

## INTERAZIONE UOMO-MACCHINA

### L'USO SCORRETTO PUÒ ESSERE RAGIONEVOLMENTE PREVEDIBILE ?

**PREMESSA** - La valutazione del rischio dell'interazione uomo-macchina, specie in presenza di macchine autonome e semiautonome, è resa complessa dalla variabilità delle configurazioni possibili e dei comportamenti umani.

Alla luce di questo, il saper predire l'uso scorretto ragionevolmente prevedibile è un obiettivo complesso anche perché contempla un ambito di possibilità molto ampio. Gli esempi di "uso scorretto ragionevolmente prevedibile" suggeriti dalla normativa tecnica sono indubbiamente comportamenti possibili durante l'uso della macchina ma non chiaramente contestualizzabili a tipiche configurazioni di interazione. Questo lavoro ha messo a fuoco gli stati cognitivi a cui sono ascrivibili comportamenti involontari, usi scorretti o ragionevolmente prevedibili, nella convinzione che una progettazione vincente in termini di sicurezza deve tendere a finalizzare un'interazione che attivi stati cognitivi scientificamente associabili alla performance dell'operatore. Tale conoscenza offre al progettista la possibilità di gestire il rischio di uso scorretto ragionevolmente prevedibile con un nuovo approccio.

#### LA TRASFORMAZIONE DIGITALE E IL CAMBIAMENTO NELL'INTERAZIONE UOMO-MACCHINA

La trasformazione digitale ha introdotto numerose macchine tecnologicamente avanzate nel sistema produttivo, molte delle quali, oggi, interagiscono con l'operatore, non lo sostituiscono.

La diffusione delle cosiddette tecnologie abilitanti ha quindi rivoluzionato i processi produttivi riducendo fortemente alcuni rischi - es. rischi di natura meccanica - ma adducendone o incrementandone altri - es. dovuti all'eccessivo o scarso carico mentale - la cui corretta stima è determinante per la progettazione sicura della macchina. Se finora il rischio di contatto con elementi mobili della macchina era sostanzialmente gestito con la separazione fisica tra la macchina e il lavoratore riducendo lo stesso alle fasi necessarie di interazione (es. manutenzione, attrezzaggio e programmazione), ad oggi, soprattutto in presenza di macchine autonome o semiautonome, l'interazione è non solo inevitabile ma la ragione stessa del sistema uomo-macchina. È evidente che per l'elevata flessibilità e configurabilità dei sistemi produttivi con cui l'operatore si interfaccia e in cui l'operatore stesso concorre, con le sue specificità, all'uso del sistema, la stima dei comportamenti umani, sebbene complessa, diventa indispensabile.

Essendo nota la variabilità delle relazioni (e conseguenze) tra stress mentale e fattori individuali (UNI 10075-1) che influenza il comportamento, un'alternativa valida

è aggirare la difficoltà diagnostica e affrontare il problema da un altro punto di vista: individuare i costrutti cognitivi coinvolti (processi attentivi) e i relativi antecedenti (ciò che li innesca), che possono favorire comportamenti associabili ad usi scorretti e progettare per evitare tali costrutti.

Studi scientifici hanno evidenziato che la performance è dipendente dallo stato cognitivo associabile alla condizione di comfort. È quindi pronosticabile che l'errore umano associabile al comportamento involontario o uso scorretto ragionevolmente prevedibile si verifichi quando, durante l'interazione con la macchina, il lavoratore si trova in condizioni di discomfort.

Adottare un approccio antropocentrico significa progettare la macchina per ridurre la probabilità di strain cognitivo durante il task e, conseguentemente, prevenire l'uso scorretto invece che stimarne la possibilità e intervenire a valle per gestire il rischio.

In tal senso, mettere a fuoco i costrutti cognitivi diversi dallo stato di comfort ovvero di massima performance è un'opportunità per aumentare il livello di sicurezza.

#### L'IMPIANTO NORMATIVO

Allo stato attuale, l'impianto legislativo e normativo è finalizzato a tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori, prescrivendo il rispetto di requisiti di progetto al fine di prevenire infortuni ai danni dei lavoratori che operano con macchine. La direttiva macchine 2006/42/CE, come anche il Regolamento UE 2023/1230, prescrive, in particolare, che il prodotto immesso sul mercato o comunque messo in servizio nel territorio europeo rispetti detti requisiti minimi attraverso una valutazione dei rischi che il fabbricante deve realizzare.

Questa valutazione prevede la definizione a monte dei limiti d'uso della macchina, il che comprende l'uso previsto e l'uso scorretto ragionevolmente prevedibile. L'individuazione di quest'ultimo è chiaramente legata alla soggettività insita negli aggettivi "prevedibile" e "ragionevole". Il confine tra ciò che è ragionevole e ciò che non lo è, peraltro, è in continua evoluzione come anche il conseguente stato dell'arte. Ad ogni modo la progettazione della macchina da parte del fabbricante deve, quindi, tener in considerazione l'uso scorretto ragionevolmente prevedibile da parte dell'utilizzatore finale, adottando accorgimenti progettuali e, dove necessario, anche specifici mezzi tecnici per gestire i rischi connessi. La norma UNI EN ISO 12100 fornisce un elenco esemplificativo di comportamento involontario dell'operatore o uso scorretto ragionevolmente prevedibile della macchina (Fig.1).

Il Rapporto Tecnico UNI ISO/TR14121-2, guida pratica all'applicazione dei principi della sopra citata norma, suggerisce, per garantire che siano identificati tutti gli usi - inclusi quelli scorretti ragionevolmente prevedibili

li - di mettere in comunicazione tra loro i fabbricanti/fornitori e gli utilizzatori del macchinario. Su questa linea, la norma UNI EN ISO 14119 introduce ed evidenzia l'importanza del coinvolgimento dell'operatore della macchina per individuare eventuali usi scorretti (che portano ad esempio ad una neutralizzazione di un dispositivo di protezione) che possono essere dunque ragionevolmente prevedibili. A tal fine, questa norma propone in allegato H una check list per la valutazione della motivazione alla neutralizzazione dei dispositivi di interblocco.

Tornando al Rapporto Tecnico UNI ISO/TR 14121-2, per identificare tutti gli usi di una macchina, è suggerito anche di prendere in considerazione i modi più semplici o più veloci per eseguire un'attività, il comportamento riflesso davanti a un malfunzionamento, un incidente o un guasto, nonché l'errore umano.

La probabilità con cui questi comportamenti si possono realizzare è funzione di molti aspetti (organizzazione, formazione dell'operatore, caratteristiche dell'interfaccia, etc.).

Tuttavia non vi sono indicazioni operative nelle norme tecniche né per identificare né per valutare il rischio. Per gli aspetti strettamente connessi alla richiesta di impegno cognitivo del sistema, in particolare, non sono disponibili procedure o protocolli a supporto del fabbricante, né del datore di lavoro anche perché, come è noto, le variabili del sistema sono molteplici.

A questo si aggiunge che, nel caso di macchine autonome e semiautonome collaborative, i dati acquisibili e confrontabili tra i diversi stakeholder sono relativamente pochi essendo queste macchine di recente diffusione nonché scarsamente utilizzabili a causa della flessibilità e variabilità degli scenari.

**Figura 1** UNI EN ISO 12100-1 Punto 5.5.1 lettera C)  
Comportamento involontario dell'operatore o uso scorretto ragionevolmente prevedibile della macchina

Gli esempi includono:

- perdita di controllo della macchina da parte dell'operatore (specialmente per le macchine portatili o mobili);
- reazione istintiva di una persona in caso di malfunzionamento, incidente o guasto durante l'uso della macchina;
- comportamento derivante da mancanza di concentrazione o noncuranza;
- comportamento derivante dall'adozione della "linea di minor resistenza" nell'esecuzione di un compito;
- comportamento risultante da pressioni per tenere la macchina in esercizio in tutte le circostanze; e
- comportamento di alcune persone (per esempio, bambini, persone disabili)

### **CAMBIAMENTO DI APPROCCIO: DA MACCHINOCENTRICO A UMANOCENTRICO**

La valutazione e la previsione delle prestazioni cognitive è fondamentale per qualsiasi disciplina che si occupi

di operatori umani nel contesto di comportamenti critici per la sicurezza.

Le norme tecniche che interessano il rapporto tra lavoratore e macchinario adottano un approccio che si concentra prevalentemente sull'uso e funzionamento della macchina: pur facendo riferimento a fattori di fatica ed affaticamento del lavoratore, non li inscrivono difatti in un quadro che chiarisca l'importanza del ruolo che tali fattori svolgono.

Va sottolineato che anche il Regolamento Macchine ne ribadisce l'importanza introducendo la necessità di una valutazione delle tensioni psichiche che possono essere causate dall'interazione con le macchine, in particolare quelle autoevolutive e dotate di livelli di autonomia variabili; non ci sono, tuttavia, riferimenti per stimarle.

Il crescente interesse della psicologia cognitiva e di ulteriori campi di studio come la neuroergonomia applicata all'individuo nel suo rapporto con l'interfaccia consente di affrontare, su basi scientifiche, la sicurezza del macchinario secondo un approccio antropocentrico in linea con il nuovo paradigma Industria 5.0, finalizzato a migliorare la prestazione sia in termini di sicurezza che di usabilità. Questa forma mentis, peraltro, non può prescindere dalle diversità dei singoli lavoratori, in termini delle loro caratteristiche, abilità e limitazioni. Calarsi in un'ottica di soggettività e individualità dell'operatore significa anche fare in modo di evitare che, durante l'interazione, una tensione psichica possa indurre comportamenti involontari o ragionevolmente prevedibili che conducono a situazioni rischiose e, nel peggiore dei casi, ad infortuni.

In questo senso, la progettazione deve applicare un approccio proattivo, vale a dire predisporre a monte le condizioni della zona di comfort lavorativa in cui il rischio di errore è ridotto al minimo.

Alla luce delle attuali conoscenze in neuroergonomia e psicologia cognitiva, è possibile misurare lo stress o l'affaticamento cognitivo direttamente dalla reazione fisiologica durante lo svolgimento di un'attività e quindi anche stimare il rischio di commettere un errore durante l'interazione con la macchina, in funzione della richiesta cognitiva del sistema che si sta progettando. L'obiettivo è individuare lo stato cognitivo associabile alla condizione di comfort. È quindi una premessa necessaria individuare i costrutti cognitivi antecedenti una cattiva performance.

Nello specifico, in questo lavoro, sulla base degli studi scientifici applicabili sono stati messi a fuoco i principali stati cognitivi (antecedenti e comportamenti conseguenti) fuori dalla condizione di comfort e, per ciascuno, correlati gli errori possibili tra quelli portati ad esempio nella norma come comportamento involontario o uso scorretto ragionevolmente prevedibile.

### **STATI COGNITIVI, DEGRADAMENTO DELLA PERFORMANCE ED ERRORI**

La concezione del sistema di elaborazione delle informazioni umano come limitato ci porta a porre l'attenzione sul costrutto di carico cognitivo. Tale limitazione, difatti, influenza i processi percettivi, attenzionali e di memoria. In particolare, gli individui, nell'elaborare le

informazioni, agiscono secondo meccanismi di “economia cognitiva” per non sovraccaricare il sistema. In questo senso, appare chiara la necessità di operationalizzare il concetto di sovraccarico quando si parla di sicurezza: quali sono le condizioni che possono sovraccaricare un operatore, portandolo a mettere in atto comportamenti rischiosi/scorretti?

Rispondendo a questa domanda si apre la strada alla conoscenza dei fattori causali dei comportamenti rischiosi e, di conseguenza, alla possibilità di intervenire con misure a monte per intercettarne la presenza. Il punto di partenza è trovare quindi una relazione di causa ed effetto, tra i fattori antecedenti un depauperamento cognitivo, il depauperamento stesso, e le conseguenze che possono derivarne in termini di errori.

Partendo dalla rappresentazione bidimensionale che comprende l'impegno nel compito e l'arousal (F. Dehais et al. 2020), sono stati analizzati gli studi scientifici di stampo cognitivo ed ergonomico che hanno indagato il ruolo della cognizione e del fattore umano sulla performance e sul suo depauperamento. In seguito, sono state analizzate le dinamiche che caratterizzano tale depauperamento, inteso come compromissione della funzione di ciascun fattore, e il meccanismo tramite il quale tali dinamiche possono condurre ad errori da parte dell'operatore più o meno consapevolmente.

Di seguito sono riportati i principali stati di depauperamento cognitivo (con effetti sui processi attentivi) che concorrono alla manifestazione di comportamenti causa di incidenti tipicamente addebitati ad “errore umano”:

### **Mind wandering**

Il Mind wandering, letteralmente vagabondaggio mentale/testa fra le nuvole, è causa di disattenzione e mancata concentrazione: l'operatore si distrae dal task dedicandosi a pensieri ad esso non correlati. In questi casi, gli errori che può commettere sono quelli imputabili ad una mancanza di focus sul compito in corso.

Esempio: dimenticanza o poca accuratezza nell'attività di controllo dei processi per eccessiva confidenza nel task o per routinarietà dello stesso.

### **Effort withdrawal**

L'effort withdrawal, o ritiro dallo sforzo, consiste in una riduzione delle risorse dedicate al task, e comporta la messa in atto di comportamenti o strategie per risparmiare energie e rendere più facile l'esecuzione del compito che possono rivelarsi rischiosi.

Esempio: adozione delle modalità meno impegnative nell'esecuzione di un'attività sulla base di scelte soggettive.

### **Perseveranza**

La perseveranza consiste nel ripetere una risposta comportamentale anche dopo che le richieste del compito o della situazione sono cambiate e non richiedono più l'azione precedente. Questo fenomeno può portare l'operatore a insistere in una azione anche in assenza delle giuste condizioni.

Esempio: mancato adattamento dell'attività dell'ope-

ratore (switching) al cambiamento delle richieste del sistema.

### **Cecità e sordità inattentiva**

La cecità e sordità inattentiva sono fenomeni di disattenzione che fanno sì che l'operatore sia incapace di percepire gli stimoli visivi o uditivi che riceve, rischiando così di commettere errori imputabili alla distrazione. Esempio: ignoranza del rischio per eccessiva focalizzazione sull'obiettivo assegnato.

L'analisi della letteratura scientifica svolta ha consentito di trovare una ragionevole associazione di questi con gli errori elencati dalla norma per uso scorretto ragionevolmente prevedibile (Figura 2).

### **CONCLUSIONI**

Nella realtà industriale post rivoluzione 4.0, la presenza di macchine con cui l'operatore si trova ad interagire è aumentata notevolmente.

Il lavoratore non ha più una funzione prevalente di attesa/controllo del lavoro della macchina ma ha un ruolo attivo, alternandosi, muovendosi o lavorando contemporaneamente ad essa.

Di conseguenza, le condizioni di rischio per la salute dell'operatore cambiano: se da un lato il lavoratore si trova più facilmente a lavorare in condizioni di sforzo fisico meno impattante, dall'altro viene sollecitato da un effort cognitivo non trascurabile al quale non sempre la sua capacità di risposta è equilibrata. In condizioni di discomfort la performance cognitiva degrada e la probabilità di comportamenti scorretti aumenta.

Studi scientifici, considerando il sistema di elaborazione delle informazioni umano limitato, hanno evidenziato che il carico di lavoro mentale (MWL) ha un'associazione con la ricerca sui fattori umani nelle prestazioni critiche per la sicurezza. Tuttavia, sebbene sia ormai matura la consapevolezza del peso dei fattori umani nella valutazione del rischio, resta ancora difficile operationalizzare questi concetti, essendo tante le variabili del sistema e le caratteristiche e condizioni dell'operatore. In tale contesto, un approccio alla sicurezza di tipo antropocentrico può essere un'alternativa efficace in termini di sicurezza. Piuttosto che pensare di intervenire sul rischio solo a valle con misure tecniche di protezione sulla macchina, si può pensare di progettare a monte un sistema di interazione che favorisca una condizione di comfort cognitivo per il lavoratore, consentendogli così di avere una performance alta e un comportamento più sicuro (consapevole e attento).

I recenti studi e ricerche del laboratorio IV stanno andando anche in questa direzione: le misure di sicurezza per essere efficaci devono tenere in debito conto le caratteristiche, le esigenze nonché gli aspetti cognitivi ed emotivi del lavoratore che vi opera. Sono in via di sviluppo il BRIC ID 46

*Sviluppo di un sistema multisensoriale in realtà mista per l'addestramento dinamico di lavoratori in ambienti ad alto rischio*

(Università La Sapienza - DIAG e DIMA, Università Federico II - DII) che mira a definire un sistema multisenso-

riale totalmente immersivo, attraverso combinazione di realtà fisica e virtuale (realtà mista), che sia inoltre in grado di misurare in tempo reale lo stato cognitivo ed emotivo del lavoratore (e dunque di quei fattori umani che influenzano il comportamento ma che ad oggi non vengono contemplati), e quindi di modularlo e di adattarsi ad esso, al fine di massimizzare l'efficacia dell'addestramento in ambienti di lavoro ad alto rischio; il BRIC ID 41

*Realizzazione di applicazioni collaborative di robot industriali che impiegano innovativi algoritmi adattativi rispetto all'ambiente, all'operatore e relative capacità cognitive ed emotive/emozionali*

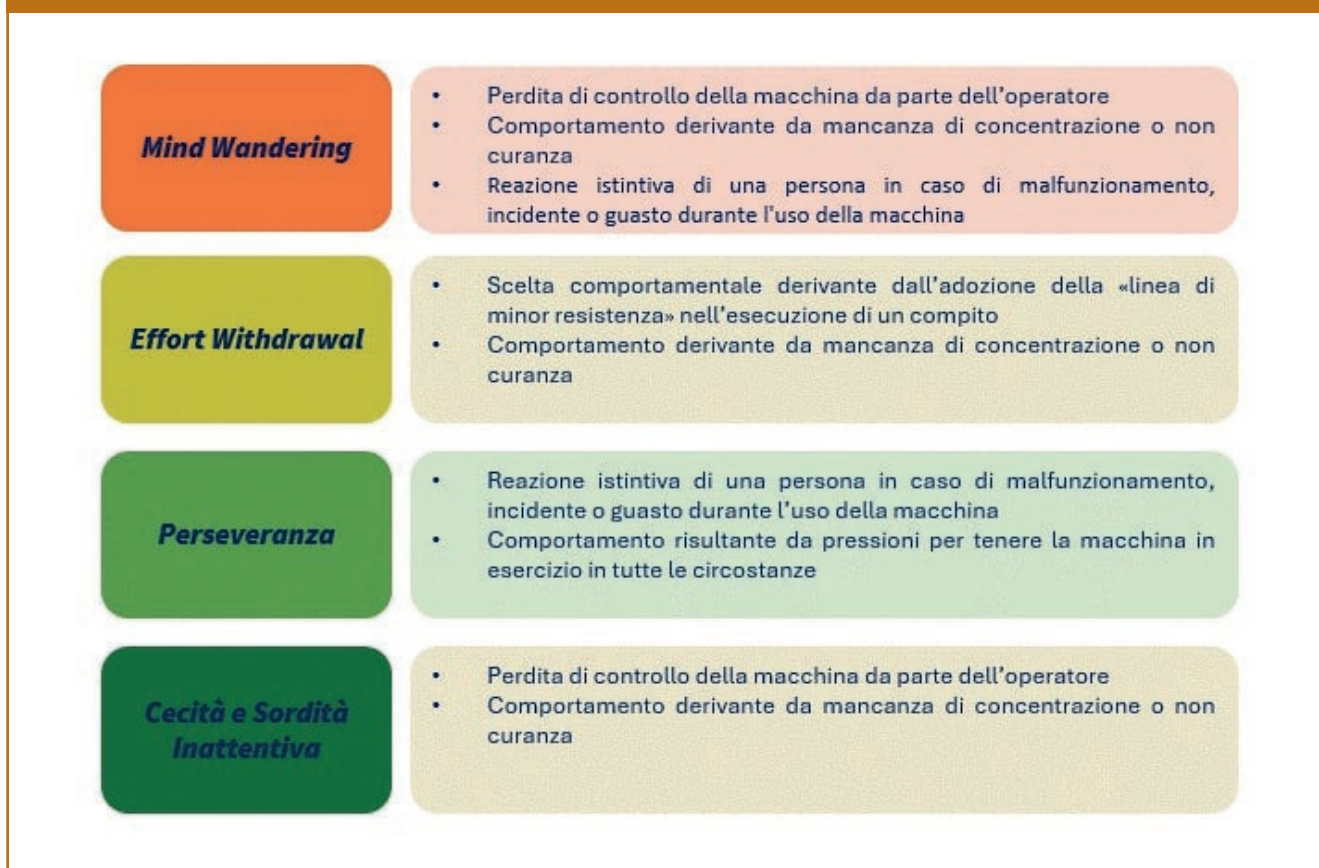
(Politecnico di Torino, DIMEAS – Università degli Studi di Cassino – DICEM, Università degli Studi di Bologna – DII). L'attività prevede di sviluppare metodologie per garantire l'adattatività del sistema robotico all'ambien-

te operativo, alla tipologia di task svolto e allo stato di affaticamento mentale del lavoratore. È stato, inoltre, recentemente pubblicato il BRIC ID 1

*Design inclusivo di un'interfaccia uomo/macchina con caratteristiche estetiche e funzionali, in grado di determinare un miglioramento nell'esperienza utente e nell'usabilità tali da favorire un'interazione più sicura con il prodotto, in considerazione delle diverse caratteristiche ed abilità degli utenti.*

La ricerca è finalizzata al design di un'interfaccia innovativa ed inclusiva che, attraverso i propri aspetti legati alla sfera visiva, fisica ed emotiva, sia in grado di determinare un miglioramento nell'esperienza utente e nell'usabilità per l'interazione valutata come più sicura, in considerazione delle diversità dei possibili operatori (donna/uomo; giovane/anziano; giovane con disturbo dell'attenzione ADHD etc.

**Figura 2** Costrutti cognitivi comportamenti di cui alla norma UNI EN ISO 12100-1 Punto 5.5.1 lettera c



## RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- ✓ D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
- ✓ Regolamento (UE) 2023/1230 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 giugno 2023, relativo alle macchine e che abroga la direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio e la direttiva 73/361/CEE del Consiglio
- ✓ UNI EN ISO 12100:2010 Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio
- ✓ UNI ISO/TR 14121-2:2013 Sicurezza del macchinario - Valutazione del rischio. - Parte 2: Guida pratica ed esempi di metodi
- ✓ UNI EN ISO 14119:2013 Sicurezza del macchinario - Dispositivi di interblocco associati ai ripari - Principi di progettazione e di scelta
- ✓ UNI EN ISO 10075-1:2018 Principi ergonomici relativi al carico di lavoro mentale - Parte 1: Principi e concetti generali, termini e definizioni
- ✓ Tomassini, L., Ferraro, A. (2014). Riflessioni su RES, valutazione dei rischi e stato dell'arte in relazione ad alcuni casi di uso scorretto e manomissione. Inserto di ISL - Igiene e sicurezza del lavoro n. 4/2014
- ✓ D. Freda, F. Valan, A. Farini, L. Di Donato, M. Pirozzi, M.V. Zanoni, A. Ferraro (2023) Sicurezza & Inclusione Analisi e Indicazioni per l'uso del colore nel codice visivo dei dispositivi di comando macchine ISBN 978-88-7484-836-2
- ✓ Hollis, R. B., & Was, C. A. (2016). Mind wandering, control failures, and social media distractions in online learning. *Learning and Instruction*, 42, 104-112
- ✓ Hotz, G., & Helm-Estabrooks, N. (1995). Perseveration. Part I: a review. *Brain injury*, 9(2), 151-159
- ✓ Lee, J. D. (2014). Dynamics of driver distraction: The process of engaging and disengaging. *Annals of advances in automotive medicine*, 58, 24
- ✓ Li, Y. (2023). Influencing mechanism of coal miners' safety compliance in the deovercapacity circumstances of coal production: Role of emotional exhaustion and mind wandering. *Journal of Workplace Behavioral Health*, 38(2), 127-146
- ✓ Merlo, K. L., Wiegand, K. E., Shaughnessy, S. P., Kuykendall, L. E., & Weiss, H. M. (2020). A qualitative study of daydreaming episodes at work. *Journal of Business and Psychology*, 35, 203-222
- ✓ Migliorini, Y., Imbert, J. P., Roy, R. N., Lafont, A., & Dehais, F. (2022). Degraded states of engagement in air traffic control. *Safety*, 8(1), 19
- ✓ Mittner, M., Boekel, W., Tucker, A. M., Turner, B. M., Heathcote, A., & Forstmann, B. U. (2014). When the brain takes a break: A model-based analysis of mind wandering. *Journal of Neuroscience*, 34(49), 16286-16295
- ✓ Molloy, K., Griffiths, T. D., Chait, M., & Lavie, N. (2015). Inattentive deafness: visual load leads to time-specific suppression of auditory evoked responses. *Journal of Neuroscience*, 35(49), 16046-16054
- ✓ Park, S., Park, C. Y., Lee, C., Han, S. H., Yun, S., & Lee, D. E. (2022). Exploring inattentive blindness in failure of safety risk perception: Focusing on safety knowledge in construction industry. *Safety science*, 145, 105518
- ✓ Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). Oops!: performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747-758
- ✓ Sandson, J., & Albert, M. L. (1984). Varieties of perseveration. *Neuropsychologia*, 22(6), 715-732
- ✓ Simons, D. J. (2000). Attentional capture and inattentive blindness. *Trends in cognitive sciences*, 4(4), 147-155
- ✓ Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2007). The lights are on but no one's home: Meta-awareness and the decoupling of attention when the mind wanders. *Psychonomic bulletin & review*, 14, 527-533
- ✓ Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2008). When attention matters: The curious incident of the wandering mind. *Memory & cognition*, 36, 1144-1150
- ✓ Stawarczyk, D., Majerus, S., Maj, M., Van der Linden, M., & D'Argembeau, A. (2011). Mind-wandering: Phenomenology and function as assessed with a novel experience sampling method. *Acta psychologica*, 136(3), 370-381
- ✓ Stawarczyk, D., Majerus, S., Maquet, P., & D'Argembeau, A. (2011). Neural correlates of ongoing conscious experience: both task-unrelatedness and stimulus-independence are related to default network activity. *PloS one*, 6(2), e16997
- ✓ Takano, K., & Reason, J. (1999). Psychological biases affecting human cognitive performance in dynamic operational environments. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 36(11), 1041-1051
- ✓ Wiegmann, D. A., Goh, J., & O'Hare, D. (2002). The role of situation assessment and flight experience in pilots' decisions to continue visual flight rules flight into adverse weather. *Human factors*, 44(2), 189-197