

Il neuromanagement tra cambiamento, tecnologia e benessere

A cura di

Michela Balconi, Bruna Nava, Emanuela Salati

ISSN 1721-3096
ISBN 978-88-7916-954-7

Copyright © 2020

LED Edizioni Universitarie di Lettere Economia Diritto

Via Cervignano 4 - 20137 Milano

Catalogo: <https://www.lededizioni.com>

I diritti di riproduzione, memorizzazione e archiviazione elettronica, pubblicazione con qualsiasi mezzo analogico o digitale (comprese le copie fotostatiche, i supporti digitali e l'inserimento in banche dati) e i diritti di traduzione e di adattamento totale o parziale sono riservati per tutti i paesi.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da: AIDRO, Corso di Porta Romana n. 108 - 20122 Milano
E-mail segreteria@aidro.org <<mailto:segreteria@aidro.org>>
sito web www.aidro.org <<http://www.aidro.org/>>

Stampa: Logo

Sommario

Questioni introduttive: le pietre miliari del neuromanagement <i>Michela Balconi</i>	7
---	---

PARTE I

Mind-set per l'innovazione continua e il cambiamento

Motivazione: neurofisiologia del piacere di lavorare <i>Bruna Nava</i>	17
Cervelli da leader? Imparare a riconoscerli e potenziarli <i>Michela Balconi</i>	29
Team sulla stessa lunghezza d'onda <i>Bruna Nava</i>	41
Dalle funzioni esecutive ai programmi di neuropotenziamento. Nuove prospettive per il “neuroassessment” <i>Michela Balconi - Emanuela Salati</i>	51
Neuroscienze e cambiamento <i>Emanuela Salati - Sara Di Gamberardino - Beatrice Silva</i>	65
L'hypercanning: o come “comunicano” i cervelli nelle organizzazioni <i>Michela Balconi - Giulia Fronda</i>	73

PARTE II

Benessere e sicurezza come leva economica

Comunicare sicurezza psicologica e fiducia nelle organizzazioni <i>Bruna Nava - Emanuela Salati</i>	83
Quando i cervelli promettono e si fidano <i>Michela Balconi</i>	97
Stress in azienda? Nuove applicazioni neuroscientifiche per la gestione dello stress lavoro-correlato <i>Michela Balconi - Laura Angioletti</i>	111

Creatività, dove ancora non arriva l'algoritmo <i>Bruna Nava</i>	123
Applicare il potenziamento neurocognitivo in azienda per "stimolare" i cervelli dell'organizzazione <i>Michela Balconi - Laura Angioletti</i>	135

PARTE III

Homo Sapiens tra tecnologia e innovazione

Nuove forme di vita organizzativa e di lavoro: Smart working e neuromanagement <i>Bruna Nava - Mario Leone</i>	149
Big Data: tra organizzazioni, management e neuroscienze <i>Federico Cassioli - Michela Balconi</i>	163
Neuroscienze, <i>intelligence computing</i> e organizzazioni 4.0: una rivoluzione? <i>Davide Crivelli - Federico Cassioli - Michela Balconi</i>	173
L'etica nel cervello aziendale: dalle persone alle "organizzazioni moralì"? <i>Michela Balconi - Giulia Fronda</i>	183

Neuroscienze, *intelligence computing* e organizzazioni 4.0: una rivoluzione?

Davide Crivelli^{1,2} - Federico Cassioli^{1,2} - Michela Balconi^{1,2}

¹ *International Research Center for Cognitive Applied Neuroscience (IrcCAN),
Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano, Italia*

² *Unità di Ricerca in Neuroscienze Sociali e delle Emozioni, Dipartimento di
Psicologia, Università Cattolica del Sacro Cuore, Milano, Italia*

DOI: <https://dx.doi.org/10.7359/954-2020-criv>

davide.crivelli@unicatt.it

1. INTRODUZIONE

Il concetto di Industria4.0 è stato inizialmente proposto nel 2011 come obiettivo e sfida per lo sviluppo economico in Germania (Gilchrist, 2016) e si è rapidamente diffuso fino a connotare attualmente le agende di ricerca industriale e i piani di sviluppo di un numero sempre crescente di nazioni a livello mondiale. La comunità scientifica e professionale sono concordi nel rappresentare, con tale concetto, la quarta rivoluzione nello sviluppo dell'industria moderna, dopo l'introduzione di impianti di produzione meccanica basati su acqua e vapore verso la fine del XVIII secolo, l'ingresso nella produzione di massa con il supporto dell'energia elettrica verso l'inizio del XX secolo e l'introduzione sistematica dell'*information technology* (IT) e dell'elettronica nei sistemi organizzativi e produttivi avvenuta negli anni '70 del XX secolo. La quarta rivoluzione industriale si connota per una particolare attenzione all'automazione dei processi di management, sviluppo e produzione, alla definizione di sistemi intelligenti e responsivi (*intelligent computing*) che possano efficacemente gestire e ottimizzare i processi organizzativi e produttivi grazie all'analisi integrata di ingenti ed eterogenei flussi di dati (*Big Data*, per questo concetto si veda anche il capitolo 13) grazie all'avvento di nuove tecnologie per la gestione e l'analisi di informazioni (tra cui Intelligenza Artificiale, *Machine Learning*, e *Cloud systems*), per la comunicazione uomo-macchina (*Human-Machine Interaction* - HMI), e per la comunicazione autonoma tra macchine e sistemi artificiali (*Internet of Things* - IoT; *Machine-to-Machine communication* - M2M).

Come riportato da Roblek e colleghi (2016) e Posada e colleghi (2015), l'approccio all'Industria4.0 presenta cinque caratteristiche principali: (i) digitalizzazione, ottimizzazione

e personalizzazione della produzione; (ii) automazione e adattamento dei processi gestionali; (iii) interazione uomo-macchina (HMI) efficaci; (iv) progettazione e implementazione di servizi e imprese a valore aggiunto; e (v) scambio e comunicazione automatizzata dei dati. Nello sviluppare tali caratteristiche, la rivoluzione 4.0 facilita l'interconnessione e l'informatizzazione nell'industria tradizionale e mira a fornire una personalizzazione dei prodotti con il supporto delle IT; a rendere automatico e flessibile l'adattamento della filiera produttiva; a tenere traccia di merci, componenti e prodotti in modo efficiente e automatico; a facilitare la comunicazione tra settori organizzativi e il management della catena di implementazione di prodotti e/o servizi; a supportare la creazione di *smart factories* e ottimizzarne la produttività grazie ad applicazioni IoT funzionali; e fornire nuovi tipi di servizi e modelli di business innovativi (Shafiq, Sanin, Toro, & Szczerbicki, 2015; Shafiq, Sanin, Szczerbicki, & Toro, 2016).

L'Industria4.0 rappresenta, al contempo, un obiettivo di sviluppo strategico sul piano nazionale e internazionale e un punto di rottura con la visione tradizionale del management di impresa e dei processi produttivi. Si ritiene, cionondimeno, che la portata di tale trasformazione possa avere conseguenze rilevanti anche sul piano sociale e individuale, promuovendo la diffusione di tecnologie *smart*, applicazioni dell'Intelligenza Artificiale e dispositivi indossabili sempre più avanzati e responsivi anche in altri contesti di vita (Lu, 2017; Oztemel & Gursev, 2020).

2. IL CONTRIBUTO DELLE NEUROSCIENZE APPLICATE NELLA QUARTA RIVOLUZIONE INDUSTRIALE

La spinta propulsiva della rivoluzione 4.0 ha promosso, negli ultimi anni, azioni sistematiche di ricerca e sviluppo nell'ambito della tecnologia indossabile (*wearable devices*), degli *smart sensors*, delle reti di informazione, dei modelli di apprendimento automatico (*Machine Learning*), del *Cloud Computing*, dell'*Internet of Things* e dell'*Industrial Internet*. Sebbene il percorso da affrontare sia ancora lungo e gli obiettivi trasformativi della rivoluzione 4.0 siano ancora lontani dalla loro piena realizzazione sul campo, tale spinta ha comportato importanti avanzamenti nei settori della robotica e dell'automazione in contesti industriali e organizzativi, fornendo nuovi input per l'innovazione anche nel management (Oztemel & Gursev, 2020; Schmidt et al., 2020; Villalba-Diez, Zheng, Schmidt, & Molina, 2019).

Questo processo di sviluppo ha potuto beneficiare del contributo dei modelli interpretativi, dei metodi di indagine e degli strumenti propri delle discipline neuroscientifiche. Il potenziale delle neuroscienze come chiave interpretativa ed esplorativa nel raggiungere una più profonda comprensione dei processi mentali, nonché le opportunità che offrono per il monitoraggio e l'assessment delle funzioni cognitive e delle risposte implicite anche in contesti di vita reale, hanno fornito nuova linfa alle riflessioni

metodologiche e teoriche relative, ad esempio, alla creazione di agenti artificiali intelligenti con abilità di decision-making e problem-solving, all'ottimizzazione e all'automazione di processi di management strategico di risorse, e al miglioramento delle possibilità di interazione uomo-macchina.

2.1 Rilevazioni biometriche per la creazione di interfacce e agenti artificiali supportivi

Tra gli strumenti di indagine delle neuroscienze, i sistemi di rilevazione di biosegnali centrali (elettroencefalografia – EEG, spettroscopia del vicino infrarosso – fNIRS) e periferici (heart rate – HR, attività elettrodermica – EDA, attività elettromiografia – EMG, risposta pupillare e comportamento visivo) supportano la qualificazione e la classificazione di vissuti, risposte automatiche, emozioni e stati mentali associati allo svolgimento di un compito e possono, quindi, fornire preziose informazioni per lo sviluppo di soluzioni artificiali a supporto delle attività produttive.

Nell'Industria4.0 nuove tecnologie come i dispositivi biometrici integrati, in grado di rilevare in modo concomitante e non-invasivo diverse risposte fisiologiche mentre un professionista svolge la sua attività, stanno attirando particolare attenzione poiché offrono la possibilità di rilevare e analizzare il comportamento e le attivazioni fisiologiche, in modo da estrarne un modello e identificare le condizioni latenti che potrebbero facilitare la comparsa della performance ottimale (Lohmeyer & Meboldt, 2016). Questa possibilità acquista ancor più valore proprio nel contesto dell'Industria4.0, in cui gli ambiti di azione sono resi più complessi dalla necessità di integrare il lavoro umano e il contributo collaborativo di robot e sistemi automatizzati.

Nello specifico, Borgianni e colleghi (2018) propongono un'interessante riflessione sull'utilizzo di sistemi di tracciamento oculare (*eye-tracking*) nella qualificazione e nell'analisi dei processi di progettazione in ambito ingegneristico. Tale tecnica ha già trovato applicazione per la valutazione di interfacce uomo-computer, come ad esempio i software di produzione industriale (Jacob & Karn, 2003; Zülch & Stowasser, 2003). Lavorare in un ambiente di produzione complesso richiede che il professionista colga e valuti diverse fonti di informazione, selezioni attentamente le informazioni rilevanti, le mantenga nella memoria di lavoro (*working memory*) e coordini le azioni di risposta appropriate. In tale contesto, i sistemi di eye-tracking indossabili, in particolare, offrono il vantaggio di una minore sensibilità ad artefatti da movimento e si prestano, quindi, ad applicazioni sul campo e in situazioni mutevoli e caratterizzate da ampi movimenti dell'utilizzatore.

Infatti, monitorare i professionisti durante lo svolgimento di un effettivo processo di progettazione e creazione utilizzando la tecnologia di tracciamento oculare permette di raggiungere una migliore comprensione dei processi in atto e della gestione del carico di lavoro mentale durante l'attività, dando modo di valutarne l'impatto e ipotizzare interventi di ottimizzazione della postazione e dell'interfaccia digitale. Le stesse informazioni possono, poi, essere utilizzate per lo sviluppo dei sistemi artificiali di assistenza al lavoratore, con conseguente miglioramento delle prestazioni e dell'efficienza del comportamento visivo

(Stork & Schubö, 2010); oppure per la programmazione di sistemi di supporto responsivi in grado di proiettare sul tavolo di lavoro istruzioni, richiami percettivi e informazioni vive in funzione del grado di attenzione degli utilizzatori (Wallhoff et al., 2010). In aggiunta, l'utilizzo di tecniche di eye-tracking presenta interessanti implicazioni pratiche nell'ambito della sicurezza, per l'anticipazione e la prevenzione degli errori degli operatori. Infine, come mostrato da un recente trend di ricerca applicata, le tecniche di eye-tracking possono essere integrate con l'utilizzo di sistemi di realtà aumentata sia per indagare l'usabilità e l'utilità di tali sistemi sia per utilizzare lo sguardo come modalità di input nell'interazione con il dispositivo durante processi di assemblaggio o manutenzione (Renner & Pfeiffer, 2017).

2.2 *Operational excellence: automatizzare i processi di management strategico di risorse*

Nel contesto dell'Industria 4.0, l'*operational excellence* rappresenta un approccio al management di processo votato alla sua progressiva ottimizzazione e alla massimizzazione dei flussi di valore, verso una standardizzazione delle attività e la riduzione della variabilità interna al processo. Per poter perseguire tali obiettivi, le figure manageriali coinvolte devono affrontare costantemente una miriade di sfide in continua evoluzione ed esercitano la propria capacità di decision-making in contesti complessi e mutevoli. Seppur tali modelli di ragionamento strategico risultino critici sul piano gestionale e abbiano un rilevante impatto sulla performance aziendale, le caratteristiche discriminanti che connotano sistematicamente un modello come vincente sono ancora oggetto di dibattito e, di conseguenza, la creazione di agenti artificiali in grado di gestire tali funzioni o facilitare il decisore ottimizzando il processo di decisione rappresenta ancora un oggetto di studio e speculazione. Villalba-Diez e colleghi (2019) suggeriscono che tale dibattito possa beneficiare del contributo delle neuroscienze e, in particolare, dell'utilizzo dell'elettroencefalografia (EEG) per monitorare e qualificare i processi di presa di decisione e problem-solving strategico in tempo reale e in situazioni lavorative reali, utilizzandoli poi come modelli.

In particolare, la tecnica EEG si è mostrata utile per la classificazione automatizzata di compiti cognitivi (Di Flumeri et al., 2019), di livelli di vigilanza (X. Zhang et al., 2017; Z. Zhang et al., 2016), di stati di attenzione focalizzata, emozioni e risposte da stress (Ahn, Ku, & Kim, 2019; Masood & Farooq, 2019; Mohamed, El Halaby, Said, Shawky, & Badawi, 2018), e del carico di lavoro cognitivo (Zhang & Shen, 2019). Nell'ambito delle applicazioni all'Industria4.0, la sfida è rappresentata dalla definizione di algoritmi intelligenti in grado di classificare e qualificare le risposte EEG complesse di un decisore umano in tempi brevi e renderle comprensibili a un agente artificiale e ai relativi attuatori, facilitando l'interazione uomo-macchina. In aggiunta, informazioni su tali processi e sull'attività elettrofisiologica che li accompagna potrebbero essere restituite dall'agente artificiale al decisore sotto forma di feedback, promuovendo in questo modo la sua consapevolezza metacognitiva e avviando un circolo virtuoso di self-empowerment

(Balconi, Fronda, Venturella, & Crivelli, 2017; Balconi, Angioletti, & Crivelli, 2020).

Utilizzando analisi correlazionali e tecniche di *Deep Learning* applicate alle risposte EEG rilevate durante compiti di management di processo, Villalba-Diez e coll. (2019) hanno potuto osservare come tali compiti possano essere considerati task esecutivi, mediati principalmente dalla corteccia prefrontale (PFC) e associati a meccanismi decisionali e di autoregolazione e alla memoria di lavoro, ma anche come sia possibile distinguere le firme elettrofisiologiche di compiti e modalità di management di processo differenti. Studi come questo suggeriscono come, pur in un ambiente aziendale in cui la complessità dei processi è elevata e in costante aumento, sia possibile, integrando un rilevatore di attività EEG confortevole e non-invasivo e un sistema di *Machine Learning*, implementare un classificatore in grado di stimare la comparsa di modelli di presa di decisione più o meno funzionali in base alla situazione e restituire all'utente informazioni sulla loro comparsa e sulle loro caratteristiche.

2.3 Human-robot-interaction e neuro-ergonomia

I sistemi di automazione robotica convenzionali in alcuni casi non riescono a tenere conto della domanda di produzione, soprattutto quando il prodotto target è variabile e la produzione stessa richiede flessibilità e, per ovviare a tali limiti, devono essere supportati da lavoratori umani. Questa integrazione richiede un'interazione e una collaborazione tra uomo e macchina che è possibile solo introducendo interfacce intelligenti che consentono un supporto adattivo durante l'attività produttiva. In questo ambito applicativo proprio dell'Industria4.0, uno degli aspetti più critici riguarda l'ottimizzazione del rapporto uomo-macchina, alla ricerca di un equilibrio tra allocazione dinamica del contenuto del lavoro tra lavoratore umano e robot, il ruolo di supporto intelligente necessariamente a carico dell'utente, e i limiti intrinseci della cognizione all'aumentare del carico di lavoro.

Sposando l'approccio della neuroergonomia – definita come lo studio delle risposte fisiologiche e del comportamento in contesti lavorativi finalizzato ad allineare le capacità tecnologiche e umane con l'obiettivo di aumentare l'efficienza (Parasuraman & Rizzo, 2007) – Stork e colleghi (2007) suggerivano come, migliorando la comprensione dei correlati neurali alla base delle prestazioni umane in compiti complessi e reali, potrebbe essere possibile progettare tecnologie e ambienti di lavoro più sicuri ed efficienti. In particolare, secondo gli autori, i risultati di rilevazioni sul campo ottenute combinando diversi strumenti di indagine (ad esempio, indici comportamentali, EEG e motion-tracking) potrebbero aiutare a progettare e adattare le interfacce uomo-macchina ai vincoli della percezione umana, delle capacità di elaborazione e del controllo cognitivo, oltre che a specifiche caratteristiche individuali (come, ad esempio, l'expertise lavorativa), fornendo importanti linee guida e vincoli per la presentazione delle informazioni. L'introduzione di questo tipo di sistemi adattivi e responsivi potrebbe plausibilmente ridurre i tassi di errore dovuti all'attività umana e potrebbe aiutare a ottimizzare e regolare le performance produttive generali secondo criteri fondati su evidenze neuroscientifiche.

I metodi utilizzati nella ricerca in neuroergonomia combinano la classica misurazione delle prestazioni comportamentali con tecniche di neuroimaging (seppur meno sistematicamente utilizzate in quanto non portabili), rilevazioni elettroencefalografiche (EEG) e potenziali evento-relati (ERPs), motion-tracking ed eye-tracking. Ad esempio, nel campo della neuroergonomia, gli ERP si sono dimostrati utili per lo studio del carico di lavoro mentale (Stork et al., 2007; Wickens, 1990). Ancora, tecniche di motion tracking possono essere utilizzate per studiare l'interazione tra un agente umano e un agente artificiale robotico al fine di analizzare e modellizzare la presenza di pattern di coordinazione nei movimenti finalizzati e programmare l'agente artificiale affinché sia il lavoratore umano sia l'agente robotico prevedano reciprocamente e anticipino i successivi movimenti, reagendo di conseguenza e garantendo più elevati standard di sicurezza (Hägele, Schaaf, & Helms, 2002). Inoltre, gli agenti robotici potrebbero essere programmati implementando moduli di apprendimento per imitazione – una modalità di apprendimento basata sull'analisi dei pattern motori di un operatore, finalizzata alla detezione del movimento umano e all'identificazione automatizzata del suo scopo - così da ottimizzare i loro schemi di azione, adattamento e interazione con l'ambiente.

3. CONCLUSIONI

Come suggerito da Briken (2020), è ormai ovvio che le organizzazioni presenti e future saranno orientate verso uno scenario in cui la produzione di prodotti e/o servizi sarà più intelligente, flessibile, adattabile, autonoma e basata su sensori. Inoltre, è plausibile che i futuri sistemi di management e produzione non saranno solo basati sugli standard attuali dell'Industria4.0, ma tenderanno verso la generazione di sistemi completamente automatizzati e agenti robotici adattivi connotati da schemi di comportamento simili a quelli umani. A tendere, l'analisi della letteratura sulle potenzialità della rivoluzione 4.0 suggerisce una crescita rapida e sistematica dei progressi tecnologici nel settore delle *wearable neurotechnologies*, della realtà aumentata e dell'intelligenza artificiale, ipotizzando l'utilizzo di sistemi e robot basati sull'intelligenza artificiale anche con funzioni di management e presa di decisione, e ipotizzando il crescente ruolo delle neuroscienze come frame interpretativo per la progettazione delle attività di ricerca e sviluppo.

Ciononostante, è opportuno sottolineare come, pur a fronte di alcuni casi e studi sul campo relativi ad applicazioni commerciali dei principi dell'Industria4.0, l'implementazione e l'uso di dispositivi indossabili e sistemi cyber-fisici nel mondo organizzativo e industriale reale sono per buona parte ancora a uno stato embrionale. Sono state inoltre sottolineate alcune questioni etiche relative, ad esempio, all'esercizio di un "controllo cibernetico" (Raffetseder, Schaupp, & Staab, 2017) e a possibili diminuzioni dell'autonomia, dell'autenticità e dell'autoefficacia lavorativa (Butollo, Jürgens, & Krzywdzinski, 2019) che dovranno essere prese accuratamente in considerazione.

BIBLIOGRAFIA

- Ahn, J. W., Ku, Y., & Kim, H. C. (2019). A novel wearable EEG and ECG recording system for stress assessment. *Sensors*, *19*(9), 1991. doi: 10.3390/s19091991
- Balconi, M., Angioletti, L., & Crivelli, D. (2020). Neuro-empowerment of executive functions in the workplace: the reason why. *Frontiers in Psychology*, *11*, 1519. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01519
- Balconi, M., Fronda, G., Venturella, I., & Crivelli, D. (2017). Conscious, pre-conscious and unconscious mechanisms in emotional behaviour. Some applications to the mindfulness approach with wearable devices. *Applied Sciences*, *7*(12), 1280. doi: 10.3390/app7121280
- Borgianni, Y., Rauch, E., Maccioni, L., & Mark, B. G. (2018). User experience analysis in Industry 4.0 - The use of biometric devices in engineering design and manufacturing, *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2019-Decem*, 192–196. doi: 10.1109/IEEM.2018.8607367
- Briken, K. (2020). Welcome in the machine: human-machine relations and knowledge capture. *Capital & Class*, *44*(2), 159–171. doi: 10.1177/0309816819899418
- Butollo, F., Jürgens, U., & Krzywdzinski, M. (2019). From lean production to Industrie 4.0: more autonomy for employees? In M. Uli, S. Schaupp, & D. Seibt (Eds.), *Digitalization in Industry* (pp. 61–80). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-28258-5_3
- Di Flumeri, G., Aricò, P., Borghini, G., Sciaraffa, N., Di Florio, A., & Babiloni, F. (2019). The dry revolution: evaluation of three different EEG dry electrode types in terms of signal spectral features, mental states classification and usability. *Sensors*, *19*(6), 1365. doi: 10.3390/s19061365
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial Internet of Things*. Apress.
- Hägele, M., Schaaf, W., & Helms, E. (2002). Robot assistants at manual workplaces - Effective co-operation and safety aspects. *Proceedings of the 33rd International Symposium on Robotics (ISR)*, 6.
- Jacob, R. J., & Karn, K. S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. In *The mind's eye* (pp. 573-605). North-Holland. doi: 10.1016/B978-044451020-4/50031-1
- Lohmeyer, Q., & Meboldt, M. (2016). The integration of quantitative biometric measures and experimental design research. In *Experimental Design Research* (pp. 97-112). Springer, Cham.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues.

- Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005
- Masood, N., & Farooq, H. (2019). Investigating EEG patterns for dual-stimuli induced human fear emotional state. *Sensors*, 19(3), 522. doi: 10.3390/s19030522
- Mohamed, Z., El Halaby, M., Said, T., Shawky, D., & Badawi, A. (2018). Characterizing focused attention and working memory using EEG. *Sensors*, 18(11), 3743. doi: 10.3390/s18113743
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127–182. doi: 10.1007/s10845-018-1433-8
- Parasuraman, R., & Rizzo, M. (Eds.). (2007). *Neuroergonomics: the brain at work*. Oxford University Press.
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., Pinto, E. B., Eisert, P., Dollner, J., & Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for Industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26–40. doi: 10.1109/MCG.2015.45
- Raffetseder, E.-M., Schaupp, S., & Staab, P. (2017). Kybernetik und Kontrolle. Algorithmische Arbeitssteuerung und betriebliche Herrschaft. *PROKLA*, 47(187), 229–248. doi: 10.32387/prokla.v47i187.143
- Renner, P., & Pfeiffer, T. (2017). Attention guiding techniques using peripheral vision and eye tracking for feedback in augmented-reality-based assistance systems. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 186–194. doi: 10.1109/3DUI.2017.7893338
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). doi: 10.1177/2158244016653987
- Schmidt, D., Villalba Diez, J., Ordieres-Meré, J., Gevers, R., Schwiep, J., & Molina, M. (2020). Industry 4.0 lean shopfloor management characterization using EEG sensors and deep learning. *Sensors*, 20(10), 2860. doi: 10.3390/s20102860
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2016). Virtual Engineering Factory: creating experience base for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 47(1–2), 32–47. doi: 10.1080/01969722.2016.1128762
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). Virtual Engineering Object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 46(1–2), 35–50. doi: 10.1080/01969722.2015.1007734
- Stork, S., & Schubö, A. (2010). Human cognition in manual assembly: theories and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 24(3), 320–328. doi:10.1016/j.aei.2010.05.010
- Stork, S., Stößel, C., Müller, H. J., Wiesbeck, M., Zäh, M. F., & Schubö, A. (2007). A

- neuroergonomic approach for the investigation of cognitive processes in interactive assembly environments. *RO-MAN 2007 - The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 750–755. doi:10.1109/ROMAN.2007.4415185
- Villalba-Diez, J., Zheng, X., Schmidt, D., & Molina, M. (2019). Characterization of Industry 4.0 Lean Management problem-solving behavioral patterns using EEG sensors and Deep Learning. *Sensors*, *19*(13), 2841. doi: 10.3390/s19132841
- Wallhoff, F., Blume, J., Bannat, A., Rösel, W., Lenz, C., & Knoll, A. (2010). A skill-based approach towards hybrid assembly. *Advanced Engineering Informatics*, *24*(3), 329–339. doi: 10.1016/j.aei.2010.05.013
- Wickens, C. D. (1990). Applications of event-related potential research to problems in human factors. In J. W. Rohrbaugh, R. Parasuraman, & R. Johnson (Eds.), *Event-related potentials: basic and applied issues* (pp. 301–309). Oxford University Press.
- Zhang, X., Li, J., Liu, Y., Zhang, Z., Wang, Z., Luo, D., Zhou, X., Zhu, M., Salman, W., Hu, G., & Wang, C. (2017). Design of a fatigue detection system for high-speed trains based on driver vigilance using a wireless wearable EEG. *Sensors*, *17*(3), 486. doi: 10.3390/s17030486
- Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Parallel mechanism of spectral feature-enhanced maps in EEG-based cognitive workload classification. *Sensors*, *19*(4), 808. doi: 10.3390/s19040808
- Zhang, Z., Luo, D., Rasim, Y., Li, Y., Meng, G., Xu, J., & Wang, C. (2016). A vehicle active safety model: vehicle speed control based on driver vigilance detection using wearable EEG and sparse representation. *Sensors*, *16*(2), 242. doi: 10.3390/s16020242
- Zülch, G., & Stowasser, S. (2003). Eye tracking for evaluating industrial human-computer interfaces. In *The Mind's Eye* (pp. 531-553). North-Holland. doi: 10.1016/B978-044451020-4/50029-3