



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI  
"M. FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**"I RISCHI LEGATI ALL'INTRODUZIONE DELLE  
TECNOLOGIE DIGITALI NELLE OPERATIONS"**

**RELATORE:**

**CH.MO/A PROF. Furlan Andrea**

**LAUREANDO: Gabriele Fasitta**

**MATRICOLA N. 2000923**

**ANNO ACCADEMICO 2022-2023**

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

*I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.*

Firma (signature) ..  .....

# INDICE

INTRODUZIONE.....	1
<b>CAPITOLO 1: LE ORIGINI DEL 4.0.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1: La Storia.....</b>	<b>3</b>
1.1.a: La nascita dell'industria.....	3
1.1.b: Verso il 4.0.....	4
1.2: Le tecnologie 4.0: il ruolo politico.....	5
1.3: Le tecnologie 4.0: definizione.....	6
1.4: Lo Smart Manufacturing e la Smart Factory.....	7
1.5: 4.0 e l'uomo.....	8
<b>Capitolo 2: ERGONOMIA COGNITIVA, NASA-TLX E LE SFIDE DEL 4.0.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 - Ergonomia: le definizioni.....</b>	<b>10</b>
2.1.a - Ergonomia Fisica.....	11
2.1.b - Ergonomia Cognitiva.....	11
2.1.c - Ergonomia Organizzativa.....	12
<b>2.2 – Ergonomia: lo studio dietro il progresso.....</b>	<b>12</b>
2.2.a – Il Mental Workload.....	12
2.3 -Le misurazioni.....	14
<b>2.4– Il Nasa TLX: uno strumento vincente.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 - Fattori di stress cognitivo nella Smart Factory.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 – Il design dell'interfaccia come strumento risolutivo.....</b>	<b>19</b>
<b>Capitolo 3: CASI STUDIO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 - Uno studio sulle reazioni dell'utente al variare del Mental Workload.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 – Il caso Arneg.....</b>	<b>27</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>31</b>

# INTRODUZIONE

Il presente elaborato si propone di analizzare l'impatto delle nuove tecnologie digitali (4.0) sulle imprese in ambito manifatturiero, prestando particolare attenzione al rapporto uomo-macchina e all'eventuale stress cognitivo che viene provocato da una rivoluzione di questo genere. Il punto focale è pertanto l'ergonomia cognitiva sebbene saranno brevemente analizzate anche l'ergonomia fisica ed organizzativa.

Allo stato attuale nel contesto internazionale è possibile apprezzare gli enormi passi avanti compiuti grazie all'introduzione delle nuove tecnologie digitali, sia in termini di efficienza produttiva che di ergonomia. Si vedrà quindi come per tenere il passo con le principali potenze mondiali, in Italia, siano stati stanziati incentivi volti a motivare le imprese e a spingerle a fare un passo verso un futuro sempre più interconnesso, dedicando maggiore attenzione non solo all'IT<sup>1</sup> ma anche all'OT.<sup>2</sup>

Conseguentemente alla rivoluzione in questione si assiste sempre più alla nascita di nuove figure studiate ad hoc affinché siano funzionali ad uno sviluppo consapevole, coerente e mai brusco delle aziende.

La prova finale in questione tratterà quindi l'intero ciclo riguardante l'implementazione di tali tecnologie dallo studio dei possibili effetti sull'uomo tramite degli strumenti come il NASA-TLX che pongono al centro il lavoratore, fino ad arrivare ai benefici e gli annessi rischi di tecnologie interconnesse di questo tipo.

Nel primo capitolo si affronterà la genesi delle tecnologie di nuova generazione a partire dalla prima rivoluzione industriale fino ad arrivare al giorno d'oggi, con una descrizione dettagliata di come le scoperte e le sempre più complesse tecnologie hanno cambiato il mondo del lavoro. Si approfondiranno altresì le tecnologie 4.0, il loro funzionamento e il ruolo che rivestono all'interno di un contesto aziendale di stampo manifatturiero.

Il secondo capitolo riguarderà, invece, lo studio dell'impatto delle nuove tecnologie sull'uomo tramite il NASA-TLX, nonché il concetto di Mental Workload, e l'importanza di una corretta progettazione delle interfacce utente all'interno di un sistema integrato di tecnologie di ultima generazione finalizzato ad evitare proprio il MWL.

---

<sup>1</sup> IT(information technologies): tecnologie che consentono lo stoccaggio di dati e la trasmissioni di questi tra diversi sistemi, le IT più rappresentative sono i server e sistemi di archiviazione

<sup>2</sup> OT(Operation technologies): tecnologie che controllano i processi e le operazioni industriali

Il terzo ed ultimo capitolo sarà dedicato all'analisi di uno studio condotto grazie all'utilizzo del NASA-TLX riguardanti principalmente l'ergonomia cognitiva. Lo studio è stato condotto ricostruendo un sistema ecologico che riprenda in pieno le caratteristiche di una catena di montaggio e consiste nell'assegnazione di compiti di diversa intensità così da studiare i risultati ottenuti dall'analisi di operatori posti in situazioni di stress. All'interno dello stesso capitolo verrà affrontato un caso di introduzione di una nuova tecnologia digitale (4.0) osservato durante il sostenimento del tirocinio presso Arneg S.p.A.

L'ultima parte dell'elaborato sarà dedicata alle Conclusioni, e sarà il punto in cui saranno tirate le somme di quanto affrontato nei vari capitoli e in cui verrà stilato un bilancio di vantaggi e svantaggi delle nuove tecnologie digitali.

# Capitolo 1: LE ORIGINI DEL 4.0

## 1.1: La Storia

Il 4.0 non è altro che il frutto di un continuo e secolare ciclo di evoluzione del tessuto sociale, politico e industriale mondiale; il primo passo verso il mondo attuale è stato compiuto nel XVIII secolo con la Prima Rivoluzione Industriale. È proprio studiando il percorso storico che ha portato all'Industria 4.0 che è possibile apprezzarne ogni sfaccettatura, e comprendere come il ruolo dell'uomo all'interno delle aziende sia mutato sia in termini di percezione nel contesto lavorativo, che per mansioni svolte, le specializzazioni richieste e lo stress psicofisico imposto. Nel corso del tempo l'uomo ha infatti smesso di essere un'entità differente dal lavoratore, concentrandosi in un'unica figura con le medesime necessità, non esiste infatti lavoratore che in primis non sia uomo e questo è un fattore che le aziende tengono in sempre maggior considerazione

Questo primo capitolo sarà quindi un viaggio attraverso la storia della tecnologia in ambito manifatturiero che termina nel XXI secolo con l'introduzione delle tecnologie digitali 4.0.

### 1.1.a: La nascita dell'industria

Durante il XVIII secolo assistiamo alla Prima Rivoluzione Industriale che porta con sé l'introduzione delle macchine a vapore, la produzione meccanizzata e un aumento dell'uso delle macchine nelle industrie tessili e manifatturiere; si ha quindi un incremento dell'efficienza con conseguente riduzione del carico di lavoro, del tempo necessario a produrre i beni e al contempo dello stress percepito dai lavoratori, sia questo di tipo fisico o mentale. Sebbene in una forma primordiale, questo ha posto le basi per l'automazione come la conosciamo oggi; ed è proprio in questo periodo storico, grazie alle innovazioni nel settore produttivo che possiamo assistere alle prime vere economie di scala che risultano in una riduzione del personale necessario a svolgere determinati compiti e dei requisiti di specializzazione ricercati negli operai. Nonostante il lavoro e il personale necessari minori, l'innovazione tecnologica del tempo non ebbe come risultato un miglioramento delle condizioni dei lavoratori che versavano invece in rovina. Le economie di scala, infatti, si tradussero in uno sfruttamento eccessivo dei lavoratori e generarono condizioni di estrema povertà a causa di una totale assenza di adeguata regolamentazione che permetteva agli imprenditori di corrispondere salari miseri e certamente insufficienti a fronte di un carico di lavoro veramente elevato. A risentire di un assente sistema

di leggi che garantisse condizioni di lavoro umane furono anche le condizioni dei posti di lavoro con ambienti lavorativi sempre poco sicuri e salubri.

A seguire, tra il XIX e XX secolo, si assistette alla Seconda Rivoluzione Industriale che portò ad un miglioramento complessivo delle innovazioni già introdotte durante la prima, distinguendosi da quest'ultima per l'introduzione e lo sviluppo di due innovazioni tecnologiche di portata epocale: elettricità e motore a scoppio. Tra i principali settori maggiormente sviluppati ci sono quello siderurgico grazie all'avvento dell'acciaio e quello medico-chimico con la nascita dei primi antibiotici. Lo sviluppo tecnologico in questione, specialmente l'uso coadiuvato di acciaio per i telai e del motore a scoppio, ha portato ad una rivoluzione nel settore dei trasporti a seguito dell'invenzione delle prime automobili e degli aeroplani. Si ritenne, pertanto, necessario il passaggio ad una maggiore divisione del lavoro con conseguente standardizzazione dei processi produttivi. Nel settore automobilistico e ingegneristico si assistette ad una maggiore richiesta di lavoratori con qualifiche sempre maggiori. La necessità di nuovi sistemi organizzativi si tradusse nella nascita di Taylorismo e Fordismo come modelli organizzativi figli della nuova industrializzazione. Il Taylorismo si basa sulla divisione in micro-operazioni elementari ed incredibilmente specifiche e aveva un focus sulla standardizzazione dei processi determinando il tempo necessario e le competenze specifiche utili a quel dato compito. Il Fordismo, d'altra parte, si ripropone di evolvere la teoria Taylorista concentrandosi però maggiormente sul ruolo del lavoratore, fornendo incentivi di tipo economico o di riduzione delle ore di lavoro per garantire una maggiore efficienza, generata da un maggior benessere dell'operaio. La seconda rivoluzione industriale portò con sé anche i primi segni della globalizzazione, è possibile infatti, proprio in questo periodo, apprezzare per la prima volta i segni di un'economia interconnessa che permettesse e favorisse lo scambio di materie oltre oceano e garantisse ad ogni nazione di specializzarsi nella produzione di beni locali da esportare.

### **1.1.b: Verso il 4.0**

La terza rivoluzione industriale si differenzia dalle prime due, perché taglia i rapporti con il passato dando inizio ad una nuova era. Infatti se la seconda rivoluzione industriale continua nel segno della prima, la terza si pone invece come un nuovo inizio, introducendo un nuovo modo di pensare il contesto manifatturiero e che vede l'arrivo di Internet come *game changer*.

La terza rivoluzione industriale detta anche rivoluzione 3.0 nasce tra gli anni '70 e '80 del secolo scorso e implica lo studio e l'adozione su larga scala delle tecnologie digitali.

L'introduzione di quest'ultime ha posto le basi per quella che poi è stata la quarta rivoluzione industriale, poiché si assiste all'introduzione di internet e conseguentemente dell'Iot, così come l'avvento dei computer e delle ICT<sup>3</sup>. Enormi passi avanti sono poi stati fatti in campi quali la robotica e l'automazione e in termini di raccolta e analisi dati. Grazie all'introduzione di queste tecnologie sempre più processi lavorativi sono stati affidati a macchine, robot e algoritmi in grado di sostituire alcuni lavori manuali in contesti di produzione standardizzata e ripetuta. L'introduzione delle nuove tecnologie ha dato vita alla mass customization, ovvero un processo di personalizzazione dei prodotti che mantenga un'efficienza paragonabile a quella della produzione di massa (Tseng, 1996) e che quindi implica un passaggio dal make to stock al make to order. Il tutto si è dimostrato possibile lavorando su una personalizzazione software, puntando su una servitizzazione dell'offerta o ancora creando prodotti modulari (Vendermerwe & Rada, 1988). L'avvento di Internet ha portato alla nascita del lavoro agile e flessibile che permette al lavoratore di lavorare da remoto e determinando da sé i propri orari di lavoro favorendo peraltro il processo di servitizzazione che concede maggiori profitti e minori costi fissi per le materie prime. Come conseguenza abbiamo una riprogettazione dei processi lavorativi, dei ruoli e delle mansioni da svolgere.

## **1.2: Le tecnologie 4.0: il ruolo politico**

La rivoluzione 4.0 prende piede a partire dal 2013, la prima volta in cui viene denominata in questo modo è alla Fiera di Hannover del 2011, dove viene presentato il progetto delle Industrie 4.0, che consisteva in investimenti in infrastrutture, sistemi energetici, aziende ed enti di ricerca per migliorare e ammodernare il sistema produttivo tedesco, con l'obiettivo di portare la Germania ai vertici mondiali.

I risultati ottenuti dalla Germania hanno spinto le altre potenze mondiali a perseguire la stessa strategia, di conseguenza sono emersi degli studi che hanno stimato che l'applicazione del piano avrebbe generato una perdita di circa cinque milioni e mezzo di posti di lavoro, specialmente nel settore amministrativo e in produzione. Tali perdite, in realtà, verranno compensate dal settore finanziario, quello del management, l'informatica e l'ingegneria. La spinta al lavoro flessibile ha modificato anche le competenze richieste che adesso diventano il pensiero critico e la creatività.

---

<sup>3</sup> ICT (*Information and Communication Technologies*): Tecnologie riguardanti i sistemi integrati di telecomunicazione (linee di comunicazione cablate e senza fili), i computer, le tecnologie audio-video e relativi software, che permettono agli utenti di creare, immagazzinare e scambiare informazioni.

L'Italia, nel tentativo di allinearsi al piano strategico in questione, ha creato una serie di supporti ed incentivi alla transizione digitale delle aziende con lo scopo di rinnovare il sistema industriale italiano. Di seguito verranno elencati brevemente alcuni di questi incentivi:

- Iper e Superammortamento: Incentivi all'adozione di tecnologie, siano questi software o sistemi IT coerenti con un piano di industria 4.0 e quindi, supervalutazione del 140% o del 250%, degli investimenti in beni materiali o strumentali.
- Nuova Sabatini: Piano di sostentamento di imprese che intendono usufruire di finanziamenti bancari per investimenti in beni immateriali o materiali che siano funzionali alla transizione al 4.0. Il focus dell'incentivo è sulle Piccole e medie imprese ed indipendente dal settore di utilizzo.
- Credito d'imposta R&S: Lo scopo è quello di incentivare l'innovazione di processo e di prodotto, investendo in ricerca e sviluppo con un credito di imposta del 50% fino a 20milioni di euro/anno

### **1.3: Le tecnologie 4.0: definizione**

L'analisi delle prime tre rivoluzioni industriali è funzionale alla contestualizzazione dell'ultima rivoluzione, la 4.0, attualmente in corso, Questa riprende, infatti, tutto ciò che è stato introdotto dalla terza e lo eleva ai massimi livelli, con l'obiettivo di strutturare un sistema interconnesso tra i vari macchinari, in modo che questi possano comunicare rapidamente ed efficientemente tra di loro con il minimo intervento umano.

Tra le tecnologie facenti parte di questa rivoluzione troviamo:

- L'Intelligenza Artificiale: insieme di software, algoritmi e modelli di apprendimento che permettono ai sistemi di adattarsi e apprendere intelligentemente senza l'intervento umano;
- IoT: la connessione tra dispositivi di diverso tipo, come macchine e sensori, ha come base l'internet che consente di reperire tutti i dati necessari all'automazione dei processi;
- AR e VR: Realtà aumentata e Realtà Virtuale funzionali alla progettazione e alla simulazione di processi e macchine, oltre ad essere utili ad una maggior efficienza manutentiva;
- Big Data: grazie all'IoT si è reso molto più semplice assimilare, accumulare e analizzare informazioni da migliaia di fonti differenti al fine di migliorare la precisione delle scelte decisionali;

- Robotica e Automazione: l'introduzione di robot in grado di sostituire o aiutare l'uomo, quest'ultimi in ambito operativo prendono il nome di Cobot<sup>4</sup>;
- Stampanti 3D: danno alle aziende una maggiore flessibilità in termini di materiali, qualità e geometrie innovative, garantendo una velocità di stampa elevata e una grande riduzione dell'impatto ambientale;
- Cloud Computing: le aziende possono appoggiarsi a sistemi *cloud* che permettono una maggiore flessibilità dovuta ad una consultabilità di elementi via internet per archiviare, monitorare e condividere dati e informazioni.

#### **1.4: Lo Smart Manufacturing e la Smart Factory**

L'insieme di queste tecnologie va ad alimentare lo "Smart Manufacturing" che consiste nell'applicazione dei succitati sistemi con l'obiettivo di creare fabbriche di nuova generazione, più flessibili e digitalizzate. Lo *Smart Manufacturing* andrebbe quindi ad elevare la qualità dei prodotti, l'efficienza energetica, la manutenzione predittiva e una maggior sicurezza.

Il concetto di *Smart Factory* invece, sebbene non ben definito, risulta essere un sinonimo di Industria 4.0 come combinazione tecnologica delle diverse tecnologie digitali con fine ultimo quello di creare capacità di produzione flessibile e allo stesso tempo auto-adattiva. Al centro di tutto il processo dello *Smart Manufacturing* e delle *Smart Factories* vi è l'informazione, intesa come filo conduttore che collega automazione, interazione e connessione.

Un esempio esplicativo di funzionamento di una *Smart Factory* può essere il seguente: un macchinario connesso ad internet può avere dei sensori in grado di rilevare delle informazioni o dei parametri necessari. Le rilevazioni vengono inviate ad un livello del sistema in grado di fare le prime elaborazioni utili ad estrarre degli indicatori funzionali. I dati vengono successivamente trasferiti ad un'adeguata infrastruttura *cloud* in grado di storicizzare la grande mole di dati che viene prodotta dall'utilizzo delle tecnologie IoT. In seguito, i dati vengono analizzati da strumenti di *analytics* e *machine learning*, ovvero è possibile applicare modelli che facilitino l'estrazione di indicatori utili e quindi mettere in atto logiche predittive in grado di prevenire un intervento di manutenzione. A questo punto l'intelligenza artificiale può programmare uno o più interventi di manutenzione preventiva a intervalli regolari, il tutto autonomamente. Il ciclo si appresta alla conclusione nel momento in cui all'analisi dei dati si sussegue un'azione o decisione. L'intero processo si conclude con la storicizzazione dello

---

<sup>4</sup> COBOT (Collaborative Robot): robot che condividono lo spazio lavorativo con gli umani e che collaborano con essi senza sostituirli

stesso. Questo comincia quindi a far parte del patrimonio informativo, che sarà particolarmente importante nel prendere decisioni future. Il ciclo diventa parte di un processo di apprendimento continuo, che porta ad un costante miglioramento dei processi.

Sebbene questo esempio risulti altamente esplicativo, proprio in quanto estremamente semplificato nel suo funzionamento, non è rappresentativo di tutte le tecnologie digitali impiegate nell'industria 4.0, rimangono fuori infatti robotica, realtà aumentata e manifattura additiva che sono invece parte integrante di altri tipi di processi.

Lo *Smart Manufacturing* si può suddividere poi nelle seguenti 3 aree:

- **Smart production:** simbiosi uomo-macchina inteso come collaborazione uomo-macchina-strumenti
- **Smart service:** Tutti i servizi che permettono la smart production e che quindi permettono alle macchine, i sistemi, le strutture e le aziende di comunicare e di essere integrati tra loro
- **Smart energy:** è un concetto legato alla sostenibilità e quindi l'attenzione all'uso di energie sostenibili e del contenimento dello spreco

## 1.5: 4.0 e l'uomo

Con l'introduzione delle nuove tecnologie digitali l'uomo ha ricoperto ruoli sempre meno fisici, realizzando sempre più uno sforzo mentale, questo ha comportato un rimescolamento dell'equilibrio tra domanda e offerta nel mondo del lavoro. L'uomo ha quindi giovato del processo tecnologico nella misura in cui gli ambienti lavorativi hanno consentito un maggior benessere fisico, permettendo anche che fosse la mente il valore aggiunto di ogni impiegato. Si è manifestata la necessità di avere operai sempre più specializzati, al contempo la richiesta di impiegati di ogni rango è cambiata con la necessità di un sempre più alto grado d'istruzione e competenze sempre più specifiche. L'innovazione però non porta con sé solo i vantaggi già sviscerati durante questo capitolo ma anche rischi, perplessità e nuove sfide che riguardano ogni livello dell'organico dell'intero tessuto industriale. Il futuro, grazie all'Intelligenza artificiale e i passi in avanti fatti dall'automazione, taglierà via dal mercato del lavoro figure che non saranno più utili e una delle perplessità riguarda il futuro di chi non riuscirà ad ottenere le competenze richieste. Nasceranno però nuovi posti di lavoro e nuove figure professionali, basti pensare alla figura dell'Innovation Manager che sempre più è richiesto per supportare la transizione aziendale al 4.0. Un ulteriore fattore da tenere in considerazione è quello dello stress

mentale dei dipendenti, nei confronti dei quali l'azienda ha il compito di intervenire per far sì che non ne aumentino i livelli.

## **Capitolo 2: ERGONOMIA COGNITIVA, NASA-TLX E LE SFIDE DEL 4.0**

L'innovazione tecnologica apprezzabile a seguito delle ultime due rivoluzioni industriali ha portato con sé un numero spropositato di vantaggi per l'industria manifatturiera. Tuttavia, questi rappresentano solo una faccia della medaglia, infatti, un quesito da porsi nel momento in cui si decide di attuare un processo di innovazione è quello riguardante l'adattabilità del contesto lavorativo alle nuove tecnologie. Una qualsiasi azienda è formata da un organico variegato e questo si traduce in un diverso approccio dei lavoratori a nuovi modi di lavorare. Infatti, variabili come il grado d'istruzione, le inclinazioni personali e l'età possano giocare un ruolo di fondamentale importanza nell'accettazione di un lavoro in cui è necessaria la collaborazione uomo-macchina. L'aspetto che viene maggiormente impattato è quello dell'ergonomia cognitiva e quindi dello stress mentale percepito dall'uomo nel momento in cui si interfaccia a compiti che comprendano l'utilizzo di macchinari di nuova generazione.

Di seguito verranno illustrati i diversi aspetti dell'ergonomia naturalmente coinvolti, e gli strumenti che studiano il Mental Workload.

### **2.1 - Ergonomia: le definizioni**

Con il termine ergonomia intendiamo una disciplina che studia l'interazione tra l'uomo e l'ambiente lavorativo e, sebbene il primo pensiero legato a questo termine rimandi spesso ad un unico tipo di ergonomia, ovvero quella fisica, in realtà questa abbraccia diversi ambiti del contesto lavorativo che viene per questo motivo studiato e analizzato in ogni sua sfaccettatura. È quindi necessario tenere in considerazione una grande mole di variabili con l'intento di ignorare il minor numero di aspetti possibili. L'ergonomia ha quindi come obiettivo principale quello di migliorare le *performance* dei lavoratori, garantendo loro le migliori condizioni lavorative possibili. Questo è frutto della naturale evoluzione di quanto visto con le prime rivoluzioni dove, nel tentativo di massimizzare le *performance* e ridurre i costi, si rinunciava a garantire delle adeguate condizioni lavorative. Perché un ambiente lavorativo diventi efficiente è necessario studiare altri aspetti della vita lavorativa e per questo motivo questo elaborato tratterà il concetto di ergonomia sotto tre punti di vista complementari:

- Ergonomia Fisica
- Ergonomia Cognitiva
- Ergonomia Organizzativa

### **2.1.a - Ergonomia Fisica**

L'ergonomia fisica abbraccia tutto ciò che implica la fisicità del lavoratore indipendentemente dalla mansione che svolge, sia questo un impiegato d'ufficio o un operatore in produzione; questa disciplina si occupa, infatti, dell'interazione dell'uomo con le sollecitazioni che provengono dall'ambiente esterno, qualunque esse siano. Tale tipo di ergonomia riguarda quindi l'intero organico dell'azienda e studia come migliorare le condizioni fisiche dei lavoratori nell'interfacciarsi ai loro mezzi, siano questi computer o macchinari. Questa disciplina si ripropone, quindi, di ridurre lo stress psicofisico percepito dall'operatore progettando spazi, attrezzature e processi produttivi in funzione delle mansioni assegnate. Per contestualizzarla meglio è utile fare riferimento all'esempio più immediato, ovvero quello dell'ufficio: all'interno di un ufficio sebbene lo sforzo fisico sia minimo, se non nullo, è necessario studiare lo spazio vitale degli impiegati adottando scrivanie, sedie e mouse che consentano loro di operare nel maggior comfort possibile, progettando un layout ad hoc nel tentativo di ridurre al minimo la probabilità che si possa adottare una cattiva postura e che quindi il lavoratore ne risenta a lungo andare.

### **2.1.b - Ergonomia Cognitiva**

“L'ergonomia cognitiva ha come oggetto di studio l'interazione tra il sistema cognitivo umano e gli strumenti per l'elaborazione di informazione. La conoscenza prodotta da questo studio è utilizzata per supportare la progettazione di strumenti appropriati per i più svariati usi, dal lavoro, all'educazione, al divertimento” (Società Europea di Ergonomia Cognitiva).

Il termine Ergonomia Cognitiva racconta di una disciplina che, evolvendosi costantemente, permette il dialogo, la sinergia e la simbiosi uomo-macchina, mediante processi cognitivi quali le reazioni di memoria, ragionamento e risposta sensoriale. L'obiettivo finale è quello di creare un sistema totalmente integrato tra le tecnologie digitali e la “mente umana” che permetta il miglioramento dell'uno in risposta al perfezionamento dell'altro, come se lo sviluppo di questa unione dipendesse da una sorta di auto-alimentazione. L'uomo alimenta, infatti, la macchina apportando modifiche e piegandola al suo volere e la macchina, ancor di più con l'introduzione dell'IA ma già dapprima grazie agli algoritmi, si modifica in funzione dell'uomo diventando sempre più *user-friendly*<sup>5</sup>. L'idea si sposta quindi dal concetto di “macchina che sostituisce

---

<sup>5</sup> User-friendly: in informatica si usa per indicare qualcosa che è di facile utilizzo anche per chi non è un esperto

l'uomo" a quello di coesione dei due attori, che favorisca la massimizzazione delle *performance*, garantendo il benessere dell'operatore. Lo studio dietro l'ergonomia cognitiva diventa quindi utile a progettare sistemi e piattaforme sempre più sicuri ed efficienti, considerando contemporaneamente come variabili essenziali l'emotività e la psiche del lavoratore.

### **2.1.c - Ergonomia Organizzativa**

L'ergonomia organizzativa si occupa, invece, di perfezionare processi sociotecnici complessi quali organizzazioni sociali, produttive e di scopo. Si propone, quindi, di gestire la cooperazione e la partecipazione necessari all'interazione tra individui, strutture e sistemi. Si concentra anche sull'organizzazione del lavoro in quanto tale con la pianificazione dei compiti, degli orari, del lavoro di squadra o della gestione delle risorse umane. L'ergonomia organizzativa ha come obiettivo quello di creare armonia tra i sistemi, garantendo soddisfazione e impegno dei propri membri e quindi includendo le persone nella risoluzione stessa di problemi di carattere ergonomico.

## **2.2 – Ergonomia: lo studio dietro il progresso**

Dietro ogni passo in avanti in termini ergonomici vi è un'analisi dettagliata che pone gli uomini come elementi centrali di studio. Questo avviene con l'utilizzo di strumenti specifici che raccolgono dati sulle reazioni dei lavoratori al carico lavorativo, allo stress, alle mansioni da svolgere e al numero di *task*. Uno degli strumenti maggiormente riconosciuti è il NASA-TLX, che si è rivelato di enorme utilità sin dalla sua creazione e che consiste in un test di autovalutazione da somministrare agli operatori. Grazie alle tecnologie di ultima generazione, come ad esempio i VR, la valutazione delle reazioni dell'uomo allo sforzo è diventata sempre più precisa, meno invasiva e accurata, per mezzo dell'utilizzo di strumenti più complessi, riuscendo a valutare come lo stress si traduca in segnali fisiologici.

### **2.2.a – Il Mental Workload**

La complessità dei compiti che un lavoratore deve svolgere gioca un ruolo fondamentale sulle sue *performance*. Un incarico complesso può infatti generare una serie di meccanismi

involontari che spesso vanno a ridurre le prestazioni in termini di efficienza e tempo necessario a concludere uno o più compiti. Lo studio delle condizioni fisiche di un impiegato spesso ci dimostra quanto un compito sia arduo; infatti, è possibile notare notevoli differenze nello svolgimento di lavori con diverse difficoltà, analizzando specifici parametri che si sono rivelati, nel corso del tempo, efficaci indicatori dello stress percepito. Centrale è l'aspetto cognitivo, che riveste crescente rilevanza in vista del carico di stress mentale indotto dalle più recenti innovazioni tecnologiche. Le reazioni fisiologiche del lavoratore in situazioni di particolare difficoltà vanno ad alimentare il livello del MWL<sup>6</sup>, o carico di lavoro mentale, che è definito come la richiesta mentale imposta ai lavoratori dall'esecuzione dei compiti e quindi, le risorse cognitive alle quali devono attingere gli operatori per soddisfare queste richieste. Tale definizione può tuttavia dimostrarsi semplicistica e, poiché la letteratura ha fornito varie alternative nel tentativo di racchiudere le numerose dimensioni riguardanti il MWL, la definizione più accreditata è quella di Young e Stanton che hanno parlato di come il MWL rifletta "il livello di risorse attenzionali richiesto per soddisfare criteri di prestazione oggettivi e soggettivi, che possono essere mediati dalle richieste del compito, dal supporto esterno e dall'esperienza passata".

Il concetto di MWL si afferma a partire dagli anni '80 in ambito ergonomico e da allora assume crescente rilevanza, considerando come la tecnologia moderna imponga richieste cognitive gradualmente maggiori a fronte di richieste fisiche minori. Tra le misure implicite analizzate che vanno ad alimentare il MWL abbiamo:

- Frequenza Cardiaca: aumenta con richieste più elevate per compiti più complessi o che implicino il *multitasking*;
- Conduttanza Cutanea<sup>7</sup>: aumenta in ambienti di lavoro complessi o in presenza di compiti secondari;
- Metriche Oculari: variazione nel diametro della pupilla o nella frequenza di fissazione. Entrambe le metriche vanno in diminuzione nel momento in cui si parla di compiti particolarmente complessi.

Sebbene l'attenzione venga spesso posta sul sovraccarico dell'operatore, in realtà altrettanta importanza va data ad un carico mentale troppo basso, in quanto impatterebbe in modo ugualmente negativo le prestazioni, poiché porterebbe a cali di attenzione e ad errori conseguenti. Si presenta quindi come azione necessaria la riduzione del valore del MWL nel

---

<sup>6</sup> MWL: Mental Workload

<sup>7</sup> O attività elettro-dermica: misura delle variazioni nella temperatura corporea e alla sollecitazione psico-emotiva

caso in cui questo risulti eccessivamente elevato, evitando, allo stesso tempo, che questo raggiunga livelli smisuratamente ridotti.

	MWL	PWL	WL
1980s	58	7	260
1990s	140	47	563
2000s	191	55	662

FIGURA 1

Numero di riscontri nel database Ergo-Abs risultanti da una ricerca decennale per i termini “carico di lavoro mentale” (MWL), “carico di lavoro fisico” (PWL) e “carico di lavoro” (WL).

### 2.3 -Le misurazioni

La ricerca che si occupa del MWL generalmente distingue 3 parametri fondamentali:

1. **Misurazione del compito primario e/o secondario:** generalmente vengono affidati 2 compiti all’operatore e si valutano le prestazioni ottenute sul compito secondario ponendo la priorità sul primo compito. Queste sono correlate alle capacità inutilizzate dall’operatore nello svolgimento del primo compito, pertanto, si preferisce che il compito secondario risulti sovrapponibile in termini di risorse richieste a quelle del primario;
2. **Relazioni soggettive:** essendo il MWL soggettivo, è possibile chiedere direttamente al soggetto che stiamo studiando le sue percezioni e quindi di effettuare un auto-segnalazione tramite un questionario da compilare che sfruttano un sistema scalare. Uno tra i più comuni è il NASA-TLX. Il vero problema dell’utilizzare le relazioni soggettive come parametro di studio per il MWL è che spesso la somministrazione di questi questionari risulta lunga e complessa, si finisce quindi per ottenere delle misurazioni poco accurate. A tal proposito si sta, infatti, tentando di semplificare l’iter;<sup>8</sup>
3. **Metriche fisiologiche:** come anticipato, parametri come la pressione sanguigna, la frequenza cardiaca, l’attività celebrale, sono metriche che risentono dello stress percepito sul posto di lavoro.<sup>9</sup>

Per quanto questi possano sembrare indicatori univoci, in realtà non lo sono in quanto, se analizzati a sé, tali dati potrebbero portare ad un fraintendimento, causando quindi anche errori

<sup>8</sup> Su IOS è stata rilasciata un’applicazione ufficiale della Nasa per la somministrazione del NASA-TLX.

<sup>9</sup> Fino a poco tempo fa, queste misurazioni, avvenivano con l’applicazione di elettrodi e strumenti abbastanza invasivi da porre su uno operatore tali da apparire come fastidiosi, tuttavia adesso queste misurazioni sono senza fili e quindi anche più accessibili.

generati da una valutazione limitata e fallace (Mingardi, M., Pluchino, P., Bacchin, D., Rossato, C., & Gamberini, L. 2020).

Per evitare tale problema, la soluzione migliore sarebbe combinare varie fonti di informazione, unendo quindi dati impliciti ed espliciti, così da ottenere una visione più completa. I dati impliciti sono costituiti dalle risposte che gli operatori forniscono indirettamente attraverso le loro *performance* o i loro comportamenti. Infatti, la velocità nello svolgere un compito, la precisione con cui viene svolto o il tempo necessario possono essere indicatori del carico lavorativo che l'utente percepisce. D'altra parte, i dati espliciti sono invece i riscontri forniti dai dipendenti stessi, che possono da sé effettuare una valutazione soggettiva del carico di lavoro percepito.

Sebbene da un punto di vista, quanto appena detto vada ad impattare sull'interpretabilità dei dati, dall'altro invece evidenzia un nuovo problema, ovvero quello della trasparenza del sistema. Infatti, se l'utente non è consapevole delle finalità dei test non riuscirà a comprendere eventuali modifiche e il processo assumerà le sembianze di una scatola nera, andando a minare la qualità e il tipo di informazioni fornite dall'utente e intaccando, altresì, l'efficacia delle conseguenti modifiche al sistema. Nonostante i dispositivi di monitoraggio diventino sempre meno fastidiosi e molto spesso anzi assumano le forme di un *wearable*<sup>10</sup>, questo non significherà che gli utenti parteciperanno volontariamente agli studi senza conoscerne le reali motivazioni. Il problema si configura come ancora più complesso se come variabile aggiungiamo quella dell'utilizzo dei dati personali. In tal caso sorgono, infatti, questioni etiche e morali sul loro sfruttamento e sull'uso improprio che se ne potrebbe fare. Questo ambito costituisce uno snodo focale, dal momento che l'obiettivo principale nella creazione di un sistema simbiotico è la capacità di agire aggirando l'utente.

## **2.4– Il Nasa TLX: uno strumento vincente**

Hart e Staveland (1988) descrivono la tecnica di misurazione del carico di lavoro *Task Load Index* (TLX) della NASA e ne presentano la convalida empirica che la supporta. Essi affermano che "... le valutazioni soggettive possono avvicinarsi di più all'essenza del carico di lavoro mentale e forniscono l'indicatore più generalmente valido e sensibile".

---

<sup>10</sup> Wearable (Dispositivi elettronici indossabili): Smartwatch e fit-band sono ormai di uso comune e con le capacità di analizzare diversi aspetti fisiologici come ossigenazione e battito cardiaco.

Il Nasa-TLX<sup>11</sup> è uno strumento ampiamente utilizzato per misurare il carico di lavoro con l'obiettivo di valutare l'efficacia dello svolgimento di un compito, l'efficienza di un sistema, di un gruppo o ancora di valutare altri aspetti delle prestazioni. È frutto di uno sviluppo dello *Human Performance Group* presso l'Ames Research Center della Nasa che è durato 3 anni e si è basato su più di 40 simulazioni di laboratorio. Gli oltre 4000 studi che lo hanno citato bastano a comprendere quanto questo strumento venga tenuto in considerazione nei più svariati settori, tra questi l'aviazione e la sanità. Si dimostra così popolare negli studi per la sua facilità di applicazione; infatti, viene spesso somministrato con una versione cartacea, da pc o su smartphone. Il test deve, inoltre, la sua notorietà anche alla versatilità che lo contraddistingue. Non sono pochi, infatti, i casi in cui il NASA TLX è stato modellato sugli scopi prefissati. Si sono verificati dei casi in cui parte delle sezioni è stata modificata (Park e Cha 1998), oppure sono stati utilizzati i valori grezzi<sup>12</sup>, così come altri in cui all'autovalutazione è stata associata anche una valutazione psico-fisiologica che analizzasse stress, fatica, fiducia, esperienza, consapevolezza della situazione o ancora reazioni cardiovascolari, muscolari, cutanee e cerebrali, tramite anche l'utilizzo di dispositivi esterni volti a misurare i valori in questione (Hart, 2006; Baulk, 2007, Reilly, Grasha, Matthews & Schafer, 2003). A riguardo è in preparazione una scala multi-componenziale che valuta il *Workload* sotto tutti i possibili aspetti di un compito ritenuti importanti in letteratura.

Il Nasa TLX si dimostra vincente poiché soddisfa i criteri determinanti una buona tecnica di valutazione, tra questi: sensibilità, capacità, diagnostica, selettività, bassa intrusività, affidabilità e facilità di implementazione.

Risulta, a questo punto necessario definire il concreto funzionamento del test Nasa. Essendo una tecnica di valutazione soggettiva del carico di lavoro, questa si basa su una media ponderata delle valutazioni relative a sei scale:

1. Richiesta mentale: Livello di sforzo mentale richiesto / Complessità del compito;
2. Domanda fisica: Quantità di sforzo fisico richiesto / Faticosità del compito
3. Domanda temporale: Pressione percepita in rapporto al ritmo di lavoro richiesto
4. Prestazioni proprie: Livello di successo nello svolgimento del compito / Grado di soddisfazione della propria performance
5. Sforzo: Sforzo necessario ad ottenere la performance realizzata

---

<sup>11</sup> Nasa-TLX: Nasa Task Load Index

<sup>12</sup> RTLX: il NASA-TLX che sfrutta i risultati grezzi, quest'ultimi hanno dimostrato un'alta correlazione con quelli ponderati.

## 6. Livello di Frustrazione: Quantità di stress provato nello svolgimento del compito

Attraverso l'utilizzo di queste scale, ai fini del calcolo del carico di lavoro complessivo, si riesce ad ottenere una variabilità minima se il test viene confrontato con una valutazione unidirezionale<sup>13</sup> che fornisce al contempo informazioni diagnostiche sulle fonti del carico di lavoro. Per ottenere la media ponderata necessaria il test Nasa combina le valutazioni ottenute nelle sei scale con un punteggio che indica l'importanza rivestita da ciascuna di esse per la realizzazione del compito specifico. I punteggi vanno da 0 a 100 per la valutazione della scala e da 0 a 5 per la rilevanza della scala stessa.

Uno strumento come NASA-TLX si rivela una risorsa di fondamentale importanza per giudicare il *Mental Workload* legato all'introduzione delle nuove tecnologie digitali, trovando infatti ampia applicazione in questo periodo storico.

NASA-TLX Rating Scale Descriptions		
Title	Endpoints	Description
Mental Demand	Low/High	How much mental and perceptual activity was required (e.g., thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?
Physical Demand	Low/High	How much physical activity was required (e.g., pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?
Temporal Demand	Low/High	How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?
Performance	Good/Poor	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?
Effort	Low/High	How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?
Frustration Level	Low/High	How insecure, discouraged, irritated, stressed, and annoyed or secure, gratified, content, relaxed, and complacent did you feel during the task?

Le sei scale di valutazione usate dal NASA-TLX

## 2.5 - Fattori di stress cognitivo nella Smart Factory

Lo sviluppo della *Smart Factory* e l'introduzione delle tecnologie funzionali ad essa genera enormi vantaggi in termini di efficienza e carico lavorativo ma un aspetto da non sottovalutare nell'innovazione tecnologica di un'azienda è l'accettabilità da parte degli individui che utilizzeranno le nuove tecnologie nello svolgimento delle proprie mansioni.

Spesso gli operatori che utilizzano gli stessi strumenti da anni preferiscono lavorare servendosi di sistemi ormai obsoleti, graficamente minimali e privi di numerose funzioni rispetto a nuove

<sup>13</sup> Uni-direzionale: che consideri solo un aspetto.

interfacce grafiche sicuramente molto più funzionali. C'è un motivo dietro un comportamento di questo tipo ed è attribuibile allo stress cognitivo percepito; un'interfaccia vecchia ma conosciuta, per quanto obsoleta, verrà preferita ad una nuova interfaccia in quanto implica meno sforzo mentale, meno memoria e quindi mantiene il dipendente in una zona di comfort. Ma se la scelta di utilizzare, ad esempio, un sistema a linee di comando è volontaria, la causa prima è invece del tutto inconscia; l'uomo che usa un sistema arretrato ha dapprima appreso il funzionamento di quel sistema e si è poi venuto a creare un pattern motorio che non ha più richiesto uno sforzo vero e proprio ma che deriva unicamente dalla memoria muscolare. Il paragone più utile a comprendere questa situazione è quello dell'auto: il primo approccio ad un'auto presuppone un apprendimento graduale dei passaggi da fare, ma con il tempo il tutto diventa automatico e quindi il suo utilizzo, al netto di situazioni specifiche di pericolo in cui si presenta la necessità di intervenire, non presuppone alcuno sforzo mentale .

Un ulteriore motivo di stress è quello già anticipato, generato dal posizionamento dell'informazione. Infatti, tanto più l'informazione è consecutiva all'azione, tanto lo stress cognitivo sarà minore e questo significa che al crescere della difficoltà nel reperire le informazioni cresce anche lo stress, di conseguenza a risentirne saranno le prestazioni dell'operatore. Difficoltà non significa però necessariamente che il processo sia complesso, ma che le informazioni richiedano numerosi passaggi per essere reperite da chi lavora. Per "informazioni" si intendono anche i risultati e ciò presuppone che, ad esempio, nel momento in cui un utente lavora ad un documento e non è in grado di riconoscere immediatamente l'esito di ciò che sta facendo, crescerà la sua distanza cognitiva e quindi l'avanzare nel processo non risulterà immediato, poiché chi lavora dovrà recuperare le informazioni necessarie dalla memoria a lungo termine, rendendo il processo operativo molto più lento e complesso nonché stressante.

Un ulteriore fonte di stress cognitivo può essere rappresentato dalle caratteristiche anagrafiche del lavoratore che spesso giocano un ruolo da collo di bottiglia non solo nell'applicazione ma anche nello studio delle tecnologie digitali. L'età in primis crea delle discrepanze nell'organico di un'azienda in quanto, così come un operatore più anziano può prediligere l'utilizzo di sistemi antiquati per lo svolgimento della propria mansione, come è stato già detto in precedenza, allo stesso tempo questo può manifestare maggiore resistenza anche nell'utilizzo di sistemi di monitoraggio delle performance. Parlando di Mental Workload è stato citato come alcuni sistemi di monitoraggio vadano gradualmente diventando sempre meno invasivi, andando anche a diventare portatili, un prodotto che ha aiutato in questo senso è sicuramente il VR, che con la forma di una mascherina da notte ci permette di controllare le metriche oculari. In casi

di studio più recenti, è emerso come la ricerca di un volontario disponibile al quale somministrare uno studio diventa difficile non tanto per ciò che riguarda il raggiungimento del numero necessario ma soprattutto per ottenere un campione eterogeneo che non risulti composto esclusivamente da soggetti giovani. Questo, in molti casi, non consente lo studio di problemi di ergonomia cognitiva negli adulti e di conseguenza rende oggettivamente più difficile trovare una soluzione adeguata ad un problema che non si è palesato.

Si configura quindi come una necessità sempre crescente quella di valutare quanto una tecnologia o un nuovo processo viene o semplicemente può essere accettato da chi ci lavora.

## **2.6 – Il design dell'interfaccia come strumento risolutivo**

Una fase fondamentale nell'innovazione dei processi è quella di progettazione e, con le tecnologie 4.0 che sfruttano sistemi sempre più complessi e interconnessi, ad ostacolare le prestazioni degli operatori, nella maggior parte dei casi, può essere l'interfaccia utente. Se infatti il processo di sviluppo e progettazione di un'interfaccia non va nel modo corretto, le *performance* ne risentiranno immediatamente poiché un'interfaccia poco chiara e intuitiva rallenta, di fatto, i processi cognitivi e, di conseguenza, influenza negativamente i risultati. Allo stato attuale buona parte del codice di un qualsiasi software è dedicato all'interfaccia ed il motivo principale è che la comprensione dell'utilizzo di un software può essere utile a risolvere proprio alcuni dei problemi analizzati nel paragrafo precedente. Tuttavia, non è possibile prevedere tutti gli eventuali problemi o creare un'interfaccia che vada bene per tutti, proprio per questo vengono effettuati continui ritocchi, nel tentativo di migliorare il prodotto finale.

Alcuni dei principi di base della psicologia cognitiva si sono rivelati estremamente utili nella progettazione di interfacce di successo, tra questi:

- L'utente dovrebbe avere un modello esplicito del sistema ispirato alla sua esperienza concreta;
- Il riconoscimento è più utile del ricordo, pertanto creare situazioni in cui qualcosa è facilmente visibile e va indicata è meglio che dover ricordare il nome;
- E' opportuno creare comandi uniformi tra le varie applicazioni, con la metafora e con le aspettative dell'utente;
- La valutazione dei risultati deve essere possibile conseguentemente alle azioni e lo schermo deve mostrare l'oggetto su cui si sta lavorando.

Tuttavia, questi principi di base non necessariamente riescono a coesistere, pertanto si verifica talvolta la possibilità che si creino dei conflitti difficilmente risolvibili tra essi. Risulta spesso necessario investire molto in sperimentazione<sup>14</sup> in tutta la fase di progettazione e anche in seguito al rilascio del sistema stesso. Si è assistito frequentemente a nuove formulazioni di principi utili alla progettazione di un'interfaccia utente che faccia dell'utente stesso il suo focus, una tra le più storiche e popolari è sicuramente quella di Gould e Lewis del 1983 che si basa sui 4 punti seguenti:

- I) **Comprensione dell'utente:** Vi deve essere una chiara rappresentazione delle caratteristiche di natura psico-attitudinale comuni al bacino di utenza;
- II) **Rappresentazione esplicita:** sia delle caratteristiche cognitive e attitudinali dell'utente che della natura cognitiva del lavoro che deve essere svolto;
- III) **Progettazione interattiva:** Il team di sviluppo deve includere un campione che rappresenti la possibile utenza finale durante l'intero processo di progettazione;
- IV) **Misurazione costante dei risultati conseguiti:** Gli utenti finali potenziali vengono coinvolti durante l'intera fase di progettazione a sperimentare l'usabilità del prodotto;
- V) **Progettazione iterativa:** La fase di progettazione deve essere un ciclo di test, misurazione e riprogettazione costante fino al raggiungimento di un risultato che soddisfi lo scopo che ci si era prefissati.

---

<sup>14</sup> John B. Gould (IBM) propose di eseguire i test ancora prima che si iniziasse a scrivere il codice.

## Capitolo 3: CASI STUDIO

### 3.1 - Uno studio sulle reazioni dell'utente al variare del Mental Workload

Come affrontato nei precedenti capitoli, NASA TLX e il concetto di *Mental Workload* stanno acquisendo sempre più rilevanza contestualmente all'introduzione delle tecnologie digitali nell'industria; infatti, la letteratura è colma di studi che hanno sfruttato lo strumento di autovalutazione della Nasa in ambienti lavorativi di diverso tipo. In questo capitolo, quindi, verrà analizzato uno studio in cui il MWL ha una rilevanza particolare.

Il seguente studio è stato svolto dal "Centro di Ricerca sulle Tecnologie Ispirate all'Uomo dell'Università di Padova" ad opera del Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova ha come obiettivo quello di ottenere dei risultati convincenti nella progettazione e nello sviluppo di un sistema simbiotico che sia in grado di tenere sotto controllo il MWL dell'utente e che di conseguenza modifichi il suo funzionamento per mantenere sotto controllo i livelli di stress cognitivo (Mingardi, M., Pluchino, P., Bacchin, D., Rossato, C., & Gamberini, L. (2020)). Il primo passo in questo studio è stato quello di determinare una serie di misure implicite ed esplicite che potessero essere sfruttate per osservare come il MWL variasse a seguito di una manipolazione della difficoltà del compito. Un secondo obiettivo era quello di capire se i partecipanti fossero consci dei diversi livelli di carico mentale. Lo studio è stato condotto all'interno di un ambiente costituito in funzione dello stesso ricostruendo in modo quanto più possibile realistico una catena di montaggio, questo ha consentito di osservare e successivamente confrontare, tutte le misure prese in oggetto dello studio stesso.

I due limiti principali di questi sistemi sono già stati esposti nel capitolo precedente e sono l'interpretabilità dei dati e la trasparenza del sistema, da queste due criticità lo studio ha impostato 2 domande:

1. Le misure I/E riflettono allo stesso modo la variazione di MWL dovuta ai diversi compiti sperimentali?
2. Le misure I/E riflettono le percezioni soggettive dei partecipanti riguardo alla MWL imposta dai diversi compiti?

Sono quindi state fatte delle supposizioni a priori, nel caso della domanda 1 si è supposto che le misure I/E fossero influenzate dal variare del MWL a seguito dell'alterazione della complessità del compito, per la domanda 2 invece si è supposto che i risultati relativi alle misure I/E rispecchiassero la percezione personale degli utenti.

Sono state fatte delle supposizioni a priori, ovvero che per la domanda 1, le misure implicite fossero influenzate da diversi livelli di MWL dati dalla manipolazione della difficoltà del compito, mentre per la domanda 2 che i risultati relativi alle misure I/E corrispondessero alla percezione personale degli operatori, espressa in NASA-TLX, nel rispecchiare i diversi livelli di MWL.

## **Materiali e metodi**

I partecipanti all'esperimento erano 30 persone con un'età media di 32 anni con visione normale o corretta, senza alcun problema cardiaco. Non era prevista alcuna retribuzione, la partecipazione era invece su base volontaria

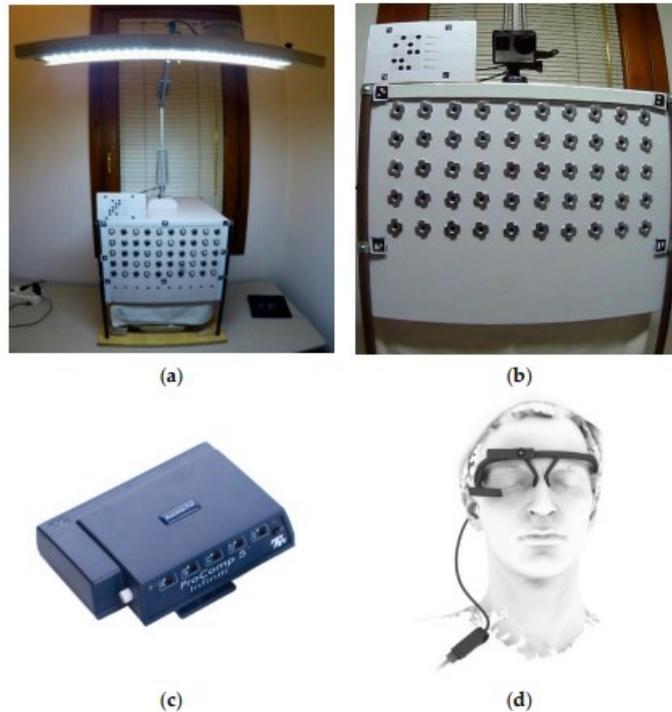
## **Design**

Ad essere manipolata è stata la complessità del compito: singolo consistente nell'avvitamento o doppio che oltre ad un avvitamento prevedeva un conto alla rovescia

## **Attrezzature e materiali**

La postazione di lavoro è stata progettata in funzione dello studio con l'obiettivo di ottenere il maggior numero possibile di dati I/E dell'utente. I materiali e le attrezzature che compongono la postazione sono: una lavagna artigianale perforata con quattro supporti telescopici per regolarla in altezza, un paio di occhiali per il tracciamento oculare e da un amplificatore per il monitoraggio dei segnali psicofisiologici. Due dei 4 lati presentavano 50 fori disposti su 5 file orizzontali parallele, e il sistema era in grado di registrare durata e frequenza di ogni interazione uomo-lavoro dal momento in cui il partecipante ha raccolto un bullone a quando lo stringeva completamente sulla lavagna. A permettere la registrazione vi erano una scheda Makey Makey e un software E-prime, la prima installata nella lavagna e il secondo in un pc ad essa collegato. Grazie ad un braccialetto da loro indossato, i partecipanti fanno parte di un circuito elettrico insieme alla scheda e ad un cassetto metallico contenente le viti, questo sistema ha permesso che ogni qualvolta l'operatore toccava uno dei componenti del circuito, il contatto elettrico derivante inviava un segnale al computer che avviava una registrazione dell'interazione appena avvenuta. A monitorare invece i partecipanti vi erano due action-cam (GoPro Hero 4) posizionate di fronte al partecipante e lateralmente. Per sincronizzare le apparecchiature è stato utilizzato un ciak cinematografico collegato sia alla scheda che al software E-Prime sia in apertura che in chiusura e venendo ripreso anche dalle fotocamere permetteva anche la sincronizzazione dei flussi video. Per tracciare le metriche oculari sono stati utilizzati un paio di occhiali binoculari collegati ad un pc con degli appositi software di estrazione e registrazione

dati, mentre per tracciare il resto dei parametri psicofisiologici è stato utilizzato un secondo portatile che registrasse i dati di frequenza cardiaca tramite un pulsometro posizionato sul dito medio della mano sinistra e due elettrodi posizionati sull'indice e l'anulare della stessa mano per monitorare l'attività elettrodermica, solo la mano destra era impegnata nel compito.



\*Strumenti utilizzati nello studio per il tracking delle misure fisiologiche

## Compiti

Nel compito singolo gli esaminati hanno raccolto 50 bulloni: 25 bianchi e 25 neri uno alla volta e li hanno posizionati secondo una specifica sequenza nella lavagna perforata, la sequenza era indicata in una piccola struttura posizionata al di sopra della lavagna. I modelli avevano 5 sequenze (una per ogni fila) di quattro esagoni e la lavagna andava riempita da sinistra a destra e dall'alto al basso seguendo le sequenze. Il compito secondario consisteva in un compito di interferenza: i partecipanti dovevano sottrarre costantemente 7 partendo da 1000 fino a che la fase di avvitamento non fosse conclusa, la richiesta era che il tutto fosse completato in modo veloce e preciso.

Il motivo per cui è stato scelto un compito secondario di questo tipo è che non presupponeva un'elaborazione visiva ma che al contempo richiedesse attenzione, memoria b/l termine,

funzioni esecutive e memoria esecutiva andando ad aumentare di gran lunga le risorse cognitive richieste.

## **Procedura**

1. I partecipanti ricevono una nota informativa e danno il loro consenso informato
2. Vengono svolti due test preliminari: sottrarre 7 da 900 per 20 volte con obiettivo quello di prendere familiarità con il compito di interferenza e in seguito fare un test Corsi per la memoria visuo-spaziale che escludeva chi la avesse inferiore a 3
3. Viene somministrato un questionario riguardante le informazioni demografiche e la familiarità con i compiti assegnati
4. Vengono applicati tutti i sensori e vengono fatte le calibrature necessarie
5. E' stata somministrata una guida audio che spiegava i compiti da svolgere, in caso di dubbi sarebbero stati fugati dagli sperimentatori
6. Sono state effettuate delle misurazioni psico-fisiologiche
7. Al termine del primo compito veniva somministrato il NASA-TLX
8. Venivano ricontrollati i sensori
9. Si partiva con il secondo compito
10. Al termine del secondo compito era passata circa un'ora

## **Misure**

Le metriche implicite, esplicite e soggettive considerate sono:

### **Esplicite**

- Accuratezza del compito, il numero di errori nell'avvitamento

### **Implicite**

- Tempo per compito
- Durata della fissazione e frequenza
- Indice di prossimità
- Durata dell'ammiccamento e frequenza
- Durata della saccade<sup>15</sup> e frequenza
- Diametro della pupilla
- Frequenza cardiaca

---

<sup>15</sup> Saccade: Movimento dell'occhio dalla porzione periferica al centro

- Attività elettro-dermica

Soggettivo

- Carico complessivo del compito(NASA-TLX)

## **Risultati**

- **Prestazioni**

Sono emersi più errori nel secondo compito piuttosto che nel primo, il tempo impiegato è stato maggiore nel secondo compito piuttosto che nel primo

- **Risultati fisiologici**

La durata della fissazione risulta minore nel dual task mentre maggiore nel single task, mentre la frequenza è maggiore nel compito singolo che nel doppio.

La frequenza della saccade è minore nel dual task che nel single task

La frequenza cardiaca è maggiore nel doppio compito rispetto al primo

L'attività elettro-dermica non ha mostrato differenze tra un compito e l'altro.

- **NASA TLX**

Sono state prese in considerazione 4 dei parametri, ovvero domanda mentale, prestazione, sforzo e frustrazione. Il compito doppio è stato ritenuto più impegnativo rispetto al singolo, come conseguenza la prestazione percepita è ritenuta più elevata nel compito singolo piuttosto che nel doppio. L'impegno percepito è stato differente data la diversa difficoltà del compito. Uno sforzo maggiore è stato percepito nel compito doppio. Il livello di frustrazione è più alto nel compito doppio rispetto al singolo.

## **Discussione**

Lo studio aveva due obiettivi principali, ovvero quello di capire se la combinazione di misure I/E fornisse informazioni che potessero essere interpretate in modo univoco e quello di capire se le percezioni degli utenti corrispondevano ai risultati ottenuti valutando la variazione delle misure I/E, era quindi necessario comprendere se i partecipanti fossero consapevoli della diversa richiesta mentale imposta dai compiti. In caso di corrispondenza tra misure I/E e le

percezioni degli utenti questo avrebbe significato che non sussisteva il problema della trasparenza dei dati e quindi gli operatori erano consapevoli delle azioni messe in atto dal sistema. Gran parte delle misure fisiologiche hanno poi permesso di discriminare i diversi livelli di MWL per i 2 compiti, questo ha quindi permesso di constatare che non sussistesse alcun problema di interpretabilità.

Sono stati individuati questi due punti critici nello specifico (interpretabilità e trasparenza), poiché la loro presenza ostacolerebbe la creazione di un sistema simbiotico limitando l'HMI(human machine interaction)

E' stato visto come siano emersi dei risultati contrastanti tra questo studio ed studi precedenti dimostrando come alcune risposte fisiologiche possano essere influenzate dai compiti da svolgere. Un caso del genere in questo studio è quello relativo al comportamento oculare; infatti, la durata dell'ammicciamento ha mostrato un aumento della condizione di carico mentale più elevato, mentre studi precedenti hanno riportato una diminuzione in tali circostanze, e questo si è verificato in questo caso perché esaminando le videoregistrazioni si è visto come diversi partecipanti per aiutarsi nel conto alla rovescia tenessero gli occhi chiusi per intervalli di tempo prolungati e questo era possibile perché non vi era una richiesta visiva.

Il NASA-TLX ha dimostrato che gli utenti erano consci delle differenze nel livello di MWL, questo si riflette naturalmente con i livelli di sforzo, frustrazione e richiesta mentale nonché con la prestazione percepita. Questa corrispondenza tra gran parte delle misure I/E e quelle soggettive analizzate dal Nasa ha permesso di capire che il funzionamento di sistemi di nuova generazione che implementeranno funzioni adattive basate sui dati degli utenti sarà trasparente per gli operatori, e questi quindi capiranno i cambiamenti operati in funzione dell'MWL legato ai loro compiti. Questo permetterà la comprensione reciproca uomo-macchina che sarà una cooperazione coordinata e fluida in cui la tecnologia sarà di supporto agli utenti ogni qual volta si dimostrerà necessario.

### **Discussione dello studio:**

Lo studio riprende gran parte dei concetti affrontati nel secondo capitolo di questa prova finale e li pone in esame con l'obiettivo di favorire un'interazione uomo-macchina che non risenta delle tipiche criticità di questo tipo di sistemi. La ricerca prima di iniziare il test mette i potenziali partecipanti a conoscenza di ciò che andranno a fare, spiegando modalità e finalità dello studio e andando a dimostrare, ad esperimento terminato, come un ambiente che renda consapevoli i propri operatori non risenta dei problemi di interpretabilità e trasparenza; la

dimostrazione più evidente la abbiamo con la compilazione del test di autovalutazione NASA che rispecchia esattamente quanto percepito fisiologicamente dagli operatori.

La ricerca dimostra anche quanto le circostanze in cui si trova il soggetto dello studio influiscano sui dati in analisi, come ha dimostrato la frequenza di fissazione che in questo caso andava in contrasto con la letteratura precedente allo studio.

Lo studio evidenzia però una criticità non ancora risolta che dipende da altri fattori: la limitata eterogeneità del campione, infatti a partecipare al test, vista la natura volontaria dello stesso, sono stati prevalentemente giovani adulti. Una condizione di questo tipo limita la possibilità di generalizzare i risultati e può essere attribuibile a livelli sempre minori di accettazione dei dispositivi indossabili utilizzati al crescere delle età.

### **3.2 – Il caso Arneg**

L'università degli studi di Padova, per la facoltà di Economia, prevede che gli studenti svolgano un tirocinio obbligatorio di almeno 300 ore. Di seguito sarà riportato un caso di introduzione di una tecnologia 4.0 osservato personalmente dal sottoscritto durante la sua esperienza presso l'azienda ospitante Arneg S.p.A. L'azienda si occupa di refrigerazione commerciale; infatti, produce principalmente banchi frigo e centrali frigorifere.

È stata effettuata una visita nel reparto della produzione volta a verificare come la tecnologia 4.0 da loro utilizzata avesse cambiato il modo di operare. È stato, in particolare, osservato un macchinario, ovvero una curva-tubi automatica, che ha sostituito quasi totalmente il precedente, un macchinario di vecchia generazione, modificando radicalmente il processo di curvatura dei tubi.

#### **La curvatubi precedente:**

La curva-tubi sostituita è un macchinario privo di alcun tipo di tecnologia a supporto, infatti, gran parte del lavoro viene svolto dall'operatore che deve prestare molta attenzione durante il processo, il quale è molto lento e delicato. Il macchinario richiede l'intervento umano sia in fase di caricamento delle matrici adatte al tubo da piegare ma anche nelle misurazioni. La preparazione dura circa 30-40 minuti per ciascuna matrice. Per comprendere la complessità del preparare la macchina è utile illustrarne il processo.

Viene caricata una matrice con il diametro del tubo da piegare, che dovrà essere spostata manualmente dallo scomparto in cui è tenuta fino al macchinario. Viene successivamente

inserito il tubo all'interno della macchina e, fatte le dovute misurazioni, viene impostato l'angolo di curvatura, usando il goniometro. Infine, si procede con il curvare il tubo.

Il processo, sebbene possa apparire semplice, è in realtà molto complesso nella sua applicazione. Di frequente, infatti, si vengono a creare degli non conformità causate dal peso e dalla lunghezza dei tubi. Infatti, una grossa parte dei tubi più lunghi rimane sospesa al di fuori del macchinario e il peso fa sì che il tubo si sposti dalla posizione iniziale data dall'operatore, quest'ultimo deve di conseguenza fare attenzione ad impedire che ciò accada, ma non sempre è possibile. Eventi di questo tipo portano a sprechi non solo di materiale ma anche di tempo; pertanto, l'azienda ha trovato dei modi per riutilizzare gli scarti generati da situazioni di questo tipo, anche se la soluzione più efficiente per ridurli è stata naturalmente l'acquisto del nuovo macchinario. Molto è poi lasciato all'operatore che deve immaginare come piegare il tubo per creare la geometria adatta. Il tempo necessario a piegare un tubo è di circa dieci minuti.

### **La curvatubi attuale:**

Il nuovo macchinario è del tutto automatico e consente anche di avere geometrie molto complesse altrimenti impossibili con il suo "predecessore". La preparazione è molto più rapida, infatti una matrice contiene tre diametri differenti che possono essere utilizzati in base alla necessità, senza doverla cambiare, grazie ad un sistema che allinea il diametro di riferimento al tubo. Se la preparazione della vecchia curva tubi durava dai 30 ai 40 minuti per matrice, qui i tempi si riducono ad un terzo proprio perché la matrice contiene vari diametri e non deve essere quindi costantemente sostituita. Le matrici utilizzate da questa macchina sono più leggere delle precedenti e vengono spostate tramite l'utilizzo di un carro ponte che riduce lo sforzo fisico richiesto all'operatore e il rischio di infortuni. Il montaggio è molto più semplice ed ergonomico, infatti, la parte dove va montata la matrice si apre consentendo all'operatore di accedervi. È possibile scegliere la velocità con cui la macchina andrà a piegare i tubi, generalmente si sceglie di non utilizzare la velocità massima, perché potrebbe accadere che il tubo si spezzi o che si formino delle pieghe impreviste, dovute al fatto che il materiale che costituisce il tubo non ha avuto il tempo di adattarsi correttamente alla curvatura.

Il nuovo macchinario è, inoltre, dotato di una serie di sensori che garantiscono la sicurezza di chi lavora. Intorno al macchinario sono stati delimitati tre cerchi concentrici: con l'attraversamento del primo cerchio esterno la macchina rallenta leggermente, superando il secondo rallenta ancora di più, attraversando il terzo la macchina si arresta. La sensibilità dei sensori è modificabile tramite il software della macchina. È poi in corso l'implementazione di un software che consenta al macchinario di recuperare da sé ordini, bolle e commesse e che

possa alimentare automaticamente il magazzino ad operazione terminata. Il processo si avvia tramite un pedale posto accanto al display di controllo e al di fuori dei 3 cerchi precitati, in questo modo si evita che l'operatore si trovi accanto alla macchina al momento della partenza. Il tempo necessario alla curvatura di un tubo è di circa un minuto, un decimo del tempo impiegato con il vecchio macchinario.

### **Effetti sul personale**

Il lavoro dell'addetto è radicalmente cambiato, infatti, se prima era necessario che lavorasse per l'intera settimana con la curvatubi, con l'introduzione del nuovo macchinario invece l'operatore è stato spostato in un altro settore e torna a lavorare con la curvatubi solo un giorno a settimana.

### **Osservazioni**

La nuova curvatubi ha avuto effetti estremamente positivi sotto diversi punti di vista, garantendo una maggiore efficienza in termini di tempo e spreco di materiale nonché per quanto attiene l'ergonomia fisica. Infatti, grazie all'uso di un sistema idraulico ad hoc per lo spostamento delle matrici, lo sforzo fisico dell'operatore viene ridotto notevolmente, garantendogli un maggior benessere psicofisico.

## CONCLUSIONI

Il presente elaborato ha approfondito lo studio che si cela dietro l'introduzione delle tecnologie 4.0 e le sfide che ne conseguono, per il quale particolare importanza ha rivestito il test di autovalutazione NASA-TLX.

Nel corso dei capitoli sono stati analizzati i numerosi passi avanti fatti dalla tecnologia in ambito manifatturiero e gli innegabili vantaggi che questi hanno apportato all'industria a partire dalla prima rivoluzione industriale, permettendo anche la coniazione di concetti quali quello di *Smart Manufacturing* e *Smart Factory* diventati ormai tasselli fondamentali del contesto manifatturiero odierno.

L'ergonomia gioca oggi più che mai un ruolo di fondamentale importanza nello studio del benessere del lavoratore all'interno dell'ambiente in cui opera, nel costante tentativo di ridurre lo stress e la fatica provati. È emerso come questi elementi siano delle variabili reali nella valutazione della salute psico-fisica del lavoratore, tanto da avere riscontri evidenti sulle funzioni vitali degli operatori stessi, dalle variazioni delle metriche oculari alla variazione della frequenza cardiaca.

Lo studio dimostra come rendere l'uomo conscio delle proprie condizioni si riveli una scelta vincente con riscontri positivi sulla consapevolezza di sé nello svolgimento delle proprie mansioni. A permettere valutazioni di questo tipo è stato il NASA-TLX che si è dimostrato uno strumento di successo nel valutare le più importanti variabili che affliggono l'ergonomia cognitiva grazie anche e soprattutto all'incredibile flessibilità, tale da permettere la sua applicazione a settori lavorativi di ordine completamente opposto e allo stesso tempo di essere plasmato in funzione dello scopo.

L'aspetto focale evidenziato lungo tutta la tesi è che l'innovazione richiede studio e consapevolezza. In un momento storico nel quale l'interazione e la collaborazione uomo-macchina sono essenziali, l'ergonomia cognitiva gioca un ruolo di primo ordine nel garantire il benessere psicologico del lavoratore.

Infine, l'elaborato ha dimostrato come ogni singolo elemento analizzato abbia dei riscontri nella realtà e che non sia solo frutto di teorie e studi, in quanto ricostruendo un ambiente ecologico ad hoc è possibile intervenire sulle condizioni lavorative e dimostrare come al crescere delle attività da svolgere ci siano degli effetti evidenti sotto diversi punti di vista, siano questi prestazionali o fisiologici.

## BIBLIOGRAFIA

- Arana-De las Casas, N. I., De la Riva-Rodríguez, J., Maldonado-Macías, A. A., & Sáenz-Zamarrón, D. (2023). Cognitive Analyses for Interface Design Using Dual N-Back Tasks for Mental Workload (MWL) Evaluation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 1184.
- Bueno, A., Caiado, R. G. G., de Oliveira, T. L. G., Scavarda, L. F., Godinho Filho, M., & Tortorella, G. L. (2023). Lean 4.0 implementation framework: Proposition using a multi-method research approach. *International Journal of Production Economics*, 264, 108988.
- Cain, B. (2007). A review of the mental workload literature. *DTIC Document*.
- Davis, J., Edgar, T., Graybill, R., Korambath, P., Schott, B., Swink, D., ... & Wetzel, J. (2015). Smart manufacturing. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, 6, 141-160.
- Dogaru, L. (2020). The main goals of the fourth industrial revolution. renewable energy perspectives. *Procedia Manufacturing*, 46, 397-401.
- Faccio, M., Granata, I., Menini, A., Milanese, M., Rossato, C., Bottin, M., ... & Rosati, G. (2023). Human factors in cobot era: A review of modern production systems features. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 34(1), 85-106.
- Garimella, P. K. (2018, October). IT-OT integration challenges in utilities. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)* (pp. 199-204). IEEE.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139-183). North-Holland.
- Hozdić, E. (2015). Smart factory for industry 4.0: A review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35.
- Levioldi, S., & Rizzo, P. (1999). *Interazione Uomo Macchina*.
- Marino, E., Barbieri, L., Colacino, B., Fleri, A. K., & Bruno, F. (2021). An Augmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments. *Computers in Industry*, 127, 103412.

- Mingardi, M., Pluchino, P., Bacchin, D., Rossato, C., & Gamberini, L. (2020). Assessment of implicit and explicit measures of mental workload in working situations: implications for industry 4.0. *Applied Sciences*, *10*(18), 6416.
- Nenna, F., Orso, V., Zanardi, D., & Gamberini, L. (2023). The virtualization of human–robot interactions: A user-centric workload assessment. *Virtual Reality*, *27*(2), 553-571.
- Nenna, F., Zanardi, D., & Gamberini, L. (2023). Enhanced Interactivity in VR-based Telerobotics: An Eye-tracking Investigation of Human Performance and Workload. *International Journal of Human-Computer Studies*, *177*, 103079.
- Orso, V., Ziviani, R., Barattini, R., Bondani, G., Radu, R., & Gamberini, L. (2018, October). Employee-Driven innovation for improving working practices: preliminary findings from a case study. In *2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES)* (pp. 69-74). IEEE.
- Paschou, T., Rapaccini, M., Adrodegari, F., & Saccani, N. (2020). Digital servitization in manufacturing: A systematic literature review and research agenda. *Industrial Marketing Management*, *89*, 278-292.
- Rifkin, J. (2011). *La terza rivoluzione industriale*. Edizioni Mondadori.
- Schmidt, A. (2000). Implicit human computer interaction through context. *Personal technologies*, *4*, 191-199.
- Seeliger, A., Cheng, L., & Netland, T. (2023). Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors. *Computers in Industry*, *151*, 103985.
- Thoben, K. D., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). “Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. *International journal of automation technology*, *11*(1), 4-16.
- Tseng, Mitchell M., Yue Wang, Roger J. Jiao. (2017) Mass Customization. In: The International Academy for Production Engineering, Laperrière L., Reinhart G. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_16701-3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16701-3)
- White, C. M. (2008). Ergonomics: What is it?. *The Bent of Tau Beta Pi*, 24-27.

Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1), 1-17.

Nota: usate 9891 parole