența în mediile de producție (Szász et al., 2021; Chen et al., 2019). Acești facilitatori tehnologici contribuie în mod colectiv la transformarea producției tradiționale în sisteme inteligente, conectate și eficiente.

PROVOCĂRILE ȘI OBSTACOLELE PUNERII ÎN APLICAȚIE

În timp ce Industria 4.0 promite beneficii transformatoare, adoptarea ei întâmpină numeroase provocări și obstacole. Securitatea cibernetică reprezintă o preocupare critică, sistemele interconectate devenind susceptibile la amenințări și atacuri cibernetice (Ashton, 2009). Proliferarea dispozitivelor conectate și schimbul de date sensibile măresc suprafața de atac, făcând mediile de producție susceptibile la diverse amenințări de securitate. Măsurile de securitate cibernetică, cum ar fi criptarea, controlul accesului și detectarea intruziunilor, sunt indispensabile pentru a atenua riscurile și a proteja activele critice.

Mai mult decât atât, implicațiile automatizării asupra forței de muncă ridică întrebări cu privire la schimbarea locurilor de muncă, la necesitatea unor inițiative de perfecționare și la paradigma colaborării om-mașină (Manyika et al., 2017). Pe măsură ce tehnologiile de automatizare avansează, anumite sarcini îndeplinite anterior de oameni pot fi automatizate, ceea ce duce la preocupări legate de pierderea locurilor de muncă și de șomaj. Totuși, Industria 4.0 creează, de asemenea, noi oportunități de angajare, necesitând lucrători cu competențe digitale avansate și expertiză tehnică. Programele de perfecționare și recalificare sunt esențiale pentru a echipa forța de muncă cu competențele necesare pentru a se descurca într-un mediu din ce în ce mai automatizat.

Complexitatea integrării provine din natura eterogenă a infrastructurii existente și a sistemelor moștenite, necesitând standarde de interoperabilitate și protocoale de schimb de date fără întreruperi (Wuest et al., 2016). Mediile de producție se compun adesea din diverse sisteme, echipamente și aplicații software, ceea ce face ca integrarea să fie dificilă. Standardele de interoperabilitate, cum ar fi OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) și MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), facilitează comunicarea între sisteme diferite, permițând schimbul de date și interoperabilitatea fără întreruperi. În plus, cadrele de governanță a datelor și practicile de gestionare a datelor sunt esențiale pentru a asigura calitatea, integritatea și coerența datelor între sistemele integrate.

Considerentele etice privind Inteligența Artificială (IA) și automatizarea, inclusiv preocupările legate de confidențialitate, proprietatea asupra datelor și prejudecățile algoritmice, reprezintă provocări semnificative pentru adoptarea pe scară largă (Floridi et al., 2018). Pe măsură ce tehnologiile IA devin din ce în ce mai sofisticate, apar preocupări legate de confidențialitatea datelor și de utilizarea abuzivă a informațiilor personale. Reglementările privind protecția datelor, cum ar fi Regulamentul general privind protecția datelor (European Parliament and of the Council, 2016), au ca scop protejarea drepturilor la confidențialitate ale persoanelor și reglementează colectarea, stocarea și prelucrarea datelor cu caracter personal. În plus, prejudecățile algoritmice și discriminarea prezintă provocări etice, deoarece sistemele de IA pot perpetua sau amplifica, în mod involuntar, prejudecățile existente prezente în datele de instruire. Abordarea acestor considerente etice necesită transparență, responsabilitate și cadre etice care să ghideze dezvoltarea și punerea în aplicare a tehnologiilor IA în producție.

APLICĂRI ȘI STUDII DE CAZ

Tehnologiile Industrie 4.0 au diverse utilizări în toate industriile, revoluționând procesele de producție și modelele de afaceri (Hermann, Pentek & Otto, 2016). Studiile de caz exemplifică punerile în aplicare cu succes ale inițiativelor Industriei 4.0, prezentând o eficiență, o calitate și o agilitate îmbunătățite în operațiunile de producție (Bretthauer, Wiendahl & Straßburger, 2016). Aceste exemple din lumea reală oferă informații valoroase cu privire la strategiile de adoptare eficiente, la provocările întâmpinate și la lecțiile învățate. De la industria auto și aerospațială la cea electronică și

medicală, Industria 4.0 remodelează industriile și stimulează inovarea.

În industria auto, producătorii valorifică tehnologiile Industriei 4.0 pentru a optimiza procesele de producție, pentru a îmbunătăți calitatea produselor și pentru a crește vizibilitatea lanțului de aprovizionare (Hermann, Pentek & Otto, 2016; Szász et al., 2021). Senzorii compatibili cu IoT instalați în vehicule colectează date în timp real privind parametrii de performanță, tiparele de utilizare și nevoile de întreținere, permițând o întreținere proactivă și servicii personalizate. Algoritmii de analiză predictivă alimentați de IA analizează seturi mari de date pentru a identifica eventualele defecte sau anomalii în procesele de fabricație, reducând riscul de probleme de calitate și de retragere a produselor. Robotica și automatizarea eficientizează liniile de asamblare, crescând ritmul de producție și asigurând consistența calității produselor.

În mod similar, în industria aerospațială, tehnologiile Industriei 4.0 permit producătorilor să îmbunătățească eficiența operațională, să reducă costurile și să sporească siguranța (Bretthauer, Wiendahl, & Straßburger, 2016). Gemenii digitali (digital twins), replici virtuale ale activelor fizice, simulează scenarii din lumea reală și facilitează întreținerea predictivă, optimizând utilizarea activelor și minimizând timpii de inactivitate. Materialele avansate și tehnicile de fabricare aditivă revoluționează proiectarea și fabricarea aeronavelor, făcând posibile structuri ușoare și geometrii complexe. Senzorii conectați la IoT monitorizează componentele aeronavelor în timp real, oferind informații despre performanță, stare și tipare de utilizare, facilitând întreținerea proactivă și reducând riscul de defecțiuni în timpul zborului.

În industria electronică, Industria 4.0 stimulează inovarea și agilitatea, dând posibilitatea producătorilor de a răspunde rapid la cerințele schimbătoare ale clienților și la tendințele pieței (Hermann, Pentek & Otto, 2016). Fabricile inteligente echipate cu senzori IoT și analize bazate pe IA optimizează programele de producție, minimizează nivelurile de inventar și îmbunătățesc utilizarea resurselor. Robotica și automatizarea automatizează sarcinile repetitive, cum ar fi operațiunile de preluare și plasare și sudarea, crescând randamentul de producție și reducând costurile cu forța de muncă. Vizibilitatea și trasabilitatea lanțului de aprovizionare sunt îmbunătățite prin intermediul tehnologiei blockchain, care permite tranzacții transparente și sigure de-a lungul lanțului de aprovizionare.

În industria medicală, tehnologiile Industriei 4.0 revoluționează îngrijirea, diagnosticarea și tratamentul pacienților, stimulând medicina

personalizată și îmbunătățind rezultatele pacienților (Bretthauer, Wiendahl, & Straßburger, 2016). Dispozitivele medicale, dispozitivele purtabile și senzorii compatibili cu IoT colectează date în timp real privind semnele vitale ale pacienților, nivelurile de activitate și respectarea medicației, permițând monitorizarea de la distanță și intervențiile proactive. Algoritmii de diagnosticare alimentați de IA analizează datele de imagistică medicală, cum ar fi radiografiile și scanările RMN, pentru a ajuta medicii să detecteze boli și anomalii cu o mai mare precizie și eficiență. Robotica și automatizarea asistă procedurile chirurgicale, oferind tehnici minim invazive și reducând timpul de recuperare al pacienților.

DIRECȚII VIITOARE ȘI IMPLICAȚII

Dacă privim în viitor, Industria 4.0 este menită să continue să evolueze, fiind impulsionată de tehnologiile emergente și de tendințele societale (Schwab, 2017). Edge computing, conectivitatea 5G și gemenii digitali se numără printre tendințele emergente care ar trebui să îmbunătățească și mai mult capacitățile Industriei 4.0, permițând procesarea datelor în timp real, o conectivitate mai bună și simulări virtuale ale sistemelor fizice (Wang et al., 2020). Edge computing aduce resursele de calcul mai aproape de sursa de date, reducând latența și permițând o luare a deciziilor mai rapidă în aplicațiile în care timpul este critic. Conectivitatea 5G oferă rețele de comunicații de mare viteză și cu latență redusă, susținând proliferarea dispozitivelor IoT și permițând o conectivitate fără întreruperi în mediile de producție inteligente. Gemenii digitali creează replici virtuale ale activelor fizice, permițând modelarea predictivă, analiza de tip „ce-ar fi dacă” și optimizarea strategiilor de performanță și de întreținere.

Cu toate acestea, adoptarea pe scară largă a Industriei 4.0 prezintă implicații societale mai largi, inclusiv preocupări legate de reducerea locurilor de muncă, decalajul digital și considerente etice (Schneider & Spieth, 2013). Pe măsură ce tehnologiile de automatizare înlocuiesc munca manuală, anumite tipuri de locuri de muncă pot deveni depășite, ceea ce duce la șomaj și la disparități socioeconomice. Abordarea acestor provocări necesită măsuri proactive, inclusiv programe de recalificare și perfecționare a forței de muncă, pentru a pregăti persoanele cu competențele necesare pentru economia digitală. Totodată, reducerea decalajului digital și asigurarea unui acces echitabil la tehnologie sunt esențiale pentru a preveni excluderea și a promova incluziunea în era

digitală. Considerentele etice legate de AI, de confidențialitatea datelor și de securitatea cibernetică necesită un dialog permanent, o reglementare și o supraveghere permanente pentru a asigura o utilizare responsabilă și etică a tehnologiei.

CONCLUZII

În concluzie, Industria 4.0 reprezintă o forță transformatoare care va remodela producția modernă și nu numai. Prin utilizarea tehnologiilor avansate și a unor principii precum interoperabilitatea și autonomia, Industria 4.0 promite o eficiență, o flexibilitate și o inovație sporite în toate industriile. Cu toate acestea, atingerea întregului său potențial necesită abordarea mai multor provocări și asigurarea unor rezultate echitabile. Prin cercetare, colaborare și inovare continue, Industria 4.0 are potențialul de a stimula creșterea durabilă și prosperitatea în era digitală.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Ashton, K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. *RFiD Journal*, 22(7), 97-114.
- [2] Bretthauer, G., Wiendahl, H. P., & Straßburger, S. (2016). *Industrie 4.0 in Practice - A VDI Pocket Guide*. Springer Vieweg.
- [3] Chen, X., Zhang, W., He, Z., & Zhu, Z. (2019). Integration of big data and artificial intelligence techniques in cyber-physical systems for smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 258-268.
- [4] Demeter, K., Losonci, D., Szász, L., & Rácz, B. (2020). Magyarországi gyártóegységek ipar 4.0 gyakorlatának elemzése—technológia, stratégia, szervezet= Analysis of the industry 4.0 practice of the Hungarian production units—technology, strategy, organization. *Vezetéstudomány-Budapest Management Review*, 51(4), 2-14.
- [5] European Parliament and of the Council. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) disponibil la <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj>
- [6] Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Sousa, P. (2018). AI4People—An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks,

- Principles, and Recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689-707.
- [7] Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). *Design principles for industrie 4.0 scenarios*. In 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (pp. 3928-3937). IEEE.
- [8] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Forschungsunion.
- [9] Khang, A., Abdullayev, V., Hahanov, V., & Shah, V. (Eds.). (2024). *Advanced IoT Technologies and Applications in the Industry 4.0 Digital Economy*. CRC Press.
- [10] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [11] Lemstra, M. A. M. S., & de Mesquita, M. A. (2023). Industry 4.0: A tertiary literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 186, 122204.
- [12] Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0: A systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629.
- [13] Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., ... & Sanghvi, S. (2017). *Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation*. McKinsey Global Institute.
- [14] Rácz, B. G., & Borza, A. (2016). Increasing absorptive capacity to improve internal and external knowledge transfer in multinational companies: a multiple case study approach. *Management and Economics Review*, 1(2), 120-135.
- [15] Schneider, C., & Spieth, P. (2013). *Business model innovation for Industry 4.0: Why the industrial internet needs a different perspective on innovation*. In ISPIIM Conference Proceedings (pp. 1-15).
- [16] Schwab, K. (2017). *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Crown Business.
- [17] Szász, L., Csiki, O., & Rácz, B. G. (2021). Sustainability management in the global automotive industry: A theoretical model and survey study. *International Journal of Production Economics*, 235, 108085.
- [18] Szász, L., Demeter, K., Rácz, B. G., & Losonci, D. (2021). Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 667-694.
- [19] Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2020). Towards edge computing-based intelligent cyber-physical systems with digital twin. *Future Generation Computer Systems*, 110, 682-691.
- [20] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. D. (2016). Machine learning in manufacturing: Advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), 23-45.
- [21] Zhu, Z., Zhang, L., Ma, Y., & Chen, X. (2016). A big data approach for logistics trajectory discovery from RFID-enabled production data. *International Journal of Production Research*, 54(7), 1968-1982.